การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อส่งเสริมการเรียน ทักษะการทดลอง และความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส

อาร์ซีซ๊ะ ดินอะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส

ผู้วิจัย นางสาวอาร์ซีซ๊ะ ดินอะ

คณะกรรมการสอบ

ดร.สนธิ พลชัยยา	ประธานกรรมการ
ดร.สุภาพ ตาเมือง	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

สุภาพ ตาเมือง
(ดร.สุภาพ ตาเมือง)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชริดา ปุกหุต)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

อริยาภรณ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์ และ ดร.สุภาพ ตาเมือง ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัย การเขียนรายงานวิจัย ตลอดจนให้ความรู้ แนวคิด และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีแห่งนี้ และคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับการศึกษาและการวิจัยให้แก่ข้าพเจ้าจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างเรียบร้อย สมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย จนทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านไปด้วยดี ขอขอบคุณผู้อำนวยการ คณะครูกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์โรงเรียนสทิงพระวิทยา จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิจัย และอำนวยความสะดวกในการทดลองใช้เครื่องมือวิจัย ตลอดจนนักเรียนโรงเรียนสทิงพระวิทยาที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูล ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ชาววิทยาศาสตร์ศึกษาและชาวเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ตลอดจนทุกคนในครอบครัว มารดา พี่น้องและสามีผู้คอยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษา และทำวิจัยครั้งนี้ จนผู้วิจัยประสบผลสำเร็จด้วยดี

อาร์ซีซ๊ะ ดินอะ
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อส่งเสริมการเรียน ทักษะการทดลอง และความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส

ผู้วิจัย : อาร์ซีซ๊ะ ดินอะ

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.สุภาพ ตาเมือง

คำสำคัญ : ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่าย, การทดลองแบบย่อส่วน, ต้นทุนต่ำ, การไทเทรตกรด-เบส, มัธยมศึกษา

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับส่งเสริมการเรียน ทักษะการทดลอง และความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ เรื่องกรด-เบส สำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี การสร้างชุดทดลองการไทเทรตนี้ประกอบด้วยกระบอกฉีดยา ข้อต่อสามทาง ขวดแก้วขนาดเล็กฝาปิดจุกยาง เหล็กเสียบกระดาษและคลิปหนีบกระดาษ ผลการทดลองที่ได้จากชุดไทเทรตที่พัฒนานี้ให้ผลที่ใกล้เคียงกับชุดไทเทรตมาตรฐาน สำหรับการดำเนินการวิจัยทางการศึกษา กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 26 คน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลางแห่งหนึ่งในเขตจังหวัดสงขลาการออกแบบการวิจัยเป็นแบบกลุ่มเดียวสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน ประกอบด้วย แบบทดสอบวัดความเข้าใจ แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) แบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) และแบบสอบถามความพึงพอใจ จากการวิเคราะห์แบบวัดความเข้าใจ พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบส หลังเรียน (mean 20.64, SD 4.95) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 9.91, SD 2.74) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และจากการวิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.11 และจากการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.27 (mean 4.27, SD 0.53) แสดงให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ประกอบกับชุดการทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสามารถพัฒนาความเข้าใจและทำให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เรื่องการไทเทรตกรด-เบสได้เป็นอย่างดี

ABSTRACT

TITLE : FABRICATION OF A SIMPLE, LOW-COST AND SMALL SCALE TITRATION SET FOR ENHANCING GRADE 11 STUDENTS' LEARNING, EXPERIMENTAL SKILLS AND ATTITUDE IN ACID-BASE CHEMISTRY
AUTHOR : ASEESAH DIN-A
DEGREE : MASTER OF SCIENE
MAJOR : SCIENCE EDUCATION
ADVISOR : SUPARB TAMUANG, Ph.D.
KEYWORDS : TITRATION SET, SMALL SCALE LABORATORY, LOW- COST, ACID-BASE, TITRATION, HIGH SCHOOL

This research aimed to fabrication of a simple, low-cost and small scale titration set for enhancing grade 11 students' Learning, experimental skills and attitude in acid-base using inquiry learning for microscale laboratory in chemistry classroom. A titration set consists of a syringe, a three ways stopcock, a small vial bottle, rubber stoppers, a memo spike holder and paper binder clips. The results obtained from the developed titration set were close to the standard titration set. For conducting research in education, the sample in this study was 26 grade 11 students, who were studying at a medium-size high school in Songkhla Province. The research design was based on one group pretest–posttest design. The instruments used to investigate the students' understanding consisted of the three-tier diagnostic tests (TTDT), scientific process skills by U-diagram and questionnaire. The results in this study indicated that, from TTDT, students had an understanding in the concept of acid-base titration after learning (mean 20.64, SD 4.95) more than before (mean 9.91, SD 2.74) at a statistically significant level of .05 from scientific process skills by U-diagram, most students gained science process skills in a good level (mean 3.11). From questionnaire, students also enjoy this learning in a good level (mean 4.27, SD 0.53). This is verified that using inquiry learning incorporated with a simple, low-cost and small scale titration set effectively developed students' understanding and science process skills of acid – base titration.

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ความหมาย
TTDT	Three-tier diagnostic test
SI	International system of units
AAAS	American association for the advancement of science
NSES	National Science Education Standards
NTL	National Teaching Laboratory Institute
mL	Milliliter
IOC	Item Objective Concurrence

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ประเทศไทยได้กำหนดให้ "การรู้วิทยาศาสตร์" (sciencetific literacy) เป็นเป้าหมายหลักของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ให้กับพลเมืองของตนเอง โดยทั่วไปแล้ว "การรู้วิทยาศาสตร์" หมายถึงความสามารถของบุคคลในการทำความเข้าใจและมีส่วนร่วมกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในชีวิตประจำวันได้อย่างมีความหมาย ในการนี้ประเทศไทยเห็นตรงกันว่า "การสืบเสาะหาความรู้" (inquiry) เป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่จะนำพาพลเมืองของตนเองสู่การบรรลุเป้าหมายประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าวโดยได้มีการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญเน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหา ให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ต้องคำนึงถึงจุดมุ่งหมาย 3 ด้าน ได้แก่ ด้านพุทธพิสัย (ความรู้ความจำ ความเข้าใจ) ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (ทักษะและความสามรถออกแบบ และวางแผนการวิเคราะห์ และการแปลความหมายข้อมูลและการนำไปใช้) ด้านเจคติในวิชาวิทยาศาสตร์ (คุณลักษณะด้านความสนใจ ความเข้าใจและเห็นคุณค่า ค่านิยม และความเชื่อ) ดังนั้นผู้สอนต้องมีความรู้ความสามารถในการวางแผน สร้าง วิเคราะห์ และใช้เครื่องมือเพื่อวินิจฉัยคุณลักษณะและศักยภาพของผู้เรียนให้ตรงตามสภาพความเป็นจริง กิจกรรมการเรียนการสอนเน้นให้ผู้เรียนเป็นฝ่ายปฏิบัติ วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเองเพื่อให้การเรียนการสอนครอบคลุมทั้งด้านพุทธพิสัย ทักษะพิสัยและจิตพิสัย การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะสาขาวิชาเคมี มีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากสาขาวิชาอื่น ๆ คือวิชาวิทยาศาสตร์จะเน้นเกี่ยวข้องกับการทดลอง ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือต่าง ๆ

การจัดการเรียนการสอนวิชาเคมีของโรงเรียนสทิงพระวิทยาที่ผ่านมายังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากโรงเรียนสทิงพระวิทยาเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดปานกลาง เป็นโรงเรียนประจำอำเภอสทิงพระ นักเรียนที่เรียนดีหรือมีความมุ่งมั่นในการเรียนส่วนใหญ่เมื่อเรียนจบระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจะย้ายเข้าเรียนโรงเรียนในตัวเมืองที่มีชื่อเสียง ดังนั้นนักเรียนส่วนใหญ่ของโรงเรียนจึงเป็นกลุ่มปานกลางและกลุ่มอ่อน แล้วเมื่อเรียนจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษานักเรียนจะ

ขาดแรงจูงใจที่จะเข้าศึกษาต่อในระดับมหาวิทยาลัย จึงทำให้นักเรียนมีความสนใจในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์น้อยมาก ไม่เห็นความสำคัญของวิชาวิทยาศาสตร์ คิดว่าวิชาวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ยากและเป็นสิ่งที่ไกลตัวเกินไป เมื่อพิจารณาร้อยละของคะแนนรายวิชาเคมี นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสทิงพระวิทยาตั้งแต่ปีการศึกษา 2556-2558 พบว่าจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาเคมี 3 เรื่องกรด-เบส นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยวิชาเคมี เท่ากับ 62.69 (SD 10.35), 63.00 (SD 5.47) และ 64.10 (SD 11.55) ตามลำดับ (กลุ่มบริหารงานวิชาการโรงเรียนสทิงพระวิทยา, 2556-2558) ซึ่งถือว่าผลสัมฤทธิ์อยู่ในระดับต่ำ ดังตารางที่ 1.1 และนอกจากนี้รายงานผลการทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสทิงพระวิทยา ปีการศึกษา 2556-2558 พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 27.92 (SD 5.32), 31.83 (SD 5.56) และ 32.56 (SD 5.86) ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าระดับจังหวัดระดับสำนักงานเขตพื้นที่และระดับประเทศ ต่อเนื่องกัน 3 ปีการศึกษา (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2556-2558) โดยโรงเรียนได้ตั้งเป้าหมายในการพัฒนาผลการทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ให้สูงขึ้นทุกปี

ตารางที่ 1.1 ผลการเรียนวิชาเคมี (ย้อนหลัง 3 ปีการศึกษา)

ภาคเรียน	ปีการศึกษา 2556		ปีการศึกษา 2557		ปีการศึกษา 2558	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
ภาคเรียนที่ 1 (เคมี 2)	57.04	7.49	60.75	5.92	59.31	8.75
ภาคเรียนที่ 2 (เคมี 3)	62.69	10.35	63.00	5.47	64.10	11.55

นอกจากนี้โรงเรียนสทิงพระวิทยา มีวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีไม่เพียงพอต่อจำนวนนักเรียน เนื่องจากโรงเรียนมีงบประมาณไม่เพียงพอในการจัดหาซื้ออุปกรณ์และสารเคมีทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะวิชาเคมี แต่ละกิจกรรมต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี จำนวนมากต่อกิจกรรมการทดลอง ต้องใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีราคาแพง เช่น การทดลองเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ต้องใช้ชุดอุปกรณ์ standard buret ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ ใช้สารเคมีในปริมาณมาก วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้จึงมีราคาสูงไปด้วยดังนั้นจึงควรใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่าย ต้นทุนต่ำ และลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนขนาดการทดลองให้ลดลงกว่าเดิม เปลี่ยนการทดลองเป็นแบบย่อส่วน (small scale laboratory) แต่สามารถอธิบายทฤษฎีเดียวกันได้ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กลง ต้นทุนต่ำ เช่น Mono et al. (2000) ทำการทดลองการไทเทรตโดยใช้ Microburet ที่ดัดแปลงมาจากปิเปตขนาด 2 มิลลิลิตร เชื่อมต่อกับกระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร พบว่าอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมีราคาถูกมาก (ราคาน้อยกว่า$20 ประมาณ 700 บาท) เมื่อเทียบกับ

standard buret ขนาด 10 มิลลิลิตร (ราคา \$60 ประมาณ 2,100 บาท) และ 50 มิลลิลิตร (ราคา \$80 ประมาณ 2,100 บาท) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Acharry and Suwannathada (2010) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการระดับไมโครสเกล เรื่องการไทเทรตให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีในรายวิชา Chemistry for Engineers โดยใช้ Microburet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร เชื่อมต่อด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร และใช้ถาดหลุมพลาสติกแทนการใช้ ขวดรูปชมพู่ พบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายอุปกรณ์การทดลอง ปริมาณสารตัวอย่าง ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และใช้เวลาในการทดลองน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักศึกษาด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ เช่น การสังเกต ทักษะการใช้ตัวเลข และทักษะการทดลอง เป็นต้น

นอกจากปัญหาข้างต้นดังที่ได้กล่าวแล้ว ปัญหาด้านครูผู้สอนก็เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากครูผู้สอนมีเทคนิคการสอนที่ไม่หลากหลาย และมีเวลาในการเตรียมการสอนน้อยเพราะมีภาระงานพิเศษอื่น ๆ ที่ต้องรับผิดชอบ ทำให้นักเรียนส่วนใหญ่ได้เรียนเฉพาะในทฤษฎีจากการสอนบรรยายของครูนักเรียนมีโอกาสที่จะได้ทดลองมีน้อยมาก ทำให้เด็กเหล่านี้ขาดความเข้าใจขาดทักษะกระบวนการทดลอง และส่งผลให้นักเรียนมองว่าวิชาเคมีเป็นวิชาที่มีเนื้อหาสลับซับซ้อน เกี่ยวข้องกับเรื่องนามธรรมที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ ยากต่อการทำความเข้าใจในเนื้อหานั้น ๆ นักเรียนไม่มีพื้นฐานเนื้อหาก่อนหน้าที่จะมาเรียนเนื้อหาในปัจจุบัน เนื่องจากแนวคิดต่าง ๆ ในวิชาเคมีมักจะเกี่ยวเนื่องกันและกันโดยแนวคิดที่เรียนก่อนจะเป็นพื้นฐานของแนวคิดในเรื่องที่เรียนถัดไป มีกิจกรรมการทดลองที่ต้องทำความเข้าใจหลายกิจกรรม แสดงให้เห็นว่าการศึกษาแนวคิดหรือการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเป็นจุดมุ่งหมายที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ เนื่องจากการศึกษาแนวคิดหรือการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดนั้น อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) จากการศึกษาความหมายของการเรียนรู้ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) อุดม ทิพราช (2553) ได้พูดถึงความสำคัญไว้ว่า เป็นการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปใช้ได้จริง ความรู้ที่ได้เป็นความรู้ที่คงทน จำได้นาน เนื่องจากเป็นความรู้ที่เกิดจากการเรียนโดยการลงมือทำจริง (practice by doing) สอดคล้องกับ สถาพร พฤฑฒิกุล (2558) ที่ได้กล่าวว่า การเรียนรู้ตามแนว Constructivism ทำให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง ด้วยการลงมือปฏิบัติจริงผ่านสื่อหรือกิจกรรมการเรียนรู้ โดยการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากกระบวนการคิดขั้นสูง ดังนั้นควรจัดกิจกรรมและใช้สื่อที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมได้ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ครูผู้สอนจำเป็นต้องมีการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนที่สามารถพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งทางด้านความรู้และทักษะกระบวนการ เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ และจดจำการเรียนรู้นั้นได้นาน การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ จะเกิดประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อนักเรียนได้มีโอกาสทดลอง เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหลักการ กฎ และทฤษฎีต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำความรู้ที่ได้ไป

ปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ (อุบลวรรณ ไท้ทอง, 2554) เช่น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นปฏิบัติจริง สามารถพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการเปลี่ยนแปลงสารและการแยกสาร โดยเมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์หลังการจัดการเรียนรู้เน้นการปฏิบัติจริง (Hands-on) มีค่าเฉลี่ย 22.69 (SD 2.15) โดยเพิ่มจากผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนที่มีค่าเฉลี่ย 8.44 (SD 2.22) คิดเป็นคะแนนความก้าวหน้า 14.25 หรือร้อยละ 46.67 นอกจากนี้นักเรียนยังมีเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับสูง (mean 4.68, SD 0.50) และมีความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี (mean 3.75, SD 0.77) (ศักดิ์ศรี สุภาษร, 2554) สอดคล้องกับงานวิจัยของศศิธร ต้นสวรรค์ และกานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา (2554) ได้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการแยกสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติร่วมกับการสร้างผังกราฟิก ผลการวิจัยพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสติระดับความเชื่อมั่น .05 นักเรียนมีทักษะการทดลองคิดเป็นร้อยละ 82.83 และงานวิจัยของนัฐชยพชร คำนวณ (2551) พบว่าการเรียนจากการทำปฏิบัติการ เรื่องการแยกสาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 โดยมีค่าเฉลี่ยของความก้าวหน้าคิดเป็นร้อยละ 48.06

จาการการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และหลักการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนานักเรียนทางด้านความรู้และทักษะกระบวนการ พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้สามารถช่วยพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน เป็นกิจกรรมที่นักเรียนได้ปฏิบัติและเรียนรู้เพื่อพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ และความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการสำรวจตรวจสอบรวบรวมข้อมูล หรือหลักฐานต่าง ๆ มาใช้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือแก้ปัญหาในสิ่งที่นักเรียนต้องการหาคำตอบ (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2551) ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นเป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งสำหรับการจัดการเรียนการสอนเคมี (Supasorn, 2015) มุ่งเน้นให้นักเรียนตั้งคำถาม ตั้งสมมติฐาน ออกแบบ และทำการทดลองด้วยตัวเอง สร้างความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์โดยการเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับหลักฐานที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ และสร้างเป็นองค์ความรู้ขึ้นมา (ศักดิ์ศรี สุภาษร, 2554) โดยที่ครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวก สนับสนุน ชี้แนะ ช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอนเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนและมโนมติทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry approach) สามารถพัฒนาความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่สามารถเชื่อมโยงความรู้ของผู้เรียนที่มีมาก่อนกับสิ่ง

ใหม่ที่กำลังเรียนรู้ ตลอดจนพัฒนาให้มีทักษะความรู้ในขั้นที่สูงขึ้นที่ต่อเนื่องและสัมพันธ์กันได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ แบบ 5E (5E Inquiry process) จัดเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นคำอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมินผล (Evaluation) ตามลำดับ ซึ่งเป็นรูปแบบการสอนที่มีการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ค่อนข้างชัดเจน โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมและแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง โดยครูอำนวยความสะดวกเพื่อให้นักเรียนบรรลุเป้าหมาย ดังนั้นครูจึงต้องมีการพัฒนาการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนค้นพบตัวเองมากที่สุด (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2551) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2548) ได้จำแนกระดับของกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ (1) การสืบเสาะหาความรู้แบบยืนยัน (confirmed inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนเป็นผู้ตรวจสอบความรู้หรือแนวคิดเพื่อยืนยันความรู้หรือแนวคิดที่ถูกค้นพบมาแล้วโดยครูเป็นผู้กำหนดปัญหาและคำตอบ (2) การสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง (directed inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ครูเป็นผู้กำหนดปัญหา และสาธิตหรืออธิบายการสำรวจตรวจสอบแล้วให้ผู้เรียนปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบตามวิธีการที่กำหนด (3) การสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง (guided inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหาและครูเป็นผู้ชี้แนะแนวทางการสำรวจตรวจสอบ รวมทั้งให้คำปรึกษาหรือแนะนำให้ผู้เรียนปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบ และ (4) การสืบเสาะหาความรู้แบบเปิด (open inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนมีอิสระในการคิด กำหนดปัญหา ออกแบบ และปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวข้างต้น ถ้าครูสามารถกระตุ้นให้นักเรียนสนใจวิทยาศาสตร์โดยการจัดการเรียนการสอน สร้างสื่อการสอนที่ดี มีประสิทธิภาพให้มีอุปกรณ์ประกอบการเรียนให้เพียงพอที่ไม่ต้องใช้ทุนทรัพย์สูงมากนัก ด้วยกิจกรรมชุดทดลองอย่างง่าย (Hands-on) ที่ได้จากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันและมีอยู่ในท้องถิ่นตามบริบทของโรงเรียน จะส่งผลให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ไปพร้อมกับการลงมือปฏิบัติจริงควบคู่ไปกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้จะช่วยพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ทำให้เกิดการเชื่อมโยงความคิดจากการปฏิบัติการทดลองสู่ทฤษฎี หรือทฤษฎีสู่การปฏิบัติและมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนเพื่อหาคำอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้น จนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเองและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีสูงขึ้น และมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบนี้ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการออกแบบและสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียน โดยให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองจริงร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เพื่อส่งเสริมการเรียน ทักษะการทดลอง

ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้สูงขึ้น และมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนเรื่องกรด-เบส สามารถนำความรู้ที่เรียนไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี

1.2.2 เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

1.2.4 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.3.1.1 ประชากร คือนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 16 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 53 คน

1.3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 16 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 29 คน ชาย 12 คน หญิง 17 คน ในห้องเรียนมีทั้งเด็กกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน โดยมีผลการเรียนวิชาเคมี 2 คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 71.64 ที่เรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 โดยการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)

1.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1.3.2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่สร้างขึ้น

1.3.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ความเข้าใจของนักเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนรู้เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

1.3.3 เนื้อหาที่ใช้ในการทำวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหนังสือเรียนวิชาเคมีเพิ่มเติม เล่ม 3 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

1.3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559

1.3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ประกอบด้วย

1.3.5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

1.3.5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 3 แผน รวมเวลา 8 ชั่วโมง

2) แบบทดสอบวัดความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) จำนวน 15 ข้อ โดยแบบทดสอบตอบแบบ 3 ขั้น ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 (First tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ขั้นที่ 2 (Second tier) เหตุผลของคำตอบ แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก และขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ คือ 1) คาดเดา 2) ไม่มั่นใจอย่างมาก 3) ไม่มั่นใจ 4) มั่นใจ และ 5) มั่นใจอย่างมาก

3) แบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) ได้แก่ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง ทักษะการแปลความหมายข้อมูล และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ด้านการสอน 4 ข้อ และด้านกิจกรรมการทดลอง 8 ข้อ รวมทั้งหมด 12 ข้อ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ชุดทดลองที่สร้างขึ้นเองนี้ เหมาะสำหรับใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการสำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้และยังสามารถสร้างความเข้าใจเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ให้แก่นักเรียนได้เป็นอย่างดี

1.4.2 นักเรียนมีความเข้าใจ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส จากการลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ที่ถูกต้องเพิ่มขึ้น สามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีและการทดสอบ O-NET ให้เพิ่มสูงขึ้น

1.4.3 นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากการปฏิบัติการทดลองซ้ำๆหลายๆการทดลอง ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ส่งผลให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น

1.4.4 เป็นแนวทางสำหรับครูในการปรับปรุงกิจกรรมการสอนวิชาเคมีในหัวข้ออื่น ๆ หรือนำไปประยุกต์ใช้กับสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

1.4.5 นักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส จากกิจกรรมที่ได้ลงมือปฏิบัติส่งผลให้มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิชาเคมีมากขึ้น

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ หมายถึงชุดอุปกรณ์การทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วยกระบอกฉีดยา (ขนาด 10 มิลลิลิตร) ข้อต่อสามทาง ขวดแก้วขนาดเล็ก (ขนาด 30 มิลลิลิตร) ฝาปิดจุกยาง เหล็กเสียบกระดาษและคลิปหนีบกระดาษ โดยใช้ปริมาตรสารละลายให้น้อยลงอยู่ในระดับไมโคร แทนการใช้ชุดไทเทรตมาตรฐาน เพื่อให้นักเรียนได้ทำการทดลองในการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส

1.5.2 การจัดการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ หมายถึงการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามรูปแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry process) เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง โดยผ่านกระบวนการคิดและปฏิบัติและใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมืออยู่ในระดับของการสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง (Directed Inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง โดยครูเป็นผู้กำหนดปัญหา และสาธิตหรืออธิบายการสำรวจตรวจสอบ แล้วให้ผู้เรียนปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบตามวิธีการที่กำหนด โดยมีขั้นตอนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้สรุปไว้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างความสนใจ (engagement)

ขั้นที่ 2 การสำรวจและค้นหา (exploration)

ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป (explanation)

ขั้นที่ 4 การขยายความรู้ (elaboration)

ขั้นที่ 5 การประเมินผล (evaluation)

1.5.3 แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส หมายถึงแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก สามลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) เรื่องการไทเทรตกรด-เบสจำนวน 15 ข้อ แบบทดสอบประกอบด้วย 3 ขั้น คือ ขั้นที่ 1 (First tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ขั้นที่ 2 (Second tier) เหตุผลของคำตอบ แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก และขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ คือ 1) คาดเดา 2) ไม่มั่นใจอย่างมาก 3) ไม่มั่นใจ 4) มั่นใจ และ 5) มั่นใจอย่างมาก

1.5.4 ทักษะการทดลอง หมายถึงความสามารถในการปฏิบัติการเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้น กระบวนการในการทดลองประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึงความสามารถในการใช้กระบวนการต่าง ๆ ในการคิดค้นคว้าหาความรู้ และการแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับเวลา การใช้ตัวเลข การจัดกระทำและการสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็น การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง และการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งครอบคลุมถึงทักษะการทดลอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกล่าวโดยรวมว่าเป็นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1.5.5 ความพึงพอใจ หมายถึงระดับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการสอน และด้านกิจกรรมการทดลอง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัย เรื่องการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อส่งเสริมการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า รวบรวมเอกสาร แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางพื้นฐานในการทำวิจัย ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 หลักการหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism)

2.1.2 ปิรามิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid)

2.1.3 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

2.1.4 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.2 การทดลองเคมีแบบย่อส่วน (Small Scale Chemistry)

2.2.1 ความหมายของการทดลองเคมีแบบย่อส่วน

2.2.2 ข้อดีของการทดลองเคมีแบบย่อส่วน

2.3 แบบทดสอบวัดความเข้าใจตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic tests)

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism)

ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง หรือทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึม (Constructivism) เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของความรู้ของมนุษย์ มีความหมายทั้งในเชิงจิตวิทยาและเชิงสังคมวิทยา ทฤษฎีด้านจิตวิทยา เริ่มต้นจาก Jean Piaget ซึ่งเสนอว่าการเรียนรู้ของเด็กเป็นกระบวนการส่วนบุคคลมีความเป็นอัตนัย Vygotsky ได้ขยายขอบเขตการเรียนรู้ของแต่ละบุคคลว่าเกิดจากการสื่อสารทางภาษากับบุคคลอื่น สำหรับด้านสังคมวิทยา ทิศนา แขมมณี (2554) เชื่อว่าสภาพแวดล้อมทางสังคมมีผลต่อการเสริมสร้างความรู้ใหม่

จากแนวคิดพื้นฐานของทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Cognitive Construtivism และ Social Construtivism ดังนี้

(1) Cognitive Constructivism มีพื้นฐานมาจากแนวคิดของ Piaget แนวคิดของทฤษฎีนี้เน้นผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ โดยเป็นผู้สร้างความรู้ โดยการลงมือกระทำ Piaget เชื่อว่าถ้าผู้เรียนถูก

กระตุ้นด้วยปัญหาที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive conflict) หรือเรียกว่าเกิดการเสียสมดุลทางปัญญา (Disequilibrium) ผู้เรียนต้องพยายามปรับโครงสร้างทางปัญญา (Cognitive structuring) ให้เข้าสู่ภาวะสมดุล (Equilibrium) โดยวิธีการดูดซึม (Assimilation) ได้แก่การรับข้อมูลใหม่จากสิ่งแวดล้อมเข้าไปไว้ในโครงสร้างทางปัญญา และการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญา (Accomodation) คือการเชื่อมโยงโครงสร้างทางปัญญาเดิม หรือความรู้เดิมที่มีมาก่อนกับข้อมูลข่าวสารใหม่ จนกระทั่งผู้เรียนสามารถปรับโครงสร้างทางปัญญาเข้าสู่สภาพสมดุล หรือสามารถที่จะสร้างความรู้ใหม่ขึ้นมาได้ หรือเกิดการเรียนรู้นั่นเอง

(2) Social Constructivism เป็นทฤษฎีที่มีรากฐานมาจาก Vygotsky ซึ่งมีแนวคิดที่สำคัญที่ว่า “ปฏิสัมพันธ์ทางสังคม มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาด้านพุทธิปัญญา” รวมทั้งแนวคิดเกี่ยวกับศักยภาพในการพัฒนาด้านพุทธิปัญญาที่อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับช่วงของการพัฒนาที่รียกว่า Zone of Proximal Development ถ้าผู้เรียนอยู่ต่ำกว่า Zone of Proximal Development จำเป็นที่จะต้องได้รับการช่วยเหลือในการเรียนรู้ที่เรียกว่า Scaffolding และ Vygotsky เชื่อว่าผู้เรียนสร้างความรู้โดยผ่านทางการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้อื่น ได้แก่เด็ก กับ ผู้ใหญ่ พ่อแม่ ครู และเพื่อนในขณะที่เด็กอยู่ในบริบทของสังคมและวัฒนธรรม

2.1.1.1 คุณลักษณะร่วมของทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม

แม้ว่านักจิตวิทยา Cognitive Constructivism และ Social Constructivism จะมีความเห็นแตกต่างกันในเรื่องการอธิบายว่าผู้เรียนสร้างความรู้ได้อย่างไร ทุกคนต่างเห็นร่วมกันในคุณลักษณะของทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม ดังต่อไปนี้

(1) ผู้เรียนสร้างความเข้าใจในสิ่งที่เรียนรู้ด้วยตนเอง

(2) การเรียนรู้สิ่งใหม่ขึ้นกับความรู้เดิมและความเข้าใจที่มีอยู่ในปัจจุบัน

(3) การมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีความสำคัญต่อการเรียนรู้

(4) การจัดสิ่งแวดล้อม กิจกรรมที่คล้ายคลึงกับชีวิตจริงทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (สุรางค์ โค้วตระกูล, 2552)

ภิญญาพัชน์ ปลากัดทอง (2551) ได้กล่าวถึงคอนสตรัคติวิซึม ว่านักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ หรือความหมายของสิ่งที่รับรู้ขึ้นมาด้วยตนเองโดยนักเรียนแต่ละคนอาจสร้างความหมายของสิ่งที่รับรู้แตกต่างกันตามความรู้เดิมของแต่ละคน การสร้างความรู้ของนักเรียนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเกี่ยวข้องกับกระบวนการอื่น ๆ อย่างน้อย 3 กระบวนการ คือกระบวนการกำกับตนเอง กระบวนการทางสังคม และกระบวนการสืบสอบ

Nomnian (2010) ได้กล่าวถึงแนวคิดในการจัดการเรียนการสอนตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึมว่ามีความหลากหลายสามารถประมวลได้ดังนี้

(1) กระตุ้นให้นักเรียนใช้มุมมองที่หลากหลายในการนำเสนอความหมายของมโนทัศน์

(2) นักเรียนเป็นผู้กำหนดเป้าหมายและจุดมุ่งหมายการเรียนของตนเองหรือจุดมุ่งหมายของกาการเรียนการสอนเกิดจากการเจรจาต่อรองระหว่างนักเรียนกับครู

(3) ครูแสดงบทบาทเป็นผู้ชี้แนะ ผู้กำกับ ผู้ฝึกฝน ผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนของนักเรียน

(4) จัดบริบทของการเรียน เช่น กิจกรรม โอกาส เครื่องมือ สภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมวิธีการคิดและการกำกับเกี่ยวกับการรับรู้ของตนเอง

(5) นักเรียนมีบทบาทสำคัญในการสร้างความรู้และกำกับการเรียนรู้ของตนเอง

(6) จัดสถานการณ์การเรียน สภาพแวดล้อม ทักษะ เนื้อหา และงานที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนตามสภาพที่เป็นจริง

(7) ใช้ข้อมูลจากแหล่งปฐมภูมิเพื่อยืนยันตามสภาพการณ์ที่เป็นจริง

(8) เสริมสร้างความรู้ด้วยตนเองด้วยการเจรจาต่อรองทางสังคมและการเรียนรู้ร่วมกัน

(9) พิจารณาความรู้เดิม ความเชื่อ ทัศนคติของนักเรียนประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

(10) ส่งเสริมการแก้ปัญหา ทักษะการคิดระดับสูง และความเข้าใจเรื่องงที่เรียนอย่างลึกซึ้ง

(11) นำความผิดพลาด ความเชื่อที่ไม่ถูกต้องของนักเรียนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้

(12) ส่งเสริมให้นักเรียนค้นหาความรู้อย่างอิสระ วางแผน และการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการเรียนรู้ของตนเอง

(13) ให้นักเรียนได้เรียนรู้งานที่ซับซ้อน ทักษะ และความรู้ที่จำเป็นจากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง

(14) ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ของเรื่องที่เรียน

(15) อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ของนักเรียนโดยให้คำแนะนำ หรือให้ทำงานร่วมกับผู้อื่น

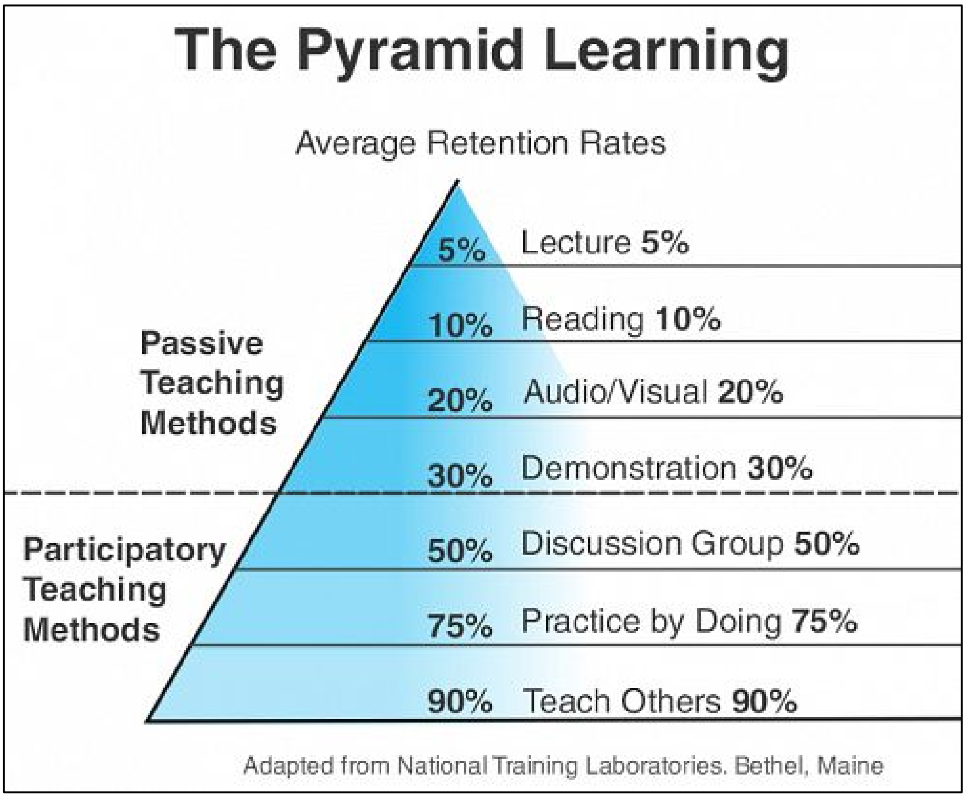
(16) วัดผลการเรียนรู้ของนักเรียนตามสภาพที่เป็นจริงขณะดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน

จากแนวความคิดคอนสตรัคติวิซึม ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า Constructivism เป็นปรัชญาการศึกษาที่ตั้งอยู่บนฐานความเชื่อที่ว่าผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งความรู้นี้จะฝังติดอยู่กับคนสร้าง ดังนั้นความรู้ของแต่ละคนเป็นความรู้เฉพาะตัวเป็นสิ่งที่ตนสร้างขึ้นเองเท่านั้น โดยนักเรียนจะเป็นผู้กำหนดหรือมีส่วนร่วมในการกำหนดสิ่งที่จะเรียนและวิธีการเรียนของตนเอง และเป็นผู้ตัดสินว่าตนเองจะได้เรียนรู้อะไร เรียนรู้อย่างไรและพัฒนาการเรียนรู้ของตนเองอย่างไร สามารถนำสิ่งที่เรียนรู้ไปใช้ในบริบทอื่นได้อย่างเหมาะสม เรียนรู้จากการปฏิบัติมีอิสระในการคิดและทำสิ่งต่าง ๆ เกี่ยวกับเรื่องที่เรียนด้วยตนเอง และเรียนรู้บรรยากาศการเรียนที่มีการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน

2.1.2 ปิรามิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid)

ปิรามิดแห่งการเรียนรู้ คือแผนภาพการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการเรียนการสอนในระดับต่าง ๆ เป็นสัดส่วนจากส่วนยอดของสามเหลี่ยมลงมาถึงฐานเพื่อแสดงถึงกิจกรรมที่มีประสิทธิผลต่อการเรียนรู้

งานวิจัยเกี่ยวกับปิรามิดการเรียนรู้พัฒนาและใช้โดยห้องปฏิบัติการการฝึกอบรมแห่งชาติ (National Teaching Laboratory Institute) หรือ NTL เมืองบีเธล รัฐเมน ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นองค์การหนึ่งของ The National Education Association’s Adult Education Division แผนภาพปิรามิดการเรียนรู้ แสดงถึงอัตราเฉลี่ยความคงทนการเรียนรู้ที่ได้จากการใช้วิธีการสอนที่แตกต่างกัน เรียงลำดับจากส่วนยอดมายังฐานล่าง คือการบรรยาย การอ่าน การใช้สื่อโสต การสาธิต การอภิปรายกลุ่ม การให้ปฏิบัติการสอนคนอื่นและการนำไปใช้ในทันที



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงปิรามิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid)

จากแผนภาพจะเห็นได้ว่า วิธีการบรรยาย ซึ่งอยู่ที่ส่วนยอดของปิรามิดเกิดสัมฤทธิ์ผลของอัตราเฉลี่ยความคงทนร้อยละ 5 และที่ฐานล่างของปิรามิด แสดงให้เห็นว่าวิธีที่จัดให้มีการสอนคนอื่นหรือนำสิ่งที่รู้ไปใช้ในทันทีเกิดสัมฤทธิผลของอัตราเฉลี่ยความคงทนร้อยละ 90 อธิบายได้ดังนี้

Lecture ร้อยละ 5 การเรียนแบบนั่งฟังบรรยายนั้นพบว่าผลที่ได้รับนั้นน้อยกว่าร้อยละ 10 มันเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและก็ได้ผลที่น้อยที่สุดเช่นกัน การเรียนแบบนี้คนเรามักจะลืมไปมันไปในไม่ช้า

Reading ร้อยละ 10 การเรียนโดยการอ่านนั้นจะได้ผลอยู่ประมาณร้อยละ 10 ช่วยให้รู้และเข้าใจในตอนที่อ่านเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าไม่ทบทวน มันก็สามารถถูกลืมไปได้ในที่สุด และไม่สามารถจำได้ทั้งหมด

Audio and Visual ร้อยละ 20 การเรียนที่ได้ผลเพิ่มมากขึ้นมาคือการเรียนแบบการฟังและดูวิดีทัศน์ การฟังเสียง ดูรูปภาพ หรือวิดีโอมันทำให้สมองเราได้เห็นและคิดตาม และจดจำสิ่งที่เรียนได้ดีขึ้น

Demonstration ร้อยละ 30 การเรียนแบบเห็นตัวอย่างจริงนั้นเป็นการเรียนที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมาถึงร้อยละ 30 เช่น การสาธิตให้ดูของอาจารย์ผู้สอน หรือการที่คุณไปยืนดูแม่ค้ากำลังทำอาหารอยู่

Discussion Group ร้อยละ 50 การเรียนที่ได้ผลเพิ่มขึ้นมาคือการเรียนแบบพูดคุยและแบ่งปันความคิดเห็น มันได้ผลมากถึงร้อยละ 50 เลยทีเดียว เช่นการเรียนเป็นกลุ่ม

Practice by doing ร้อยละ 75 ถ้าจะให้ดีที่สุดคงหนีไม่พ้นการปฏิบัติลงมือทำจริง การเรียนเช่นนี้ทำให้ผู้เรียนได้ลองทำจริง มันได้ผลมากถึงร้อยละ 75 มันทำให้คุณได้เจอปัญหา และเข้าใจในสิ่งที่ทำมากขึ้น และมันก็ทำให้เรียนรู้ได้มากที่สุดแล้ว

Teach others ร้อยละ 90 สุดท้ายคือการสอนคนอื่น หลังจากที่ได้เรียนมาจากวิธีต่าง ๆ ทั้งหมดแล้ว สามารถใช้ความรู้ที่มีไปสอนคนอื่น ๆ ได้นั่นหมายถึงได้เรียนรู้สิ่งนั้นมากถึงร้อยละ 90 และยากที่จะลืม

ปิรามิดการเรียนรู้จึงมีประโยชน์ในการช่วยให้ครูและนักการศึกษาได้เข้าใจการเรียนการสอนของตนเองและขยายความเข้าใจในวิธีการสอนแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนช่วยสะท้อนถึงการปฏิบัติและความหลากหลายของกิจกรรมที่ควรนำมาใช้ในการเรียนการสอน อีกทั้งยังทำให้เห็นศักยภาพของกิจกรรมต่าง ๆ ในการสอนและความเป็นไปได้ในการเลือกกิจกรรมที่ผู้เรียนมีส่วนร่วมเพิ่มมากขึ้น ปิรามิดการเรียนรู้ยังเป็นประเด็นที่นำมาใช้ในการแลกเปลี่ยนถึงคุณค่า จุดมุ่งหมายและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรวมถึงการนำไปปฏิบัติและศึกษาเพิ่มเติม

2.1.3 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Method)

2.1.3.1 ความหมายของการสืบเสาะหาความรู้

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึม (Constructivism) เป็นกระบวนการที่นักเรียนจะต้องสืบค้นเสาะหา สำรวจตรวจสอบ และค้นคว้าด้วยวิธีการต่าง ๆ จนทำให้สามารถสร้างองค์ความรู้ของนักเรียนเอง และเก็บเป็นข้อมูลไว้ในสมองได้อย่างคงทน สามารถนำมาใช้ได้เมื่อมีสถานการณ์ใด ๆ มาเผชิญหน้า ดังนั้นการที่นักเรียนจะสร้างองค์ความรู้ได้ ต้องผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Process) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2549) มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ดังนี้

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) ได้ให้ความหมายว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นการสอนที่เน้นกระบวนการแสวงหาความรู้ที่จะช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบความจริงต่าง ๆ ด้วยตนเองให้นักเรียนได้มีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้เนื้อหาวิชาครูวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ศึกษาโครงสร้างของกระบวนการสอนการจัดลำดับเนื้อหาโดยครูทำหน้าที่คล้ายผู้ช่วยและนักเรียนทำหน้าที่คล้ายผู้จัดการวางแผนการเรียนนักเรียนเป็นผู้เริ่มต้นในการจัดการเรียนการสอนด้วยตัวเองมีความกระตือรือร้นที่จะศึกษาหาความรู้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการทำงานของนักวิทยาศาสตร์และเปลี่ยนแนวความคิดจากการที่เป็นผู้รับความรู้มาเป็นผู้แสวงหาความรู้และใช้ความรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2548) การเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นรูปแบบหนึ่งของการเรียนรู้ที่นำมาใช้ได้ผลในวิชาวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และมีความรู้ในคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น มีทักษะในการคิดวิเคราะห์ มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ คุ้นเคยกับกระบวนการหาความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ เข้าใจว่านักวิทยาศาสตร์ค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างไรและประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์สู่ประเด็นทางสังคมและประเด็นเกี่ยวกับบุคคลได้ ซึ่งจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ ที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมิน (Evaluation)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2549) ได้กล่าวถึงความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามที่ NSES และ AAAS นิยามไว้ ดังนี้

(1) NSES (National Science Education Standards) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ว่าเป็นกิจกรรมที่หลากหลายเกี่ยวกับการสังเกต การถามคำถาม การสำรวจตรวจสอบจากเอกสารและแหล่งความรู้อื่น ๆ การวางแผนการสำรวจตรวจสอบการทดสอบตรวจสอบหลักฐานเพื่อเป็นการยืนยันความรู้ที่ได้ค้นพบมาแล้ว การใช้เครื่องมือในการรวบรวม การวิเคราะห์ และการแปลความหมายข้อมูล การนำเสนอผลงาน การอธิบายและการคาดคะเน และการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเกี่ยวกับผลงานที่ได้

(2) AAAS (American Association for the Advancement of Science) ได้ให้ความหมายการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ว่า เริ่มต้นด้วยคำถามเกี่ยวกับธรรมชาติพร้อมทั้งกระตุ้นนักเรียนให้ตื่นเต้นสงสัยใคร่รู้ให้นักเรียนตั้งใจรวบรวมข้อมูลและหลักฐาน ครูเตรียมข้อมูลเอกสารความรู้ต่าง ๆ ที่มีคนศึกษาค้นคว้ามาแล้ว เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่ หรือเพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนลึกซึ้งขึ้นให้นักเรียนอธิบายให้ชัดเจน ไม่เน้นความจำเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการ และใช้กระบวนการกลุ่ม

ชาตรี ฝ่ายคำตา (2551) กล่าวว่ากระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หรือกิจกรรมหรือวิธีการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ปฏิบัติและเรียนรู้เพื่อพัฒนาความรู้วิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ และความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ โดยกิจกรรมการเรียนรู้นั้นสะท้อนถึงการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ สิ่งสำคัญของการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ก็คือการให้โอกาสนักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสำรวจตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลหรือหลักฐานต่าง ๆ มาใช้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือแก้ปัญหา

เจริญสุข คงชาติ (2552) ได้อธิบายเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ว่ามีความหมายดังนี้ คือ

(1) การสอนวิทยาศาสตร์ในฐานะที่เป็นแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นเนื้อหาส่วนหนึ่งที่รวมอยู่ในวิทยาศาสตร์ ในการจัดการให้เกิดการเรียนรู้ เนื้อหาบางอย่าง โดยการกระตุ้นให้นักเรียนมีความอยากรู้อยากเห็น และเสาะแสวงหาความรู้โดยการถาม และพยายามค้นหาคำตอบให้พบโดยตนเอง

(2) การสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้เทคนิคการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นวิธีการเรียนโดยการแก้ปัญหาในกิจกรรมการเรียนที่จัดขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ใหม่ ๆ ที่นักเรียนเผชิญในแต่ละครั้งจะเป็นตัวกระตุ้น การคิดด้วยการสังเกตอย่างถี่ถ้วนเป็นระบบออกแบบการวัดที่ต้องการแยกแยะสิ่งที่สังเกตกับสิ่งที่สรุปพาดพิงอย่างชัดเจน ประดิษฐ์คิดค้น ตีความหมายภายใต้สถานการณ์แวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด การใช้วิธีการอย่างฉลาด สามารถทดสอบได้และสรุปอย่างมีเหตุผล

ทิศนา แขมมณี (2554) ได้ให้ความหมายของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ว่าเป็นการจัดการเรียนการสอนโดยครูกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดคำถาม เกิดความคิด และลงมือเสาะแสวงหาความรู้ เพื่อนำมาประมวลหาคำตอบหรือข้อสรุปด้วยตนเองโดยที่ครูคอยช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน เช่น ในด้านการสืบค้นหาแหล่งความรู้ การศึกษาข้อมูล การวิเคราะห์ การสรุปข้อมูล การอภิปรายโต้แย้งทางวิชาการ และการทำงานร่วมกับผู้อื่น เป็นต้น

จากความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นวิธีการสอนรูปแบบหนึ่งให้เกิดการเรียนรู้เนื้อหาบางอย่างของวิชาวิทยาศาสตร์ โดยการกระตุ้นให้นักเรียนมีความอยากรู้อยากเห็นและเสาะแสวงหาความรู้โดยการถามคำถามและพยายามให้ผู้เรียนรู้จักศึกษาค้นคว้าหาความรู้และแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง จนสามารถสรุปองค์ความรู้ที่ได้อย่างมีเหตุผลโดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ จากการสังเกต ตั้งคำถาม สำรวจตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลหรือหลักฐานต่าง ๆ ปฏิบัติลงมือทำด้วยตนเอง โดยมีครูเป็นผู้แนะนำและอำนวยความสะดวกจัดบรรยากาศการสอนให้เอื้อต่อการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนบรรลุเป้าหมายในการเรียนรู้

2.1.3.2 ประเภทของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2548) ได้แบ่งระดับหรือประเภทของการสืบเสาะหาความรู้เป็น 4 ระดับ (Level of Inquiry) ดังนี้

1) การสืบเสาะหาความรู้แบบยืนยัน (Confirmed Inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนเป็นผู้ตรวจสอบความรู้หรือแนวคิด เพื่อยืนยันความรู้หรือแนวคิดที่ถูกค้นพบมาแล้ว โดยครูเป็นผู้กำหนดปัญหาและคำตอบ หรือองค์ความรู้ที่คาดหวังให้ผู้เรียนค้นพบ และให้ผู้เรียนทำกิจกรรมที่กำหนดในหนังสือหรือใบงาน หรือตามที่ครูบรรยายบอกกล่าว

2) การสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง (Directed Inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเองโดยครูเป็นผู้กำหนดปัญหา และสาธิตหรืออธิบายการสำรวจตรวจสอบแล้วให้ผู้เรียนปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบตามวิธีการที่กำหนด

3) การสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง (Guided Inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง โดยผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหา และครูเป็นผู้ชี้แนะแนวทางการสำรวจตรวจสอบ รวมทั้งให้คำปรึกษาหรือแนะนำให้ผู้เรียนปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบ

4) การสืบเสาะหาความรู้แบบเปิด (Open Inquiry) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง โดยให้ผู้เรียนมีอิสระในการคิดเป็นผู้กำหนดปัญหาออกแบบ และปฏิบัติการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง

2.1.3.3 ขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2549) เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบหลักสูตรและการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้อธิบายขั้นตอนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนเป็นการจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่กระตุ้น ยั่วยุ ให้ผู้เรียนเกิดความสงสัย ใคร่รู้ อยากรู้อยากเห็นแล้วเกิดปัญหาหรือประเด็นที่จะศึกษาซึ่งผู้เรียนจะต้องสำรวจตรวจสอบต่อไปด้วยตัวของผู้เรียนเอง

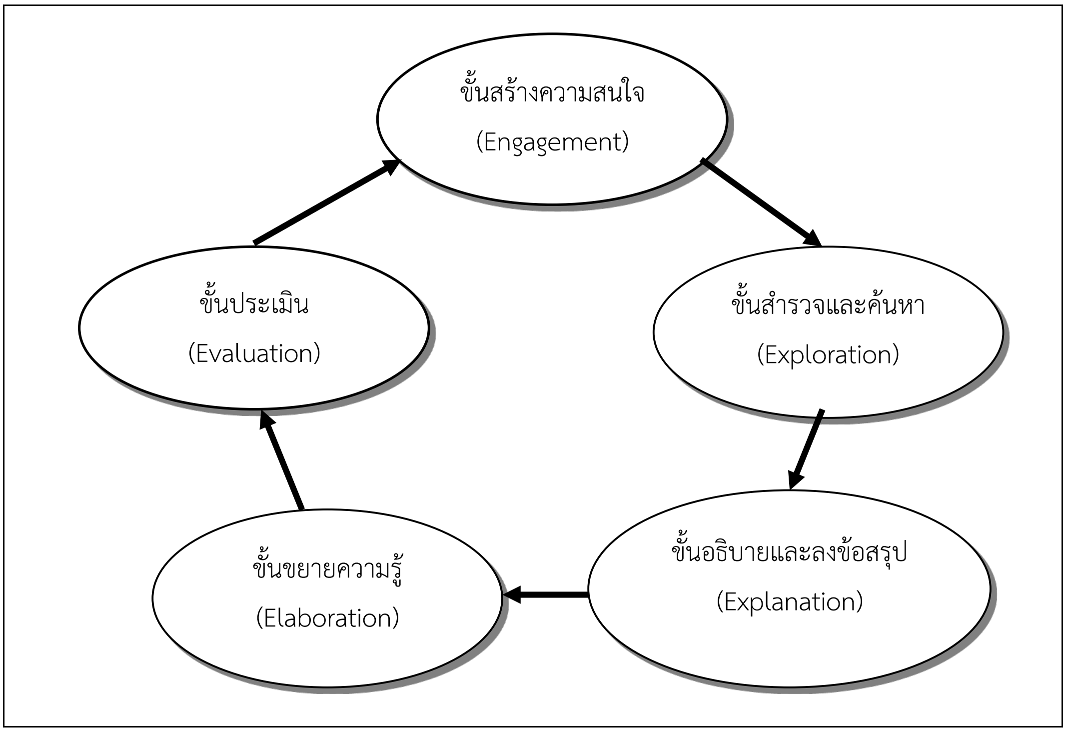
2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ผู้เรียนมีประสบการณ์ร่วมกันเป็นกลุ่มในการสร้างองค์ความรู้ใหม่โดยการวางแผนกำหนดการสำรวจตรวจสอบและลงมือปฏิบัติในการสำรวจตรวจสอบปัญหาหรือประเด็นที่ผู้เรียนสนใจใคร่รู้ครูมีหน้าที่ส่งเสริมกระตุ้น ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนดำเนินการสำรวจตรวจสอบเป็นไปด้วยดี

3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้ใหม่ร่วมกันทั้งชั้นเรียน โดยนำเสนอองค์ความรู้ที่ได้จากการสำรวจ ตรวจสอบ พร้อมทั้งวิเคราะห์ อธิบายและเปิดโอกาสให้มีการอภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้หรือโต้แย้งในองค์ความรู้ใหม่ที่ได้สร้างสรรค์ มีการอ้างอิงหลักฐาน ทฤษฎี หลักการ กฎเกณฑ์ หรือองค์ความรู้เดิม แล้วลงข้อสรุปอย่างสมเหตุสมผล

4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้เรียนได้เพิ่มเติมหรือเติมเต็มองค์ความรู้ใหม่ให้กว้างขวางสมบูรณ์ กระจ่างและลึกซึ้งยิ่งขึ้นโดยการอธิบายยกตัวอย่าง อภิปรายซักถามแลกเปลี่ยนรู้ และเชื่อมโยงความรู้เดิมสู่องค์ความรู้ใหม่อย่างเป็นระบบนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องอื่น ๆ หรือในชีวิตประจำวัน หรือผู้เรียนอาจจะเกิดปัญหาสงสัย ใคร่รู้ นำไปสู่การศึกษาค้นคว้า

5) ขั้นประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นตอนนี้ที่ให้ผู้เรียนได้ประเมินกระบวนการ สำรวจตรวจสอบและผลการตรวจสอบ หรือองค์ความรู้ใหม่ของตนเองและของเพื่อนร่วมชั้นเรียน โดยการวิเคราะห์ วิจารณ์ อภิปรายซักถามแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ซึ่งกันและกันในเชิงเปรียบเทียบ ประเมินจุดดี หรือจุดด้อย ปรับปรุง หรือ ทบทวนใหม่ และให้ครูได้ประเมินกระบวนการสร้างองค์ความรู้ใหม่ของผู้เรียนเน้นการประเมินตามสภาพจริงในระหว่างการจัดการเรียนรู้ เพื่อปรับปรุงพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน

เมื่อผู้เรียนเกิดปัญหา สงสัยใคร่รู้ นำไปสู่การศึกษาค้นคว้า ทดลอง หรือสำรวจตรวจสอบต่อไปจะทำให้เกิดกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ที่ต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ เรียกว่า วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry cycle) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546)

ชาตรี ฝ่ายคำตา (2551) ได้ให้ข้อแนะนำเกี่ยวกับบทบาทของครูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในการปฏิบัติกิจกรรมแต่ละขั้นตอน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พฤติกรรมของนักเรียนและบทบาทของครูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้	พฤติกรรมของนักเรียน	บทบาทของครู
1.ขั้นสร้างความสนใจ	ถามคำถาม เช่น ทำไมถึงเกิดเช่นนี้ อะไรที่ฉันรู้แล้วบ้างเกี่ยวกับเรื่องนี้ ข้อมูลอะไรที่ฉันสามารถหาเพื่อศึกษาเรื่องนี้จะมีวิธีการแก้ปัญหาเรื่องนี้อย่างไร	1. สร้างความสนใจ 2. สร้างความอยากรู้ อยากเห็น 3. ตั้งคำถามหรือปัญหา 4. ตรวจสอบหรือหาความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับ แนวคิดหรือหัวข้อที่กำลังจะ สอน
2.ขั้นสำรวจและค้นหา	1. คิดอย่างสร้างสรรค์ภายใต้กิจกรรมที่กำหนด 2. ทดสอบการทำนายและสมมติฐาน 3. ตั้งการทำนายและสมมติฐานใหม่ 4. หาวิธีการแก้ปัญหาและอภิปรายเกี่ยวกับวิธีการนั้นกับเพื่อนร่วมชั้น 5. บันทึกสิ่งที่สังเกตได้ 6. ตรวจสอบแนวคิดของตน	1. สนับสนุนให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม 2. สังเกตและฟังขณะนักเรียนทำงานและมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมชั้น 3. ถามคำถามเพื่อชี้ประเด็นให้นักเรียนรู้ทิศทางว่าเขากำลังตรวจสอบอะไร 4. ให้เวลากับนักเรียนในการสำรวจตรวจสอบเป็นที่ปรึกษา
3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป	1. อธิบายคำตอบที่เป็นไปให้แก่เพื่อนร่วมชั้น 2. ฟังการอธิบายของเพื่อนกลุ่มอื่นอย่างพินิจพิเคราะห์ 3. ถามคำถามเกี่ยวกับการอธิบายของผู้อื่น 4. ฟังและพยายามทำความเข้าใจจากการอธิบาย 5 เชื่อมโยงกับกิจกรรมที่ผ่านมา ใช้ข้อมูลที่บันทึกจากการสังเกตในการอธิบาย	1. สนับสนุนให้นักเรียนอธิบายแนวคิดและนิยาม ตามความเข้าใจของนักเรียนเอง 2. ถามนักเรียนเพื่อให้นักเรียนแสดงหลักฐาน และสร้างความกระจ่างกับสิ่งที่สำรวจหรือค้นหา 3. เตรียมคำนิยาม คำอธิบาย และคำศัพท์ใหม่ 4. ใช้ประสบการณ์เดิมของนักเรียนในการอธิบายแนวคิด

ตารางที่ 2.1 พฤติกรรมของนักเรียนและบทบาทของครูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (ต่อ)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้	พฤติกรรมของนักเรียน	บทบาทของครู
4. ขั้นขยายความรู้	1. การประยุกต์หรือขยายแนวคิด กระบวนการหรือทักษะของตน 2. นำความรู้เดิมหรือแนวคิดที่ได้ค้นพบเพิ่มเติมไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ 3. เรียนรู้แบบร่วมมือ 4. ร่วมอภิปรายเป็นกลุ่ม 5. แสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนแนวคิดที่ตนเข้าใจกับผู้อื่น 6. รับข้อมูลป้อนกลับจากเพื่อนร่วมชั้น 7. เผชิญกับสถานการณ์หรือปัญหา ใหม่	1. กระตุ้นนักเรียนให้แสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนความคิดของตน 2. ให้ข้อมูลป้อนกลับ 3. จัดเตรียมประสบการณ์ หรือสถานการณ์หรือปัญหาใหม่
5. ขั้นประเมิน	1. ประเมินการพัฒนาความเข้าใจของตนเองว่าได้เรียนรู้อะไรบ้าง และเรียนรู้อย่างไร 2. เปรียบเทียบความรู้เดิมและแนวคิด ที่ได้ค้นพบเพิ่มเติม 3. ทำแบบวัดและประเมินพัฒนาการเรียนรู้ของตน	1. กระตุ้นให้นักเรียนประเมินความเข้าใจของตน 2. วัดและประเมินพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน 3. ใช้เครื่องมือหรือแบบทดสอบการเรียนรู้ของนักเรียน

ที่มา: ชาตรี ฝ่ายคำตา (2551)

จากการศึกษาขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ สามารถสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นสร้างความสนใจ (2) ขั้นสำรวจและค้นหา (3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (4) ขั้นขยายความรู้ และ (5) ขั้นประเมิน ซึ่งเป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ตลอดเวลา ให้โอกาสแก่ผู้เรียน ได้ฝึกคิด ฝึกสังเกต ฝึกนำเสนอ ฝึกวิเคราะห์วิจารณ์ ฝึกสร้างองค์ความรู้ โดยครูควรจัดกิจกรรมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ได้ฝึกทักษะทางด้านต่าง ๆ จากขั้นสร้างความสนใจ กระตุ้นให้

นักเรียนเกิดความสนใจในการเรียนรู้โดยการถามคำถาม หรือกำหนดสถานการณ์ เป็นกิจกรรมที่เชื่อมโยงในสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้มาแล้วและสิ่งที่กำลังจะเรียนต่อไป ในขั้นสำรวจและค้นหา นักเรียนสำรวจตรวจสอบและค้นหาแนวคิดของตนโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อรวบรวมข้อมูลในการตอบปัญหาขั้นอธิบายและลงข้อสรุป นักเรียนอธิบายสิ่งที่ได้เรียนรู้ด้วยตนเอง จากการสำรวจตรวจสอบ ร่วมกันวิเคราะห์ หาความสัมพันธ์ของข้อมูล แปลความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ในขั้นขยายความรู้นักเรียนเชื่อมโยงการอธิบายของนักเรียนกับความรู้อื่น ๆ และเปรียบเทียบกับความรู้วิทยาศาสตร์และนักเรียนจะได้พัฒนาความรู้ความเข้าใจที่กว้างขึ้นจากประสบการณ์ใหม่ และขั้นประเมินผล ครูผู้สอนประเมินผลนักเรียนในทุกขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และนอกจากนี้นักเรียนก็มีส่วนร่วมในการประเมินความเข้าใจของตัวเองได้ด้วย

2.1.3.4 ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

นักการศึกษาหลายท่านได้อธิบายข้อดีและข้อจำกัดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่ผู้สอนควรรู้ เพื่อจะได้นำไปปรับให้เหมาะกับสถานการณ์จึงสรุปไว้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

ข้อดี	ข้อจำกัด
บัญญัติ ชำนาญกิจ (2550) 1. นักเรียนได้มีโอกาสพัฒนาความคิดอย่างเต็มที่ 2. มีแรงจูงใจที่กระหายอยากรู้อยากเรียนอยู่ตลอดเวลา 3. ได้ฝึกการคิดและการกระทำ ทำให้ได้เรียนรู้วิธีจัดระบบความคิดและวิธีแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง 4. ทำให้การเรียนรู้เกิดความคงทนและสามารถถ่ายโยงการเรียนรู้ได้ 5. นักเรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนการสอน 6. นักเรียนจะมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ 7. นักเรียนจะเรียนรู้มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ได้เร็วขึ้นกว่าเดิม	บัญญัติ ชำนาญกิจ (2550) 1. นักเรียนที่ต้องการแรงกระตุ้นให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนมาก ๆ อาจจะพอตอบคำถามได้ แต่นักเรียนจะไม่ประสบความสำเร็จในการเรียนด้วยวิธีนี้เท่าที่ควร 2. โอกาสที่จะทำให้ใช้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้อยู่เสมอ ๆ ทำให้ความสนใจศึกษาค้นคว้าลดลง

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (ต่อ)

ข้อดี	ข้อจำกัด
ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) 1. นักเรียนมีโอกาสได้พัฒนาความคิดอย่างเต็มที่ ได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองจึงมีความอยากรู้อยากเรียนตลอดเวลา 2. นักเรียนมีโอกาสฝึกความคิดและฝึกการกระทำ ทำให้ได้เรียนรู้วิธีจัดระบบความคิดและวิธีเสาะแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง ทำให้ความรู้คงทนและถ่ายโยงการเรียนรู้ได้ 3. นักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนการสอน ทำให้การเรียนมีความหมาย เป็นการเรียนที่มีชีวิตชีวา 4. นักเรียนสามารถเรียนรู้มโนมติและหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้เร็วขึ้น 5. นักเรียนจะเป็นผู้มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์	วิทวัฒน์ ขัตติยะมาน และ อมลวรรณ วีระธรรมโม (2549) 1. ใช้เวลามากในการสอนแต่ละครั้ง 2. ถ้าสถานการณ์ที่ครูสร้างขึ้นไม่ทำให้สงสัยแปลกใจ จะทำให้นักเรียนเบื่อหน่าย และถ้าครูไม่เข้าใจบทบาทหน้าที่ของการสอนวิธีนี้ มุ่งควบคุมพฤติกรรมของนักเรียนมากเกินไปจะทำให้นักเรียนไม่มีโอกาสสืบเสาะความรู้ด้วยตนเอง 3. นักเรียนที่มีสติปัญญาต่ำ และเนื้อหาวิชาที่ค่อนข้างยาก นักเรียนอาจจะไม่สามารถศึกษาหาความรู้ได้ด้วยตนเอง 4. นักเรียนบางคนที่ยังไม่เป็นผู้ใหญ่พอ ทำให้ขาดแรงจูงใจที่จะศึกษาปัญหา
Joyce และ Weil (1986) 1. เป็นวิธีที่ยั่วยุให้นักเรียนต้องการเรียนรู้ด้วยตนเอง 2. เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และส่งเสริมประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีคุณค่าให้กับนักเรียน 3. เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนฝึกให้รู้จักการทำงานเป็นกลุ่มตามระบบประชาธิปไตย	

จากที่กล่าวมาข้างต้น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดหลากหลาย สามารถสรุปได้ดังนี้ ข้อดีคือ ช่วยเพิ่มโอกาสการเรียนรู้ด้วยตนเองของผู้เรียน พัฒนาศักยภาพด้านปัญญา ความคิดอย่างเต็มที่ ได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ได้ลงมือปฏิบัติ มีประสบการณ์ตรง ฝึกทักษะการแก้ปัญหา ทำให้นักเรียนค้นพบและสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวเอง ส่วนข้อจำกัด คือใช้เวลามาก ครูต้องมีความสามารถในการสร้างสถานการณ์ให้มีความน่าสนใจเพื่อกระตุ้นผู้เรียนให้อยากเรียนรู้ ต้องเลือกเนื้อหาให้เหมาะสมกับวิธีสืบเสาะหาความรู้ และเหมาะสมกับระดับสติปัญญาของผู้เรียนเพื่อไม่ให้เกิดความเบื่อหน่ายซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนไม่ประสบความสำเร็จในการเรียน ดังนั้นครูควรเลือกวิธีการสอนให้เหมาะสมกับนักเรียนและเนื้อหาที่สอนในแต่ละครั้งด้วย

2.1.4 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.1.4.1 ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

นักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังต่อไปนี้

วรรณทิพา รอดแรงค้า (2540) กล่าวว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับเวลา การใช้ตัวเลข การจัดกระทำและการสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็น การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง และการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุปอย่างคล่องแคล่ว ถูกต้องและแม่นยำ

พันธ์ เดชะคุปต์ (2544) ให้ความหมายว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คือ ความชำนาญและความสามารถในการใช้การคิดและกระบวนการคิดเพื่อค้นหาความรู้รวมทั้งการแก้ปัญหา

ยุพา วีระไวทยะ และปรีชา นพคุณ (2544) ได้กล่าวไว้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึงความสามารถที่เกิดจากการปฏิบัติและฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบในการเสาะแสวงหาความรู้หรือแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์

ประดับ จรตระการ (2547) สรุปความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ไว้ว่าหมายถึงการแสดงความสามารถของนักเรียนในการแสดงการคิดการปฏิบัติ อย่างมีเหตุผลมีระบบโดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสะสมอยู่ในตัวนักเรียนและสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและแสวงหาความรู้ได้

จากความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ข้างต้น กล่าวโดยสรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการต่าง ๆ ในการคิดค้นคว้าหาความรู้ และการแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท

การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับเวลา การใช้ตัวเลข การจัดกระทำและการสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็น การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง และการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป

2.1.4.2 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

สมาคมเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ แห่งสหรัฐอเมริกา (American association for the advancement of science: AAAS) ได้เสนอทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สำหรับครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ เมื่อปี ค.ศ. 1970 โดยได้กำหนดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ไว้ 13 ทักษะ ประกอบด้วยทักษะกระบวนการขั้นพื้นฐาน 8 ทักษะ และทักษะขั้นผสมหรือบูรณาการ 5 ทักษะ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544) สรุปไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการขั้นพื้นฐาน	ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมหรือบูรณาการ
1. ทักษะการสังเกต 2. ทักษะการวัด 3. ทักษะการคำนวณ 4. ทักษะการจำแนกประเภท 5. ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปสและสเปสกับเวลา 6. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล 7. ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล 8. ทักษะการพยากรณ์	1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน 2. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร 3. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร 4. ทักษะการทดลอง 5. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

ทักษะกระบวนการทั้ง 2 ประเภทรวมแล้วมีทั้งหมด 13 ทักษะโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ทักษะกระบวนการขั้นพื้นฐาน (Basic science process skills) ประกอบด้วย

1.1) ทักษะการสังเกต คือความสามารถในการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างเพื่อหาข้อมูลหรือรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ โดยไม่เพิ่มความคิดเห็นส่วนตัวลงไปเห็นอย่างไรรู้สึกอย่างไรได้ยินอย่างไรได้กลิ่นอย่างไรหรือรสชาติ เป็นอย่างไรก็ตอบไปตามนั้น ประสาทสัมผัสมี 5 ชนิด คือ

1.1.1) ประสาทตา สังเกตได้โดยการดูเพื่อบอกรูปร่างสัณฐานขนาด สี สถานะ

1.1.2) ประสาทหู สังเกตโดยการฟังเพื่อบอกเสียงที่ได้ยินเสียงดัง เสียงค่อยเสียงสูงเสียงต่ำหรือเสียงดังอย่างไรตามที่ได้ยิน

1.1.3) ประสาทจมูก สังเกตโดยการดมกลิ่นเพื่อบอกว่ามีกลิ่นหรือไม่ หอมเหม็นประสาทลิ้น สังเกตโดยการชิมรสเพื่อบอกว่ามีรสชาติ หวานขมเผ็ดเค็ม เปรี้ยวฝาด แต่ในการสังเกตโดยการชิมนี้ต้องแน่ใจว่าสิ่งนั้นไม่มีอันตรายและสะอาดเพียงพอ

1.1.4) ประสาทผิวกาย สังเกตได้โดยการสัมผัสเพื่อบอกอุณหภูมิ ความหยาบ ความละเอียดความเรียบความลื่นความเปียกชื้นความแห้งของสิ่งนั้น การใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ชนิด สังเกตโดยตรงแล้วการใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่าง ๆ ได้ก็จัดว่าเป็นทักษะการสังเกตเช่นเดียวกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงของสี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างสัณฐานการเปลี่ยนแปลงขนาดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสอุณหภูมิ ฯลฯ

1.2) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว

1.2.1) ชี้บ่งและบรรยายคุณสมบัติของวัตถุได้โดยการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

1.2.2) บรรยายสมบัติเชิงปริมาณของวัตถุโดยการกะประมาณ

1.2.3) บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้

2) ทักษะการวัด หมายถึง ความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือต่าง ๆ ทำการวัดหาปริมาณของสิ่งต่าง ๆ ออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนโดยมีหน่วยวัดมาตรฐานกำกับเสมอ ซึ่งหน่วยวัดมาตรฐานที่ใช้เป็นสากลในปัจจุบันคือ ระบบหน่วย SI (international system of units) ในการวัดจะต้องพิจารณาว่า

2.1) จะวัดอะไร เช่น วัดความยาวเส้นรอบรูปของลูกบอล ชั่งน้ำหนักก้อนหิน

2.2) จะใช้เครื่องมืออะไรวัด เช่น ใช้เชือกและไม้บรรทัดวัดเส้นรอบรูปของลูกบอล

2.3) เหตุใดจึงใช้เครื่องมือนั้น เช่น ทำไมจึงเลือกใช้เชือกและไม้บรรทัดวัดเส้นรอบรูป ลูกบอล จะใช้เครื่องมืออื่นได้หรือไม่

2.4) จะวัดอย่างไร เช่น เมื่อมีเชือกและไม้บรรทัดแล้วจะทำการวัดอย่างไร มีเทคนิคอย่างไร สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการวัดแต่ละครั้งคือความเที่ยงตรง แน่นอนในการวัดและค่าที่ถูกต้องวิธี แก้ความคลาดเคลื่อนทำได้โดยการวัดหลาย ๆ ครั้ง ศึกษาเครื่องมือวิธีการใช้มาตราส่วนการวัด

2.5) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการวัดแล้ว

2.5.1) เลือกเครื่องมือได้เหมาะสมกับสิ่งที่จะวัด

2.5.2) บอกเหตุผลในการเลือกเครื่องมือได้

2.5.3) บอกวิธีวัดและวิธีใช้เครื่องมือวัดได้ถูกต้อง

2.5.4) ทำการวัดปริมาณต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

2.5.5) ระบุหน่วยของตัวเลขที่ได้จากการวัดได้

3) ทักษะการคำนวณ หมายถึงความสามารถในการนับจำนวน การใช้ตัวเลขแสดงจำนวนที่นับได้ การตัดสินว่าสิ่งของในแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากันหรือต่างกัน สามารถคำนวณโดยการบวก ลบ คูณ หาร หาค่าเฉลี่ย หรือจัดกระทำกับตัวเลขที่แสดงปริมาณของสิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่งได้จากการสังเกต การวัด การทดลอง โดยตรงหรือจากแหล่งอื่น ตัวเลขที่นำมาคำนวณต้องแสดงค่าปริมาณในหน่วยเดียวกัน ตัวเลขใหม่ที่ได้จากการคำนวณจะช่วยให้สื่อความหมายได้ตรงตามที่ต้องการและชัดเจนยิ่งขึ้น

3.1) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการคำนวณแล้ว

3.1.1) คำนวณได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว

3.1.2) บอกหรือแสดงวิธีการคิดคำนวณได้

3.1.3) ระบุหน่วยที่ใช้ได้อย่างถูกต้อง

3.1.4) นับและใช้ตัวเลขแสดงจำนวนสิ่งของที่นับได้ถูกต้อง

4) ทักษะการจำแนกประเภท หมายถึงความสามารถในการจัดจำพวกวัตถุหรือเหตุการณ์ หรือเรียงลำดับสิ่งของโดยมีเกณฑ์ ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวอาจจะใช้ความเหมือน แตกต่างกัน หรือสัมพันธ์กันอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

4.1) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว

4.1.1) แบ่งพวกสิ่งของโดยใช้เกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดให้ หรือโดยใช้เกณฑ์ที่ตนเองกำหนด

4.1.2) เรียงลำดับสิ่งของ โดยใช้เกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดให้ หรือในการแบ่งพวกสิ่งของที่ผู้อื่นจำแนกไว้แล้ว

4.1.3) บอกเกณฑ์ในการเรียงลำดับสิ่งของที่ ผู้อื่นเรียงลำดับไว้แล้ว

5) ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซ และสเปซกับเวลา

สเปซของวัตถุ หมายถึงที่ว่างบริเวณที่วัตถุนั้นครอบครอง ซึ่งจะมีรูปร่างและลักษณะเช่นเดียวกับวัตถุนั้น โดยทั่วไปสเปซของวัตถุจะมี 3 มิติ (Dimensions) คือความกว้าง ความยาว ความสูง หรือความหนาของวัตถุทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซ และสเปซกับเวลา อธิบายได้ดังนี้

5.1) ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซ หมายถึงความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซของวัตถุ ซึ่งได้แก่ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรง 2 มิติกับ 3 มิติ ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุหนึ่งกับวัตถุหนึ่ง ความสามารถที่บ่งว่าเกิดทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซ ได้แก่การบ่งชี้รูปทรง 2 มิติ กับ3 มิติได้บอกตำแหน่งหรือทิศของวัตถุได้ บอกความสัมพันธ์ของสิ่งที่อยู่หน้ากระจกเงาและภาพที่ปรากฏในกระจกเงาได้ เป็นต้น

5.2) ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับเวลา หมายถึงความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างรูป 2 มิติ 3 มิติ ความสามารถในการระบุรูปทรง ขนาดตำแหน่งและทิศทาง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่เวลาต่าง ๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของน้ำแข็งที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลาต่าง ๆ เป็นต้น

5.3) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว

5.3.1) บอกจำนวนมิติ ของวัตถุที่พบเห็นได้

5.3.2) ชี้บ่งรูป 2 มิติ และวัตถุ 3 มิติ ได้

5.3.3) บอกชื่อรูปและรูปทรงทางเรขาคณิตได้

5.3.4) วาดรูป 2 มิติ จากวัตถุหรือรูปทรง 3 มิติ ได้

5.3.5) บอกตำแหน่งและทิศทางของวัตถุโดยการใช้ตัวเองหรือวัตถุอื่นเป็นเกณฑ์

5.3.6) บอกความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนตำแหน่งเปลี่ยนขนาดหรือปริมาณของวัตถุกับเวลาได้

6) ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล หมายถึงความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลอง และจากแหล่งอื่น ๆ มาจัดกระทำใหม่ โดยการหาความถี่เรียงลำดับ จัดจำแนกประเภทเพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายได้ดีขึ้น โดยอาจเสนอในรูปของตารางแผนภูมิ แผนภาพ กราฟ สมการ และการเขียนบรรยายเป็นต้น

6.1) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว

6.1.1) เลือกรูปแบบที่จะใช้ในการเสนอข้อมูลได้เหมาะสม

6.1.2) บอกเหตุ ผลในการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการเสนอข้อมูลได้

6.1.3) ออกแบบเสนอข้อมูลให้อยู่ในรูปใหม่ที่เข้าใจดีขึ้นได้

6.1.4) เปลี่ยนแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปใหม่ที่เข้าใจดีขึ้นได้

6.1.5) บรรยายลักษณะของสิ่งใดสิ่งหนึ่งด้วยข้อความที่เหมาะสมกะทัดรัดจนสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจได้

6.1.6) บรรยายหรือวาดแผนผังแสดงตำแหน่งของสภาพจนสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจ

7) ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล หมายถึงความสามารถในการอธิบายหรือสรุปข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยตรง หรือจากการวัดการทดลองโดยเพิ่มความคิดเห็นส่วนตัวที่มีเหตุผลลงไปโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์เดิมมาช่วยการลงความคิดเห็นจากข้อมูลชุดเดียวกันอาจแตกต่างกัน เพราะมีประสบการณ์ต่างกัน ดังนั้นเมื่อนักวิทยาศาสตร์พบวัตถุหรือปรากฏการณ์ต่างๆ มักจะลงความคิดเห็นจากข้อมูลอาจเป็นไปได้หลายอย่าง ต่อจากนั้นจะมีการตรวจสอบว่าการลงความคิดเห็น ข้อใดมีเหตุผลสนับสนุนอย่างเพียงพอในบางกรณีอาจมีการทดสอบ การลงความคิดเห็นจากบางส่วนเพื่อนำไปสู่การตั้งสมมุติฐานที่รัดกุมต่อไป

7.1) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว

7.1.1) อธิบาย หรือสรุป เกินข้อมูลที่ได้จากการสังเกต

7.1.2) เพิ่มความคิดเห็นส่วนตัวลงไป

8) ทักษะการพยากรณ์ หมายถึงความสามารถในการคาดคะเนคำตอบหรือสิ่งที่เกิดขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสังเกต หรือข้อมูลที่จากประสบการณ์ที่เกิดซ้ำ หลักการ กฎ หรือทฤษฎีในเรื่องนั้นมาช่วย การทำนายที่แม่นยำเป็นผลจากการสังเกตที่รอบคอบ การวัดที่ถูกต้อง การบันทึกและการจัดกระทำข้อมูลอย่างเหมาะสม การพยากรณ์ทำได้ 2 แบบ คือการพยากรณ์ภายในขอบเขตข้อมูลที่มีอยู่กับการพยากรณ์นอกขอบเขตข้อมูลที่มีอยู่ เช่น การพยากรณ์ผลของข้อมูลเชิงปริมาณ

8.1) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว

8.1.1) การพยากรณ์ทั่วไป คือการทำนายผลที่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎีที่มีอยู่ได้

8.1.2) การพยากรณ์จากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ทำนายผลที่เกิดภายในขอบเขตข้อมูลเชิงปริมาณที่มีอยู่ได้ และทำนายผลที่เกิดขึ้นนอกขอบเขตของข้อมูลเชิงปริมาณที่มีอยู่

8.1.3) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสม หรือบูรณาการ (Integrated science process skills) ประกอบด้วย

8.1.3.1) ทักษะการตั้งสมมติฐาน หมายถึงการคิดหาคำตอบหรือสรุปคำตอบของปัญหาล่วงหน้าก่อนจะทำการทดลอง โดยอาศัยการสังเกต ความรู้ ประสบการณ์เดิมคำตอบล่วงหน้านี้เป็นสิ่งที่ยังไม่ทราบหรือยังไม่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎี ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว คือหาคำตอบล่วงหน้าก่อนการทดลองโดยอาศัยการสังเกต ความรู้ และประสบการณ์เดิม

8.1.3.2) ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร หมายถึงความสามารถในการกำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือข้อความ เพื่อให้เป็นที่เข้าใจตรงกัน สามารถสังเกต หรือวัด หรือตรวจสอบได้ง่ายโดยให้คำอธิบายเกี่ยวกับการทดลองและบอกวิธีจัดตัวแปรที่เกี่ยวกับการทดลองนั้น การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ควรให้ความหมายที่รัดกุมและเหมาะสมกับระดับการศึกษา ประกอบด้วยสาระสำคัญ 2 ประการ คือ (1) ระบุสิ่งที่สังเกตได้ และ (2) ระบุการกระทำซึ่งอาจจะได้จากการวัด การทดสอบ หรือการทดลอง สิ่งที่ควรคำนึงในการให้คำนิยามเชิงปฏิบัติการคือ ควรใช้ภาษาที่ชัดเจน ไม่กำกวม จะต้องอธิบายสิ่งที่สังเกตได้และระบุการกระทำไว้ด้วย อาจมีคำตอบเชิงปฏิบัติการมากกว่า 1 นิยาม และคำนิยามหนึ่งอาจจะเหมาะกว่าอีกนิยามหนึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์ สิ่งแวดล้อม และเนื้อหาในบทเรียนนั้น ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้วคือกำหนดความหมายขอบเขตของค่าหรือตัวแปรต่าง ๆ ให้สังเกตได้หรือวัดได้

8.1.3.3) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร หมายถึงความสามารถในการกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ในสมมติฐานหนึ่งการควบคุมตัวแปรเป็นการควบคุมสิ่งอื่น ๆ นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ถ้าหากไม่ควบคุมให้เหมือนกัน คือ (1) ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent variable) หมายถึง สิ่งที่จัดให้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดผลซึ่งคาดว่าจะแตกต่างกัน มีความเป็นอิสระในตัวเอง (2) ตัวแปรตาม (Dependent variable) หมายถึงสิ่งที่ต้องติดตามผล ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสถานการณ์บางอย่างให้แตกต่างกัน ไม่มีความเป็นอิสระในตัวเอง ต้องแปรเปลี่ยนไปตามตัวแปรต้น (3) ตัวแปรควบคุม (Controlled variable) หมายถึงสิ่งอื่นๆ นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่มีผลการทดลองด้วย ซึ่งจะต้องควบคุมให้เหมือนๆ กัน มิเช่นนั้นอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน พฤติกรรมหรือความหมายที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการกำหนดตัวแปรที่ต้องควบคุมได้ ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว คือชี้บ่งและกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ ต้องควบคุมได้

8.1.3.4) ทักษะการทดลอง หมายถึงความสามารถในการปฏิบัติการเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้น กระบวนการในการทดลองประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือการออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง คือ (1) การออกแบบการทดลอง หมายถึงการวางแผนทดลองก่อนลงมือทดลองจริงเพื่อกำหนดวิธีทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (2) การปฏิบัติการทดลอง หมายถึงการลงมือปฏิบัติการทดลองจริง ๆ (3) การบันทึกผลการทดลอง เป็นการจดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งอาจเป็นผลจากการสังเกต การวัด และอื่น ๆ ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว คือออกแบบการทดลองได้เหมาะสม (เที่ยงตรง รวดเร็ว ปลอดภัย ประหยัด) เลือกวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการทดลองได้เหมาะสมใช้อุปกรณ์เครื่องมือได้ถูกต้อง คล่องแคล่ว ปลอดภัย บันทึกผลการทดลองได้เหมาะสม ทำความสะอาด จัดเก็บอุปกรณ์ หรือเครื่องมือได้

8.1.3.5) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป หมายถึง ความสามารถในการตีความหมายข้อมูลโดยการบรรยายลักษณะและสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่ และลงข้อสรุป โดยการบอกความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่ได้ ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว คือ แปลความหมายหรือบรรยายลักษณะและสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่ได้บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่ได้

2.2 การทดลองเคมีแบบย่อส่วน (Small Scale Chemistry)

การจัดการเรียนการสอนตามแนว Constructivism เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ ใช้รูปแบบกระบวนการเรียนและกิจกรรมการเรียนการสอนที่หลากหลาย นักการศึกษาหลายท่านได้เสนอไว้ เช่น การเรียนการสอนที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Based) การเรียนการสอนโดยการแก้ปัญหา (Problem–Solving) กิจกรรมที่ให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ (Hands–on Activity) เป็นต้น ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) บุญชม ศรีสะอาด (2541) และวิมล สำราญวานิช (2532) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการสอนแบบให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงว่า ทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงมีโอกาสฝึกทักษะในการทดลอง และใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอนและได้เรียนโดยผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านการจัดการเรียนการสอนแบบปฏิบัติเป็นการฝึกการทำงานร่วมกันของผู้เรียน ซึ่งการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนลงมือปฏิบัตินั้นเป็นส่วนสำคัญของการเรียน โดยเฉพาะวิชาวิทยาศาสตร์มีทฤษฎี กฎ สูตร ต่าง ๆ มากมาย การสอนแบบการทดลองนั้นทำให้ผู้เรียนได้พบประสบการณ์ตรงจากการปฏิบัติจริง ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เมื่อนักเรียนเป็นผู้ทดลองเองแล้วทำให้ได้ความรู้ที่คงทน จดจำได้นาน นำความรู้นั้นไปใช้ประโยชน์ (ชาญชัย ยมดิษฐ์, 2548) ซึ่งการทดลองเคมีแบบเดิมนั้นอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ สารเคมีที่ใช้มีปริมาณมาก เมื่อทดลองเสร็จแล้วมักทิ้งสารเคมีในปริมาณมากทำให้ส่งผลเสียต่อสภาวะแวดล้อม และการใช้สารเคมีในปริมาณ มากก็ยังเป็นอันตรายสำหรับครูและนักเรียนหากสัมผัสกับสารเคมีโดยตรงหรือสูดดมเข้าไป นอกจากนี้บางโรงเรียนมีงบประมาณที่จำกัดทำให้อุปกรณ์การทดลองและสารเคมีไม่เพียงพอ ครูผู้สอนจึงเลือกที่จะสอนเพียงแต่เนื้อหาเพียงอย่างเดียวทำให้นักเรียนขาดโอกาสที่จะได้ทดลองขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง

การทดลองเคมีแบบย่อส่วนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับครูและนักเรียนในโรงเรียนสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์และสารเคมี โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการใช้ชุดการทดลองแบบย่อส่วนจะใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ภาชนะที่ใช้บรรจุสารเคมีในการทำการทดลองเป็นวัสดุใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกส่วนวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีเป็นวัสดุที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวัน (สาลินี อาจารีย์, 2552) ซึ่งนอกจากนี้การทดลองมีประสิทธิภาพเทียบเท่าการทดลองแบบดั้งเดิม แต่ระยะเวลาในการเตรียมการทดลองสั้นลง

การทดลองเคมีลักษณะนี้ถูกย่อส่วนลงให้มีขนาดที่เล็กที่สุดและยังสามารถสร้างปฏิกิริยาทางเคมีได้เช่นเดียวกับในการทดลองในขนาดปกติ การเรียนการสอนทางเคมีจะสามารถขยายไปได้ในวงกว้างมากขึ้น โดยนักเรียนสามารถทำการทดลองได้ด้วยตนเอง และเสี่ยงต่ออันตรายน้อยลง การทดลองแบบย่อส่วนยังใช้เวลาและก่อให้เกิดของเสียน้อยกว่าปกติอีกด้วย (ศุภวรรณ ตันตยานนท์, 2554)

2.2.1 ความหมายของการทดลองเคมีแบบย่อส่วน

การทดลองเคมีแบบย่อส่วน คือการทดลองที่มีการลดปริมาณการใช้สารเคมีให้อยู่ในระดับที่น้อยมาก แต่ยังให้ผลการทดลองที่ดี เรียกว่า microscale หรือ small scale chemistry ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถรักษาสิ่งแวดล้อม ป้องกันการเกิดมลภาวะ แต่ยังคงมีคุณภาพมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ สามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้ถึงร้อยละ 80-90 (Kelly and Finlayson, 2002) การทดลองแบบย่อส่วน (Small-scale experiment) บางครั้งอาจเรียกว่า การทดลองแบบไมโครสเกล (Microscale laboratory) คือการทำการทดลองให้มีขนาดเล็กลงจากการทดลองในระบบเก่า โดยการทดลองแบบเก่าจะใช้สารปริมาณมาก ใช้อุปกรณ์ขนาดใหญ่แต่เทคนิคไมโครสเกลจะใช้สารปริมาณน้อยและมีการดัดแปลงอุปกรณ์ที่ ใช้ให้เหมาะสมทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีลงได้มาก ลดอันตรายมีความปลอดภัยสำหรับครู-อาจารย์ นักเรียนและนักศึกษามากขึ้น (พิทักษ์ อยู่มี, 2544) การทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกล ทดลองที่มีการใช้ปริมาณสารเคมีที่น้อยมาก ในการทำการทดลอง โดยปกติแล้วปริมาณสารเคมีในการทดลองระดับมาตรฐานจะใช้อยู่ที่ 5 -100 กรัม และใช้เครื่องแก้วที่สามารถบรรจุปริมาตรสารเคมีได้ตั้งแต่ 100 - 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรขึ้นไป แต่ในปัจจุบันก็มีการทดลองระดับมาตรฐานที่พยายามลดการใช้สารเคมีให้อยู่ที่ประมาณ 1-10 กรัม และปริมาตรสารละลายใช้น้อยกว่า 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ทดลองที่ใช้กันทั่วไปในปฏิบัติการ ส่วนการทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกลเป็นการทดลองที่ใช้ปริมาณสารเคมีแตกต่างจากการทดลองในระดับมาตรฐานมาก โดยทั่วไปการทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกลจะมีปริมาณการใช้สารเคมีประมาณ 0.05 - 1.0 กรัมและเครื่องแก้วที่ใช้จะบรรจุปริมาตรที่น้อยกว่า 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร (สาลินี อาจารีย์, 2552)

ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ (2547) ได้กล่าวว่าปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน (Small Scale Chemical Laboratory) เป็นเรื่องใหม่ที่จะนำผู้เรียนเข้าสู่การทดลองทางเคมีที่ประหยัด ปลอดภัย ช่วยให้การเรียนเคมีน่าสนใจ เข้าใจลึกซึ้งมีความใฝ่รู้ใฝ่เรียน ส่งเสริมกระบวนการ ความคิดในทางวิทยาศาสตร์ รูปแบบของชุดการทดลองแบบย่อส่วน มีดังนี้คือใช้ สารเคมีปริมาณน้อยลงถึง 1 ใน 1,000 เท่าของปริมาณที่ใช้กันในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป ประหยัดค่าใช้จ่าย ลดมลพิษจากสารเคมีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเปลี่ยนจากการใช้เครื่องแก้วมาเป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยพอลิเมอร์หรือพลาสติก เป็นการสังเกตเปรียบเทียบตัวอย่างต่าง ๆ ที่หลากหลาย ปฏิกิริยาของสารบางชนิดมี

อันตราย เช่น ระเบิดติดไฟ ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ปฏิบัติการทดลองได้แต่เมื่อใช้สารปริมาณน้อยเพียง 1-2 หยดก็สามารถนำมาใช้ได้อย่างปลอดภัย อุปกรณ์พลาสติกสามารถหาได้ทั่วไป และราคาถูก

Singh et al. (1999) กล่าวไว้ว่า Microscale chemistry เป็นปฏิบัติการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ป้องกันการเกิดมลภาวะผ่านกระบวนการใช้เครื่องแก้วขนาดเล็กและลดปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งง่ายต่อการจัดการแต่ยังสามารถอธิบายหลักการทางเคมีได้ ชุดการทดลองระดับไมโคร หรือแบบย่อส่วนไม่เพียงแต่จะใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดเล็กลง แต่ยังเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยในการทำการทดลองด้วย นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายโดยใช้หลักการและทฤษฎีเดียวกัน ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาตรฐานทั่วไป (standard scale) อีกด้วย (Wooster, 2007)

จากความหมายของการทดลองเคมีแบบย่อส่วนข้างต้น กล่าวโดยสรุปได้ว่าเป็นการทดลองที่ใช้ปริมาณสารเคมีแตกต่างจากการทดลองในระดับมาตรฐานมาก ลดการใช้สารเคมีให้น้อยลง ส่งผลให้ลดของเสียที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการได้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ป้องกันการเกิดมลภาวะได้ดี และใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก อาจจะใช้อุปกรณ์ที่ทำด้วยพอลิเมอร์หรือพลาสติก สามารถหาได้ทั่วไป และราคาถูก นอกจากนี้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายโดยใช้หลักการและทฤษฎีเดียวกันได้

2.2.2 ข้อดีของการทดลองเคมีแบบย่อส่วน

การเลือกใช้การทดลองแบบย่อส่วน ในการนำเสนอผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับครูที่จะช่วยให้การเรียนการสอนวิชาเคมี น่าสนใจและสร้างแรงจูงใจกับผู้เรียนมากกว่าการใช้เทคนิคการสอนโดยวิธีการสาธิตการดูจากวีดีโอเทป หรือการดูจากคอมพิวเตอร์เพราะเปิดโอกาสให้เรียนทำการทดลองได้ด้วยตัวเองโดย Wood (1990) ได้เสนอข้อดีของการสอนโดยใช้การทดลองเคมีแบบย่อส่วน ดังนี้

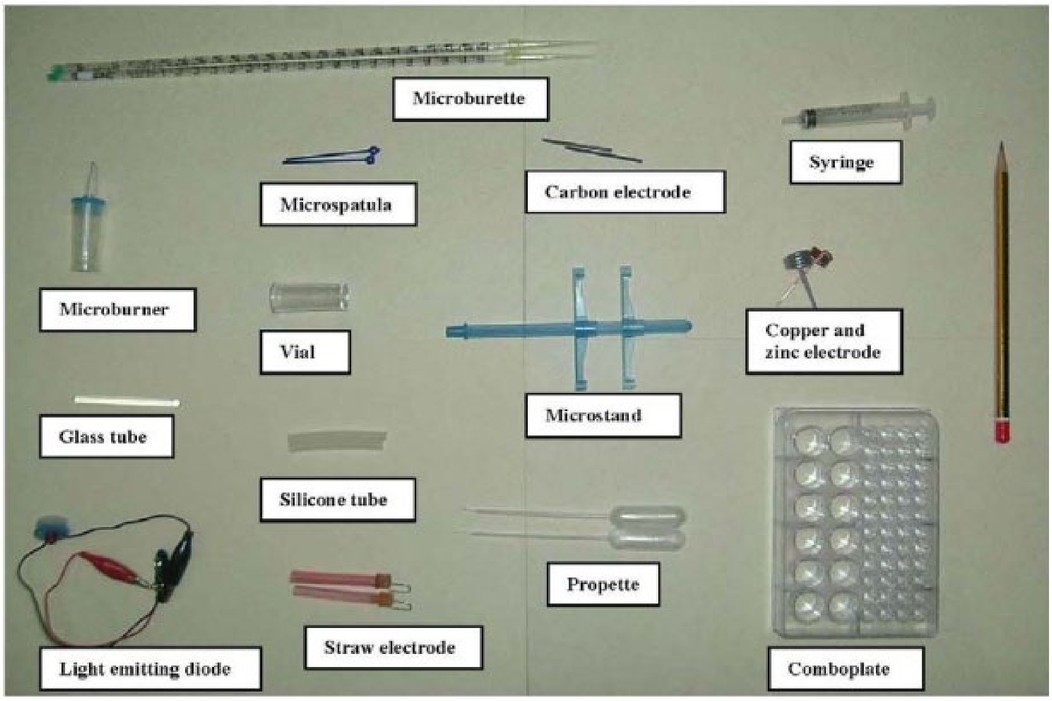
(1) ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง และช่วยลดปริมาณสารพิษที่เกิดจากการทดลองให้น้อยลง

(2) การใช้เวลาในการทำการทดลองน้อยลงทำให้การเรียนการสอนแต่ละครั้ง สามารถทำการทดลองได้หลายการทดลอง

(3) การทดลองหลายการทดลองไม่จำเป็นต้องใช้ตู้ดูดควันหน้ากากป้องกันสารพิษ หรือเครื่องมืออื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการที่ช่วยให้การทดลองมีความปลอดภัย ดังนั้นจึงสามารถทำการทดลองในห้องใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องใช้ห้องทดลองโดยเฉพาะ

(4) มีหลายการทดลองที่พบว่าไม่ปลอดภัยนักสำหรับครูและผู้เรียน แต่ถ้าปรับเป็นการทดลองด้วยแบบนี้สามารถทำได้ผลดี และมีความปลอดภัยมากขึ้น เช่น การทดลองการทำปฏิกิริยาระหว่างแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน เป็นต้น

Wooster (2007) ได้กล่าวว่าการสอนโดยใช้การทดลองแบบย่อส่วน มีข้อดีหลายด้าน จุดเดนที่สุดคือ นักเรียนทุกคนมีโอกาสทำการทดลองได้ด้วยตนเองไม่จำเป็นต้องทำการทดลองเป็นกลุ่ม สามารถทำการทดลองอย่างอิสระ ใช้ได้กับนักเรียนทุกวัยทั้งเด็กเก่งและเด็กอ่อนโดย Wooster ได้นำการทดลองจำนวนหลายการทดลองมาใช้กับนักเรียน เช่น การเตรียมสารประกอบการเตรียมแก๊ส การไทเทรต การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น พบว่านักเรียนรู้สึกสนุกสนาน เนื่องจากใช้เวลาในการทำการทดลองไม่นานรวมเวลาที่ใช้ประมาณ 20 นาทีต่อการทดลอง และทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ง่าย ทำให้มีเวลาเหลือมากขึ้นในการอภิปรายผลการทดลองร่วมกันในชั้นเรียน นอกจากนี้อุปกรณ์ต่าง ๆ มีการดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ให้เหมาะสมเปลี่ยนจากการใช้เครื่องแก้วมาเป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยพอลิเมอร์หรือพลาสติก ราคาถูก หาได้ทั่วไป ปลอดภัย และพกพาสะดวก หรือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังภาพที่ 2.2 ผู้สอนสามารถนำมาใช้ทดลองควบคู่กับการสอนในห้องเรียน ผู้เรียนสามารถทำการทดลอง พร้อมสังเกตและสรุปผลได้



ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเคมีแบบย่อส่วน
ที่มา: Abdullah et al. (2009)

จากผลการศึกษาทำให้สรุปได้ว่าการทดลองด้วยแบบย่อส่วนมีข้อดีหลายด้านเมื่อเทียบกับการทดลองระดับมาตรฐานทั่วไป ทั้งด้านเวลาทำให้ประหยัดเวลา เวลาที่ต้องใช้ในการเตรียมสารก่อนทำการทดลอง เวลาที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทดลองจะใช้เวลา

น้อยลง ด้านค่าใช้จ่ายประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีปริมาณการซื้อสารเคมีและค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ในการทดลองลดลง ด้านความปลอดภัยการทดลองแบบย่อส่วนนี้ปลอดภัยกว่า เนื่องจากการใช้ปริมาณสารที่น้อยในการทำการทดลอง ถ้าเกิดปัญหาขึ้น เช่น การลุกไหม้ การระเบิดก็จะเกิดไม่รุนแรงมากนัก ด้านสิ่งแวดล้อมจะเกิดผลดีต่อสิ่งแวดล้อม เพราะการใช้ปริมาณสารที่ลดลงทำให้ของเสียที่เกิดจากการทดลองมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย และที่สำคัญที่สุดด้านการเรียนรู้ ผู้เรียนทุกคนในชั้นเรียนมีโอกาสได้ทำการทดลองส่งผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ดีพอ ๆ กับการทดลองในระดับมาตรฐานทั่วไป ดังนั้นถ้าสามารถจัดการทดลองแบบย่อส่วนได้ก็จะส่งผลดีในหลายด้านรวมถึงทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สามารถสอนให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดวิเคราะห์และช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้

2.3 แบบทดสอบวัดความเข้าใจตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic tests)

การศึกษาแนวคิดของผู้เรียนมีความสำคัญเนื่องจากแนวคิดของทฤษฎีสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองเน้นผู้เรียนเป็นหลักในการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอน ทั้งก่อนเรียนขณะเรียนหรือแม้กระทั่งเรียนจบไปแล้วเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบสร้างและปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนและวินิจฉัยความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องในการสร้างแบบทดสอบมีความสำคัญมากเพราะแบบทดสอบจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาแนวคิดของผู้เรียน โดยแบบทดสอบนั้นต้องมีคุณภาพเพราะจะต้องนำไปสู่การวัดและประเมินผลที่มีคุณภาพด้วยแบบวัดความเข้าใจตัวเลือกสามลำดับขั้นประกอบด้วย 3 ขั้น คือขั้นที่ 1 (First tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด ขั้นที่ 2 (Second tier) เหตุผลของคำตอบ และขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก การพัฒนาข้อสอบแบบ 3 ขั้นจะใช้ข้อสอบแบบ 2 ขั้นเป็นฐานแต่จะต่างกันที่เพิ่มระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกซึ่งพบว่าข้อสอบแบบนี้เป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดในการถามระหว่างคำถามเริ่มต้น และเหตุผลโดยมีระดับความมั่นใจในการเลือกตอบเป็นข้อสอบกระตุ้นให้ผู้เรียนมีการพัฒนาความคิดและทำให้เกิดการวัดผลและประเมินผลอย่างน่าเชื่อถือ และทราบความคลาดเคลื่อนในการตอบคำถามของนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Harika (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาและสำรวจความรู้ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม (AREPDiT) โดยใช้ข้อสอบแบบ 3 ขั้น เป็นข้อสอบแบบปรนัยโดยการพัฒนาข้อสอบแบบ 3 ขั้น จะใช้ข้อสอบแบบ 2 ขั้นเป็นฐาน แต่จะต่างกันที่เพิ่มระดับความเชื่อมั่นในการตอบคำถามแต่ละรายการ ซึ่งพบว่า แบบทดสอบแบบ 3 ขั้น เป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับตรวจสอบข้อมูลความเข้าใจผิดเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม (AREPDiT) ที่เกิดขึ้นช่วยให้ผู้วิจัยสามารถจัดประเภทความเข้าใจผิดได้เป็นกลุ่มขาดความรู้หรือคาดเดา การขาดความเชื่อมั่น และ/หรือกลุ่มเข้าใจผิดมากกว่าแบบทดสอบประเภทอื่นที่แบ่งประเภทได้เพียงเข้าใจผิดอย่างเดียว ลักษณะเด่นของ

เครื่องมือนี้ คือหากต้องการความตรงตามเนื้อหาก็สามารถแยกความเข้าใจผิดเชิงบวกหรือความเข้าใจผิดเชิงลบได้ โดยไม่ต้องดำเนินการสัมภาษณ์ในภายหลัง

แบบทดสอบวัดความเข้าใจตัวเลือกแบบสามลำดับขั้น (Three-tier Multiple Choice Test) จึงมีลักษณะแตกต่างจากแบบทดสอบทั่วไปเป็นแบบทดสอบวัดความเข้าใจที่เน้นศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนกระตุ้นให้ผู้เรียนตอบคำถามและระบุความมั่นใจในการตอบคำถามตัวเลือกและเหตุผลโดยใช้ความเข้าใจมากกว่าความจำมุ่งวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายข้อ เพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการคิดของนักเรียนในการวิเคราะห์ความเข้าใจในการเรียนทำให้เกิดการวัดผลและประเมินผลอย่างมีน่าเชื่อถือ และทราบความคาดเคลื่อนในการตอบคำถามของนักเรียน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์อย่างหลากหลาย เช่น งานวิจัยของ วิชัย ลาธิ (2556) ได้พัฒนาทักษะความรู้ขั้นสูงและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พบว่านักเรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน มีความก้าวหน้าของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนร้อยละ 40.63, 46.45 และ 38.50 ตามลำดับ ทั้งนี้การใช้กิจกรรมทำนาย-สังเกต-อธิบาย สามารถสร้างความสนใจของนักเรียนและกระตุ้นให้เกิดคำถาม แล้วดำเนินการสำรวจและหาคำตอบกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของอโณทัย ดาทอง และคณะ (2558) ได้พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้แผนผังตัวยูในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นฐานการสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง พบว่า จากแบบทดสอบวัดความเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตอบแบ 3 ชั้น นักเรียนมีความเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ นักเรียนยังมีความสนุกสนานที่ได้เรียนรู้ลงมือทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

กมลนุช ไชยมัชชิม และเสนอ ชัยรัมย์ (2557) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ส่งเสริมความเข้าใจ และศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องสารชีวโมเลกุลโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ผลการวิจัยพบว่า หลังการจัดกิจกรรมนักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจถูกต้องบางส่วนและเข้าใจความหมายผิดเกี่ยวกับสารชีวโมเลกุล อย่างไรก็ตามการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางมากขึ้นนี้มีส่วนช่วยให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนภายในกลุ่ม การได้ลงมือทำการทดลองมีผลให้นักเรียนสนใจและเข้าใจในเรื่องที่เรียนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้บทบาทของครูยังเป็นส่วนสำคัญในการจัดการเรียนรู้โดยครูจะต้องให้ความสนใจและสามารถตอบคำถามของนักเรียนเมื่อนักเรียนเกิดความสงสัย ซึ่งจะทำให้นักเรียนเรียนรู้อย่างมีความสุขกับกิจกรรม

และสนใจที่จะเรียนรู้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของวรนุช เชื้ออ่อน และเสนอ ชัยรัมย์ (2557) ได้ส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เรื่องโปรตีนโดยใช้แนวการสอนวิธีกระบวนการสืบเสาะแบบแนะนำสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < .05$) หลังการเรียนด้วยแนวการสอนวิธีกระบวนการสืบเสาะแบบแนะนำนักเรียนส่วนมากมีแนวคิดเรื่องโปรตีนถูกต้องเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเรียน นอกจากนี้นักเรียนมีความคงทนของความรู้อยู่ในระดับที่น่าพอใจเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ของการเรียน จากแบบทดสอบวัดความเข้าใจระดับจุลภาคนักเรียนส่วนมากไม่สามารถวาดภาพโครงสร้างโปรตีนก่อนและหลังแปลงสภาพได้ การวิจัยครั้งนี้บ่งบอกให้รู้ว่า ครูผู้สอนเคมีควรมีการจัดการเรียนรู้เรื่องโปรตีนโดยเน้นให้นักเรียนมีความเข้าใจระดับจุลภาคมากขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับสนทยา บังพรม และศักดิ์ศรี สุภาษร (2558) ได้ศึกษาความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่องไฟฟ้าเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นผสมผสานกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบายในขั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร พบว่านักเรียนมีคะแนนมโนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากอันเนื่องมาจากกิจกรรมมีส่วนส่งเสริมให้นักเรียนได้มีโอกาสทำกิจกรรมด้วยตนเอง มีการวางแผนการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มทำให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้ที่มีอยู่เดิมและความรู้ใหม่ที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรม เกิดเป็นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยครูมีส่วนสำคัญในการส่งเสริม กระตุ้นด้วยคำถามทางวิทยาศาสตร์คอยแนะนำในการดำเนินกิจกรรมของนักเรียน และสรุปองค์ความรู้ร่วมกับนักเรียนจนทำให้นักเรียนแก้ไขมโนมติที่ผิดเกิดเป็นมโนมติที่ถูกต้องหรือมโนมติวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการทดลองแบบย่อส่วน

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในระดับชาติ นักวิจัยบางกลุ่มเริ่มให้ความสำคัญและพยายามพัฒนาชุดการทดลองด้วยปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเพื่อนำมาใช้ในวิชาเคมีหลายสาขาวิชาทั้งเคมีอินทรีย์ เคมีอนินทรีย์ เคมีวิเคราะห์ และชีวเคมีซึ่งมีดังนี้ Acharry et al. (2009) ได้พัฒนาปฏิบัติการระดับไมโครสำหรับเคมีไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย 4 บทเรียน ได้แก่ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวา-นิก เซลล์ความเข้มข้น และการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า การทดลองในระดับไมโครนี้ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย จุดเด่นของการทดลองระดับไมโคร คือมีความปลอดภัย ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ลดปริมาณสารตกค้างหลังการทดลอง และทำให้เวลาที่ใช้ในการทดลองน้อยลง หลังจากนำปฏิบัติการระดับไมโครที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3 (ป.วช. 3) พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจในบทเรียนดียิ่งขึ้น เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ เช่นเดียวกัน Khattiyavong et al. (2014) ได้พัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดยมี

แนวคิดทางเคมีเกี่ยวกับรักษ์สิ่งแวดล้อม กล่าวคือลดปริมาณการใช้สารเคมีในการทดลอง ทำให้ของเสียมีปริมาณที่น้อยลง และใช้เวลาในการทดลองที่น้อยลง แต่ยังคงรักษาสภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองไว้อย่างการทดลองต้นแบบ หลังจากนำปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้นักเรียน พบว่าชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิกมากกว่าการใช้ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบดั้งเดิม

นอกจากนี้ Logan and Abrams (2012) ได้พัฒนาชุดอุปกรณ์อย่างง่ายในการแยกของเหลว-ของเหลว (liquid–liquid separations) โดยใช้กระบอกฉีดยาพลาสติก (plastic syringe) ฝาปิดจุกยาง (rubber stopper) และข้อต่อเปิด-ปิด (Luer-lock stopcock) สำหรับแยกกลีเซอรอล (glycerol) ออกจากไบโอดีเซล (biodiesel) ผลการทดลอง พบว่าชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้แยกสารของเหลวได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาต้นทุน ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีค่าใช้จ่ายเพียง 4.83 $ (ประมาณ 170 ฿) ซึ่งน้อยกว่าชุดอุปกรณ์กรวยแยกแบบแก้ว (glass separator funnel) ที่มีราคาสูงถึง 50.68 $ (ประมาณ 1,775 ฿) นอกจากนี้ ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีคือ ช่วยลดการแตกหักของอุปกรณ์เครื่องแก้ว ทำให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการได้ และยังลดของเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งใช้สารในปริมาณที่น้อย

นอกจากการพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเพื่อใช้สอนในหัวข้ออื่นในรายวิชาเคมีในหลากหลายสาขาวิชาแล้ว ยังมีการพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วน สำหรับการไทเทรตด้วย ตัวอย่างเช่น Singh et al. (1998) ได้พัฒนาการไทเทรตโดยใช้ไมโครบิวเรต (microburet) สำหรับใช้ในการไทเทรตกรด-เบส การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ การตกตะกอน และการไทเทรตปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อน เมื่อเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐาน ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้นอกจากให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับชุดการไทเทรตมาตรฐานแล้ว ยังมีข้อดีหลายด้าน ได้แก่ ต้นทุนต่ำ ประหยัดเวลาในการทดลอง และสะดวกต่อการใช้งาน ดังนี้ ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำ คือ 20$ (ประมาณ 700฿) ประหยัดเวลาในการทดลอง ใช้เวลาเพียง 3-5 นาที ส่วนชุดการไทเทรตมาตรฐาน บิวเรตขนาด 10 mL มีต้นทุนที่ 80$ (ประมาณ 2,800฿) และขนาด 50 mL มีต้นทุนที่ 60$ (ประมาณ 2,100฿) ใช้เวลาในการไทเทรตประมาณ 25 นาที อย่างไรก็ตาม สำหรับชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้ การเติมไทแทรนต์ยังต้องควบคุมด้วยมือจากผู้ทำการทดลอง ซึ่งทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้

Villalon (2013) ได้พัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วนจากการดัดแปลงขวดบรรจุสารให้เป็นบิวเรตแบบดิจิตอลสำหรับการไทเทรตที่ใช้ปริมาตรน้อย (small volume titrations) ในงานวิจัยนี้ บิวเรตแบบดิจิตอลจะถูกต่อพ่วงเข้ากับขวดบรรจุสาร ขนาด 1 ลิตร โดยอาศัยอุปกรณ์ที่เชื่อมให้เข้ากันได้ (adapters) บิวเรตแบบดิจิตอลนี้มีความถูกต้องมากกว่าการควบคุมด้วยมือ สำหรับไทแทรนต์ที่มีปริมาตร 100 mL หรือน้อยกว่า และสามารถประยุกต์ใช้กับขวดพลาสติกที่ทำมาจากพอลีเอทิลีน

(เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 65 mm) ที่ใช้อยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการได้ ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปไทเทรตกับสารที่มีราคาสูงหรือสารที่ไม่เสถียรได้ ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายและพื้นที่เก็บสารในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส

สุธี ผลดี (2553) ได้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยชุดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน พบว่านักเรียนกลุ่มเก่งและปานกลางมีคะแนนความก้าวหน้าทางผลสัมฤทธิ์สูงกว่ากลุ่มอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนของกลุ่มเก่งและปานกลางพบว่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีกิจกรรมที่น่าสนใจ และสามารถเชื่อมโยงเข้ากับบริบทชีวิตประจำวันให้นักเรียนได้ทดลองและลงมือปฏิบัติด้วยตัวนักเรียนเอง ได้เรียนรู้ร่วมกันกับเพื่อน ได้ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของพัลยมน เย็นสมุทร (2557) ได้พัฒนาความเข้าใจเชิงมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสตรีสิริเกศ จังหวัดศรีสะเกษ เรื่อง กรด-เบส โดยกิจกรรมทำนาย-สังเกต-อธิบาย บนพื้นฐานแนวการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่ามีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกมโนมติและมีร้อยละของนักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนลดลงโดยมีความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ เรื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ รองลงมา คือกรด-เบสในชีวิตประจำวัน ปฏิกิริยาของกรด-เบส และทฤษฎีกรด-เบส และพีเอช (pH) ของสารละลายตามลำดับ และนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จิณห์ณิภา นาคะเสนีย์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาแนวคิดเรื่อง กรด–เบส ของนักเรียนชันมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดนนทบุรีจำนวน 48 คน เครื่องมือที่ใช้ในได้แก่แบบวัดแนวคิดชนิดปลายเปิด ในหัวข้อสารละลายกรด–เบสและทฤษฎีกรด–เบส วิเคราะห์ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 46.51 ใช้องค์ประกอบของสารในการพิจารณาว่าสารชนิดใดเป็นกรด เช่นสารที่เป็นกรดคือสารที่มี H หรือ S เป็นองค์ประกอบ และนักเรียนร้อยละ 48.84 ใช้ประสบการณ์ในชีวิตประจำวันในการอธิบายความเป็นเบสของสาร เช่น เบสคือสารที่สัมผัสแล้วลื่น มีรสฝาด ไม่เปรี้ยวและไม่กัดกร่อน สำหรับหัวข้อทฤษฎีกรด–เบส แบ่งได้เป็น 3 ประเด็น คือ ทฤษฎีกรด–เบสของอาร์เร-เนียส พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 48.49 อธิบายว่ากรดคือสารที่แตกตัวได้ H^+ และนักเรียนร้อยละ 42.43 อธิบายว่าเบสคือสารที่แตกตัวได้ OH^- โดยส่วนมากไม่ได้กล่าวถึงน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายสำหรับทฤษฎีกรด–เบสของเบรินเสตด–ลาวรี พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 33.33 อธิบายความเป็นกรดของสารโดยใช้เหตุผลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีกรด–เบส เช่น อธิบายกว่ากรดคือสารที่มีประจุบวก กรดคือสารที่มี H มากกว่า และนักเรียนร้อยละ 33.33 อธิบายความเป็นเบสของสารว่า เบสคือสารที่มีประจุลบหรือเป็นสารที่ไม่นำไฟฟ้าและสำหรับทฤษฎีกรด–เบสของลิวอิส พบว่านักเรียนส่วน

ใหญ่ร้อยละ 18.18 อธิบายว่ากรดคือสารที่รับอิเล็กตรอนจากสารอื่น และเบสคือสารที่ให้อิเล็กตรอนแก่สารอื่น

เมื่อพิจารณาเนื้อหาการเรียนรู้การไทเทรตกรด-เบส แล้ว เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายทางเคมีโดยอาศัยการวัดปริมาตรเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นจากการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (Skoog et al., 2013) สำหรับชุดทดลองการไทเทรต โดยทั่วไปสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นบรรจุในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ส่วนสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นบรรจุอยู่ในบิวเรต (burette) หรือเรียกว่าไทแทรนต์ (titrant) ซึ่งถูกยึดด้วยขาตั้งพร้อมที่หนีบ (stand and clamp) เมื่อพิจารณาชุดไทเทรตมาตรฐาน วัสดุและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ค่อนข้างมีขนาดใหญ่และมีราคาต่อชุดค่อนข้างสูง นักวิจัยหลายกลุ่มจึงเริ่มมีแนวคิดในการพัฒนาชุดทดลองระดับไมโคร (microscale) หรือแบบย่อส่วน (small scale laboratory) ซึ่งมีต้นทุนต่ำและมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม ชุดการทดลองระดับไมโครหรือแบบย่อส่วนไม่เพียงแต่จะใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดเล็กลง แต่ยังเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยในการทำการทดลองด้วย นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายโดยใช้หลักการและทฤษฎีเดียวกัน ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาตรฐานทั่วไป (standard scale) อีกด้วย (Wooster, 2007)

Abdullah et al. (2009) ได้จัดการเรียนการสอนการไทเทรตกรด-เบสโดยใช้ชุดทดลองแบบย่อส่วน เช่น Microtitration kit ที่ประกอบด้วย microburet, microstand และ plastic microwell plate แทนการใช้ standard buret เทคนิคไมโครสเกลนี้ใช้ปริมาณสารละลายเพียง 1.00 mL ในขณะที่การทดลองด้วย standard buret ใช้สารละลายมากกว่า 25.00 mL ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจในเรื่องการหาจุดยุติของการไทเทรตกรด-เบสได้เรียนรู้เร็วกว่าในระดับมาตรฐานทั่วไป (Standard scale) แต่การพัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ที่ต้นทุนต่ำเหมาะกับโรงเรียนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณยังมีอยู่น้อย Acharry et al. (2010) ได้พัฒนาปฏิบัติการทดลองระดับไมโครสำหรับการไทเทรต โดยใช้ Microburet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตรเชื่อมต่อด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 5 mL และใช้ถาดหลุมพลาสติกเป็นภาชนะรองรับสารขณะที่ทำการไทเทรต แทนการใช้ขวดรูปชมพู่ จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้กับชุดการไทเทรตมาตรฐาน พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายอุปกรณ์การทดลอง มีการใช้สารในปริมาณที่น้อย ลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และใช้เวลาในการทดลองน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักศึกษาด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ เช่น การสังเกต ทักษะการใช้ตัวเลข และทักษะการทดลองเป็นต้น

2.4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบวัดความเข้าใจตัวเลือกแบบ 3 ลำดับขั้น (Three-tier diagnostic tests)

Harika et al. (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาและสำรวจความรู้ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม (AREPDiT) โดยใช้แบบทดสอบแบบ 3 ลำดับขั้น เป็นข้อสอบแบบปรนัยจะใช้แบบทดสอบแบบ 2 ขั้นเป็นฐานแต่จะเพิ่มระดับความเชื่อมั่นในการตอบคำถามแต่ละรายการ แบบทดสอบความเข้าใจผิดเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม (AREPDiT) เป็นเครื่องมือที่ระบุความเข้าใจผิดของครูเกี่ยวกับเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน (EW) ภาวะเรือนกระจก (GE) ชั้นโอโซนที่ถูกทำลาย (OLD) และฝนกรด (AR) บ่งบอกถึงการขาดความรู้ของครู ซึ่งส่วนใหญ่มีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการป้องกันปัญหาการทำลายชั้นบรรยากาศ จากการศึกษาสรุปได้ว่า แบบทดสอบแบบ 3 ขั้นเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับตรวจสอบข้อมูลความเข้าใจผิดเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม (AREPDiT) ที่เกิดขึ้นช่วยให้ผู้วิจัยสามารถจัดประเภทความเข้าใจผิดได้เป็นกลุ่มขาดความรู้หรือเดา การขาดความเชื่อมั่น และ/หรือกลุ่มเข้าใจผิด มากกว่าแบบทดสอบอื่นที่แบ่งประเภทได้เพียงเข้าใจผิดอย่างเดียว ลักษณะเด่นของเครื่องมือนี้คือ สามารถแยกความเข้าใจผิดเชิงบวกหรือเชิงลบได้โดยไม่ต้องดำเนินการสัมภาษณ์ในภายหลัง

นอกจากนี้อโณทัย ดาทอง และเสนอ ชัยรัมย์ (2558) ศึกษาการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้แผนผังตัวยู เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นฐานการสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทางรูปแบบการวิจัยเป็นแบบกลุ่มตัวอย่างเดียวที่มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วยแบบทดสอบสำรวจความเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แบบ 3 ขั้น (Three–tier diagnostic test, TTDT) แผนผังตัวยู (U–diagram) ซึ่งมีลักษณะดังนี้ ขั้นที่ 1 First–tier เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด ขั้นที่ 2 Second–tier อธิบายเหตุผลของคำตอบและขั้นที่ 3 Third–tier แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกจำนวน 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก (3) ไม่มั่นใจ (4) มั่นใจและ (5) มั่นใจอย่างมาก ผลการวิจัยพบว่า จากการสอบวัดความเข้าใจชนิดตัวเลือกสามลำดับขั้น นักเรียนมีความเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหลังเรียน (เฉลี่ย 34.58) สูงกว่าก่อนเรียน (เฉลี่ย 14.42) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 การใช้แบบทดสอบวัดระดับความเข้าใจของนักเรียนต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แบบ 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) ในการวิเคราะห์ระดับความเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน สามารถแบ่งนักเรียนเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) (2) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (CIC, ICC และ IIC) (3) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และ (4) กลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU, ICU และ IIU) ผลการวิเคราะห์ข้อสอบแบบ 3 ลำดับขั้น (Three–tier diagnostic test: TTDT) สามารถจำแนกระดับความเข้าใจของนักเรียนได้ ทำให้ผู้สอนสามารถนำ

ผลการวิจัยไปพัฒนาผู้เรียนแต่ละกลุ่มให้มีความรู้ความเข้าใจได้ตรงตามความต้องการเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มขาดความเข้าใจ (CIU, ICU และ IIU) จำเป็นจะต้องพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการที่หลากหลายและเน้นการประเมินตามสภาพจริง เนื่องจากเป็นกลุ่มนักเรียนเรียนอ่อน

จากการการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคติวิซึม และหลักการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนานักเรียนทางด้านความรู้และทักษะกระบวนการ พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ เป็นวิธีการสอนที่มุ่งเน้นให้นักเรียนตั้งคำถาม ตั้งสมมติฐาน ออกแบบและทำการทดลองด้วยตัวเอง สร้างความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์โดยการเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับหลักฐานที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ และสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ขึ้นมาโดยที่ครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวก สนับสนุน ชี้แนะ ช่วยเหลือตลอดจนแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอน ถ้าครูสามารถกระตุ้นให้นักเรียนสนใจวิทยาศาสตร์โดยการจัดให้มีอุปกรณ์ประกอบการเรียนให้เพียงพอ ที่ไม่ต้องใช้ทุนทรัพย์สูงมากนัก ด้วยกิจกรรมชุดทดลองอย่างง่าย (Hands-on) ที่ได้จากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันและมีอยู่ในท้องถิ่นตามบริบทของโรงเรียนจะส่งผลให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ไปพร้อมกับการลงมือปฏิบัติจริงควบคู่ไปกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ จะช่วยพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงความคิดจากการปฏิบัติการทดลองสู่ทฤษฎี หรือทฤษฎีสู่การปฏิบัติ และมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนเพื่อหา คำอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้น และมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบนี้ด้วย โดยเฉพาะปฏิบัติการทดลองเคมีแบบย่อส่วน สำหรับการไทเทรตกรด-เบส ที่ผ่านมายังต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์บางส่วนจากชุดการไทเทรตมาตรฐาน ได้แก่ขาตั้งและที่หนีบ ทำให้ชุดการทดลองยังมีต้นทุนที่สูงและไม่เหมาะกับโรงเรียนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับการไทเทรตในห้องเรียนเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐาน ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นมานี้น่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครู เพราะมีขนาดที่เล็กกว่าใช้สารเคมีที่น้อยกว่าทำให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์เพราะมีงบประมาณไม่เพียงพอในการซื้ออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่องการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เพื่อส่งเสริมการเรียน ทักษะการทดลอง และความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี และส่วนที่ 2 ศึกษาความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยได้ให้รายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 วิธีการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุน

3.2 ศึกษาความเข้าใจ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3.2.1 แบบแผนการวิจัย

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

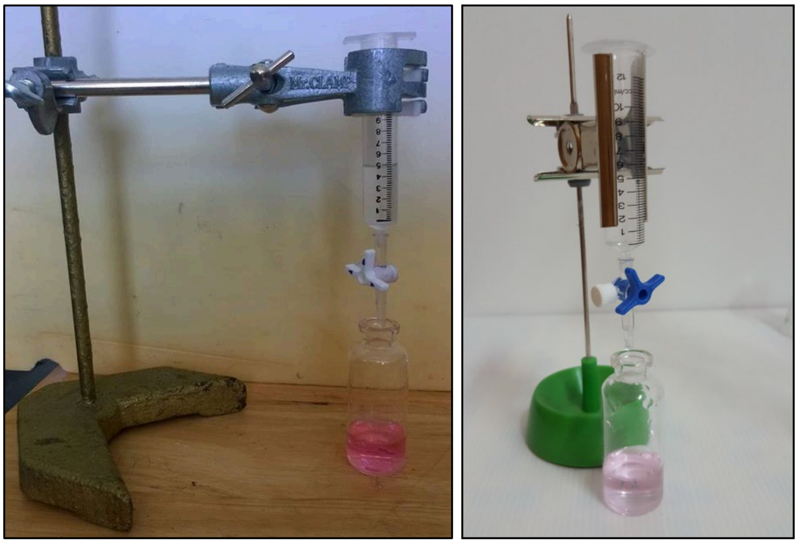
3.2.5 การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ

3.2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี

ผู้วิจัยได้พัฒนาและออกแบบชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้แทนชุดบิวเรตมาตรฐาน โดยเริ่มต้นจากการออกแบบไมโครบิวเรตอย่างง่าย โดยใช้กระบอกฉีดยาขนาด 10 mL เชื่อมต่อกับข้อต่อสามทาง เป็นตัวควบคุมการปล่อยสาร และใช้ขวดรูปชมพู่ ขนาด 25 mL เป็นตัวรับสารและการเกิดปฏิกิริยา ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การพัฒนาชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ระหว่างไมโครบิวเรตอย่างง่าย (ซ้าย) กับชุดไทเทรตที่ได้รับการพัฒนาแล้ว (ขวา)

จากนั้นได้ทำการพัฒนาชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำให้ใช้งานได้ดีขึ้น โดยมีจุดเด่นเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีน้อย ชุดบิวเรตที่สร้างขึ้นนี้เป็นพลาสติกคงทนต่อการแตก มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา สะดวกในการใช้ สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายมีความสะดวกในการจัดเก็บไม่เปลืองเนื้อที่ โดยมีวัสดุ/อุปกรณ์ สารเคมี ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองการไทเทรต และขั้นตอนการใช้ชุดทดลองการไทเทรต ดังนี้

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3.1.1.1 วัสดุ/อุปกรณ์และสารเคมี

1) กระบอกฉีดยาขนาด 10 mLจำนวน 1 กระบอก

2) ข้อต่อสามทาง จำนวน 1 อัน

3) ขวดแก้วขนาดเล็ก ขนาด 30 mLจำนวน 1 ขวด

4) ฝาปิดจุกยาง จำนวน 2 ฝา

5) เหล็กเสียบกระดาษจำนวน 1 อัน

6) คลิปหนีบกระดาษ จำนวน 2 อัน

7) สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (potassium hydrogen phthalate, KHP) ความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 5.00 mL

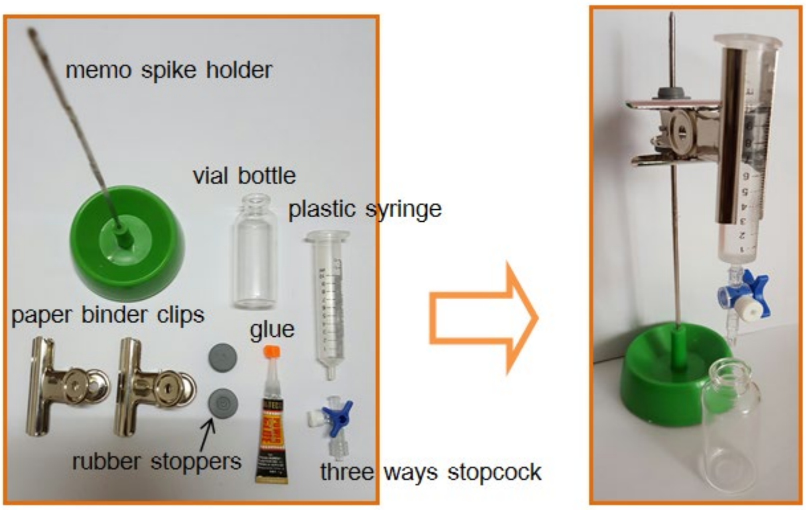
8) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ความเข้มข้น0.05 M ปริมาตร 5.00 mL

9) กรดฟอร์มิก (formic acid, HCOOH) ความเข้มข้น 85%w/w ปริมาตร 5.00 mL

10) น้ำส้มสายชู 5% ปริมาตร 5.00 mL

11) ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 1-2 หยด

วัสดุ/อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายยาและท้องตลาดทั่วไป แสดงดังภาพที่ 3.2



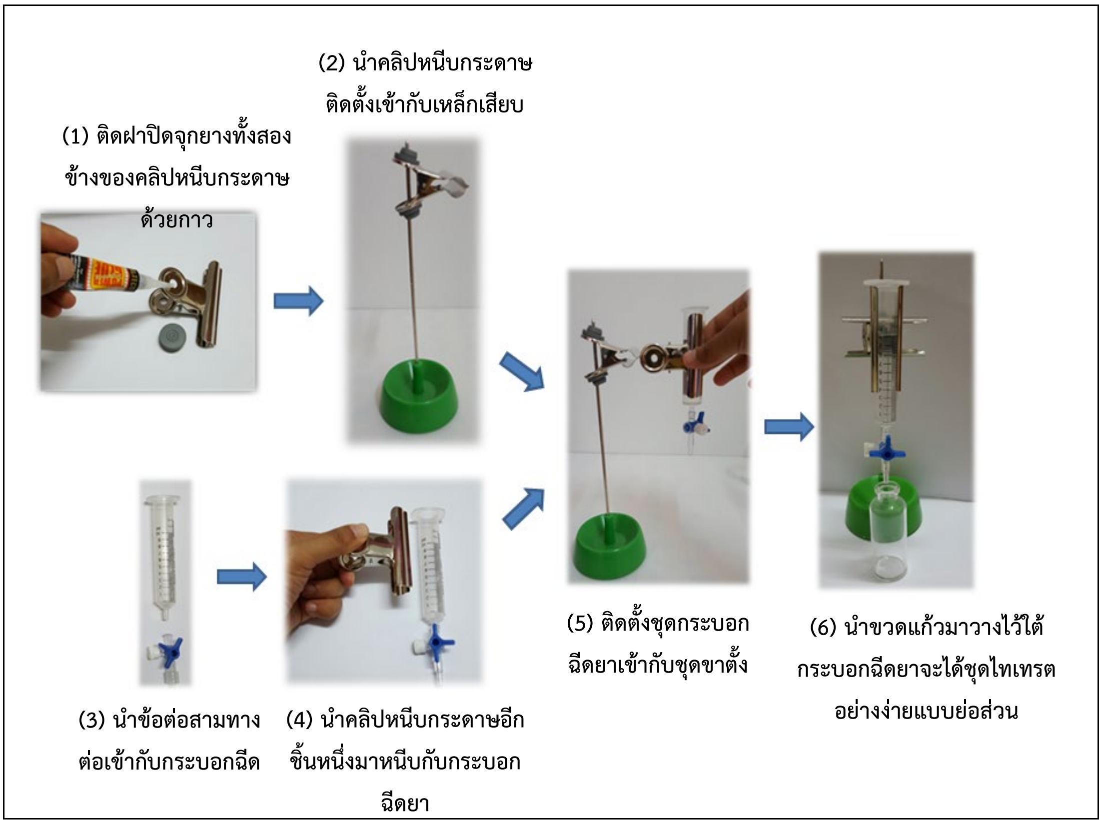
ภาพที่ 3.2 วัสดุ/อุปกรณ์ของชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3.1.2 วิธีการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3.1.2.1 ขั้นตอนการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

เริ่มต้นจากการติดฝาปิดจุกยาง (rubber stoppers) บนปีกทั้งสองข้างของคลิปหนีบกระดาษ (paper binder clips) ด้วยกาว (glue) จากนั้นนำคลิปหนีบกระดาษนี้ไปติดตั้งเข้ากับเหล็กเสียบกระดาษ (memo spike holder) คลิปหนีบกระดาษสามารถเลื่อนขึ้น-ลงเพื่อปรับความสูงได้ตามต้องการเพราะความยืดหยุ่นจากฝาปิดจุกยาง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนขาตั้งและที่หนีบ (stand and clamp) ของชุดการไทเทรต นำข้อต่อสามทาง (three ways stopcock) มาต่อเข้ากับกระบอกฉีดยาพลาสติก (plastic syringe) อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนบิวเรต (burette) ไว้สำหรับบรรจุสารละลายไทแทรนต์ที่ใช้ในการไทเทรต กระบอกฉีดยาพลาสติกเปรียบเสมือนตัวบิวเรต ส่วนข้อต่อสามทางเปรียบเสมือนก๊อกปิด-เปิด (stopcock) สำหรับควบคุมอัตราการไหลของสารละลายจากกระบอกฉีดยาพลาสติก จากนั้นนำคลิปหนีบกระดาษอีกชิ้นหนึ่งมาหนีบชุดบิวเรตอย่างง่าย

ติดตั้งชุดกระบอกฉีดยาเข้ากับชุดขาตั้งและที่หนีบนำขวดแก้ว (vial bottle) มาวางไว้ใต้กระบอกฉีดยา ขวดแก้วเปรียบเสมือนเป็นขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) สำหรับบรรจุสารละลาย ขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำแสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

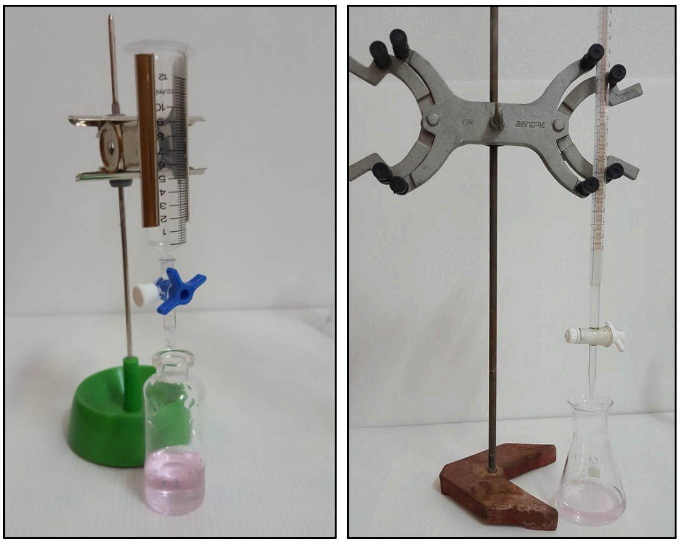
3.1.2.2 ขั้นตอนการใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในการไทเทรตกรด-เบส

ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำไปทำการทดลองเพื่อทดสอบความถูกต้องด้วยหลักการไมโครสเกลเทียบกับวิธีมาตรฐานคือการไทเทรตแบบดั้งเดิม โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของกรด-เบส ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้หาประสิทธิภาพการไทเทรตของชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ โดยนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มาทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) ในการทดลองนี้ สารละลาย NaOH จัดว่าเป็นสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard solution) ดังนั้นสารละลาย NaOH ที่เตรียมขึ้นมาจึงมีความเข้มข้นที่ไม่แน่นอนและจำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่

แน่นอนด้วยการไทเทรตกับสารละลาย KHP ซึ่งจัดว่าเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) ขั้นตอนสำหรับการใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในการไทเทรตกรด-เบสมีดังนี้

ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) 0.05 M KHP ปริมาตร 5.00 mL ลงในขวดแก้ว จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปทำการไทเทรตกับสารละลาย NaOH (ที่บรรจุในกระบอกฉีดยา) ด้วยชุดไทเทรตอย่างง่าย ในการไทเทรตชะสารละลายที่ติดอยู่ที่ขอบผนังด้านในของขวดแก้วด้วยน้ำกลั่น เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากใส/ไม่มีสีเป็นสีชมพูจาง (สีชมพูไม่จางหายไป ประมาณ 30 วินาที) บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่เปลี่ยนจากสารละลาย KHP เป็นกรดตัวอื่นที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน เช่น กรดอะซิติก (5% CH_3COOH) และกรดฟอร์มิก (85% HCOOH) อินดิเคเตอร์ยังคงเป็นฟีนอล์ฟทาลีนเช่นเดิม 1-2 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH (ที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว) ชะสารละลายที่ติดอยู่ที่ขอบผนังด้านในของขวดแก้วด้วยน้ำกลั่น (ถ้ามี) สารละลายจะเปลี่ยนจากใส/ไม่มีสีเป็นสีชมพูจางเมื่อถึงจุดยุติ (สีชมพูไม่จางหายไปประมาณ 30 วินาที) จากนั้นบันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ สำหรับการไทเทรตกับกรดแต่ละตัว ให้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดแต่ละตัวจากการไทเทรต สุดท้ายเปรียบเทียบค่าระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นนี้กับชุดบิวเรตมาตรฐาน เพื่อทดสอบความถูกต้องด้วยหลักการไมโครสเกลเทียบกับวิธีมาตรฐานคือการไทเทรตแบบดั้งเดิม ลักษณะและสีของสารละลายมีสีชมพูจางระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ลักษณะและสีของสารละลายมีสีชมพูจางเมื่อถึงจุดยุติ ระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้น (ซ้าย) กับชุดบิวเรตมาตรฐาน (ขวา)

3.2 ศึกษาความเข้าใจของนักเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3.2.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งใช้แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มตัวอย่างเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One group Pretest-Posttest Design) ประกอบด้วย

กลุ่ม: กลุ่มทดลอง

ทดสอบก่อนเรียน: O_1

ทดลอง X

ทดสอบหลังเรียน O_2

เมื่อ O_1 คือ การทดสอบก่อนเรียน (Pre-test)

X คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

O_2 คือ การทดสอบหลังเรียน (Post-test)

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.2.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 16 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 53 คน

3.2.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 16 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 29 คน ชาย 12 คน หญิง 17 คน ในห้องเรียนมีทั้งเด็กกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน โดยมีผลการเรียนวิชาเคมี 2 คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 71.64 โดยการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)

3.2.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ใน หนังสือเรียนวิชาเคมีเพิ่มเติม เล่ม 3 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ คือ ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3.2.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 3 แผน รวมเวลา 8 ชั่วโมง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กิจกรรมการเรียนรู้หลักในแต่ละแผนการเรียนรู้

แผนที่	**เรื่อง**	**กิจกรรมการเรียนรู้หลัก**	**จำนวนชั่วโมง**
1	การไทเทรตกรด-เบส	การไทเทรตหาจุดสมมูลของปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่-เบสแก่ กรดอ่อน-เบสแก่ และกรดแก่-เบสอ่อน	3
2	อินดิเคเตอร์กับการไทเทรตกรด-เบส	การเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรตกรดอ่อน-เบสแก่	2
3	การประยุกต์ใช้วิธีการไทเทรตในชีวิตประจำวัน	การหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างกรดและการหาความเข้มข้นของกรดอะเซติกในน้ำส้มสายชูยี่ห้อต่างๆ	3

2) แบบทดสอบวัดความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) จำนวน 15 ข้อ (ภาคผนวก ช)โดยแบบทดสอบตอบแบบ 3 ขั้น ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 (First tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ขั้นที่ 2 (Second tier) เหตุผลของคำตอบ แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก และขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ คือ 1) คาดเดา 2) ไม่มั่นใจอย่างมาก 3) ไม่มั่นใจ 4) มั่นใจ และ 5) มั่นใจอย่างมาก

3) แบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) ประกอบด้วย

3.1) สมมติฐานการทดลอง

3.2) ตัวแปรที่ศึกษา

3.3) ออกแบบการทดลอง

3.4) บันทึกผลการทดลอง (ตารางหรือกราฟ)

3.5) แปลความหมายข้อมูล

3.6) สรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการสอน 4 ข้อ และด้านกิจกรรมการทดลอง 8 ข้อ รวมทั้งหมด 12 ข้อ แบบสอบถามความพึงพอใจมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) โดยมีระดับคะแนนความพึงพอใจ 5 ระดับ คือระดับ 5 หมายถึง

นักเรียนพึงพอใจมากที่สุด ระดับ 4 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจมาก ระดับ 3 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจน้อย และระดับ 1 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจน้อยที่สุด (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

3.2.5 การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือ

3.2.5.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

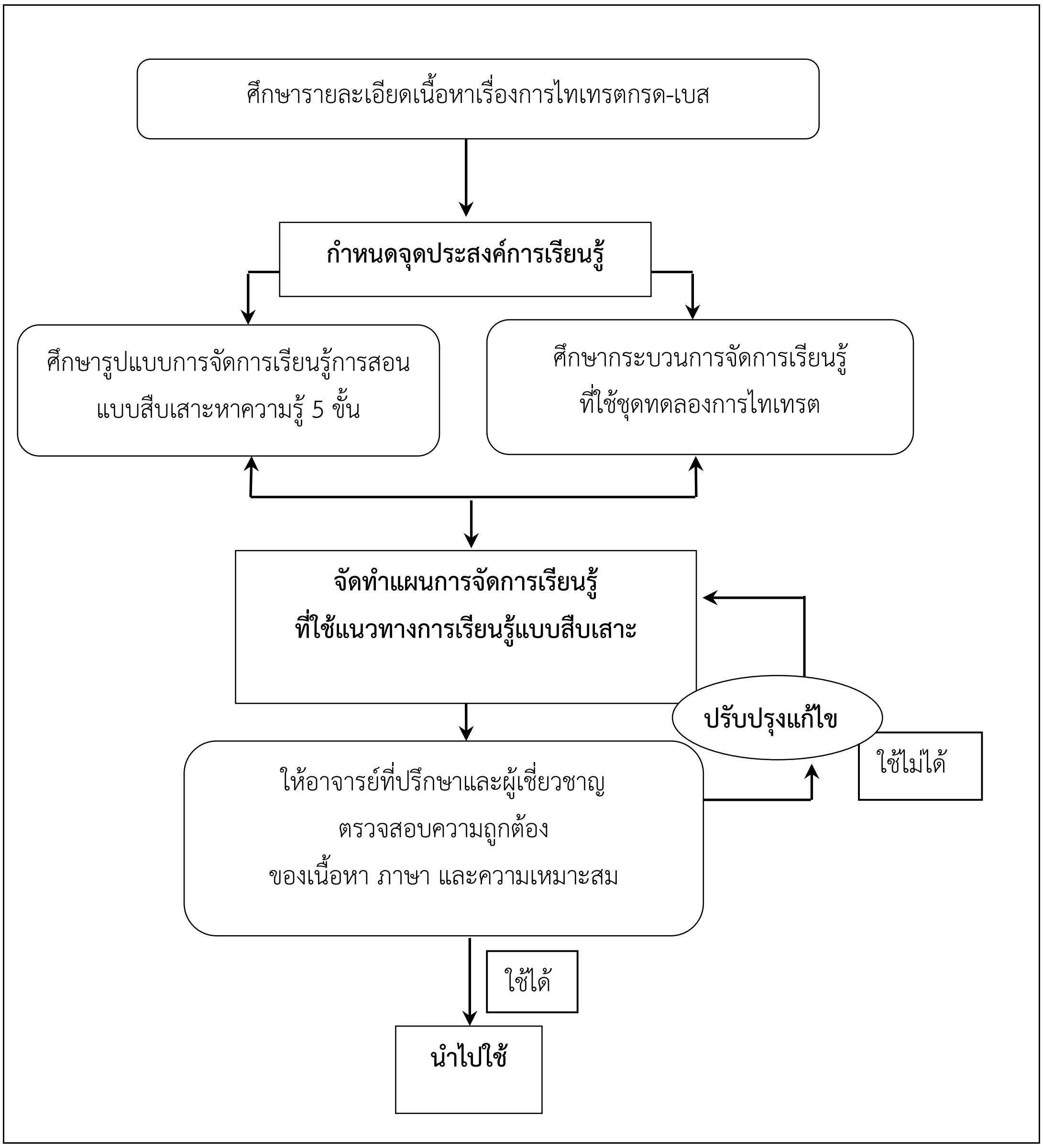
1) ศึกษาเอกสารจากตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส รวมทั้งศึกษามาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

2) กำหนดวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหา ให้สอดคล้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

3) สร้างแผนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ และขั้นที่ 5 ขั้นประเมินผล

4) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น ให้อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ภาษา และความเหมาะสม พิจารณาให้ข้อคิดเห็น แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องตามคำแนะนำ

5) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องโดยอาจารย์ที่ปรึกษา และปรับปรุงแก้ไข ไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างของการวิจัยตามที่กำหนดไว้ โดยขั้นตอนการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้

3.2.5.2 แบบทดสอบวัดความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) จำนวน 15 ข้อ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 และคู่มือการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เพื่อรวบรวมเนื้อหาและแนวคิดที่นักเรียนต้องศึกษา เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

2) ศึกษาทฤษฎี วิธีการสร้างแบบทดสอบ จากเอกสารเกี่ยวกับการวัดผลประเมินผลและการสร้างข้อสอบ

3) กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการจะวัด เรื่องการไทเทรตกรด-เบส เพื่อนำไปสร้างแบบทดสอบ

4) สร้างแบบทดสอบวัดความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) จำนวน 15 ข้อ โดยแบบทดสอบตอบแบบ 3 ขั้น ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 (First tier) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ขั้นที่ 2 (Second tier) เหตุผลของคำตอบ แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก และขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ คือ 1) คาดเดา 2) ไม่มั่นใจอย่างมาก 3) ไม่มั่นใจ 4) มั่นใจ และ 5) มั่นใจอย่างมาก

5) นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ ความเหมาะสมของภาษา หาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามของแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ เลือกข้อสอบที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 ซึ่งแสดงว่าผลการเรียนรู้นั้นวัดได้ครอบคลุมมาตรฐานการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ มีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ให้คะแนน +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

ให้คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

ให้คะแนน -1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์กาเรียนรู้

ถ้าค่า IOC ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 แสดงว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ถ้าค่า IOC ที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าข้อสอบนั้นไม่สอดคล้อง หรือไม่เป็นตัวแทนจุดประสงค์ของการวัดตัดทิ้งไปหรือนำไปปรับปรุงแก้ไขใหม่ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

6) นำแบบทดสอบที่ได้ปรับปรุงแก้ไข และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องโดยอาจารย์ที่ปรึกษาไปทดลองกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสทิงพระวิทยา จำนวน 28 คน ซึ่งผ่านการเรียนในเนื้อหาการไทเทรตกรด-เบส มาแล้ว

7) นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) คัดเลือกข้อสอบที่มีความยากง่าย (p) ในเกณฑ์ 0.20-0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

8) จัดทำแบบทดสอบที่สมบูรณ์จำนวน 15 ข้อไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำผลที่ได้ไปดำเนินการขั้นต่อไป

3.2.5.3 แบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษาเนื้อหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส วิธีการสร้างกิจกรรมการทดลองจากหนังสือเรียนรายวิชาเคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม เล่ม และจากงานวิจัยและเอกสารทางวิชาการ

2) สร้างใบกิจกรรมการทดลอง เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส และสร้างแบบบันทึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้แผนผังตัวยู (U–diagram) ที่ดัดแปลงมาจาก Knaggs and Schneider (2012) ดังภาพที่ 3.6

3) นำใบกิจกรรมกิจกรรมการทดลองพร้อมแบบบันทึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญ แล้วปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญให้ถูกต้องสมบูรณ์

4) สร้างเกณฑ์การให้คะแนน โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงจากงานวิจัยของ Knaggs, and Schneider (2012) เป็นเกณฑ์รูบริค (Rubic) 4 ระดับดังตารางที่ 3.2

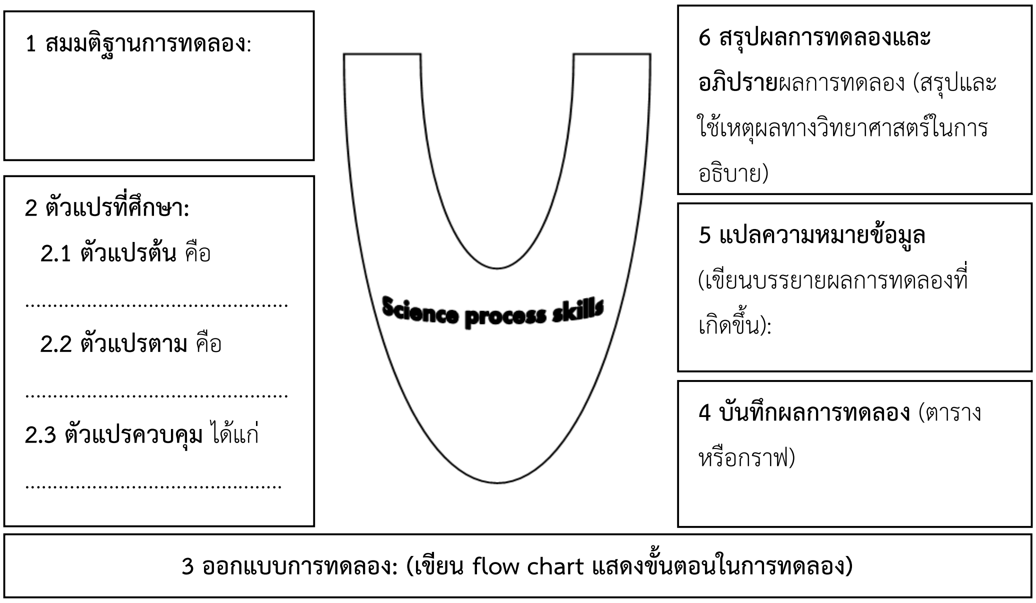
5) นำแบบบันทึกเกณฑ์การให้คะแนนที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้อง แล้วปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญให้ถูกต้องสมบูรณ์

ตารางที่ 3.2 การให้คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามแผนผังตัวยู (U-diagram)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และสามารถตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ชัดเจน แต่สอดคล้องกับเนื้อหา และสามารถตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ชัดเจน ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา แต่สามารถตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ชัดเจน ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา และไม่สามารถตรวจสอบได้
2. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้องและสอดคล้องกับสมมติฐานและระบุตัวแปรควบคุมได้อย่างสมบูรณ์	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้องและสอดคล้องกับสมมติฐาน แต่ระบุตัวแปรควบคุมไม่สมบูรณ์	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้องและสอดคล้องกับสมมติฐาน แต่ระบุตัวแปรควบคุม ไม่ถูกต้อง	กำหนดตัวแปรต้นหรือตัวแปรตามอย่างใดอย่างหนึ่งได้ถูกต้อง แต่ยังไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน
3. ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้สมบูรณ์และสอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน และเลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐานแต่ยังไม่สมบูรณ์ เลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน แต่ยังไม่สมบูรณ์ และเลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ไม่เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน

ตารางที่ 3.2 การให้คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) (ต่อ)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
4. ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองได้อย่างสมบูรณ์	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้สอดคล้องกับการทดลองแต่ไม่สมบูรณ์	ออกแบบตารางหรือบันทึกผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดลองอย่างใดอย่างหนึ่ง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดลอง
5. ทักษะการแปลความหมายข้อมูล	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน ชัดเจนและรัดกุม	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วนแต่ไม่ชัดเจนรัดกุม	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องบางส่วน	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลไม่ถูกต้อง
6. ทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูล และครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูลแต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปหรืออภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูลแต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลไม่สอดคล้องกับข้อมูลและไม่ครอบคลุมเนื้อหา



ภาพที่ 3.6 แผนผังตัวยู (U-diagram) ที่ใช้สำรวจทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills)

ที่มา: Knaggs and Schneider (2012)

3.2.5.4 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิเคราะห์ข้อมูลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจให้มีความเหมาะสม

2) สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) โดยมีระดับคะแนนความพึงพอใจ 5 ระดับ คือระดับ 5 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจมากที่สุด ระดับ 4 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจมาก ระดับ 3 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจน้อย และระดับ 1 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจน้อยที่สุด (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

3) สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ แบ่งเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ซึ่งเป็นออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 ด้านการสอน จำนวน 4 ข้อ ส่วนที่ 2 ด้านกิจกรรมการทดลอง 8 ข้อ รวมทั้งหมด 12 ข้อ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อคำถามในแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส แยกตามประเด็นการประเมิน

ประเด็นหลักในการประเมิน	ข้อที่
ส่วนที่ 1 ด้านการสอน	1-4
ส่วนที่ 2 กิจกรรมการทดลอง	5-12
รวม	3 ข้อ

3.1) นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาความสอดคล้องระหว่างประเด็นการจัดการเรียนรู้กับข้อคำถาม

3.2) ปรับปรุงแบบสอบถามความพึงพอใจในส่วนที่บกพร่อง คำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

3.3) นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วมาจัดพิมพ์และนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

3.2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 29 คน มีขั้นตอนดังนี้

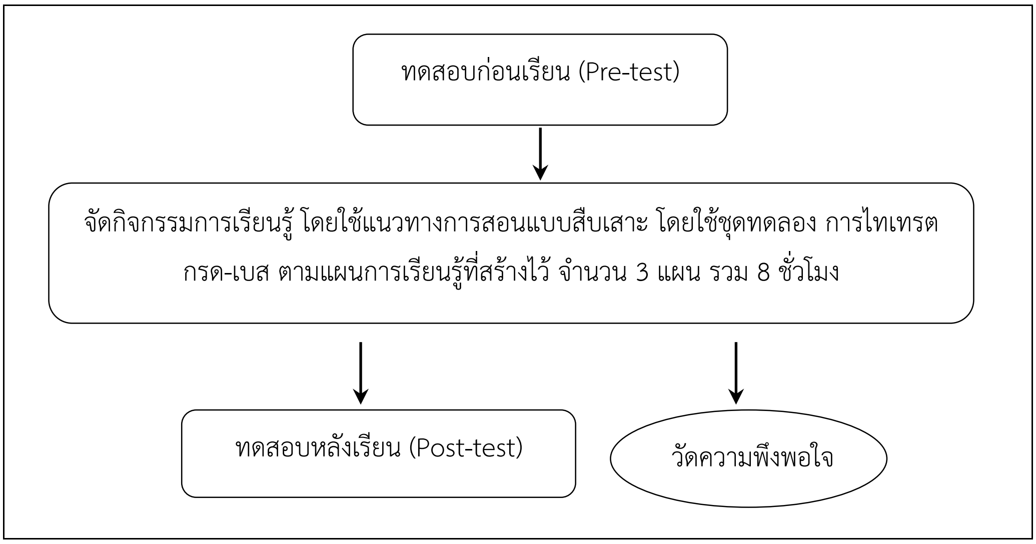
3.2.6.1 ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) กับกลุ่มตัวอย่าง โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบ 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) จำนวน 15 ข้อ ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 60 นาที

3.2.6.2 ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตามแผนการจัดการเรียนรู้บนพื้นฐานแนวทางการสอนแบบสืบเสาะ โดยใช้ชุดทดลองการไทเทรตกรด-เบส ตามกิจกรรมการทดลองและแบบบันทึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) โดยใช้แผนผังตัวยูจำนวน 3 แผน รวม 8 ชั่วโมง ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559

3.2.6.3 ทดสอบหลังเรียน (Post-test) กับกลุ่มตัวอย่าง โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบ 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) ชุดเดิม จำนวน 15 ข้อ ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 60 นาที

3.2.6.4 วัดความพึงพอใจ ของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ตามประเด็นการประเมิน คือ ด้านการสอนและกิจกรรม

การทดลอง ตามระดับความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 12 ข้อ ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์การวิจัยตามลำดับดังนี้

3.2.7.1 เกณฑ์การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยชุดทดลองการไทเทรตกรด-เบสอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยข้อสอบแต่ละข้อคิดเป็น 2 คะแนน การตอบตัวเลือกหรือเหตุผลถูกให้อย่างละ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน โดยใช้สถิติพื้นฐานค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและทดสอบด้วยสถิติ t-test แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (t-test for dependent samples) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

2) วิเคราะห์ร้อยละของนักเรียนก่อนและหลังในระดับความเข้าใจต่างๆ จากคะแนนของแบบทดสอบที่ตอบแบบ 3 ลำดับขั้น ตามเกณฑ์ที่ดัดแปลงมาจาก Harika et al. (2012) ดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด โดยเลือกคำตอบถูก = correct และคำตอบผิด = incorrect

ขั้นที่ 2 เลือกเหตุผลของคำตอบ โดยเลือกคำตอบถูก = correct และคำตอบผิด = incorrect

ขั้นที่ 3 แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก (3) ไม่มั่นใจ (4) มั่นใจ และ (5) มั่นใจอย่างมาก โดยระดับ 1–3 คือ ไม่มั่นใจ (uncertain) และระดับ 4–5 คือ มั่นใจ (certain)

จากนั้นจำแนกระดับความเข้าใจของนักเรียน ดังนี้

CCC: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก มีความมั่นใจในคำตอบ

CIC: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลผิด มีความมั่นใจในคำตอบ

ICC: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลถูก มีความมั่นใจในคำตอบ

IIC: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลผิด มีความมั่นใจในคำตอบ

CCU: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก ไม่มีความมั่นใจในคำตอบ

CIU: ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลผิด ไม่มีความมั่นใจในคำตอบ

ICU: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลถูก ไม่มีความมั่นใจในคำตอบ

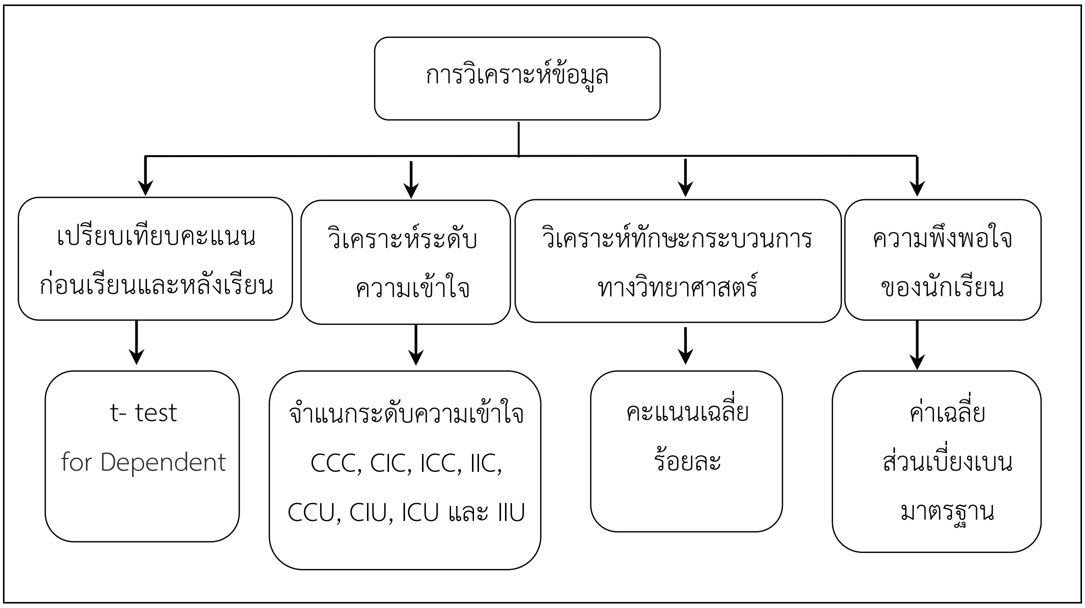
IIU: ตอบตัวเลือกผิด ตอบเหตุผลผิด ไม่มีความมั่นใจในคำตอบ

3) วิเคราะห์ข้อมูลทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) ในแต่ละขั้นตอนตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เกณฑ์ที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงจากงานวิจัย Knaggs and Schneider (2012) โดยใช้เกณฑ์รูบริค (Rubic) 4 ระดับ ตั้งขึ้นเพื่อแบ่งระดับความเข้าใจของผู้เรียน ดังตารางที่ 3.2

4) วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้จากแบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งมีหัวข้อการประเมิน 2 ด้าน รวมทั้งสิ้น 12 ข้อ โดยมีระดับคะแนนความพึงพอใจ 5 ระดับ โดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มาวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาขอบเขตของคะแนนเพื่อใช้ในการแปลความหมายข้อมูลในแต่ละประเด็น ดังตารางที่ 3.4 และสามารถสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดังภาพที่ 3.8

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้

ระดับคะแนนเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
4.50 – 5.00	มากที่สุด
3.50 – 4.49	มาก
2.50 – 3.49	ปานกลาง
1.50 – 2.49	น้อย
1.00 – 1.49	น้อยที่สุด



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการจัดกระทำข้อมูล เพื่อแปลผลที่ได้จากการศึกษาผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการทางสถิติ ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ย (Mean) มีสูตรดังสมการที่ (3.1) (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \tag{3.1}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทนผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N แทนจำนวนคะแนนในกลุ่มตัวอย่าง

2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ใช้ในการวัดการกระจายของข้อมูล โดยการหาว่าข้อมูลแต่ละตัวห่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตมากน้อยเพียงใด ใช้สัญลักษณ์ SD มีสูตรดังดังสมการที่ (3.2) (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

$$SD = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \tag{3.2}$$

เมื่อ SD แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ แทนผลรวมของคะแนนทั้งหมด

$\sum X^2$ แทนผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

$(\sum X)^2$ แทนผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

n แทนจำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

3) ร้อยละ (Percentage) โดยใช้สูตรดังสมการที่ (3.3) (อมร เรืองไพศาล, 2555)

$$P = \frac{f}{n} \times 100 \tag{3.3}$$

เมื่อ P แทนร้อยละ

f แทนค่าความถี่

n แทนจำนวนความถี่ทั้งหมด

4) การหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้มีสูตรดังดังสมการที่ (3.2) (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \tag{3.4}$$

เมื่อ IOC แทนดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์

$\sum R$ แทนผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N แทนจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

ให้คะแนนเป็น -1 เมื่อแน่ใจว่าไม่เหมาะสมและสอดคล้อง

ให้คะแนนเป็น 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าเหมาะสมและสอดคล้อง

ให้คะแนนเป็น +1 เมื่อแน่ใจว่าเหมาะสมและสอดคล้อง

5) การหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบมีสูตรดังดังสมการที่ (3.5) (วาโร เพ็งสวัสดิ์, 2545)

$$P = \frac{R_H + R_L}{N_H + N_L} \tag{3.5}$$

เมื่อ P แทนความยากง่าย

H แทนจำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

L แทนจำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

N แทนจำนวนผู้ตอบทั้งหมดในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

การหาค่าอำนาจจำแนก (r) มีสูตร ดังดังสมการที่ (3.6)

$$r = \frac{R_H + R_L}{N_H} \tag{3.6}$$

เมื่อ r แทนอำนาจจำแนก

H แทนจำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

L แทนจำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

N แทนจำนวนผู้ตอบทั้งหมดในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

6) การหาค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับของแบบทดสอบโดยวิธีของคูเดอร์- ริชาร์ดสัน (Kuder – Richardson: KR) KR–21 เป็นสูตรในการหาค่าความเชื่อมั่นที่เหมาะสำหรับแบบทดสอบที่มีความยากง่ายของข้อสอบแต่ละข้อมีค่าใกล้เคียงกัน สูตรที่ใช้ในการคำนวณมีรูปแบบดังดังสมการที่ (3.7) (วาโร เพ็งสวัสดิ์, 2545)

$$r_t = \frac{n}{n-1}\left\{1 - \frac{\overline{X}(n-\overline{X})}{ns_t^2}\right\} \tag{3.7}$$

เมื่อ r_t แทนสัมประสิทธิ์ของความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ

n แทนจำนวนข้อของแบบทดสอบ

$\overline{X}$ แทนค่าเฉลี่ยของคะแนน

S^2_t แทนความแปรปรวนของคะแนนสอบทั้งฉบับ

n แทนจำนวนผู้เรียน

7) การทดสอบสมมติฐานโดยใช้ t-test แบบ Dependent วิเคราะห์เปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน มีสูตรดังดังสมการที่ (3.8) (ประภาพันธ์ เส็งวงศ์, 2550)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{(n-1)}}} \quad (3.8)$$

เมื่อ t แทนค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตเพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

D แทนผลต่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

ΣD แทนผลรวมของผลต่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

ΣD^2 แทนผลรวมกำลังสองของผลต่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

n แทนจำนวนนักเรียน

บทที่ 4
ผลการวิจัย และอภิปรายผล

การวิจัยและอภิปรายผลเกี่ยวกับการส่งเสริมการเรียนของนักเรียน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 16 ผู้วิจัยได้นำชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นไปดำเนินการทดลองพร้อมเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือกสามลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) แบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์การวิจัย และนำเสนอผลการวิจัยตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี

4.2 ศึกษาความเข้าใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

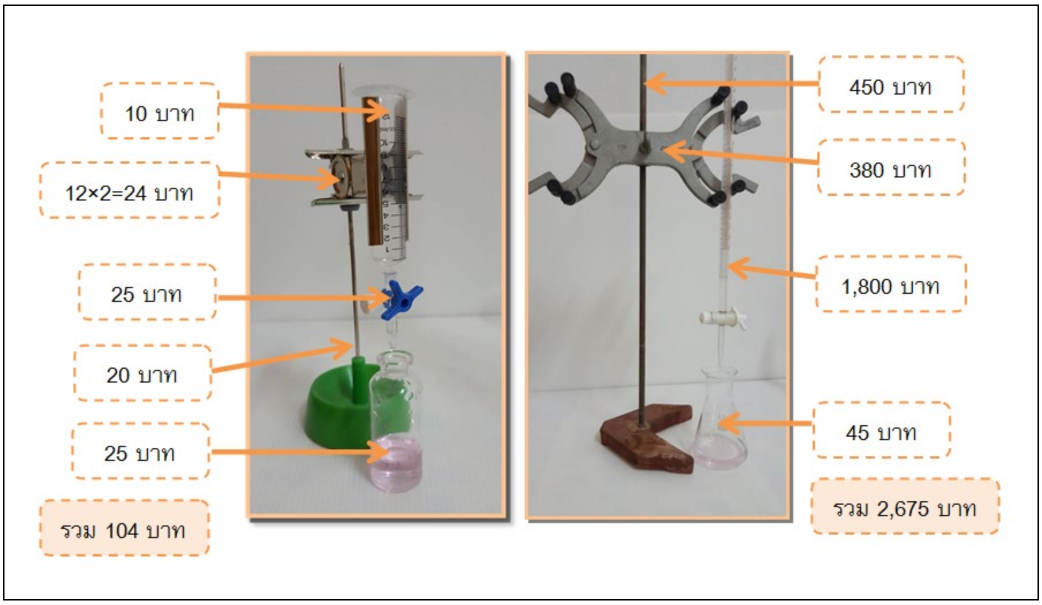
4.3 ศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

4.4 ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

4.1 การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมีแสดงให้เห็นถึงแนวคิดในการพัฒนาชุดทดลองระดับไมโคร (microscale) หรือแบบย่อส่วน (small scale laboratory) ที่มีต้นทุนต่ำและมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม ชุดการทดลองระดับไมโครหรือแบบย่อส่วนไม่เพียงแต่จะใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดเล็กลง แต่ยังเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยในการทำการทดลองอีกด้วย นอกจากนี้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่าย

ตามท้องตลาดทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐานวัสดุอุปกรณ์แต่ละชิ้นที่ใช้ในการสร้างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นประกอบด้วย กระบอกฉีดยาขนาด 10 mLจำนวน 1 อัน ราคา 10 บาท คลิปหนีบกระดาษขนาดกลาง จำนวน 2 อัน ราคาอันละ 12 บาท รวมเป็น 24 บาท ข้อต่อสามทาง ราคา 25 บาท เหล็กเสียบกระดาษราคา 20 บาท และ ขวดแก้วขนาด 30 mLราคา 25 บาท รวมต้นทุนทั้งหมดสำหรับการสร้างชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้เพียง 104 บาทต่อชุด (ประมาณ US$3) ส่วนวัสดุอุปกรณ์แต่ละชิ้นที่ใช้ในชุดบิวเรตมาตรฐานประกอบด้วย ขาตั้งราคา 450 บาท มือหนีบปีกผีเสื้อราคา 380 บาท บิวเรตราคา 1,800 บาท และขวดรูปชมพู่ราคา 45 บาท รวมต้นทุนทั้งหมดสำหรับชุดบิวเรตมาตรฐานอยู่ที่ 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ US$76.5) ดังภาพที่ 4.1

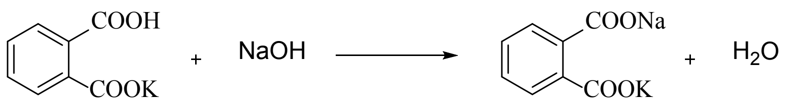


ภาพที่ 4.1 ราคาของวัสดุอุปกรณ์แต่ละชิ้นและต้นทุนทั้งหมดระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้น (ซ้าย) กับชุดบิวเรตมาตรฐาน (ขวา)

จะเห็นได้ว่า นอกจากวัสดุอุปกรณ์แต่ละชิ้นสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายยาหรือตามท้องตลาดทั่วไปแล้ว ยังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าชุดบิวเรตมาตรฐานค่อนข้างมากด้วย แนวคิดในการพัฒนาชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้สอดคล้องกับ Cao et al. (2014) ที่ได้พัฒนาอุปกรณ์ electronic buret เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการไทเทรตในห้องเรียนซึ่งมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับราคาของ glass buret (ถ้ามี voltmeter ราคาน้อยกว่า US$20 หรือถ้ามี Arduino board ราคาน้อยกว่า US$50) และยังสอดคล้องกับวิจัยของ Singh et al. (2000) ที่ได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ microburet ที่ใช้ในการไทเทรตกรด-เบส เทียบกับชุดบิวเรตมาตรฐานพบว่า อุปกรณ์ microburet ที่พัฒนาขึ้นมีราคาถูกกว่าชุดบิวเรตมาตรฐานค่อนข้างมาก (ประมาณ US$30-40)

นอกจากนี้ชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ใช้สารในปริมาณน้อยกว่าบิวเรตมาตรฐาน ช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการทดลองได้มากขึ้น และการใช้ไมโครบิวเรตในการทดลองสามรถลดเวลาได้มาก ตามปกติการไทเทรตใช้เวลาประมาณ 25 นาที แต่ถ้าใช้ไมโครบิวเรต ใช้เวลาเพียง 3-5 นาที นอกจากนั้นการล้างและการจัดเก็บไมโครบิวเรตก็ทำได้ง่ายขึ้น และความง่ายในการใช้งานสามารถนำมาใช้กับผู้เรียนได้ทุกลักษณะ ผู้เรียนที่พิการนั่งรถเข็นก็สามารถใช้อุปกรณ์นี้ได้ โต๊ะทดลองที่มีขนาดต่ำก็ตั้งไมโครบิวเรตได้ เพราะโดยทั่วไปบิวเรตมาตรฐานที่ใช้งานกันมีความสูงและเป็นอุปสรรคต่อผู้ใช้ในบางกรณีได้ เช่น ผู้ใช้ที่มีความสูงไม่มากนัก

สำหรับประสิทธิภาพการไทเทรตของชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองการไทเทรตโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของกรด-เบส ในเบื้องต้นนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มาทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) ในการทดลองนี้ สารละลาย NaOH จัดว่าเป็นสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard solution) ถึงแม้ NaOH จะเป็นของแข็งสีขาว แต่เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดีมาก ดังนั้นสารละลาย NaOH ที่เตรียมขึ้นมาจึงมีความเข้มข้นที่ไม่แน่นอนและจำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยการไทเทรตกับสารละลาย KHP ซึ่งจัดว่าเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) เพราะ KHP เป็นสารที่อยู่ในสถานะของแข็ง มีเสถียรภาพสูง มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีสูตรทางเคมีที่แน่นอน จึงทำให้เราสามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนได้จากน้ำหนักและปริมาตรที่เตรียมขึ้น สารละลาย KHP จึงมีความเข้มข้นที่แน่นอนและถูกต้องมากกว่าสารละลาย NaOH ปฏิกิริยาเคมีจากการไทเทรต สารละลาย NaOH กับสารละลาย KHP ดังสมการที่ (4.1)



(4.1)

เมื่อ NaOH ทำปฏิกิริยากับ KHP จะได้เกลือโพแทสเซียมโซเดียมพทาเลตและน้ำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น อัตราส่วนของmolระหว่าง NaOH กับ KHP เป็น 1:1 เนื่องจากสารละลายทั้งสองไม่มีสี จุดยุติสามารถติดตามได้จากการใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายในขวดแก้วจะเปลี่ยนจากใส/ไม่มีสีเป็นสีชมพูจาง โดยหลักการแล้ว เมื่อทราบปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับ KHP ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 จากนั้นสามารถคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH ได้โดยอาศัยปริมาณสัมพันธ์

ตารางที่ 4.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
ปริมาตรของ KHP (mL)	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)	5.20	5.00	5.20	5.13	0.12
ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH (mol/l)	0.049				

นอกจากนี้สามารถนำสารละลาย NaOH ที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอนนี้ไปใช้ประโยชน์ในการหาความเข้มข้นของกรดตัวอื่นที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันได้ เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) และกรดฟอร์มิก (HCOOH) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลาย NaOH กับสารละลาย CH_3COOH และ HCOOH สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังสมการที่ (4.2) และ (4.3)

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O \tag{4.2}$$

$$HCOOH + NaOH \longrightarrow HCOONa + H_2O \tag{4.3}$$

เมื่อ CH_3COOH ทำปฏิกิริยากับ NaOH จะได้เกลือโซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) และน้ำเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อ HCOOH ทำปฏิกิริยากับ NaOH ก็จะได้เกลือโซเดียมฟอร์เมต (HCOONa) และน้ำเป็นสารผลิตภัณฑ์ สมการทั้งสองมีอัตราส่วนของmolระหว่างกรดกับเบสเป็น 1:1 เหมือนกัน จากความรู้เกี่ยวกับปริมาณสัมพันธ์ สามารถใช้อัตราส่วนนี้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทั้งสองแล้วเทียบกับความเข้มข้นค่าจริงที่รายงานไว้บนฉลากสินค้าได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองจากการไทเทรตด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐาน

กรดตัวอย่าง	ความเข้มข้นค่าจริง	ความเข้มข้นที่คำนวณได้			
		ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้น	ร้อยละความคลาดเคลื่อน	ชุดบิวเรตมาตรฐาน	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
$CH_3COOH^{\dagger}$	5.00 %w/v	5.23 %w/v	4.60	5.07 %w/v	1.40
$HCOOH^{\ddagger}$	85.00 %w/w	88.78 %w/w	4.45	86.88 %w/w	2.21

† ผลิตโดยบริษัทไทยเทพรสผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) ตรา ภูเขาทอง

‡ ผลิตโดยบริษัทแกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด

เมื่อนำอุปกรณ์ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำไปทำการทดลองเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพ และความถูกต้องของการไทเทรต ด้วยหลักการไมโครสเกลเทียบกับวิธีมาตรฐานคือการไทเทรตแบบดั้งเดิม ผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นที่คำนวณได้ของกรดแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นค่าจริงที่รายงานไว้บนฉลากสินค้าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (ร้อยละ error) มีค่าต่ำกว่า 5ร้อยละ ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประกรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล และคณะ (2559) ได้พัฒนาและออกแบบอุปกรณ์เทคนิคการไทเทรตโดยใช้หลักการไมโครสเกล โดยใช้กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 1 mL เชื่อมต่อกับกระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 5 mL เป็นตัวควบคุมการปล่อยสาร และใช้ขวดรูปชมพู่ขนาด 25 mL เป็นตัวรับสารและการเกิดปฏิกิริยา ผลการศึกษาพบว่าชุดอุปกรณ์การไทเทรต กรด-เบสที่พัฒนานั้น สามารถลดการใช้สารเคมีลงได้ 10 เท่าเมื่อเทียบกับการไทเทรตแบบดั้งเดิม และพบว่าปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่วิเคราะห์มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบการไทเทรตแบบดั้งเดิมและวิธีออโตโพเทนซิโอเมทริกไทเทรชัน และโพเทนซิโอเมทริก-ไทเทรชัน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Richardson et al. (2003) พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณความกระด้างของน้ำโดยใช้หลักการไมโครสเกลไทเทรชัน โดยการหาปริมาณน้ำกระด้างด้วยวิธีแมค- โครสเกลและไมโครสเกลโดยวิธีแมคโครสเกลใช้บิวเรต 50 mL และไมโครสเกลใช้ไมโครบิวเรต 2 mL ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นทั้งสองวิธีต่างกัน 0.0001 mol และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในทั้งสองอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ และสามารถลดปริมาณสารเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wooster (2007) ได้กล่าวว่า การสอนโดยใช้การทดลองแบบย่อส่วน ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายโดยใช้หลักการและทฤษฎีเดียวกันได้ ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาตรฐานทั่วไป (standard scale)

ดังนั้น แสดงว่าชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้เป็นอุปกรณ์การทดลองแทนชุดบิวเรตมาตรฐานทั่วไปได้ โดยมีจุดเด่นเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีน้อย อุปกรณ์ที่ใช้เป็นพลาสติกคงทนต่อการแตกหัก อุปกรณ์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาสะดวกในการใช้ สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายมีความสะดวกในการจัดเก็บ ไม่เปลืองเนื้อที่ อุปกรณ์มีราคาถูก หรืออาจเป็นวัสดุเหลือใช้บางชนิดที่เลือกมาใช้ในการทำการทดลองได้ และนอกจากนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการสอนการไทเทรตในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณเป็นอย่างยิ่ง

4.2 ศึกษาความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

4.2.1 เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายชั้นเรียน

การวัดความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือกสามลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 29 คน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 แล้วเปรียบเทียบคะแนนโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test แบบ Dependent ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 คะแนนความเข้าใจเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส

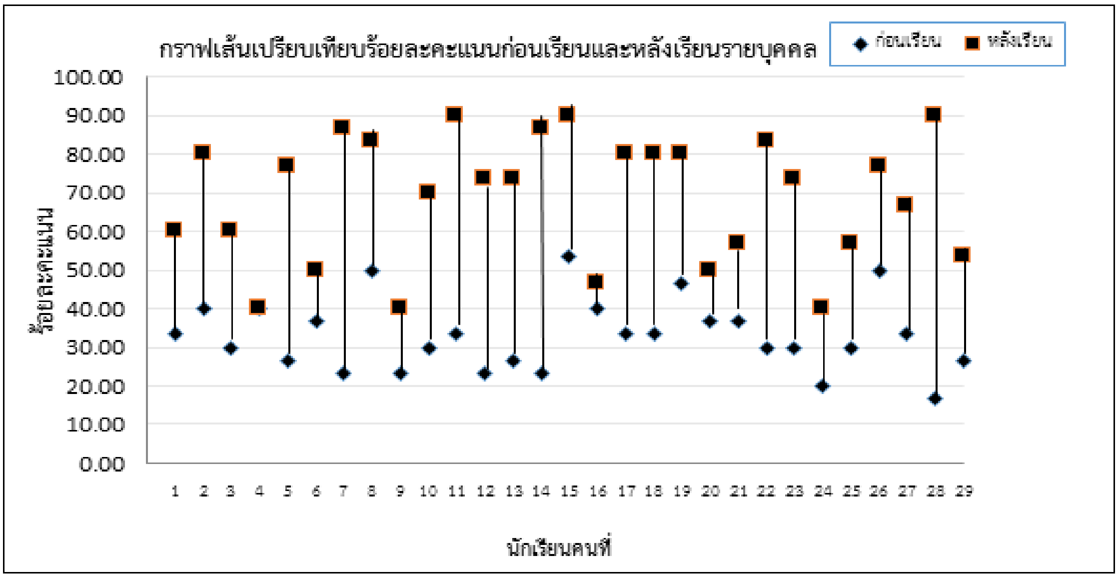
คะแนน	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนต่ำสุด	คะแนนสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลต่างของค่าเฉลี่ย	t-test
ก่อนเรียน	29	30	5	15	9.91	2.74	10.73 (ร้อยละ 35.77)	10.792*
หลังเรียน	29	30	11	27	20.64	4.95		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p = .05$, $t_{28, .05} = 2.0484$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 กลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 29 คน ทำการทดสอบก่อนและหลังเรียน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (mean 20.64, SD 4.95) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (mean 9.91, SD 2.74) นักเรียนมีคะแนนความก้าวหน้าการเรียนรู้เฉลี่ย 10.73 หรือร้อยละ 35.77 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับ

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้มีการพัฒนาการเรียนรู้สูงขึ้นจริงซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้นเป็นเพราะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงในการไทเทรตกรด-เบสทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการทดลองเพราะได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง นอกจากนี้การจัดกิจกรรมแบบสืบเสาะส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างอย่างต่อเนื่องและเป็นขั้นตอน ดังนั้นการจัดกิจกรรมโดยใช้สื่อนวัตกรรมการทดลองส่งผลให้ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมได้ชัดเจนมากขึ้นเพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ และจดจำการเรียนรู้นั้นได้นาน สอดคล้องกับงานวิจัยของอุบลวรรณ ไท้ทอง และคณะ (2554) ที่ได้รายงานไว้ว่าการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ จะเกิดประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อนักเรียนได้มีโอกาสทดลอง เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหลักการ กฎ และทฤษฎีต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์สามารถนำความรู้ที่ได้ไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของนัฐชยพชร คำนวณ (2551) การเรียนจากการลงมือทำปฏิบัติการเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องการแยกสาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีค่าเฉลี่ยของความก้าวหน้าคิดเป็นร้อยละ 48.06 ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการสอนโดยใช้ชุดฝึกปฏิบัติการ เรื่องการแยกสารมีค่าอยู่ในระดับมาก จากแบบประเมินทักษะการทดลองนักเรียนมีทักษะการทดลองได้คะแนนร้อยละ 80.61 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของศศิธร ต้นสวรรค์ และกานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา (2554) ได้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการแยกสารของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติร่วมกับการสร้างผังกราฟิก ผลการวิจัยพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิระดับความเชื่อมั่น .05 นักเรียนมีทักษะการทดลองคิดเป็นร้อยละ 82.83 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นปฏิบัติจริง สามารถพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการเปลี่ยนแปลงสารและการแยกสารโดยเมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์หลังการจัดการเรียนรู้เน้นการปฏิบัติจริง (Hands -on) มีค่าเฉลี่ย 22.69 (SD 2.15) โดยเพิ่มจากผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนที่มีค่าเฉลี่ย 8.44 (SD 2.22) คิดเป็นคะแนนความก้าวหน้า 14.25 หรือร้อยละ 46.67 นอกจากนี้นักเรียนยังมีเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับสูง (mean 4.68, SD 0.50) และมีความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี (mean 3.75, SD 0.77) (ศักดิ์ศรี สุภาษร, 2554)

เมื่อนำร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนมาเปรียบเทียบเป็นรายบุคคลสามารถแสดงให้เห็นรายละเอียดดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายบุคคล

จากภาพที่ 4.2 กราฟเส้นเปรียบเทียบร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล จะเห็นว่าร้อยละคะแนนก่อนเรียนของนักเรียนทั้งหมดอยู่ในระดับน้อยมากถึงปานกลาง (≤ร้อยละ 50) เหตุผลเนื่องจากนักเรียนอาจจะยังไม่มีความรู้พื้นฐานที่ดีเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส ความรู้เรื่องการเลือกอินดิเคเตอร์ การคำนวนหาความเข้มข้นของกรด-เบสในสารตัวอย่าง เป็นต้น แต่เมื่อนักเรียนได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้แล้วจะเห็นได้ว่านักเรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาการเรียนรู้สูงขึ้นมีร้อยละคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชุดการทดลองแบบย่อส่วนที่สร้างขึ้นมามีกระบวนการสร้างโดยอาศัยหลักในการสร้างที่ดี มีจุดประสงค์ว่าจะพัฒนาเรื่องใด มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและเวลา ทำให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงด้วยตนเอง ได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง สามารถปฏิบัติตามกิจกรรมต่างๆในชุดการทดลองแบบย่อส่วนได้ดี การจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญโดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทำให้นักเรียนมีความตั้งใจในการปฏิบัติกิจกรรม สนุกกับการเรียนรู้ และทำงานร่วมกับเพื่อนตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างเห็นได้ชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของชัยยศ จันทร์แก้ว (2556) ได้พัฒนาปฏิบัติการเคมีสีเขียวเพื่อนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เพื่อปรับปรุงบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีพื้นฐานในภาคเรียนที่ 2/2555 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน มีค่าเฉลี่ยของคะแนนมากกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีแบบทั่วไป และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Abdullah et al. (2009) ได้จัดการเรียนการสอนการไทเทรตกรด-เบสโดยใช้ชุดทดลองแบบย่อส่วน เช่น Microtitration kit ที่ประกอบด้วย microburet, microstand และ plastic microwell plate แทนการใช้ standard buret เทคนิคไมโครสเกลนี้ใช้ปริมาณสารละลายเพียง 1.00 mL ในขณะที่การทดลองด้วย standard buret ใช้สารละลายมากกว่า 25.00 mL ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจในเรื่องการหาจุดยุติของการไทเทรตกรด-เบสได้เรียนรู้เร็วกว่าในระดับมาตรฐานทั่วไป (Standard scale)

4.2.2 เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายจุดประสงค์การเรียนรู้

ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือกสามลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 15 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ดังนี้ คือ

(1) บอกความหมายของการไทเทรต สารละลายมาตรฐาน และจุดสมมูลได้

(2) ทำการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูลได้

(3) ทำนายค่า pH ของสารละลาย โดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้

(4) คำนวณหาปริมาณกรดหรือเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน โดยใช้ข้อมูลจากการไทเทรตได้

(5) หาจุดสมมูลค่า pH และปริมาตรของสารละลายกรดหรือเบส ณ จุดสมมูลกราฟของการไทเทรตที่กำหนดให้ได้

(6) เลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด –เบส แต่ละคู่ที่กำหนดให้และบอกเหตุผลได้

(7) นำหลักการไทเทรตกรด-เบสไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้

แล้วเปรียบเทียบคะแนนโดยการวิเคราะห์ทางสถิต t- test แบบ Dependent ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายจุดประสงค์การเรียนรู้

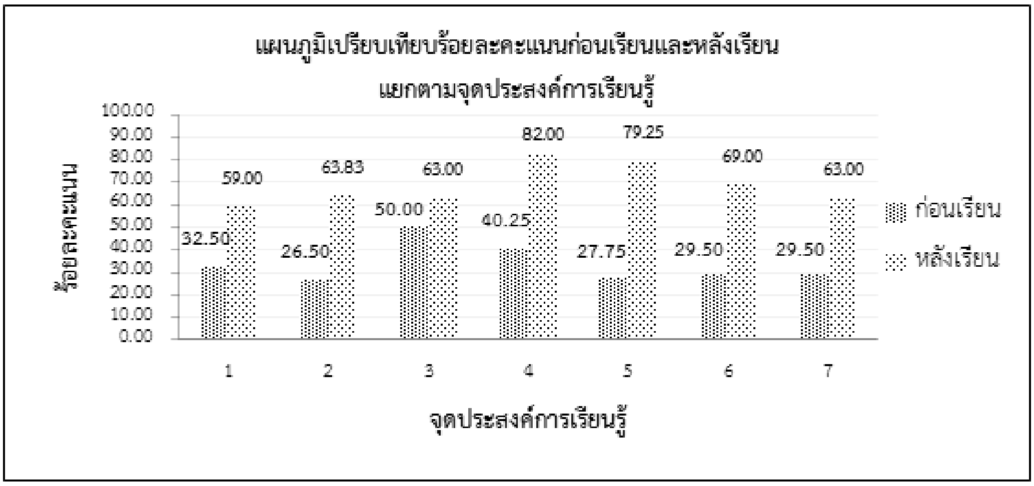
จุดประสงค์การเรียนรู้ที่	ข้อที่	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ผลต่างร้อยละ	t-test
			Mean	SD	ร้อยละ	Mean	SD	ร้อยละ		
1	1	2	0.65	0.95	32.50	1.18	1.00	59.00	26.50	2.100*
2	2	2	0.28	0.67	14.00	0.90	0.94	45.00	31.00	
	3	2	0.35	0.76	17.50	1.31	0.92	65.50	48.00	
	4	2	0.96	0.97	48.00	1.62	0.79	81.00	33.00	
	รวม	**6**	**1.59**	**1.09**	**26.50**	**3.83**	**1.63**	**63.83**	**37.33**	6.166*
3	5	2	1.28	0.97	64.00	1.76	0.64	88.00	24.00	
	6	2	0.72	0.97	36.00	0.76	0.98	38.00	2.00	
	รวม	**4**	**2.00**	**1.38**	**50.00**	**2.52**	**1.60**	**63.00**	**13.00**	**3.984***
4	7	2	0.68	0.96	34.00	1.45	0.91	72.50	38.50	
	8	2	0.93	1.02	46.50	1.83	0.57	91.50	45.00	
	รวม	**4**	**1.61**	**1.35**	**40.25**	**3.28**	**0.96**	**82.00**	**41.75**	**5.697***
5	9	2	0.52	0.84	26.00	1.76	0.64	88.00	62.00	
	10	2	0.59	0.92	29.50	1.41	0.92	70.50	41.00	
	รวม	**4**	**1.11**	**0.86**	**27.75**	**3.17**	**1.00**	**79.25**	**51.50**	**9.581***
6	11	2	0.59	0.90	29.50	1.14	0.99	57.00	27.50	
	12	2	0.66	0.92	33.00	1.38	0.93	69.00	36.00	
	13	2	0.52	0.89	26.00	1.62	0.79	81.00	55.00	
	รวม	**6**	**1.77**	**1.24**	**29.50**	**4.14**	**1.02**	**69.00**	**39.50**	**5.373***
7	14	2	0.69	0.95	34.50	1.42	0.92	71.00	36.50	
	15	2	0.49	0.86	24.50	1.10	1.00	55.00	30.50	
	รวม	**4**	**1.18**	**0.97**	**29.50**	**2.52**	**1.15**	**63.00**	**33.50**	**4.380***
รวม		**30**	**9.91**	**2.74**	**33.03**	**20.64**	**4.95**	**68.80**	**35.77**	**10.691***

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p = .05$, $t_{28,\ .05} = 2.0484$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 กลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 29 คน ทำการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เมื่อเปรียบเทียบร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนมีร้อยละคะแนนมากที่สุดในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 คือทำนายค่า pH ของสารละลาย โดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้คิดเป็นร้อยละ 50.00 ทั้งนี้เนื่องจากสาระสำคัญในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 ข้อสอบข้อที่ 5 เป็นการวัดความเข้าใจนักเรียน อาจจะมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับค่า pH ของสารละลาย มาก่อนบ้างแล้ว และมีร้อยละคะแนนต่ำสุดใน

จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 2 ทำการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูลได้ คิดเป็นร้อยละ 26.50 ทั้งนี้เนื่องจากจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 2 สาระสำคัญเป็นการให้นักเรียนวิเคราะห์จุดยุติและสมมูลจากการทดลองไทเทรต ซึ่งต้องมีความรู้ในเรื่องการไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส มาก่อนแต่นักเรียนไม่มีความรู้พื้นฐานด้านนี้มาก่อนเลย เพราะไม่เคยทำการทดลองเรื่องการไทเทรตมาก่อนจึงทำให้นักเรียนมีร้อยละคะแนนต่ำสุดในจุดประสงค์นี้

เมื่อพิจารณาร้อยละคะแนนหลังเรียนนักเรียนมีร้อยละคะแนนทุกจุดประสงค์การเรียนรู้สูงกว่าร้อยละ 50 โดยมีร้อยละคะแนนมากที่สุดในจุดประสงค์การเรียนที่ 4 คือคำนวณหาปริมาณกรดหรือเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันโดยใช้ข้อมูลจากการไทเทรตได้ คิดเป็นร้อยละ 82.00 แสดงว่านักเรียนมีความเข้าใจในเรื่องการทดลองได้ดีทำให้สามารถหาหาปริมาณกรดหรือเบสในปฏิกิริยาดังกล่าวได้ ในส่วนของจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 1 คือ บอกความหมายของการไทเทรต สารละลายมาตรฐาน และจุดสมมูลได้ ที่นักเรียนมีร้อยละคะแนนหลังเรียนต่ำสุดคิดเป็นร้อยละ 59.00 ทั้งนี้เนื่องจากข้อสอบข้อที่ 1 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ ให้ความหมายของ ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกันไม่ถูกต้อง จากการสอบถามนักเรียน นักเรียนให้เหตุผลว่า นักเรียนสับสนความหมายระหว่างคำว่า จุดยุติและจุดสมมูล จึงเลือกตัวเลือกในข้อสอบที่เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบผิด ส่งผลให้เลือกคำอธิบายเหตุผลผิดไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนยังพบว่านักเรียนมีร้อยละคะแนนทางการเรียนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 26.50 เมื่อนำร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน แยกตามจุดประสงค์การเรียนรู้มาเปรียบเทียบสามารถแสดงให้เห็นรายละเอียดดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน แยกตามจุดประสงค์การเรียนรู้

จากภาพที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน แสดงข้อมูลแยกตามจุดประสงค์การเรียนรู้ จะเห็นว่าร้อยละคะแนนก่อนเรียนของนักเรียนเกือบทุกจุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในระดับน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 50) เหตุผลเนื่องจากนักเรียนอาจจะยังไม่มีความรู้พื้นฐานที่ดีเกี่ยวกับเรื่องการไทเทรตกรด-เบส เพราะไม่เคยทำการทดลองเรื่องการไทเทรตมาก่อน ยกเว้นจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 คือทำนายค่า pH ของสารละลาย โดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้ คิดเป็นร้อยละ 50.00 ทั้งนี้เนื่องจากสาระสำคัญในจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ 3 ข้อสอบข้อที่ 5 นักเรียนอาจจะมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับค่า pH ของสารละลายมาก่อนบ้างแล้ว แต่เมื่อนักเรียนได้ทำกิจรรมการเรียนรู้ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้จะเห็นได้ว่าทุกจุดประสงค์การเรียนรู้มีร้อยละคะแนนหลังเรียนมากกว่าร้อยละ 50 สูงกว่าก่อนเรียนอย่างเห็นได้ชัดเจน

4.2.3 วิเคราะห์ระดับความเข้าใจจากคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

การเปรียบเทียบร้อยละของนักเรียนในระดับความเข้าใจต่าง ๆ ต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือกสามลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 29 คน จำนวน 15 ข้อ เพื่อวิเคราะห์ระดับความเข้าใจก่อนเรียนและหลังเรียน สามารถแบ่งนักเรียนเป็น 4 ระดับ (อโณทัย ดาทอง และเสนอ ชัยรัมย์, 2558) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การจัดกลุ่มระดับความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส

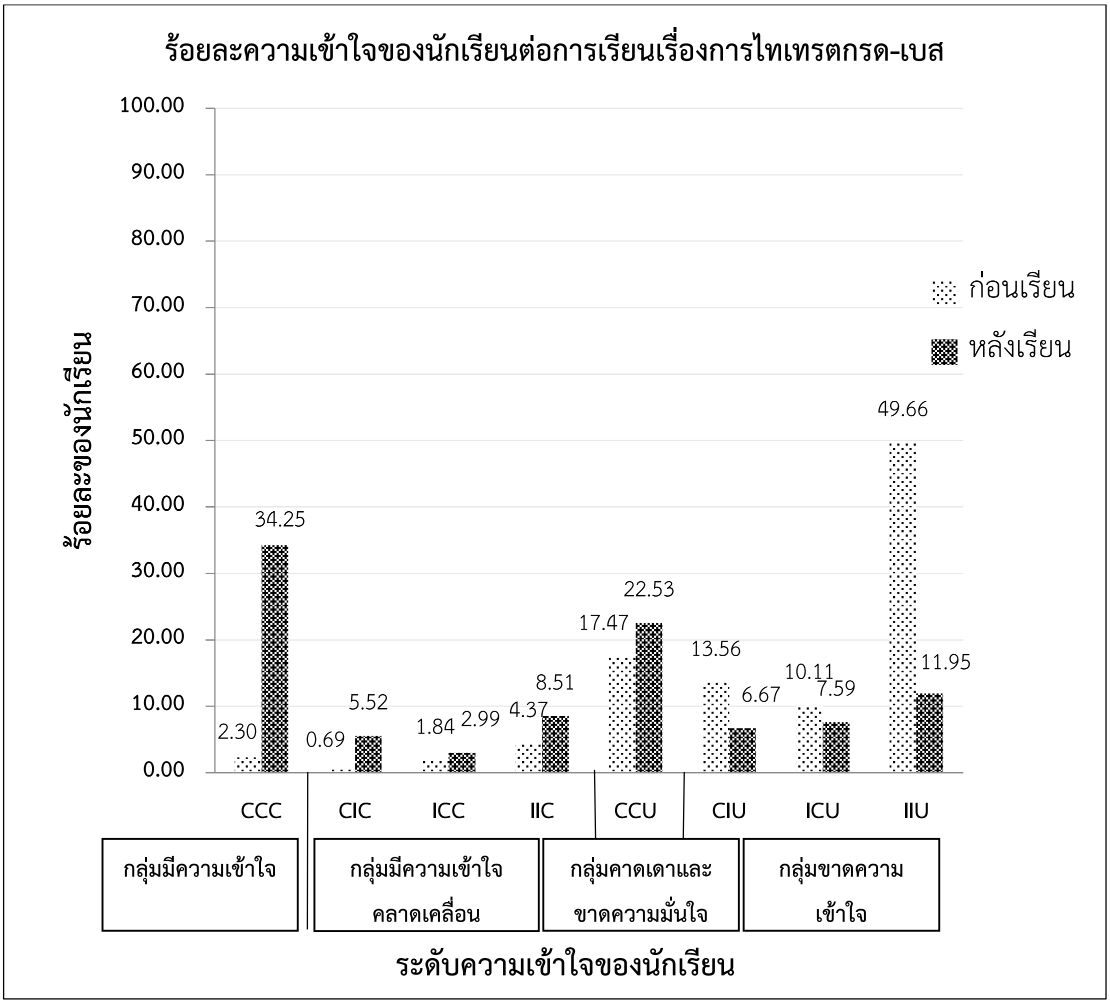
ระดับความเข้าใจ		ตัวเลือก	คะแนน	เหตุผล	คะแนน	ความมั่นใจในคำตอบ	คะแนนรวม
กลุ่มมีความเข้าใจ	CCC	ถูก	1	ถูก	1	มั่นใจ	2
กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน	CIC	ถูก	1	ผิด	0	มั่นใจ	1
	ICC	ผิด	0	ถูก	1	มั่นใจ	1
	IIC	ผิด	0	ผิด	0	มั่นใจ	0
กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ	CCU	ถูก	1	ถูก	1	ไม่มั่นใจ	2
กลุ่มขาดความเข้าใจ	CIU	ถูก	1	ผิด	0	ไม่มั่นใจ	1
	ICU	ผิด	0	ถูก	1	ไม่มั่นใจ	1
	IIU	ผิด	0	ผิด	0	ไม่มั่นใจ	0

ผลการเปรียบเทียบร้อยละของนักเรียนในความเข้าใจก่อนเรียนและหลังเรียน มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกล่าวคือก่อนเรียน นักเรียนส่วนมากมีระดับความเข้าใจเป็นระดับขาดความเข้าใจ เนื่องจากในการทำแบบวัดความเข้าใจในขั้นที่ 3 (Third-tier) การแสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก นักเรียนจะเลือกตอบเป็นคาดเดา ไม่มั่นใจอย่างมาก หรือไม่มั่นใจในคำตอบหรือเหตุผลของตนเอง หลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แล้ว นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนี้

จุดประสงค์	ข้อที่	ร้อยละความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส															
		ก่อนจัดการเรียนรู้								หลังจัดการเรียนรู้							
		CCC	CIC	ICC	IIC	CCU	CIU	ICU	IIU	CCC	CIC	ICC	IIC	CCU	CIU	ICU	IIU
จุดประสงค์ที่ 1	1	3.45	0.00	0.00	3.45	20.69	6.90	10.34	55.17	37.93	6.90	3.45	17.24	13.79	0.00	3.45	17.24
จุดประสงค์ที่ 2	2	0.00	0.00	0.00	13.79	3.45	3.45	17.24	62.07	10.34	0.00	10.34	17.24	17.24	0.00	24.14	20.69
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.69	13.79	65.52	31.03	6.90	0.00	3.45	13.79	27.59	6.90	10.34
	4	3.45	0.00	0.00	3.45	24.14	34.48	6.90	27.59	20.69	3.45	0.00	6.90	55.17	0.00	6.90	6.90
จุดประสงค์ที่ 3	5	3.45	0.00	6.90	6.90	55.17	3.45	0.00	24.14	65.52	0.00	10.34	6.90	17.24	0.00	0.00	0.00
	6	3.45	0.00	3.45	0.00	24.14	6.90	6.90	55.17	17.24	3.45	3.45	31.03	13.79	0.00	0.00	31.03
จุดประสงค์ที่ 4	7	3.45	3.45	0.00	3.45	20.69	6.90	10.34	51.72	31.03	0.00	0.00	3.45	37.93	0.00	6.90	20.69
	8	3.45	0.00	3.45	0.00	27.59	13.79	10.34	41.38	48.28	0.00	0.00	0.00	37.93	6.90	3.45	3.45
จุดประสงค์ที่ 5	9	0.00	0.00	6.90	3.45	10.34	3.45	20.69	55.17	58.62	0.00	6.90	0.00	20.69	3.45	6.90	3.45
	10	6.90	0.00	3.45	3.45	13.79	10.34	3.45	58.62	27.59	10.34	0.00	6.90	27.59	6.90	13.79	6.90
จุดประสงค์ที่ 6	11	0.00	0.00	0.00	13.79	13.79	24.14	6.90	41.38	17.24	20.69	3.45	6.90	17.24	10.34	10.34	13.79
	12	0.00	3.45	0.00	6.90	17.24	24.14	3.45	44.83	34.48	3.45	3.45	3.45	13.79	24.14	6.90	10.34
	13	3.45	3.45	0.00	3.45	13.79	3.45	10.34	62.07	55.17	6.90	0.00	10.34	17.24	0.00	3.45	6.90
จุดประสงค์ที่ 7	14	3.45	0.00	0.00	0.00	13.79	24.14	10.34	48.28	31.03	6.90	0.00	6.90	27.59	6.90	10.34	10.34
	15	0.00	0.00	3.45	3.45	3.45	17.24	20.69	51.72	27.59	13.79	3.45	6.90	6.90	13.79	10.34	17.24
เฉลี่ย		2.3	0.69	1.84	4.37	17.47	13.56	10.11	49.66	34.25	5.52	2.99	8.51	22.53	6.67	7.59	11.95
SD		2.13	1.43	2.56	4.41	13.19	9.96	6.04	12.07	16.20	5.94	3.65	8.02	12.69	8.98	6.00	8.23

ตารางที่ 4.6 แสดงร้อยละความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ก่อนเรียนและหลังเรียน (n = 29)

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความเข้าใจของนักเรียนตามกลุ่มระดับความเข้าใจ พบว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ร้อยละของนักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ได้แก่ CIC, ICC และ IIC กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และกลุ่มขาดความเข้าใจ ได้แก่ CIU, ICU และ IIU เท่ากับ 2.30, 0.69, 1.84, 4.37, 17.47, 13.56, 10.11 และ 49.66 ตามลำดับ และร้อยละของนักเรียนหลังจากที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนเท่ากับ 34.25, 5.52, 2.99, 8.51, 22.53, 6.67, 7.59 และ 11.95 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นว่า ระดับความเข้าใจของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกกลุ่ม และกลุ่มนักเรียนขาดความเข้าใจ (CIU, ICU และ IIU) หลังเรียนน้อยกว่าก่อนเรียน ดังแผนภาพที่ 4.4

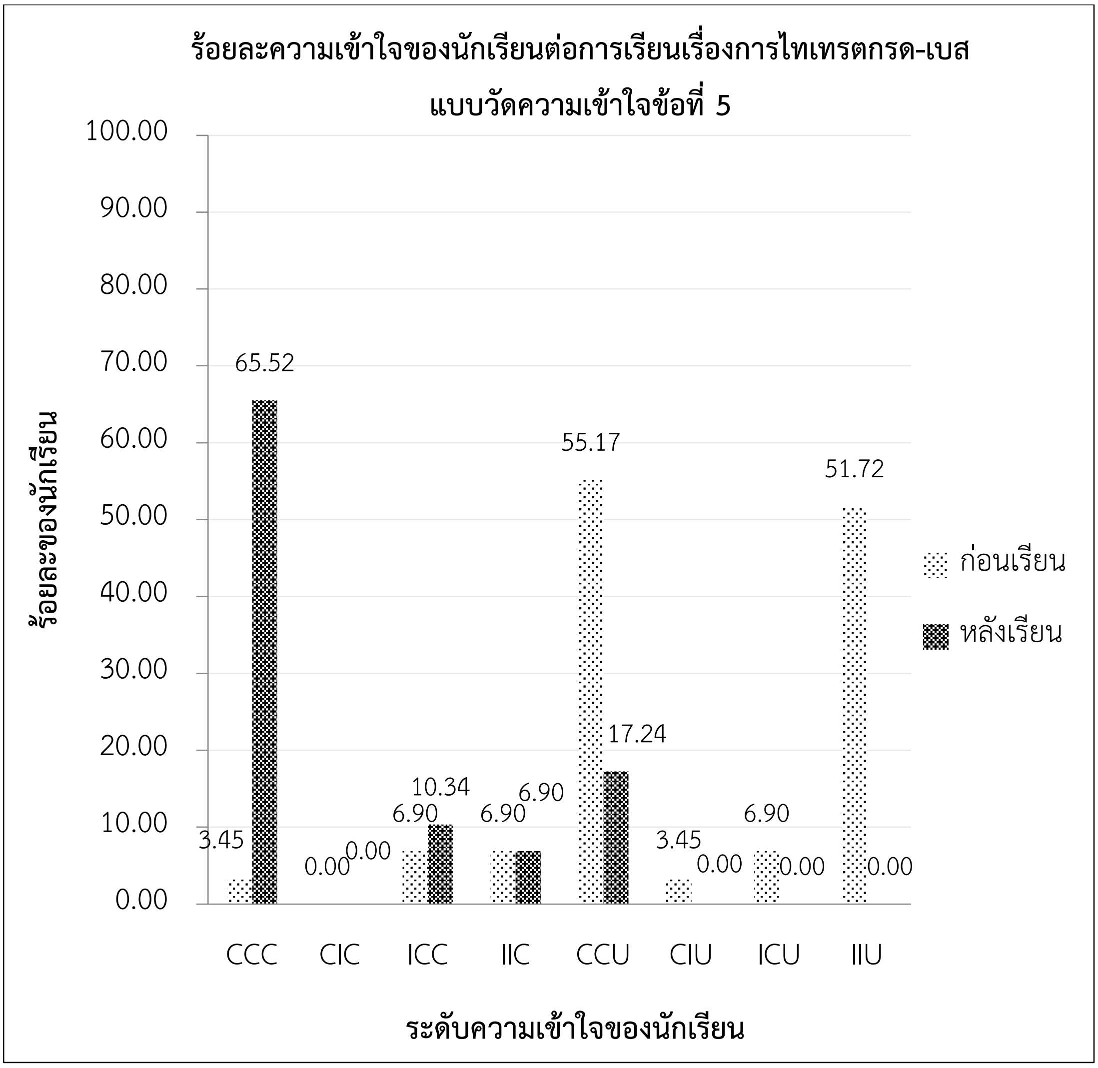


ภาพที่ 4.4 ร้อยละความเข้าใจนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ก่อนและหลังเรียน

จากภาพที่ 4.4 พบว่า ร้อยละของนักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) หลังเรียน (ร้อยละ 34.25) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 2.30) อย่างมาก (ผลต่างเท่ากับ +31.95) ร้อยละของ

นักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเชิงบวก (CIC) หลังเรียน (ร้อยละ 5.52) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 0.69) เล็กน้อย (ผลต่างเท่ากับ +4.83) ร้อยละของนักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มนักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเชิงลบ (ICC) หลังเรียน (ร้อยละ 2.99) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 1.84) เล็กน้อย (ผลต่างเท่ากับ +1.15) ร้อยละของนักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มนักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (IIC) หลังเรียน (ร้อยละ 8.51) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 4.37) เล็กน้อย (ผลต่างเท่ากับ +4.14) ร้อยละของนักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มนักเรียนคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) หลังเรียน (ร้อยละ 22.53) สูงกว่าก่อนเรียน (ร้อยละ 17.47) เล็กน้อย (ผลต่างเท่ากับ +5.06) และร้อยละของนักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มนักเรียนขาดความเข้าใจ (CIU, ICU และ IIU) โดย CIU หลังเรียน (6.67) ต่ำกว่าก่อนเรียน (13.56) ค่อนข้างมาก (ผลต่างเท่ากับ -6.89) ICU หลังเรียน (7.59) ต่ำกว่าก่อนเรียน (10.11) เล็กน้อย (ผลต่างเท่ากับ -2.52) และ IIU หลังเรียน (11.95) ต่ำกว่าก่อนเรียน (49.66) ค่อนข้างมาก (ผลต่างเท่ากับ -37.71) จากผลการวิเคราะห์แสดงว่าหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกจุดประสงค์การเรียนรู้ และระดับความเข้าใจของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกกลุ่ม และกลุ่มนักเรียนขาดความเข้าใจ (CIU, ICU และ IIU) หลังเรียนน้อยกว่าก่อนเรียน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะก่อนเรียนนักเรียนไม่ได้เรียนในเนื้อหาการไทเทรตกรด-เบส ทำให้นักเรียน ไม่เข้าใจในการทำข้อสอบจึงไม่สามารถเลือกเหตุผลได้ และอาจทำให้ไม่มั่นใจในการตอบคำถามด้วย และเมื่อนักเรียนได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการสอนแบบสืบเสาะประกอบกับชุดการทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เรื่อง การไทเทรตกรด-เบสแล้ว ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา และเข้าใจในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น จึงสามารถทำข้อสอบได้ และมีความมั่นใจในการตอบมากขึ้น ซึ่งระดับความมั่นใจของนักเรียนแต่ละกลุ่มยังสามารถบอกถึงการมีองค์ความรู้ในเนื้อหาเรื่องนั้น ๆ ของนักเรียนด้วย นอกจากนี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนแนวคิดและพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นการสอนที่เน้นกระบวนการแสวงหาความรู้ที่ช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบความจริงต่าง ๆ ด้วยตนเอง นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้การอธิบายเป็นผลมาจากการสำรวจ การปฏิบัติการทดลอง และฝึกทักษะการสื่อสาร คำตอบของปัญหาแต่ละปัญหาได้มาจากการกระทำกิจกรรมการทดลอง นักเรียนได้กล้าแสดงความคิดเห็นทำให้นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้ใหม่ได้ด้วยตนเองและช่วยให้นักเรียนมีความชัดเจนในแนวคิดมากขึ้น

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาแบบวัดความเข้าใจของนักเรียนข้อที่ 5 หลังเรียน พบว่าร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) เพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับ 65.52 กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ได้แก่ CIC, ICC และ IIC เท่ากับ 0.00, 10.34 และ 6.90 ตามลำดับ กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) เท่ากับ 17.24 กลุ่มขาดความเข้าใจ ได้แก่ CIU, ICU และ IIU เท่ากับ 0.00 ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ร้อยละความเข้าใจนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ก่อนและหลังเรียน จากแบบวัดความเข้าใจข้อที่ 5

จากภาพที่ 4.5 แสดงร้อยละความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ก่อนและหลังเรียน จากแบบวัดความเข้าใจข้อที่ 5 เมื่อวิเคราะห์ร้อยละของนักเรียนในระดับความเข้าใจต่าง ๆ หลังเรียน พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของนักเรียนในระดับความเข้าใจต่างๆเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจที่ถูกต้อง (CCC) เพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับ 65.52 สูงกว่าร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจคลาดเคลื่อน (CIC, ICC และ IIC) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และกลุ่มระดับขาดความเข้าใจ (CIU, ICU และ IIU) โดยที่หลังเรียนไม่มีนักเรียนในกลุ่มขาดความเข้าใจเลย เนื่องจากแบบทดสอบข้อนี้เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับการทำนายค่า pH ของสารละลาย โดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้ ซึ่งนักเรียนได้ปฏิบัติลงมือทำการทดลองที่ใช้สารเคมีที่มีอยู่ในชีวิตประจำวัน เรื่องการไทเทรตระหว่าง

สารละลายกรดแอซีติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ทราบว่าการไทเทรตสารดังกล่าวจะได้เป็นผลิตภัณฑ์อะไร และเมื่อถึงจุดยุติแล้วจะได้สารละลายมี pH เท่าใด ดังภาพที่ 4.6

5. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายกรดแอซีติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อถึงจุดยุติจะได้สารละลายซึ่ง pH เท่ากับเท่าใด	**ระดับความเชื่อมั่น สำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก**
ก. เท่ากับ 7 **ข. มากกว่า 7** ค. น้อยกว่า 7 ง. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล : การไทเทรตระหว่างสารทั้งสอง จะได้ผลิตภัณฑ์คือ

ก. CH_3COONa และน้ำ ซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกลาง เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH เท่ากับ 7

ข. CH_3COONa และน้ำ ซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นเบส เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH มากกว่า 7

ค. CH_3COONa และน้ำ ซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกรด เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH น้อยกว่า 7

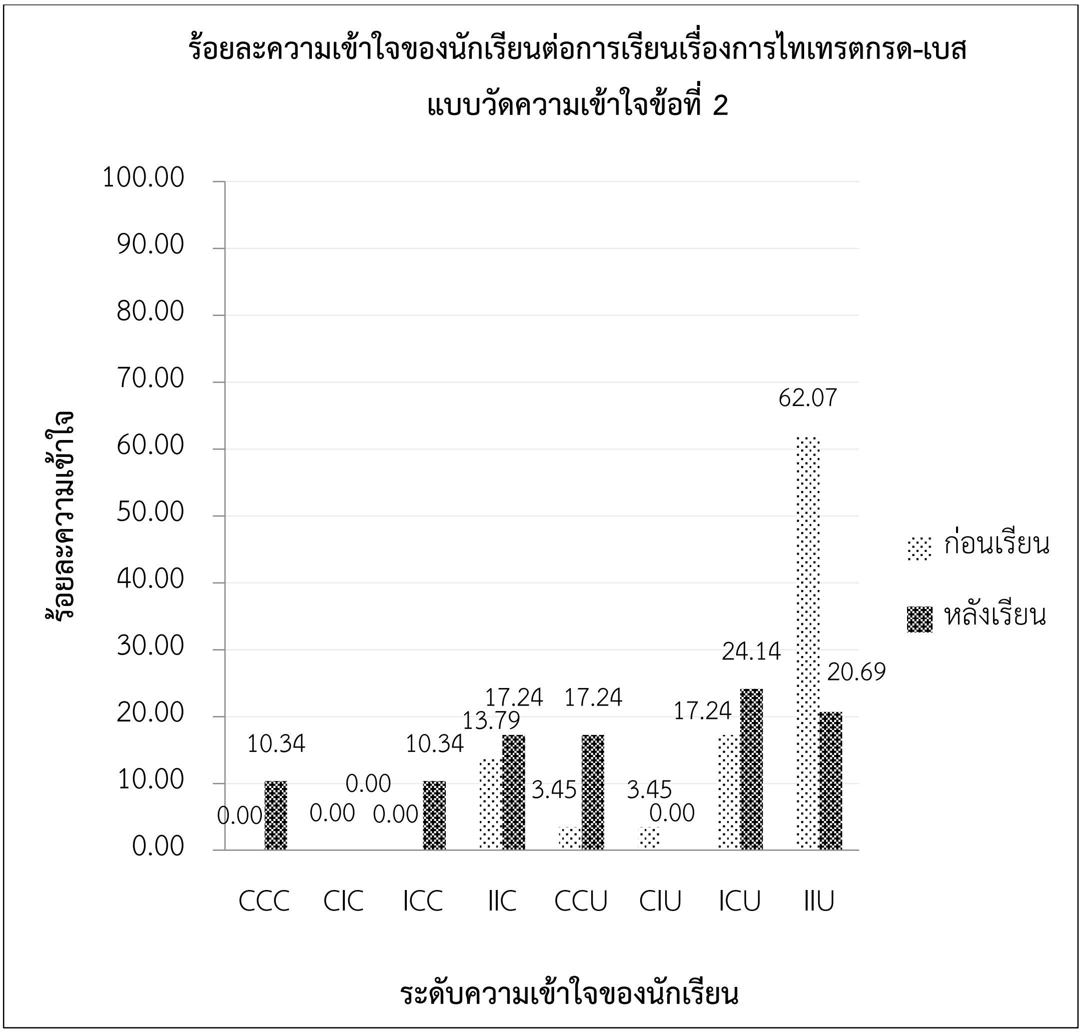
ง. CH_3COONa และน้ำ ซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกลาง เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7

ภาพที่ 4.6 แบบวัดความเข้าใจข้อที่ 5 เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านกระบวนการสอนแบบสืบเสาะประกอบกับชุดการทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส นักเรียนได้มีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้เนื้อหาวิชาจากการปฏิบัติการทดลองจึงทำให้นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มมากขึ้น การลงมือปฏิบัติการทดลองช่วยกระตุ้นให้นักเรียนอยากเรียนรู้ ได้ฝึกการทำงานร่วมกันเป็นทีม มีผู้นำผู้ตาม แบ่งงานกันทำได้อย่างเหมาะสมนักเรียนได้พัฒนาความสามารถในการอธิบายความคิดรวบยอดที่ได้จากการทดลอง นักเรียนได้อภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเกี่ยวกับทักษะหรือพฤติกรรมการเรียนรู้ การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างเพื่อนในกลุ่มทำให้นักเรียนได้ใช้ข้อสรุปร่วมกันในการเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้ เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมการเรียนรู้แบบที่เน้นนักเรียนเป็น

ศูนย์กลาง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุธี ผลดี (2553) ได้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยชุดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน พบว่านักเรียนกลุ่มเก่งและปานกลางมีคะแนนความก้าวหน้าทางผลสัมฤทธิ์สูงกว่ากลุ่มอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนของกลุ่มเก่งและปานกลางพบว่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีกิจกรรมที่น่าสนใจ และสามารถเชื่อมโยงเข้ากับบริบทชีวิตประจำวันให้นักเรียนได้ทดลองและลงมือปฏิบัติด้วยตัวนักเรียนเอง ได้เรียนรู้ร่วมกันกับเพื่อนได้ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของพัลยมน เย็นสมุทร (2557) ได้พัฒนาความเข้าใจเชิงมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสตรีสิริเกศ จังหวัดศรีสะเกษ เรื่องกรด-เบส โดยกิจกรรมทำนาย-สังเกต-อธิบาย บนพื้นฐานแนวการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่า มีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกมโนมติและมีร้อยละของนักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนลดลง โดยมีความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่เรื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ รองลงมา คือ กรด-เบสในชีวิตประจำวัน ปฏิกิริยาของกรด-เบส และทฤษฎีกรด-เบส และพีเอช (pH) ของสารละลาย ตามลำดับ และนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแบบวัดความเข้าใจข้อที่ 2 พบว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมีความเข้าใจ (CCC) เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เท่ากับ 10.34 กลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ได้แก่ CIC, ICC และ IIC เท่ากับ 0.00, 10.34 และ 17.24 ตามลำดับ กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) เท่ากับ 17.24 กลุ่มขาดความเข้าใจ ได้แก่ CIU, ICU และ IIU เท่ากับ 0.00, 24.14 และ 20.69 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ร้อยละความเข้าใจนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ก่อนและหลังเรียน จากแบบวัดความเข้าใจข้อที่ 2

จากภาพที่ 4.7 แสดงร้อยละความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ก่อนและหลังเรียนจากแบบวัดความเข้าใจข้อที่ 2 เมื่อวิเคราะห์ร้อยละของนักเรียนในระดับความเข้าใจต่าง ๆ หลังเรียน พบว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่มีระดับความเข้าใจที่ถูกต้อง (CCC) เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เท่ากับ 10.34 ต่ำกว่าร้อยละของนักเรียนในระดับความเข้าใจคลาดเคลื่อน (IIC) กลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และกลุ่มขาดความเข้าใจ (ICU และ IIU) เนื่องจากแบบทดสอบข้อนี้เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับ ทำการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูล สาระสำคัญเป็นการให้นักเรียนวิเคราะห์จุดยุติและสมมูลจากการทดลองไทเทรต ซึ่งต้องมีความรู้ในเรื่องการไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส จากแบบวัดความเข้าใจข้อที่ 2 นี้มีข้อคำถามเนื้อหาที่มีความยาก เนื่องจากเป็นข้อสอบที่ใช้สารเคมีบางชนิดที่ไม่ได้พบเห็นทั่วไปในชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนไม่สามารถวิเคราะห์

ได้ว่าสารที่ให้มานั้นเป็นสารที่นำมาไทเทรตอยู่ในระบบใด ดังภาพที่ 4.8 จึงทำให้ ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจที่ถูกต้อง (CCC) เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด แนวทางหนึ่งที่อาจจะช่วยพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาที่ยากนั้น ครูอาจใช้สื่อหรือการสอนที่หลากหลาย มาช่วยให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ได้ว่า สารชนิดใดเป็นกรดแก่ เบสแก่ กรดอ่อน เบสอ่อน หรือเป็นกลาง เพราะสื่อการสอนต่าง ๆ จะช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้ มีส่วนช่วยกระตุ้นให้สร้างแนวคิดด้วยตัวเอง ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ง่ายและสามารถจดจำได้นานขึ้น เช่น การเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก (Graphic Organizers) การสร้างแผนผังกราฟิก เป็นเทคนิคหนึ่ง ซึ่งช่วยให้เรียนรู้ได้อย่างเข้าใจและมีความหมาย การให้นักเรียนสร้างแผนผังกราฟิกแบบแผนที่ความคิดจากเรื่องที่เรียน สามารถช่วยให้นักเรียนสรุปความสำคัญของเรื่องที่เรียนได้ง่าย การวิเคราะห์สรุปผลการเรียนรู้เป็นแผนผังกราฟิกนั้น จะนำไปสู่การค้นหาความรู้ตามความสนใจ มีการจัดระบบข้อมูล หาความคิดหลัก ความคิดรองและความคิดย่อย เชื่อมโยงความสัมพันธ์เป็นหมวดหมู่ ง่ายต่อการจดจำหรือทำความเข้าใจ แผนผังกราฟิก มีลักษณะคล้ายเซลล์สมองของมนุษย์ (ไสว ฟักขาว, 2544) ซึ่งสอดคล้องกับดลฤดี รัตนประสารท (2547) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลของการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่องดินและหิน ในท้องถิ่น ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ผังกราฟิกมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบปกติ

2.การไทเทรตข้อใดให้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด					**ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก**
ข้อ	สาร 1	สาร 2	อินดิเคเตอร์	ช่วง pH อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก
ก	HCl	$NaHCO_3$	ฟีนอล์ฟทาลีน	8.3 - 10.4	
ข	NH_4Cl	$Ca(OH)_2$	เมทิลเรด	4.4 - 6.0	
ค	NaHS	NaOH	ฟีนอลเรด	6.7 - 8.3	
ง	**$HClO_4$**	**NH_3**	**ไทมอลบลู**	**1.2 - 2.9**	

เหตุผล:

ก. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH เท่ากับ 7

ข. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7

ค. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7

ง. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7

ภาพที่ 4.8 แบบวัดความเข้าใจข้อที่ 2 เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

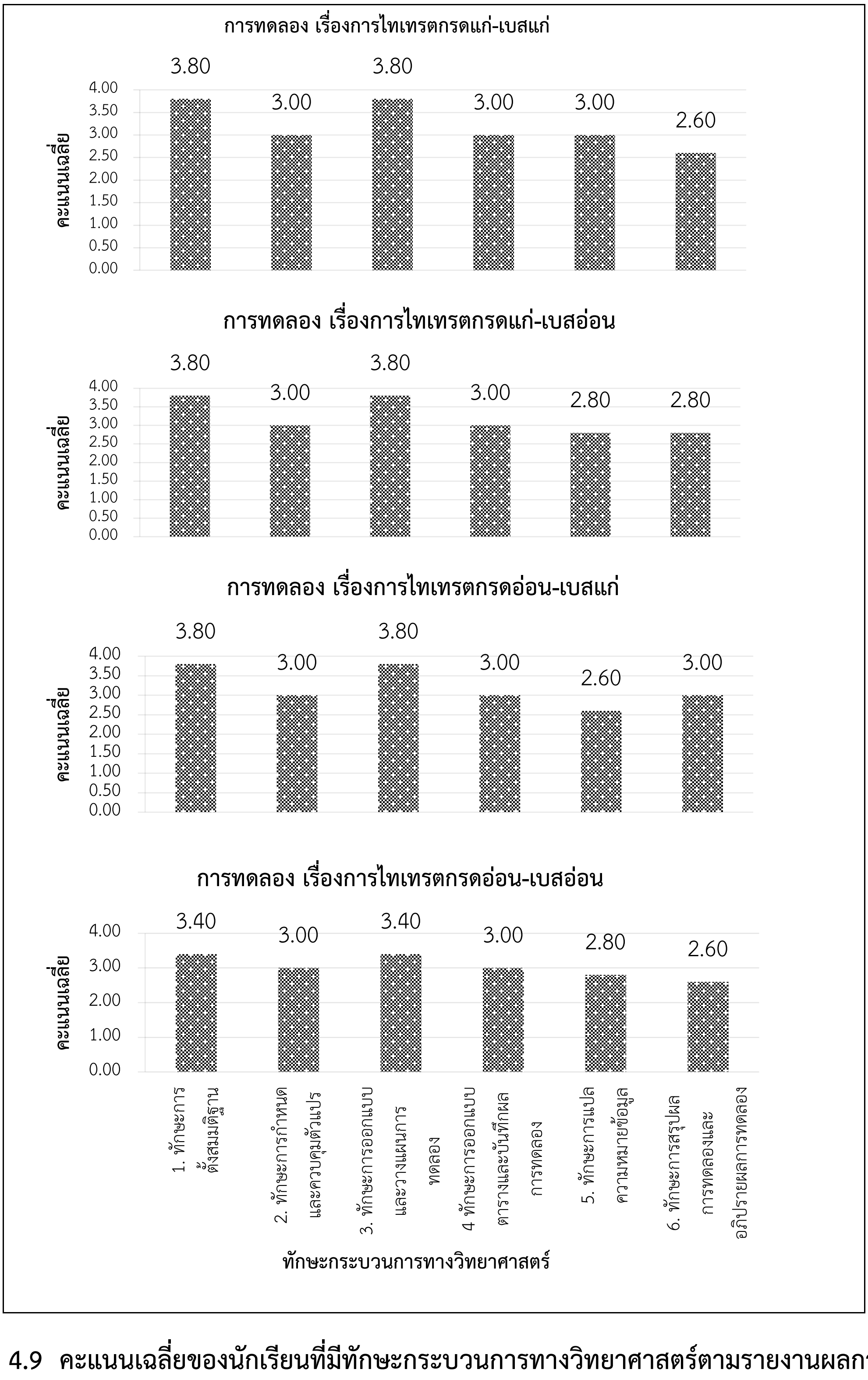
อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.6 ยังมีนักเรียนบางส่วนที่ไม่สามารถปรับแก้ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง และมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนบางส่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพฤติกรรมการเรียนของนักเรียนและความสามารถในการเรียนรู้ของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน และการปรับแก้ความเข้าใจนั้นต้องใช้ระยะเวลานาน สอดคล้องกับงานวิจัยของอมร เรืองไพศาล (2555) ได้ทำการศึกษาพบว่า นักเรียนที่มีการเรียนรู้เป็นกลุ่มย่อย หากนักเรียนไม่เรียนรู้ หรือไม่ปฏิบัติตามบทบาทของสมาชิกกลุ่มที่ดี การอภิปรายอาจไม่ได้ผลดี และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Johnson and Johnson (2002) ได้ศึกษาสาเหตุที่ทำให้การสอนได้ผลดี โดยใช้เทคนิคการเรียนแบบร่วมมือ เด็กเก่งที่เข้าใจคำสอนของครูได้ดีจะเปลี่ยนคำสอนของครูเป็นภาษาพูด เด็กสามารถอธิบายให้เพื่อนฟังได้และทำให้เพื่อนเข้าใจดีขึ้น เด็กที่ทำหน้าที่อธิบายบทเรียนให้เพื่อนฟังจะเข้าใจบทเรียนได้ดี ได้มีโอกาสเรียนรู้กระบวนการกลุ่มเพราะการปฏิบัติงานร่วมกัน เด็กเก่งจะมีบทบาททางสังคมในชั้นมากขึ้น เมื่อทำงานเป็นกลุ่ม เด็กจะช่วยเหลือซึ่งกันและกันจึงมีความผูกพันธ์กันมากขึ้น และการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิคคิดเดี่ยว คิดคู่ ร่วมกันคิด (Think Pair Share) และเทคนิคการทำเป็นกลุ่ม ทำเป็นคู่ และทำคนเดียว (Team Pair Solo) สมบัติ กาญจนารักพงค์ (2547) กล่าวไว้ว่า เป็นวิธีการสอนที่ตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคลที่มีความสามารถแตกต่างกัน สมาชิกทุกคนจะช่วยเหลือซึ่งกันและกันและมีความรับผิดชอบทั้งของตนเองและของกลุ่มเพื่อให้กลุ่มได้รับความสำเร็จตามเป้าหมายโดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์ คิดแก้ปัญหา ตามขั้นตอนกิจกรรมทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ในลักษณะที่สนองความแตกต่างระหว่างบุคคล แต่ละบุคคลได้สร้างความรู้ด้วยตัวของนักเรียนเอง โดยอาศัยพื้นฐานจากความรู้เดิมหรือประสบการณ์ที่ผู้เรียนเคยประสบมา และมีโอกาสได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้อื่น แล้วนำมาตรวจสอบกับสิ่งใหม่ ๆ เพื่อปรับให้เป็นความรู้ของตนเอง ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงขึ้น และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวิชัย ลาธิ (2556) ได้พัฒนาทักษะความรู้ขั้นสูงและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พบว่านักเรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน มีความก้าวหน้าของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนร้อยละ 40.63, 46.45 และ 38.50 ตามลำดับ ทั้งนี้การใช้กิจกรรมทำนาย-สังเกต-อธิบายสามารถสร้างความสนใจของนักเรียนและกระตุ้นให้เกิดคำถาม แล้วดำเนินการสำรวจและหาคำตอบกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ แบบวัดความเข้าใจในขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกที่ตอบ จะเห็นได้ว่าระดับความเชื่อมั่น ความมั่นใจของนักเรียนสามารถบอกถึงความรู้ในเนื้อหาของนักเรียนได้ เช่น นักเรียนตอบคำถามถูกแต่ไม่มั่นใจ จากภาพที่ 4.7 ในกลุ่มคาดเดาและขาดความมั่นใจ (CCU) และกลุ่มขาดความเข้าใจ (ICU) มีร้อยละของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนแต่ละคนอาจมีความไม่มั่นใจในความรู้ที่มี เนื่องจากในการทำแบบวัดความเข้าใจในขั้นที่ 3 (Third tier) การแสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือก นักเรียนจะเลือกตอบเป็นคาดเดา ไม่มั่นใจ

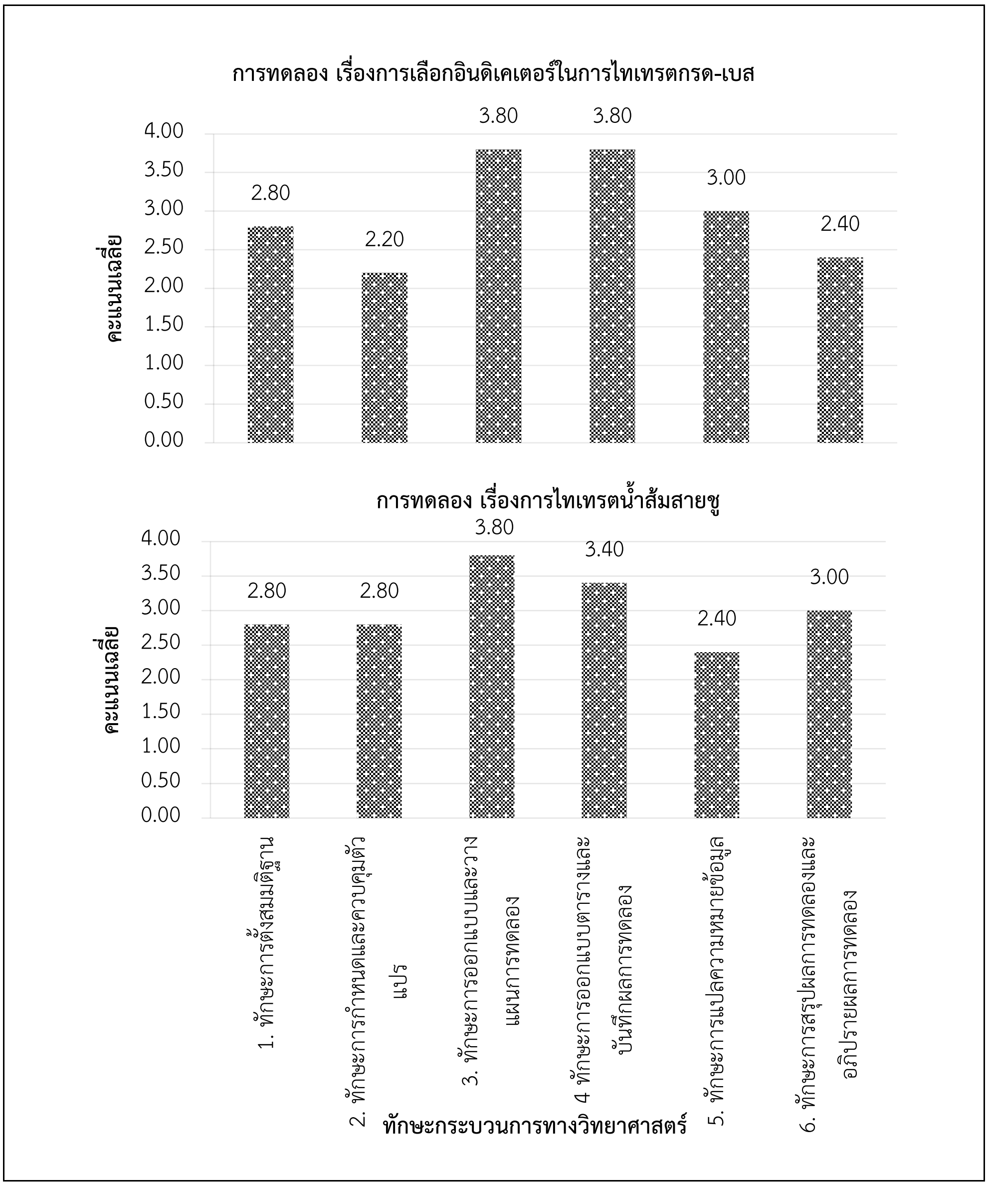
อย่างมาก หรือไม่มั่นใจในคำตอบ แสดงว่านักเรียนขาดความเชื่อมั่น ความมั่นใจในตนเอง เพราะนักเรียนมีความกังวลเกี่ยวกับผลการเรียน กลัวคะแนนออกมาไม่ดี ทำให้ขาดความมั่นใจ ขาดความรู้จักตัวเองทั้งจุดดีและจุดด้อย คำตอบหรือเหตุผลของคำตอบของนักเรียนจะถูกต้องก็ตาม หรือนักเรียนตอบคำถามผิดแต่ไม่มั่นใจ แสดงว่านักเรียนไม่มีความรู้ในเนื้อหา หรือนักเรียนมีความรู้แต่ขาดความมั่นใจในตนเอง ระดับความมั่นใจและการเลือกเหตุผลของคำตอบสามารถบอกได้ว่านักเรียนคาดเดาคำตอบหรือไม่ เข้าใจความหมายผิดหรือขาดความเข้าใจจะได้ส่งเสริมการเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ ได้ตรงจุดมากขึ้น

4.3 ศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จำนวน 6 ทักษะถูกประเมินจากผลการดำเนินการทดลองโดยใช้แผนผัวตัวยู (แบบบันทึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) จากงานวิจัย Knaggs and Schneider (2012) โดยใช้เกณฑ์รูบริค (Rubic) 4 ระดับ (ดูในตารางที่ 3.2) ให้คะแนนจากการตรวจแผนผังตัวยูจากการเขียนรายงานผลการทดลองจำนวน 6 กิจกรรมการทดลอง ผลการทดลองโดยใช้แผนผังตัวยูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำแสดงดังภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 ดังนี้



ภาพที่ 4.9 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามรายงานผลการทดลองโดยใช้แผนผังตัวยู จำแนกตามกิจกรรมการทดลอง (N=29)



ภาพที่ 4.9 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามรายงานผลการทดลองโดยใช้แผนผังตัวยู จำแนกตามกิจกรรมการทดลอง (N=29) (ต่อ)

หมายเหตุ: ระดับคะแนน 3.51-4.00 หมายถึง มากที่สุด
ระดับคะแนน 2.51-3.50 หมายถึง มาก
ระดับคะแนน 1.51-2.50 หมายถึง พอใช้
ระดับคะแนน 0.00-1.50 หมายถึง ปรับปรุง

ภาพที่ 4.9 แสดงคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามรายงานผลการทดลองโดยใช้แผนผังตัวยู ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เมื่อจำแนกตามกิจกรรมการทดลอง พบว่าการทดลองที่ 1 การไทเทรตกรด

แก่-เบสแก่ เรียงลำดับทักษะที่มีระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลองและทักษะการตั้งสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 (ระดับมากที่สุด) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง และทักษะการแปลความหมายข้อมูล ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 (ระดับมาก) และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.60 (ระดับมาก)

การทดลองที่ 2 การไทเทรตกรดแก่-เบสอ่อน เรียงลำดับทักษะที่มีระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลองและทักษะการตั้งสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 (ระดับมากที่สุด) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะและการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 (ระดับมาก) ทักษะการแปลความหมายข้อมูล และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 (ระดับมาก)

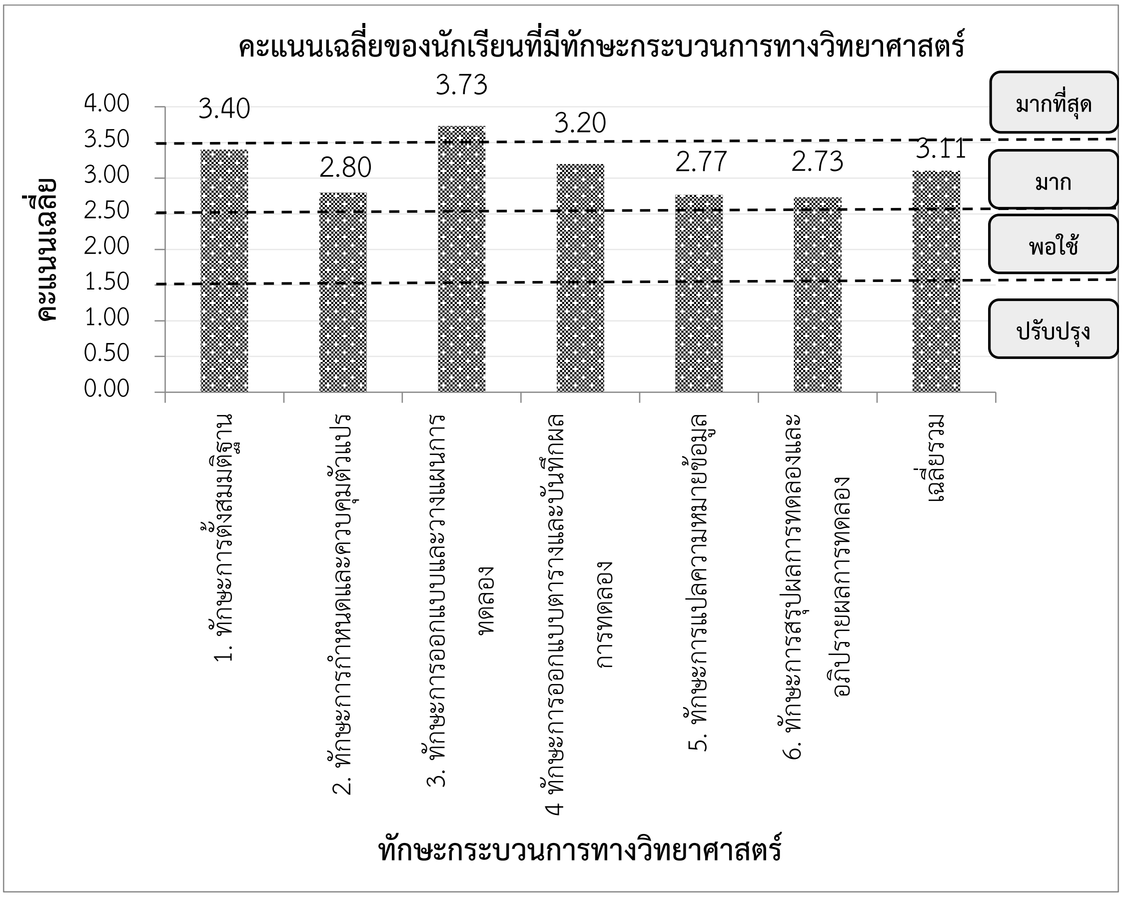
การทดลองที่ 3 การไทเทรตกรดอ่อน-เบสแก่ เรียงลำดับทักษะที่มีระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลองและทักษะการตั้งสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 (ระดับมากที่สุด) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะและการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 (ระดับมาก) และทักษะการแปลความหมายข้อมูล ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.60 (ระดับมาก)

การทดลองที่ 4 การไทเทรตกรดอ่อน-เบสอ่อน เรียงลำดับทักษะที่มีระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลองและทักษะการตั้งสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.40 (ระดับมาก) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะและการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 (ระดับมาก) และทักษะการแปลความหมายข้อมูล ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 (ระดับมาก) และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.60 (ระดับมาก)

การทดลองที่ 5 การเลือกอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรด-เบส เรียงลำดับทักษะที่มีระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลองและทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 (ระดับมากที่สุด) ทักษะการแปลความหมายข้อมูล ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 (ระดับมาก) ทักษะการตั้งสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 (ระดับมาก) ทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.40 (ระดับมาก) และทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.20 (ระดับพอใช้)

และการทดลองที่ 6 การไทเทรตน้ำส้มสายชู เรียงลำดับทักษะที่มีระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้ ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลองและ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 (ระดับมากที่สุด) ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.40 (ระดับมาก) ทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 (ระดับมาก) ทักษะการตั้งสมมติฐาน และ

ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 (ระดับมาก) และทักษะการแปลความหมายข้อมูล ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.40 (ระดับพอใช้) เมื่อวิเคราะห์ภาพรวมของคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามกิจกรรมการทดลองทั้ง 6 กิจกรรมการทดลอง ได้ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามรายงานผลการทดลองโดยใช้แผนผังตัวยู (N=29)

หมายเหตุ: ระดับคะแนน 3.51-4.00 หมายถึง มากที่สุด
ระดับคะแนน 2.51-3.50 หมายถึง มาก
ระดับคะแนน 1.51-2.50 หมายถึง พอใช้
ระดับคะแนน 0.00-1.50 หมายถึง ปรับปรุง

ภาพที่ 4.10 แสดงถึงค่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่ได้รับจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 6 ทักษะตามรายงานผลการทดลองโดยใช้แผนผังตัวยูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ พบว่านักเรียนมีคะแนนทักษะกระบวนการทาง

วิทยาศาสตร์เฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.11 จากการวิเคราะห์คะแนนภาพรวมตามกิจกรรมการทดลองทั้ง 6 กิจกรรมการทดลอง สามารถแยกตามทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรียงตามคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด สรุปได้ดังนี้

(1) ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.73 คิดเป็นร้อยละ 93.33 นักเรียนส่วนใหญ่ ระบุวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และสามารถออกแบบวิธีการทดลองเขียนเป็นรูปภาพเป็นขั้นตอนได้ถูกต้องและครบถ้วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนได้ทำการทดลองจริงด้วยตนเอง และทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งทำให้เกิดความชำนาญในการใช้เครื่องมือ ทำให้เกิดความรู้ที่คงทน จึงทำให้เกิดทักษะ ความรู้ ความเข้าใจและสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

(2) ทักษะการตั้งสมมติฐาน มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.40 คิดเป็นร้อยละ 85.00 นักเรียนสามารถตั้งสมมติฐานโดยมีความสัมพันธ์กับจุดมุ่งหมายของการทดลองได้ชัดเจน

(3) ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 คิดเป็นร้อยละ 80.00 นักเรียนสามารถออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองได้ด้วยตนเอง และสอดคล้องกับการทดลองได้ครบถ้วน

(4) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 คิดเป็นร้อยละ 70.00 นักเรียนสามารถกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุมได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนมีพื้นฐานจากการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ง่ายและสามารถต่อยอดมาถึงระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย

(5) ทักษะการแปลความหมายข้อมูล มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 คิดเป็นร้อยละ 69.17 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองจะต้องถูกต้องตามผลการทดลอง โดยนักเรียนจะต้องอธิบายความหมายของข้อมูลจากผลการทดลอง การแปลความหมายข้อมูลอาจต้องเขียนเป็นกราฟการไทเทรต ซึ่งนักเรียนต้องมีความเข้าใจกราฟที่เขียนและสามารถแปลความหมายจากกราฟได้ ซึ่งพบว่านักเรียนแปลความหมายข้อมูลได้ถูกต้องเพียงบางส่วน

(6) ทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.73 คิดเป็นร้อยละ 68.33 การสรุปผลข้อมูลจากผลการทดลองจะต้องถูกต้องตามผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งพบว่านักเรียน มีการสรุปผลการทดลองแต่ไม่อภิปรายผลการทดลองและไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด อาจเนื่องมาจากนักเรียนไม่สามารถนำข้อมูลจากการบันทึกผลมาเชื่อมโยงกับองค์ความรู้แล้วสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง หรืออาจจะถูกต้องบางส่วนแต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด เช่น ไม่สรุปสมการการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทดลองนั้น ๆ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาจากทั้งหมด 6 ทักษะ พบว่า ทักษะที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด คือทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.73 รองลงมา คือทักษะการตั้งสมมติฐาน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.40 ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 ทักษะการแปลความหมายข้อมูล อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.73 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ประกอบกับชุดการทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ นักเรียนได้มีประสบการณ์ตรง นักเรียนได้ทำการทดลองจริงด้วยตนเอง จากการปฏิบัติการทดลองซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้ง ทำให้นักเรียนมีความชำนาญ จึงทำให้เกิดความรู้ ความเข้าใจและสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

4.4 ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

จากการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งมีหัวข้อการประเมิน 2 ด้าน คือ 1) ด้านการสอนมี 4 รายการ 2) ด้านกิจกรรมการทดลอง 8 รายการ รวมทั้งสิ้น 12 รายการ โดยมีระดับคะแนนความพึงพอใจ 5 ระดับ คือระดับ 5 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจมากที่สุด ระดับ 4 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจมาก ระดับ 3 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจน้อย และระดับ 1 หมายถึง นักเรียนพึงพอใจน้อยที่สุด นำคะแนนรวมเฉลี่ยที่ได้ มาวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาขอบเขตของคะแนนเพื่อใช้ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่พัฒนาขึ้นมาสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทั้งหมด 29 ชุด มีผู้ตอบแบบสอบถามกลับคืนมา จำนวนทั้งสิ้น 29 ชุด คิดเป็นร้อยละ 100.00 ของแบบสอบถามทั้งหมดผลการสำรวจพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน

17 คน คิดเป็นร้อยละ 58.62 และเพศชาย จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 41.38 ดังตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูล		ความถี่	ร้อยละ
เพศ	ชาย	12	41.38
	หญิง	17	58.62
รวม		29	100.00

จากการสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจภาพรวมทั้งหมด อยู่ในระดับมาก (mean 4.27, SD 0.53) ซึ่งนักเรียนมีความพึงพอใจต่อด้านการสอน อยู่ในระดับมาก (mean 4.44, SD 0.47) และด้านกิจกรรมการทดลอง อยู่ในระดับมาก (mean 4.18, SD 0.60) ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

รายการประเมิน	**ความพึงพอใจ**		
	$\bar{x}$	SD	แปลผล
ส่วนที่ 1 ด้านการสอน			
1. ครูผู้สอนอธิบายวัตถุประสงค์และเนื้อหาการเรียนได้ชัดเจน	4.59	0.51	มากที่สุด
2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน	4.07	0.70	มาก
3. ครูผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียน	4.48	0.57	มาก
4. ครูผู้สอนให้ความสนใจตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อมีข้อสงสัย	4.61	0.79	มากที่สุด
เฉลี่ย	**4.44**	**0.47**	**มาก**
ส่วนที่ 2 กิจกรรมการทดลอง			
5. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายมีความน่าสนใจ	4.41	0.73	มาก
6. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายสามารถทำได้ง่าย	3.93	0.88	มาก
7. การทดลองทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบสมากขึ้น	4.34	0.72	มาก
8. อุปกรณ์การทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายมีจำนวนเพียงพอกับนักเรียน	3.90	0.94	มาก
9. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่าย ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผล	4.21	0.62	มาก
10. ในการทดลองนักเรียนคิดว่านักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับทักษะปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น	4.31	0.81	มาก
11. ในระหว่างที่ทำการทดลอง ผู้เรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างเพื่อนในกลุ่มและเรียนรู้การทำงานเป็นทีม	4.03	0.94	มาก
12.การทดลองนี้นักเรียนรู้สึกมีแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากขึ้น	4.31	0.89	มาก
เฉลี่ย	**4.18**	**0.60**	**มาก**
เฉลี่ยรวม	**4.27**	**0.52**	**มาก**

จากตารางที่ 4.8 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลจากคะแนนรวมเฉลี่ยของนักเรียนจำนวน 29 คน ในภาพรวม นักเรียนมีระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ อยู่ในระดับมากมีคะแนนเฉลี่ย 4.27 (mean 4.27, SD 0.53) แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ สามารถสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่ทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นต่อการเรียน ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน ช่วยให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง และการทำงานร่วมกับผู้อื่น ทำให้นักเรียนมีความรับผิดชอบต่อตนเองและผู้อื่น ทำให้เข้าใจและรู้จักเพื่อนได้มากขึ้น อีกทั้งการจัดการเรียนรู้ยังส่งเสริมให้นักเรียนกล้าคิด กล้าตอบ ผู้เรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียนได้ เมื่อพิจารณาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ในแต่ละด้าน พบว่า

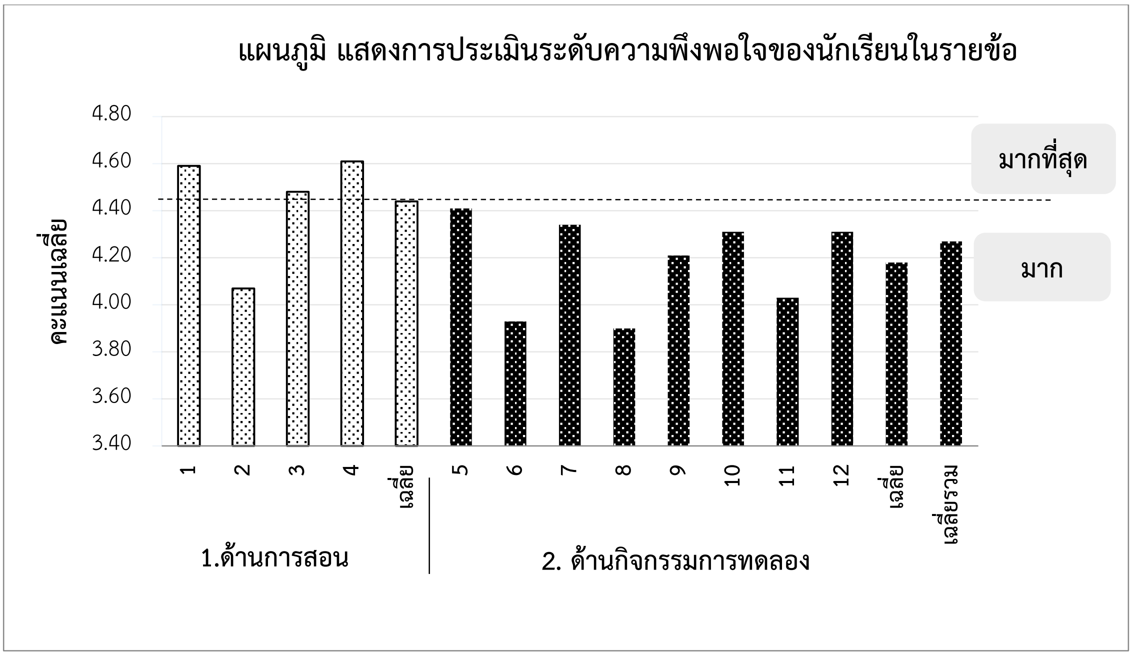
ด้านที่ 1 ด้านการสอน นักเรียนมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากมีคะแนนเฉลี่ย 4.44 (mean, SD 0.47) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ความพึงพอใจในแต่ละข้ออยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดเรียงลำดับจากคะแนนเฉลี่ยมากไปหาน้อย พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดในข้อ 4 ครูผู้สอนให้ความสนใจตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อมีข้อสงสัยซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุดมีคะแนนเฉลี่ย 4.61 (mean, SD 0.79) รองลงมา ได้แก่ ข้อ 1 ครูผู้สอนอธิบายวัตถุประสงค์และเนื้อหาการเรียนได้ชัดเจนซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ย 4.59 (mean, SD 0.51) ข้อ 3 ครูผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียนซึ่งอยู่ในระดับมากมีคะแนนเฉลี่ย 4.48 (mean 4.48, SD 0.57) ตามลำดับ และข้อที่มีระดับความพึงพอใจต่ำสุด ได้แก่ข้อ 2 ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอนซึ่งอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.07 (mean, SD 0.70) แสดงว่าบทบาทของครูที่กล่าวมามีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นปัจจัยกระตุ้นที่ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในชั้นเรียนได้ดี นักเรียนมีความพึงพอใจเพราะครูเป็นมิตรกับนักเรียน ให้ความสนใจตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อมีข้อสงสัย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกมลนุช ไชยมัชชิม และเสนอ ชัยรัมย์ (2557) ซึ่งพบว่าบทบาทของครูยังเป็นส่วนสำคัญในการจัดการเรียนรู้โดยครูจะต้องให้ความสนใจและสามารถตอบคำถามของนักเรียนเมื่อนักเรียนเกิดความสงสัย ซึ่งจะทำให้นักเรียนเรียนรู้อย่างมีความสุขกับกิจกรรมและสนใจที่จะเรียนรู้มากขึ้น

ด้านที่ 2 ด้านกิจกรรมการทดลอง ความพึงพอใจโดยภาพรวมของนักเรียนอยู่ในระดับมากมีคะแนนเฉลี่ย 4.18 (mean 4.18, SD 0.60) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในแต่ละข้ออยู่ในระดับมากเรียงลำดับจากคะแนนเฉลี่ยมากไปหาน้อย พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจสูงที่สุดในข้อ 5 การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายมีความน่าสนใจซึ่งอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.41 (mean, SD 0.73) ความพึงพอใจรองลงมา ได้แก่ ข้อ 7 การทดลองทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบสมากขึ้น ซึ่งอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.34 (mean, SD 0.72) ข้อ 10 ในการทดลองนักเรียนคิดว่า นักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับทักษะปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นซึ่งอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.31 (mean, SD 0.81) และข้อ 12 การทดลองนี้นักเรียนรู้สึกมีแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากขึ้น อยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.31 (mean, SD 0.89) ตามลำดับ และข้อที่มีระดับความพึงพอใจต่ำสุด ได้แก่ ข้อ 8 อุปกรณ์การทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายมีจำนวนเพียงพอกับนักเรียนซึ่งอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 3.90 (mean, SD 0.94) ซึ่งสอดคล้องกับที่นักเรียนเขียนเสนอแนะความคิดเห็นในแบบสอบถามดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อเสนอแนะของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

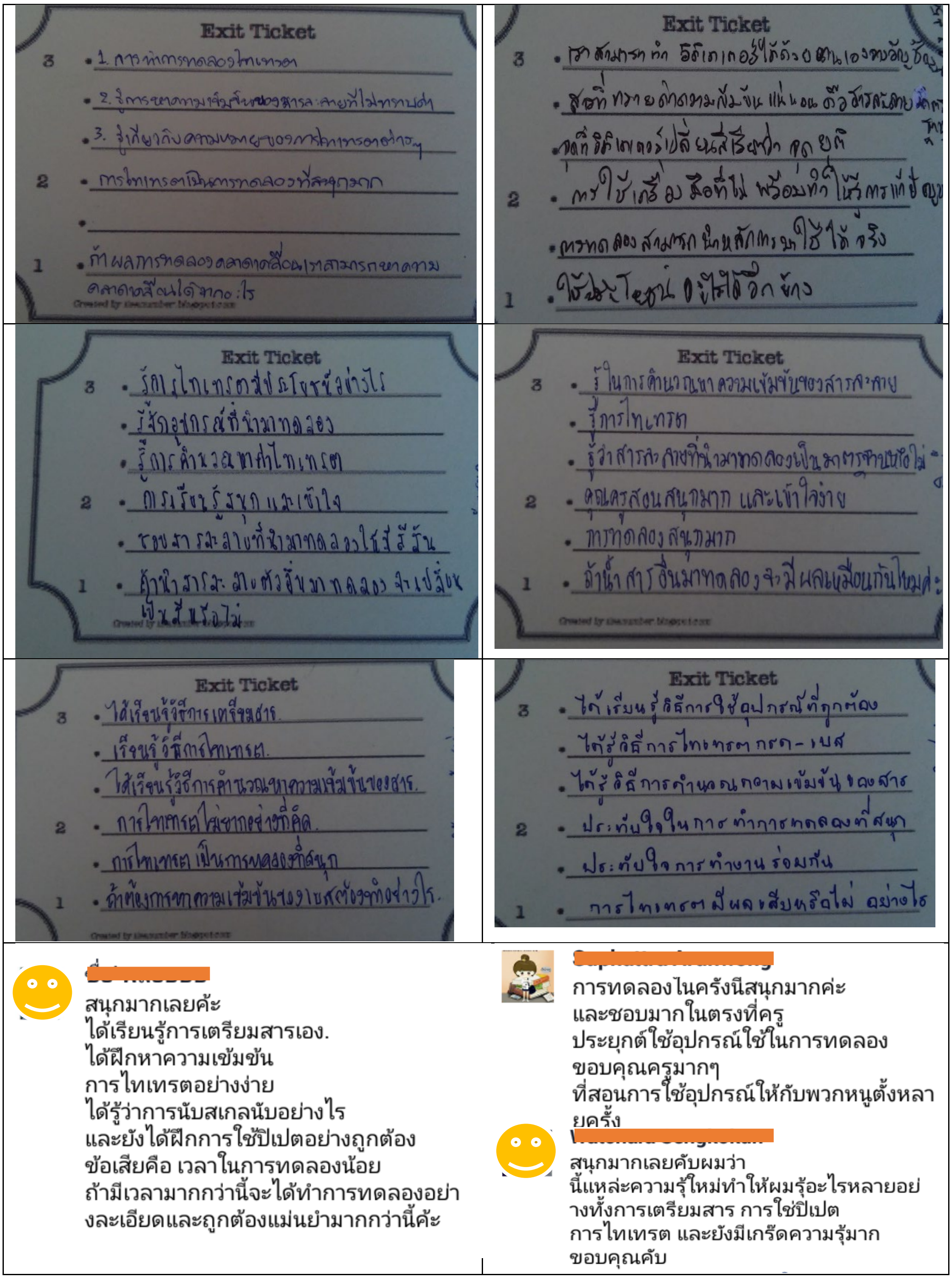
ข้อเสนอแนะ	ความถี่
1. ถ้าไม่มีอุปกรณ์การทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายก็คงจะไม่เข้าใจการทดลองในครั้งนี้และอุปกรณ์ทดลองชุดนี้ทำให้ใช้งานได้ดีมาก	3
2. อยากให้มีการทดลองเกี่ยวกับการไทเทรตนี้ต่อไปทุกๆรุ่น	2
3. อยากให้มีอุปกรณ์การทดลองมากกว่านี้ให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียน	2

และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.8 มาสร้างแผนภูมิแสดงการประเมินระดับความพึงพอใจของนักเรียนในรายข้อ สามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังภาพที่ 4.11

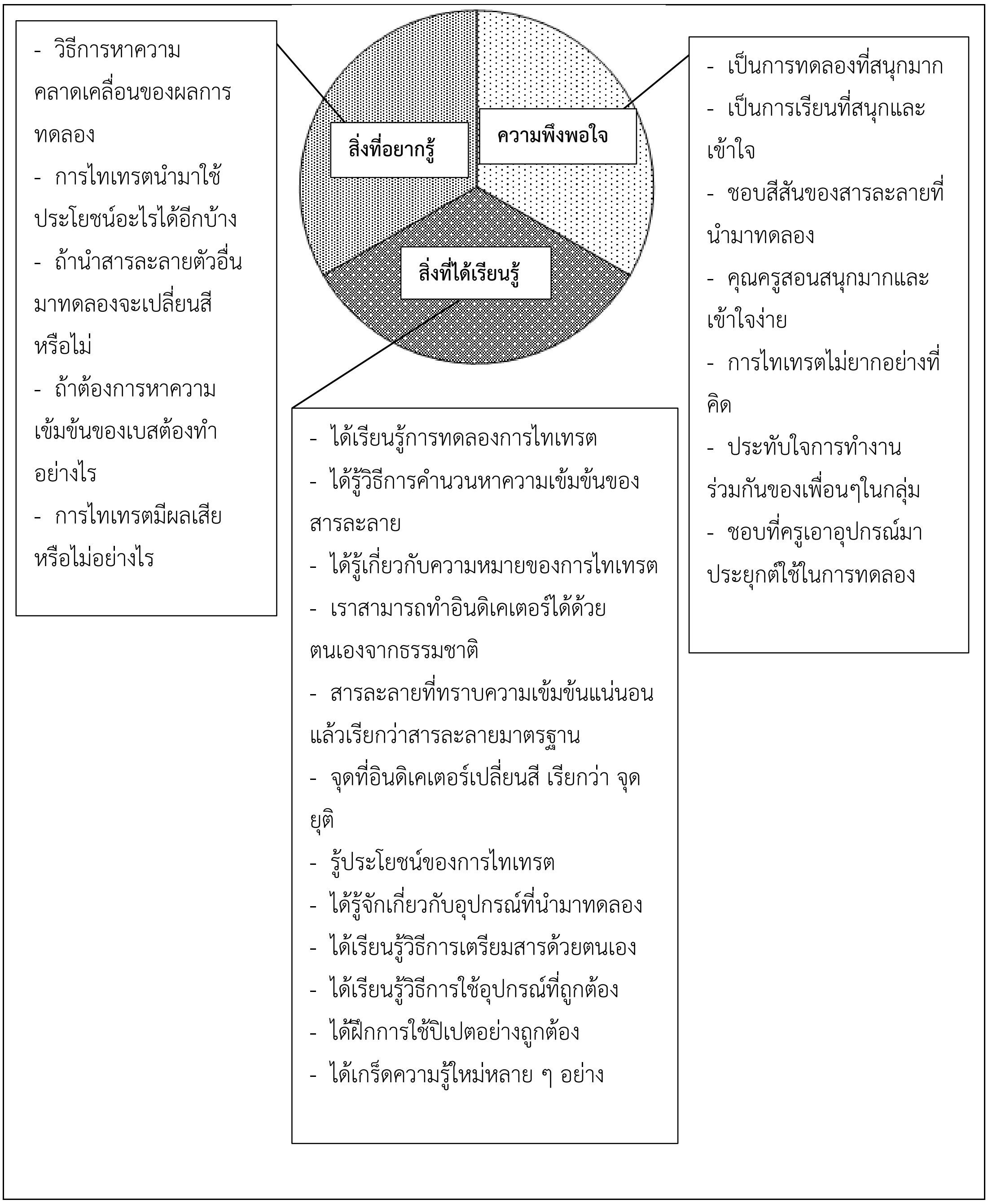


ภาพที่ 4.11 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

จากภาพที่ 4.11 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำโดยใช้เกณฑ์การพิจารณาขอบเขตของคะแนนเพื่อใช้ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย (บุญชม ศรีสะอาด, 2545) พบว่าในภาพรวม นักเรียนมีระดับความพึงพอใจต่อการเรียนอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.27 เมื่อพิจารณาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ในแต่ละด้าน พบว่าทุกด้านนักเรียนมีระดับความพึงพอใจต่อการเรียนอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ประสบผลสำเร็จอย่างยิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับที่นักเรียนเขียนข้อคิดเห็นใน Exit ticket และในกลุ่ม facebook ในขั้นประเมิน ครูให้นักเรียนเขียนสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการเรียนในครั้งนี้ และเขียนสิ่งที่อยากรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ตัวอย่างข้อคิดเห็นดังภาพที่ 4.12 -4.13



ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างข้อคิดเห็นของนักเรียนใน Exit ticket และในกลุ่ม facebook



ภาพที่ 4.13 สรุปข้อคิดเห็นของนักเรียนใน Exit ticket และในกลุ่ม facebook

เมื่อพิจารณาความคิดเห็นจากตารางที่ 4.7 และจากภาพที่ 4.12 -4.13 แสดงว่ากิจกรรมการทดลองที่ใช้ในการเรียนการสอนมีความน่าสนใจทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชุดทดลองการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำแบบใหม่และไม่เหมือนกับชุดการไทเทรตอื่นใดมาก่อน วัสดุอุปกรณ์หาซื้อได้ง่ายตามท้องถิ่น เช่น ร้านขายยาและร้านค้าทั่วไปซึ่งน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับนักเรียนที่ได้ร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการทดลอง และน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้

นักเรียนรู้สึกสนุกสนานในการเรียนและการทดลองมากขึ้น และช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบสมากขึ้นด้วย การลงมือปฏิบัติการทดลองช่วยกระตุ้นให้นักเรียนอยากเรียนรู้ได้ฝึกการทำงานร่วมกันเป็นทีมแบ่งงานกันทำได้อย่างเหมาะสม และสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีความสุขสนุกสนานเพิ่มประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้เครื่องมืออุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ สอดคล้องกับภพเลาหไพบูลย์ (2542) ที่กล่าวว่า ครูวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีการเตรียมสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้โดยครูทำหน้าที่คล้ายผู้ช่วยและนักเรียนทำหน้าที่คล้ายกับผู้จัดวางแผนการเรียนนักเรียนเป็นผู้เริ่มต้นในการจัดการเรียนการสอนด้วยตนเองมีความกระตือรือร้นที่จะศึกษาหาความรู้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการทำงานของนักวิทยาศาสตร์และเปลี่ยนแนวความคิดจากการที่เป็นผู้รับความรู้มาเป็นผู้แสวงหาความรู้และใช้ความรู้ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของประกรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล และคณะ (2559) พบว่าผลการประเมินเจตคติของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ต่อบทปฏิบัติการเทคนิคการไทเทรตโดยใช้หลักการไมโครสเกลสำหรับใช้ในห้องเรียน อยู่ในระดับดีทุกข้อทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจได้ง่ายและผู้เรียนสามารถตอบคำถามและปฏิบัติได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Eggen and Kvittingen (2004) สร้างชุดการทดลองไมโครสเกล เรื่องการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเป็นเครื่องมืออย่างง่ายราคาถูก สังเกตจากการทดลองเห็นได้อย่างชัดเจนทำให้ผู้เรียนมีพฤติกรรมพึงพอใจในการทำการทดลอง และนอกจากนี้ได้วัดเจตคติของนักศึกษาที่ใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนและแบบที่ใช้โดยทั่วไป พบว่านักศึกษามีเจตคติที่ดีต่อบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน และช่วยให้เกิดความรู้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ชัยยศ จันทร์แก้ว, 2556)

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียน เพื่อศึกษาความเข้าใจ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ ผู้วิจัยสามารถสรุปผล และข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยเรื่องการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อส่งเสริมการเรียน ทักษะการทดลอง และความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระวิทยา จังหวัดสงขลา สรุปได้ดังนี้

5.1.1 การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นสื่อการสอนเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ในห้องเรียน ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ง่าย วัสดุ/อุปกรณ์สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดและร้านขายยาทั่วไป ต้นทุนสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ 104 บาทต่อชุด (ประมาณ 3 $) น้อยกว่าชุดบิวเรตมาตรฐานที่มีราคา 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ 76.5 $) นอกจากจะมีต้นทุนที่ต่ำแล้ว ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้ยังใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ทำให้ของเสียที่เกิดจากการทดลองมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย เมื่อนำอุปกรณ์ชุดทดลองการไทเทรตไปทำการทดลองเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพ และความถูกต้องของการไทเทรตด้วยหลักการไมโครสเกล เทียบกับวิธีมาตรฐานคือการไทเทรตแบบดั้งเดิม ผลการทดลอง พบว่าความเข้มข้นที่คำนวณได้ของกรดแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นค่าจริงที่รายงานไว้บนฉลากสินค้า เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%error) มีค่าต่ำกว่า 5% ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้เป็นสื่อการสอนแทนชุดบิวเรตมาตรฐานทั่วไปสำหรับการไทเทรตกรด-เบสด้วยหลักการและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี และนอกจากนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการสอนการไทเทรตในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณเป็นอย่างยิ่ง

5.1.2 เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

5.1.2.1 เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายชั้นเรียน

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (mean 20.64, SD 4.95) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (mean 9.91, SD 2.74) นักเรียนมีคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย 10.73 หรือร้อยละ 35.77 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำมีการพัฒนาการเรียนรู้สูงขึ้นจริงซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น

5.1.2.2 เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนรายจุดประสงค์การเรียนรู้

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนที่มีต่อการเรียนการไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ พบว่าหลังเรียนนักเรียนมีร้อยละคะแนนทุกจุดประสงค์การเรียนรู้สูงกว่าร้อยละ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนมีร้อยละคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 68.80 สูงกว่าร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 33.03

5.1.2.3 วิเคราะห์ระดับความเข้าใจจากคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือกสามลำดับขั้น (Three-tier diagnostic test: TTDT) พบว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนเรียน และหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มขาดความเข้าใจลดลงกว่าก่อนเรียน แสดงให้เห็นว่าการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ สามารถปรับเปลี่ยนแนวคิดและพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนให้สูงขึ้นได้

นอกจากนี้ แบบวัดความเข้าใจในขั้นที่ 3 (Third tier) แสดงระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกที่ตอบ จะเห็นได้ว่าระดับความเชื่อมั่น ของนักเรียนสามารถบอกถึงความรู้ในเนื้อหาของนักเรียนได้ และบอกได้ว่านักเรียนคาดเดาคำตอบหรือไม่ นักเรียนตอบคำถามถูกแต่ไม่มั่นใจ หรือนักเรียนตอบคำถามผิดแต่ไม่มั่นใจ หรือนักเรียนมีความรู้แต่ขาดความมั่นใจในตนเอง ทำให้ผู้สอนสามารถนำผลการวิจัยไปพัฒนาผู้เรียนแต่ละกลุ่มให้มีความรู้ความเข้าใจในด้านต่าง ๆ ได้ตรงจุดมากขึ้น

5.1.3 เพื่อศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

ผลการวิเคราะห์นักเรียนมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามกิจกรรมการทดลองทั้ง 6 กิจกรรมการทดลอง พบว่า ทักษะที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด คือทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.73 คิดเป็นร้อยละ 93.33 รองลงมา คือ ทักษะการตั้งสมมติฐาน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.40 คิดเป็นร้อยละ 85.00 ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 คิดเป็นร้อยละ 80.00 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 คิดเป็นร้อยละ 70.00 ทักษะการแปลความหมายข้อมูล อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 คิดเป็นร้อยละ 69.17 และทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.73 คิดเป็นร้อยละ 68.33 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมนักเรียนมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.11 แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ประกอบกับชุดการทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ นักเรียนได้มีนักเรียนได้มีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้เนื้อหาวิชาจากการปฏิบัติการทดลองซ้ำ ๆ หลาย ๆ การทดลอง จึงทำให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น

5.1.4 ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนเรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบสด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจภาพรวมทั้งหมด อยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.27 (mean 4.27, SD 0.53) เมื่อพิจารณาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนในแต่ละด้าน พบว่าด้านที่ 1 ด้านการสอน อยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.46 (mean 4.46, SD 0.47) ด้านที่ 2 ด้านกิจกรรมการทดลอง อยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ย 4.18 (mean 4.18, SD 0.60) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการทดลองที่ใช้ในการเรียนมีความน่าสนใจทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ชุดทดลองการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำแบบใหม่และไม่เหมือนกับชุดการไทเทรตอื่นใดมาก่อน วัสดุอุปกรณ์หาซื้อได้ง่ายตามท้องถิ่น เช่น ร้านขายยาและร้านค้าทั่วไป ซึ่งน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับนักเรียนที่ได้ร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการทดลอง และน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้นักเรียนรู้สึกสนุกสนานในการเรียนและการทดลองมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยในการจัดการเรียนรู้

5.2.1.1 ชุดอุปกรณ์ไทเทรตอย่างง่ายนี้สามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนเรื่องการไทเทรต สำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์และมีงบประมาณไม่เพียงพอในการซื้ออุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ครูผู้สอนที่สนใจสามารถปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์เป็นไปตามบริบทของโรงเรียนเพื่อทำการไทเทรตหาปริมาณกรด-เบสจากสารตัวอย่างในห้องปฏิบัติการหรือสารตัวอย่างที่ใช้ในชีวิตประจำวันตามบริบทของชุมชนนั้น ๆ ได้ เช่น นักเรียนสามารถใช้ชุดอุปกรณ์ไทเทรตอย่างง่ายนี้ในการตรวจสอบความเข้มข้นของกรดน้ำส้มสายชูที่ขายตามท้องตลาดหรือใช้ตรวจสอบความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกที่เกษตรกรชาวสวนยางใส่ในน้ำยางเพื่อทำยางนั้นกลายเป็นก้อนก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

5.2.1.2 ชุดทดลองการไทเทรตที่สร้างขึ้นจากกระบอกฉีดยาแบบพลาสติกที่เชื่อมต่อกับข้อต่อสามทางนี้ มีปัญหาเรื่องฟองอากาศติดอยู่ในกระบอกฉีดยา ก่อนทำการทดลองการไทเทรต ครูควรอธิบายและสอนนักเรียนถึงวิธีการไล่ฟองอากาศออกจากกระบอกฉีดยา หรืออาจเปลี่ยนอุปกรณ์จากกระบอกฉีดยาแบบพลาสติกเปลี่ยนมาเป็นหลอดฉีดยาแบบแก้ว นอกจากนี้ขั้นตอนสุดท้ายของการไทเทรตควรชะสารละลายที่ติดอยู่ที่ขอบผนังด้านในของขวดแก้วด้วยน้ำกลั่น

5.2.1.3 กิจกรรมการทดลอง การไทเทรตกรด-เบส เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้เวลาในการทำกิจกรรม ก่อนการสอนครูควรจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้พร้อม ครูควรทดลองก่อนเพื่อจะได้ทราบปัญหาและแก้ไขได้ทันท่วงทีก่อนทำการสอนจริง และครูควรชี้แนะให้นักเรียนแต่ละกลุ่มบริหารจัดการเวลาให้ดี

5.2.1.4 ครูผู้สอนควรสำรวจแนวคิดของนักเรียนก่อนจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยใช้แบบทดสอบแบบอัตนัย เพื่อจัดหากิจกรรมการเรียนการสอนที่เหมาะสมและปรับแก้แนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียนให้ถูกต้อง

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.2.1 การใช้แบบวัดความเข้าใจของนักเรียนด้วยแบบทดสอบสามลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) เป็นแบบวัดแนวคิดที่เน้นศึกษาความเข้าใจของผู้เรียน สามารถนำไปพัฒนาเพื่อสร้างและพัฒนาแบบทดสอบในเนื้อหาอื่น ๆ ได้ต่อไป

5.2.2.2 ควรมีการพัฒนาทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองด้วยกลวิธีการสอนอื่น ๆ เพราะเป็นทักษะที่นักเรียนได้รับคะแนนน้อยที่สุด

5.2.2.3 ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้จากกิจกรรมการทดลองในเนื้อหาเรื่องอื่น ๆ ด้วยนวัตกรรมที่สร้างขึ้นมาเองด้วยวัสดุที่หาได้ง่าย เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่มั่นคงและยั่งยืนต่อไป

5.2.2.4 เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอนที่ดียิ่งขึ้นไป ควรมีการศึกษาตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความคงทนในการเรียนรู้ และความสามารถในการแก้ปัญหาเป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กมลนุช ไชยมัชชิม และเสนอ ชัยรัมย์. "การส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง โปรตีนโดยใช้กระบวนการสืบเสาะแบบแนะนำ", **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้.** 5(2): 165–175; พฤศจิกายน, 2557.

กระทรวงศึกษาธิการ. **ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.** กรุงเทพฯ: สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551.

__________. **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551.** กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2552.

จิณห์ณิภา นาคะเสนีย์ และคณะ. "การศึกษาแนวแนวคิด เรื่องกรด–เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5", **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้.** 6(1): 70-83; มกราคม, 2558.

เจริญสุข คงชาติ. **การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้บทเรียนการ์ตูน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.

ชัยยศ จันทร์แก้ว. **การพัฒนาปฏิบัติการเคมีสีเขียวเพื่อนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.** นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, 2556.

ชาญชัย ยมดิษฐ์. **เทคนิคและวิธีการสอนร่วมสมัย.** กรุงเทพฯ: หลักพิมพ์, 2548.

ชาตรี ฝ่ายคำตา. "การจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้", **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.** 11(1): 33-44; มกราคม, 2551.

__________. "แนวคิดทางเลือกของนักเรียนในวิชาเคมี", **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี.** 19(2): 10-25; กรกฎาคม, 2551.

ดลฤดี รัตนประสารท. **ผลของการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่องดินและหิน ในท้องถิ่น ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4.** วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2547.

ทิศนา แขมมณี. **ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

นัฐชยพชร คำนวณ. **การเรียนจากการทำปฏิบัติการ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแยกสาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.

บัญญัติ ชำนาญกิจ. "วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5Es", **วารสารวิชาการบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.** 2(4): 1-9; พฤษภาคม, 2550.

บุญชม ศรีสะอาด. **การพัฒนาการสอน.** กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก, 2541.

__________. **การวิจัยเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ: สุวีริยสาส์น. 2545.

ประกรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล และคณะ. "การพัฒนาเทคนิคการไทเทรตโดยใช้หลักการไมโครสเกลสำหรับใช้ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์", **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.** 10(2): 18-36; กรกฎาคม, 2559.

ประดับ จรตระการ. **การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปี ที่ 3 ที่ได้รับการสอนด้วยวิธีสอนแบบ 4 MAT กับวิธีสอนแบบปกติ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2547.

ประภาพรรณ เส็งวงศ์. **การพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ด้วยวิธีวิจัยในชั้นเรียน.** กรุงเทพฯ: อี.เค.บุ๊คส์, 2550.

Marcus, M. (2016). "ปิรามิดแห่งการเรียนรู้ (Learning Pyramid)", **Understanding the Learning Pyramid.** https://www.myquestionth.com/question/8709. November 16, 2018.

พัลยมน เย็นสมุทร. **พัฒนาความเข้าใจเชิงมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบสโดยใช้กิจกรรมทำนาย-สังเกต-อธิบาย บนพื้นฐานแนวการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2557.

พิทักษ์ อยู่มี. "การทดลองแบบไมโครสเกลในปฏิบัติการเคมี", **วารสารวิชาการวิทย์พิบูลสาสน์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.** 2(1): 98-101; มกราคม, 2544.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. **การเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ: แนวคิดวิธีและเทคนิคการสอน 2.** กรุงเทพฯ: เดอะมาสเตอร์กรุ๊ป แมเนจเม้นท์, 2544.

เพชรวิไล ขัตติยวงษ์ และคณะ. "การพัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลป์วานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้า", **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เพื่อการเรียนรู้.** 5(2): 146-154; กรกฎาคม, 2557.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ภพ เลาหไพบูลย์. **แนวการสอนวิทยาศาสตร์.** กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนพานิช, 2542.

ภิญญาพัชน์ ปลากัดทอง. **การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างความสามารถในการเผชิญอุปสรรคของนักเรียนระดับช่วงชั้นที่ 2.** วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2551.

ยุพา วีระไวทยะ และปรีชา นพคุณ. **สอนวิทยาศาสตร์แบบมืออาชีพ.** กรุงเทพฯ: มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์, 2544.

วรนุช เชื้ออ่อน และเสนอ ชัยรัมย์. "การส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโปรตีนโดยใช้กระบวนการสืบเสาะแบบแนะนำ", **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้.** 5(2): 155-164; พฤศจิกายน, 2557.

วรรณทิพา รอดแรงค้า. **การสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นกระบวนการ.** กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ, 2540.

__________. **การสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.** กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ, 2544.

วาโร เพ็งสวัสดิ์. **การวิจัยในชั้นเรียน.** กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2545.

วิชัย ลาธิ และศักดิ์ศรี สุภาษร. "การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์", **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.** 24(1): 29-52; มกราคม, 2556.

วิทวัฒน์ ขัตติยะมาน และอมลวรรณ วีระธรรมโม. **การสอนเพื่อพัฒนาการคิด.** กรุงเทพฯ: เทมการพิมพ์, 2549.

วิมล สำราญวานิช. **การสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษา.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2532

ศศิธร ต้นสวรรค์ และกานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา. "การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการแยกสารของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติร่วมกับการสร้างผังกราฟิก", ใน **การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัยครั้งที่ 5.** น. 46-52. อุบลราชธานี: โรงแรมลายทอง, 2554.

ศักดิ์ศรี สุภาษร. "การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เน้นปฏิบัติจริงเพื่อพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการเปลี่ยนแปลงสารและการแยกสาร", **วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีภาคเหนือ.** 3(พิเศษ): 115-162; มกราคม, 2554.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ศักดิ์ศรี สุภาษร. “กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในการทดลองเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย: ทบทวนงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี”, **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.** 22(3): 331-343; กันยายน, 2554.

ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ. **ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์บนพื้นฐานความปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ.** กรุงเทพฯ: สานักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2547.

ศุภวรรณ ตันตยานนท์. (2555). “คิดค้นอุปกรณ์ทดลองทางเคมีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มการใช้งานและความปลอดภัยในการทดลอง”, **อุปกรณ์ทดลองทางเคมีขนาดเล็ก**. http://www.ostc.thaiembdc.org/stnews_thai_20.html. 20 ตุลาคม, 2556.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2559). “รายงานผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน”, **O–NET.** http//www.niets.or.th. 23 เมษายน, 2559.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544.** กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.

__________. **เอกสารประกอบการเผยแพร่ ขยายและอบรมรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Cycle).** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548. (อัดสำเนา)

__________. **เอกสารประกอบการประชุมปฏิบัติการเผยแพร่ ขยายผล และอบรมรูปแบบการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดระดับสูง.** ศูนย์วิทยาศาสตรศึกษา: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2549. (อัดสำเนา)

สถาพร พฤฑฒิกุล. (2559). “การจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning โครงการจัดการความรู้ (Knowledge Manaement)”, **Active Learning.** http://km.buu.ac.th/article/frontend/article_detail/141. 23เมษายน, 2560.

สนทยา บังพรม. **การพัฒนาความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่องไฟฟ้าเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบายในขั้นขยายความรู้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2558.

สมบัติ กาญจนารักพงศ์. **นวัตกรรมการศึกษาชุดที่ 29 เทคนิคการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย: การเรียนแบบร่วมมือ.** กรุงเทพฯ: ธารอักษร, 2547.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สาลินี อาจารีย์. **การพัฒนาหลักสูตรวชาเคมีที่ใช้การทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกลสำหรับนักศึกษาหลักสตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.

สาลินี อาจารีย์ และคณะ. “การพัฒนาบทปฏิบัติการระดับไมโครสเกลเรื่องเคมีไฟฟ้า”, **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** 19(1): 11-18; มกราคม, 2552.

สุธี ผลดี. **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องกรด-เบส ด้วยชุดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.

สุรางค์ โค้วตระกูล. **จิตวิทยาการศึกษา.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย, 2552.

ไสว ฟักขาว. **หลักการสอนสำหรับการเป็นครูมืออาชีพ.** กรุงเทพฯ: เอมพันธ์, 2544.

อมร เรืองไพศาล. “การประยุกต์การจัดกิจกรรมกาเรียนรู้ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้กับการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องโลกและการเปลี่ยนแปลง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2”, **วารสารการวัดผลการศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 17(1): 319-330; กรกฎาคม, 2555.

อโณทัย ดาทอง และเสนอ ชัยรัมย์. “การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้แผนผังตัวยูในอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้.** 6(1): 14-31, ธันวาคม, 2558.

อุดม ทิพราช. “การเสริมสร้างความเข้าใจและความทรงจำที่ยาวนาน เรื่องหลักของแบร์นูลลีด้วยการสอนแบบแอคทีพในการศึกษาของครู”, **วารสารการจัดการเรียนรู้สู่การปฏิบัติจริงในระดับอุดมศึกษาครั้งที่ 1: การเปลี่ยนผลการเรียนรู้.** 2: 1-12; มกราคม, 2552.

อุบลวรรณ ไท้ทอง และคณะ. “ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่องไฟฟ้าเคมี เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6”, **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคเหนือ.** 3(พิเศษ): 272-280, กันยายน, 2554.

Abdullah, M. and et al. “The effect of an individualized laboratory approach through microscale chemistry experimentation on students’ understanding of chemistry concepts, motivation and attitudes”, **Chemistry Education Research and Practice.** 10(1): 53-61; January, 2009.

Acharry, S. T. and et al. “Electrochemistry : Microscale Teaching Module”, **International Journal of Arts and Sciences.** 19(1): 11-18; July, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Acharry, S. and Suwannathada, J. “The development of microscale laboratory: Titration”, **International Journal of Arts and Science.** 3(9): 296-305; March, 2010.

Cao, T. and et al. “Designing, Constructing, and Using an Inexpensive Electronic Buret”, **Journal of Chemical Education.** 92(1): 106-109; November, 2014.

Harika, O. A. and et al. “A three-tier diagnostic test to assess pre-service teachers’ misconceptions about global warming, greenhouse effect, ozone layer depletion, and acid rain”, **International Journal of Science Education.** 11(34): 1667–1686; May, 2012.

Richardson, J. N. and et al. “Microscale Quantitative Analysis of Hard Water Samples Using an Indirect Potassium Permanganate Redox Titration”, **Journal Chemical Education.** 80(1): 65-79; January, 2003.

Johnson, D. W. and Johnson, R.T. **Meaningful Assessment: A manageable and cooperativeprocess.** Boston: Allyn and Bacon, 2002.

Joyce, B. and Weil M. **Model of Teaching.** London: Prentice-Hall International, 1986.

Kelly, O. and Finlayson, O. E. “Small-scale chemistry in the school laboratory-small in beautiful, green in more beautiful”, **Asian Journal of Civil Engineering.** 4(3): 48-94; October, 2017.

Khattiyavong, P. and et al. “The Development of Small Scale and Low-Cost Galvanic Cells as a Teaching Tool for Electrochemisry”, **Journal of Research Unit on Science Technology and Environment for Learning.** 5(1): 146-154; July, 2014.

Knaggs, C. M. and Schneider, R. M. “Thinking like a scientist: Using Vee-maps to understand process and concepts in science”, **Research in Science Education.** 42(4): 609–632; April, 2012.

Logan, S. J. and Abrams, N. M. “A Simple, Semiquantitative Device for Liquid–Liquid Separations”, **Journal of Chemical Education.** 89(12): 1609-1610; October, 2012.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Singh, M. M. and et al. "A comparative study of microscale and standard burets", **Journal of Chemical Education.** 77(5): 625-626; May, 2000.

_________. "A Modified Microburet for Microscale Titration", **Journal of Chemical Education.** 75(3): 371-375; March, 1998.

_________. "Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies", **Journal of Chemical Education.** 76(12): 1684-1686; December, 1999.

_________. "A comparative study of microscale and standard burets", **Journal of Chemical Education.** 77(5): 625-626; May, 2000.

Nomnian, S. "Constructivism: Theory and Its Application to Language Teaching", **Journal Studies in Language and Language Teaching.** 11: 62-71; January, 2010.

Skoog, D. A. and et al. **Fundamentals of Analytical Chemistry.** Canada: Nelson Education, 2013.

Supasorn, S. "Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit", **Chemistry Education Research and Practice.** 16: 393-407; March, 2015.

Villalón, G. C. "Adapting Bottles to Digital Burets for Small Volume Titration", **Journal of Chemical Education.** 90(7): 952-953; May, 2013.

Wood, C. G. "Microchemistry", **Journal of Chemical Education.** 67(7): 596-597; January, 1990.

Wooster, M. "Microscale chemistry", **Education in Chemistry.** 44(2): 45-47; June, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

แบบทดสอบเรื่องการไทเทรตกรด-เบส

รายวิชาเคมี 3 รหัสวิชา ว 32223

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

<u>คำชี้แจง</u> ข้อสอบแบบเลือกตอบ (ปรนัย) จำนวน 20 ข้อ

เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบ (ปรนัย) จำนวน 20 ข้อ ในแต่ละข้อประกอบด้วยคำถาม 3 ส่วน คือ

<u>ส่วนที่ 1</u> เป็นการถามความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเรียน ประกอบด้วยตัวเลือก 4 ตัวเลือก ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย × เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียวลงในกระดาษคำตอบ

<u>ส่วนที่ 2</u> เป็นการถามเหตุผลที่ใช้ตอบคำถามในส่วนที่ 1 ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย × สำหรับเหตุผลในการเลือกคำตอบในส่วนที่ 1 เพียงเหตุผลเดียวลงในกระดาษคำตอบ

<u>ส่วนที่ 3</u> เป็นการถามระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก

ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย × เลือกระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือกเพียงระดับเดียวลงในกระดาษคำตอบ

ตัวอย่างแบบทดสอบ

ข้อ 00. สารประกอบใดต่อไปนี้มีรูปร่างโมเลกุลแบบมุมงอ	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. NH_3	1. คาดเดา
ข. HCl	2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
ค. $BeCl_2$	3. ไม่มั่นใจ
ง. Cl_2O	4. มั่นใจ
	5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: เพราะอะตอมกลางมี

ก. อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่

ข. อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 2 คู่ ไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

ค. อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 2 คู่ มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่

ง. อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 2 คู่ มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 2 คู่

ตัวอย่างกระดาษคำตอบ

ข้อ	**ตัวเลือก**				**เหตุผล**				**ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก**				
	ก.	ข.	ค.	ง.	ก.	ข.	ค.	ง.	1.	2.	3.	4.	5.
00.				×				×					×

ข้อสอบแบบเลือกตอบ (ปรนัย) จำนวน 15 ข้อ ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย × ลงในกระดาษคำตอบ

1. การไทเทรตสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้น หมายถึง วิธีการหาปริมาณของสารชนิดหนึ่งที่ไม่ทราบความเข้มข้น โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ทราบความเข้มข้นและวัดปริมาตรของสารละลายทั้งสองชนิดที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน ซึ่งสารละลายมาตรฐานนั้นหมายถึงสารใด และภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าอะไร ตามลำดับ	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. สารที่ทราบความเข้มข้น, จุดยุติ ข. สารที่ไม่ทราบความเข้มข้น, จุดยุติ **ค. สารที่ทราบความเข้มข้น, จุดสมมูล** ง. สารที่ไม่ทราบความเข้มข้น, จุดสมมูล	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

ก. สารละลายมาตรฐาน คือสารที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดยุติ

ข. สารละลายมาตรฐาน คือสารที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดยุติ

ค. สารละลายมาตรฐาน คือสารที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดสมมูล

ง. สารละลายมาตรฐาน คือสารที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดสมมูล

2. การไทเทรตข้อใดให้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก

ข้อ	สาร 1	สาร 2	อินดิเคเตอร์	ช่วง pH อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี
ก.	HCl	$NaHCO_3$	ฟีนอล์ฟทาลีน	8.3 - 10.4
ข.	NH_4Cl	$Ca(OH)_2$	เมทิลเรด	4.4 - 6.0
ค.	NaHS	NaOH	ฟีนอลเรด	6.7 - 8.3
ง.	**$HClO_4$**	**NH_3**	**ไทมอลบลู**	**1.2 - 2.9**

1. คาดเดา
2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
3. ไม่มั่นใจ
4. มั่นใจ
5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

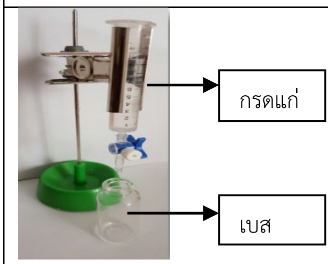
ก. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH เท่ากับ 7

ข. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7

ค. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7

ง. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7

3. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายเบสอ่อนกับกรดแก่ชนิดหนึ่ง โดยใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์ค่า pH ของสารละลายผสมก่อนจุดสมมูลกับหลังจุดสมมูลตรงกับข้อใด	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก



ก. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลมากกว่า pH หลังจุดสมมูล

ข. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลน้อยกว่า pH หลังจุดสมมูล

ค. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลและหลังจุดสมมูลมีค่าเท่ากัน

ง. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลอาจมากกว่าหรือน้อยกว่า pH หลังจุดสมมูลก็ได้ขึ้นกับปริมาตรของไทแทรนต์

1. คาดเดา
2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
3. ไม่มั่นใจ
4. มั่นใจ
5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: กรดแก่เป็นไทแทรนต์ เบสอ่อนอยู่ในภาชนะรองรับ

ก. ก่อนจุดสมมูลจะมีเบสเหลือ หลังจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลมากกว่า pH หลังจุดสมมูล

ข. ก่อนจุดสมมูลจะมีเบสเหลือ หลังจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลน้อยกว่า pH หลังจุดสมมูล

ค. ก่อนจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ หลังจุดสมมูลจะมีเบสเหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลมากกว่า pH หลังจุดสมมูล

ง. ก่อนจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ หลังจุดสมมูลจะมีกรดเบสเหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลและหลังจุดสมมูลมีค่าเท่ากัน

4. ถ้านักเรียนทำการไทเทรตสารละลายเบสอ่อน CH_3NH_2 กับกรดแก่ HBr นักเรียนควรใช้สารใดเป็นไทแทรนต์ และค่า pH ของสารละลายที่จุดสมมูล มีค่าเท่าไหร่	ระดับความเชื่อมั่น สำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. HBr, pH มากกว่า 7 **ข. HBr, pH น้อยกว่า 7** ค. CH_3NH_2, pH มากกว่า 7 ง. CH_3NH_2, pH น้อยกว่า 7	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

ก. ในการไทเทรตควรใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นเบส

ข. ในการไทเทรตควรใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นกรด

ค. ในการไทเทรตควรใช้เบสอ่อนเป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นเบส

ง. ในการไทเทรตควรใช้เบสอ่อนเป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นกรด

5. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายกรดแอซีติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อถึงจุดยุติจะได้สารละลายซึ่ง pH เท่ากับเท่าใด	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. เท่ากับ 7 **ข. มากกว่า 7** ค. น้อยกว่า 7 ง. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: การไทเทรตระหว่างสารทั้งสอง จะได้ผลิตภัณฑ์คือ

ก. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกลางเมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH เท่ากับ 7

ข. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นเบส เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH มากกว่า 7

ค. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกรด เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH น้อยกว่า 7

ง. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกลาง เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7

6. เมื่อผสมสารละลาย HCl 0.10 mol/dm^3 ปริมาตร 25.00 cm^3 กับสารละลาย NaOH 0.10 mol/dm^3 ปริมาตร 20.00 cm^3 เข้าด้วยกัน สารละลายผสมจะมีค่า pH เป็นอย่างไร	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. pH เท่ากับ 7 ข. pH มากกว่า 7 **ค. pH น้อยกว่า 7** ง. ยังสรุปไม่ได้	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: อัตราส่วนโดยโมลของ HCl และ NaOH เท่ากับ 1:1 เมื่อความเข้มข้นเท่ากัน ปริมาตรที่เข้าทำปฏิกิริยาจะเท่ากัน

ก. เมื่อมีปริมาณกรดน้อยกว่า สารละลายผสมจึงเป็นเบส จึงมี pH มากกว่า 7

ข. เมื่อมีปริมาณกรดเท่ากับเบส สารละลายผสมจึงเป็นกรด จึงมี pH เท่ากับ 7

ค. เมื่อมีปริมาณกรดมากกว่า สารละลายผสมจึงเป็นกรด จึงมี pH น้อยกว่า 7

ง. ไม่สามารถสรุปค่า pH ได้

7. ในการไทเทรตกรดเบสได้บรรจุไทแทรนต์ แล้วปรับปริมาตรเริ่มต้นดังรูป ก. หลังจากไขไทแทรนต์ลงไปจนถึงสเกลบนบิวเรตต์ดังรูป ข. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตเป็นเท่าใด	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
 ก. 1.00 cm^3 ข. 9.40 cm^3 **ค. 8.40 cm^3** ง. 10.40 cm^3	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

ก. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น

ข. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายสุดท้าย

ค. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายสุดท้ายลบด้วยสเกลล์ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น

ง. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายสุดท้ายบวกด้วยสเกลล์ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น

8. ต้องใช้สารละลาย HCl เข้มข้น 0.10 mol/dm^3 ปริมาตรเท่าใด จึงจะทำให้ปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายเบสอ่อน NH_3 เข้มข้น 0.10 mol/dm^3 ปริมาตร 25.00 cm^3 และสารละลายผสมที่ได้มีสมบัติกรด-เบส อย่างไร	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. 25.00 cm^3, เบส **ข. 25.00 cm^3, กรด** ค. 50.00 cm^3, เบส ง. 50.00 cm^3, กรด	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: อัตราส่วนโดยโมลของ HCl และ NH_3 ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นอัตราส่วนเท่ากับ

ก. 1:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 25.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH มากกว่า 7

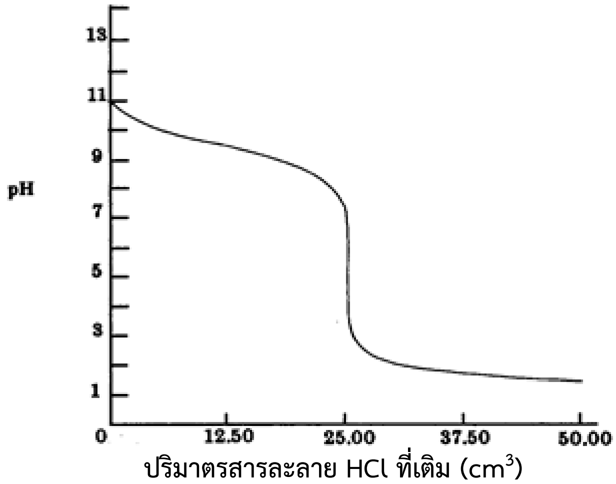
ข. 1:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 25.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH น้อยกว่า 7

ค. 2:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 50.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH มากกว่า 7

ง. 2:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 50.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH น้อยกว่า 7

<u>คำชี้แจง</u> ข้อมูลต่อไปนี้ประกอบการตอบคำถามข้อ 9- 10

กราฟของการไทเทรตระหว่างสารละลายของเบสชนิดหนึ่ง กับสารละลาย HCl เป็นดังรูป



9. ค่า pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรตดังกราฟ มีค่าเท่ากับเท่าไหร่	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. 2 ข. 4 **ค. 6** ง. 10	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

ก. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสแก่ จะมี pH ที่จุดสมมูล เท่ากับ 7

ข. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ จะมี pH ที่จุดสมมูล มากกว่า 7

ค. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน จะมี pH ที่จุดสมมูล น้อยกว่า 7

ง. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน จะมี pH ที่จุดสมมูล มากกว่า 7

10. ในการไทเทรตสารละลายเบสชนิดหนึ่งด้วยสารละลาย HCl ดังกราฟ จะเลือกใช้อินดิเคเตอร์ชนิดใด จึงจะบอกจุดยุติได้ใกล้เคียงกับจุดสมมูล	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก

ข้อ	อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	การเปลี่ยนสี
ก.	A	6.0 - 7.6	เหลือง - น้ำเงิน
ข.	B	8.3 - 10.4	ไม่มีสี - ชมพู
ค.	C	6.7 - 8.3	เหลือง - แดง
ง.	**D**	**4.4 - 6.2**	**แดง - เหลือง**

1. คาดเดา
2. ไม่มั่นใจอย่างมาก
3. ไม่มั่นใจ
4. มั่นใจ
5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

ก. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลเท่ากับ 7

ข. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลน้อยกว่า 7

ค. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลมากกว่า 7

ง. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลน้อยกว่า 7

11. อินดิเคเตอร์ตัวไหนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการไทเทรตระหว่างกรด HNO_2 (Ka = 5.1×10^{-4}) กับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.10 โมล / ลิตร	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. เมทิลเรด ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 4.4 - 6.2 **ข. ไทมอลบลู ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 8.0 - 9.6** ค. เมทิลออเรนจ์ ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 3.1 - 4.4 ง. โบรโมไทมอลบลู ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 6.0 - 7.6	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: การไทเทรตระหว่าสารทั้งสองเป็นการไทเทรตระบบ

ก. กรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือเท่ากับ 7

ข. กรดแก่-เบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือน้อยกว่า 7

ค. กรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือน้อยกว่า 7

ง. กรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือมากกว่า 7

12. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายกรดแอซีติกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ใด	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. เมทิล เรด **ข. เมทิลออเรนจ์** ค. ฟีนอล์ฟทาลีน ง. โบรโมครีซอลกรีน	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล: การไทเทรตระหว่างสารทั้งสอง จะได้ผลิตภัณฑ์คือ CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติ

ก. สมบัติเป็นกลาง อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH เท่ากับ 7

ข. สมบัติเป็นเบส อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7

ค. สมบัติเป็นกรด อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7

ง. สมบัติเป็นเบส อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7

13. โบรโมไทมอลบลูมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH 6.0 – 7.6 จากสีเหลืองเป็นน้ำเงิน เมื่อหยดโบรโมไทมอลบลูลงในสารละลาย A ที่มี pH=7 สารละลายจะมีสีอะไร	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
ก. เขียว ข. น้ำเงิน ค. เหลือง ง. สรุปไม่ได้	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

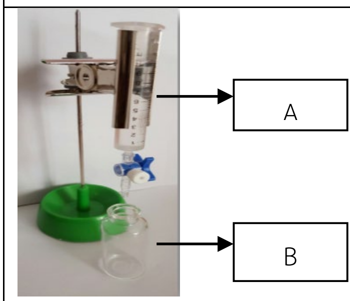
เหตุผล:

ก. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว เมื่อมี pH ระหว่าง 6.0 - 7.6

ข. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เมื่อมี pH ระหว่าง 6.0 - 7.6

ค. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เมื่อมี pH มากกว่าหรือเท่ากับ 7.6

ง. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เมื่อมี pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.6

14. ในการหาปริมาณของกรดแอซีติกในน้ำส้มสายชูแท้ โดยนำมาไทเทรตกับสารละลาย NaOH 0.1 mol/dm^3 pH ที่จุดสมมูล = 8.7 การจะหาความเข้มข้นของกรดแอซีติกในน้ำส้มสายชูแท้ได้ถูกต้องควรทดลองตามข้อใด	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

การทดลอง	สารละลายบรรจุใน A	สารละลายบรรจุใน B	อินดิเคเตอร์
ก	น้ำส้มสายชู	NaOH	เมทิลเรด
ข	น้ำส้มสายชู	NaOH	เมทิลออเรนจ์
ค	**NaOH**	**น้ำส้มสายชู**	**ฟีนอล์ฟทาลีน**
ง	NaOH	น้ำส้มสายชู	โบรโมไทมอลบลู

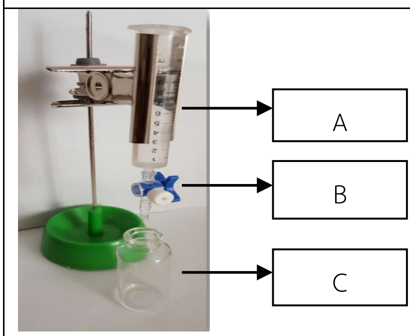
เหตุผล:

ก. A บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน, B บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 6.0 – 7.6

ข. A บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน, B บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3 - 10.0

ค. A บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น, B บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 6.0 -7.6

ง. A บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น, B บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3 - 10.0

15. ถ้านักเรียนจะทดลองเพื่อหาปริมาณเบสในยาลดกรด โดยการไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 mol/dm^3 นักเรียนจะมีวิธีการทดลองโดยบรรจุสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ยาลดกรด และอินดิเคเตอร์ตรงตำแหน่งใด ตามลำดับ	ระดับความเชื่อมั่นสำหรับเหตุผลประกอบตัวเลือก
 ก. A, C, B **ข. A, C, C** ค. C, A, A ง. C, A, C	1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจอย่างมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจอย่างมาก

เหตุผล:

ก. สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นบรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์, สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนและอินดิเคเตอร์บรรจุในภาชนะรองรับ

ข. สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นและอินดิเคเตอร์บรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์, สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนบรรจุในภาชนะรองรับ

ค. สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนบรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์, สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น และอินดิเคเตอร์บรรจุในภาชนะรองรับ

ง. สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนบรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์, อินดิเคเตอร์บรรจุใน three way stop cock, สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นบรรจุในภาชนะรองรับ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้

รายวิชาเคมี 3 **รหัสวิชา ว32223** **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**
โรงเรียนสทิงพระวิทยา **ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** **ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559**
สาระที่ 3 หน่วยที่ 3 **เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส** **ผู้สอน ครูอาร์ซีซ๊ะ ดินอะ**

....

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนสถานะของสารการเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยาเคมี มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐานการเรียนรู้ช่วงชั้น ม.4-6 สำรวจตรวจสอบ อภิปราย และอธิบายสมบัติความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ค่า pH ของสารละลายและการนำความรู้เกี่ยวกับกรด-เบสไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้

สามารถอธิบายทดลอง คำนวณเกี่ยวกับไทเทรต กรด-เบส และคำนวณหาค่า pH ได้

จุดประสงค์การเรียนรู้

ด้านความรู้

1. บอกความหมายการไทเทรต สารละลายมาตรฐานและจุดสมมูลได้
2. อธิบายวิธีการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้และบอกเหตุผลได้

ด้านทักษะกระบวนการ

1. ทำการทดลองการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูลได้
2. คำนวณหาปริมาณกรดหรือเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน โดยใช้ข้อมูลจากการไทเทรตได้
3. มีทักษะกระบวนการทำงานกลุ่ม

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

1. มีความตั้งใจในการทำงาน
2. มีความรับผิดชอบ
3. ตรงต่อเวลา

สาระการเรียนรู้

1. การไทเทรตกรด–เบส
2. อินดิเคเตอร์กับการไทเทรตกรด–เบส

สาระสำคัญ

การไทเทรตเป็นเทคนิคหนึ่งที่นักเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณของสารละลายที่ต้องการทราบความเข้มข้น โดยการให้ทำปฏิกิริยากับสารที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนจนสมมูลพอดีกัน โดยจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารอินดิเคเตอร์ที่เติมลงไปด้วย โดยจะเรียกจุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีว่าจุดยุติ

คำถามสำคัญ

1. การไทเทรต สารละลายมาตรฐาน จุดยุติและจุดสมมูล คืออะไร
2. จุดยุติและจุดสมมูลเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย
3. การไทเทรตสารละลาย CH_3COOH กับสารละลาย NaOH ถ้าใช้อินดิเคเตอร์ต่างชนิดกันจะให้ผลต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ชนิดใดในการไทเทรตกรดกับเบสจึงจะได้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด
5. การหาปริมาณของสารละลายที่ต้องการทราบความเข้มข้น สามารถหาได้อย่างไร ได้จากความสัมพันธ์ใด

การจัดกระบวนการเรียนรู้

1. ขั้นสร้างความสนใจ

ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับอินดิเคเตอร์ โดยนำนักเรียนเข้าสู่เนื้อหาจากการทดลองสาธิตที่สร้างขึ้น ครูมีแผ่นป้ายกระดาษขาวที่ไม่มีข้อความตัวอักษรปรากฏบนแผ่นดังกล่าว แล้วให้นักเรียน หาวิธีการทำอย่างไรก็ได้ให้ตัวอักษรปรากฏบนแผ่นป้ายแผ่นนั้น โดยส่งตัวแทนออกมาสาธิตคำตอบหน้าชั้นเรียน และตอบคำถามต่อไปนี้

" นักเรียนคิดว่า ครูได้เขียนข้อความด้วยสารอะไร ถึงทำให้ตัวอักษรไม่ปรากฏข้อความขึ้นมา"

" จะมีวิธีการอย่างไรบ้างที่จะทำให้ตัวอักษรปรากฏบนแผ่นป้าย"

"นักเรียนจะเลือกใช้สารอะไร ที่จะทำให้ตัวอักษรปรากฏบนแผ่นป้าย"

"นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดว่า ตัวอักษรที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ เห็นเป็นสีอะไร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น"

จากการทดลองที่สาธิตขึ้นมา ครูนำนักเรียนเข้าสู่เนื้อหาการไทเทรตกรด-เบส และเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับการไทเทรตกรด-เบสได้ และตอบคำถามสำคัญต่อไปนี้ได้

1. การไทเทรต สารละลายมาตรฐาน จุดยุติและจุดสมมูล คืออะไร
2. จุดยุติและจุดสมมูลเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย
3. การไทเทรตสารละลายกรด-เบสแต่ละปฏิกิริยา ถ้าใช้อินดิเคเตอร์ต่างชนิดกันจะให้ผลต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

4. ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ชนิดใดในการไทเทรตกรดกับเบสจึงจะได้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด

5. การหาปริมาณของสารละลายที่ต้องการทราบความเข้มข้น สามารถหาได้อย่างไร ได้จากความสัมพันธ์ใด

2. ขั้นสำรวจและค้นหา

1. ครูให้ความรู้เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ตามรายละเอียดในใบความรู้เรื่อง วิธีการไทเทรต การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์บอกจุดยุติ เพื่อนำเข้าสู่การทดลองเรื่อง การเลือกอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรด-เบส

2. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่มๆ ละ 4-5 คนและทำการทดลอง เรื่อง การเลือกอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรด-เบส โดยใช้ชุดอุปกรณ์การไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มวางแผนการทดลอง แล้วครูถามเพื่อให้นักเรียนเกิดเข้าใจตรงกันในการทดลอง นักเรียนคิดว่าการทดลองนี้ทดลองเกี่ยวกับอะไร ทำเพื่ออะไร ทำอย่างไร

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับอุปกรณ์ และทำการทดลองตามแผน แล้วบันทึกข้อมูล วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเพื่อใช้เป็นหลักฐานในการตอบคำถามสำคัญ

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

1. นักเรียนนำเสนอรายงานผลการทดลอง แบบรายงานผลการทดลองด้วยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) ตามแผนผังตัวยู (U-diagram) บนกระดาษแผ่นใหญ่ ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มติดแสดงผลงานของกลุ่ม แล้วเดินพิจารณาผลงานของกลุ่มอื่น ๆ โดยใช้รูปแบบ Gallery walk

2. จากผลการทดลอง ครูและนักเรียนนำข้อสรุปอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

2.1 สารละลาย CH_3COOH กับสารละลาย NaOH ทำปฏิกิริยาพอดีกันด้วยจำนวนโมลที่เท่ากัน ดังสมการ (ข.1)

$$CH_3COOH\,(aq) + NaOH\,(aq) \longrightarrow CH_3COONa\,(aq) + H_2O\,(l) \quad (\text{ข.1})$$

ในการทดลองนี้ใช้สารละลายกรดและเบสที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจะต้องเท่ากันจึงจะทำให้จำนวนโมลของสารทั้งสองเท่ากัน คือสารละลาย NaOH 0.1 mol/dm^3 10 cm^3 ควรทำปฏิกิริยากับสารละลาย CH_3COOH 0.1 mol/dm^3 ปริมาตร 10 cm^3 ในการทดลองนี้ใช้สารละลายกรดและเบสที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจะต้องเท่ากัน จึงจะทำให้จำนวนโมลของสารทั้งสองเท่ากัน คือสารละลาย

NaOH 0.1 mol/dm^3 10 cm^3 ควรทำปฏิกิริยากับสารละลาย CH_3COOH 0.1 mol/dm^3 ปริมาตร 10 cm^3

2.2 จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อฟีนอฟทาลีนซึ่งเปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3-10.0 เป็นอินดิเคเตอร์ พบว่าเปลี่ยนสีเมื่อใช้สารละลาย NaOH 9.8 cm^3 แต่เมื่อใช้เมทิลออเรนจ์ซึ่งมีช่วงการเปลี่ยนแปลง 3.2-4.4 เป็นอินดิเคเตอร์ปรากฏว่าเปลี่ยนสีเมื่อใช้สารละลาย NaOH เพียง 3.6 cm^3 แสดงว่าการใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จะบอกจุดยุติได้ใกล้เคียงจุดสมมูลมากกว่าการใช้เมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ของการไทเทรตคู่กรด-เบสคู่นี้

2.3 จากการทดลอง พบว่าเมื่อใช้อินดิเคเตอร์ต่างชนิดกัน การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดขณะไทเทรตใช้สารละลายเบสในปริมาตรไม่เท่ากัน (เมื่อไทเทรตกับสารละลายกรดปริมาตรเดียวกัน) แสดงว่าการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่จำเป็นต้องเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมจึงจะบอกจุดยุติที่ใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด

3. นอกจากนี้ นักเรียนร่วมกันนำข้อสรุปมาอภิปรายร่วมกันจากหลักฐานการทดลองเพื่อตอบคำถามว่า

3.1 การไทเทรต สารละลายมาตรฐาน จุดยุติและจุดสมมูล คือ......................

3.2 จุดยุติและจุดสมมูลเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย......................

3.3 การไทเทรตสารละลายกรด-เบสแต่ละปฏิกิริยาถ้าใช้อินดิเคเตอร์ต่างชนิดกันจะให้ผลต่างกันหรือไม่ .... เพราะ..................

3.4 ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์....................ในการไทเทรตกรดกับเบสจึงจะได้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด

3.5 การหาปริมาณของสารละลายที่ต้องการทราบความเข้มข้นสามารถหาได้จากความสัมพันธ์..........................

4. ครูให้ความรู้ต่อไปว่าในการไทเทรตจำเป็นต้องเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีหลักการดังนี้

4.1 เลือกอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีตรงกับหรือใกล้เคียงกับ pH ของสารละลายของผลิตภัณฑ์

4.2 พิจารณาจากกราฟของการไทเทรตกรด-เบส โดยดูช่วงการเปลี่ยน pH ตรงส่วนที่ชันที่สุดว่ามีค่าเท่าใด แล้วเลือกอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วง pH นั้น

5. ครูให้นักเรียนร่วมกันพิจารณากราฟรูป 8.13 ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นกราฟของการไทเทรต CH_3COOH ด้วยสารละลาย NaOH ซึ่งจากกราฟตรงส่วนที่ชันที่สุดทีค่า pH 6-11 อินดิเคเตอร์เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรดอ่อน-เบสแก่ จะต้องเป็นดินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วง pH 6-11 ได้แก่

- เมทิลเรด เปลี่ยนสีในช่วง pH 4.2-6.3
- โบรโมไทมอลบลู เปลี่ยนสีในช่วง pH 6.0-7.6
- ไทมอลบลู เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.0-9.6
- ฟีนอล์ฟทาลีน เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3-10.0

4. ขั้นขยายความรู้

1. ครูถามนักเรียนว่า จะนำความรู้ที่ได้จากการไทเทรตกรด-เบส ไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไรบ้าง

2. นักเรียนร่วมกันอภิปราย และยกตัวอย่างการหาปริมาณของกรดต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากการทดลองในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันโดยใช้ความรู้การไทเทรต เช่น การหาปริมาณกรดแอซีติกในน้ำส้มสายชู หรือการหาปริมาณสารลดกรดชนิดต่าง ๆ

5. ขั้นประเมิน

1. ครูให้นักเรียนตอบคำถามในแบบฝึกหัด

2. จากนั้นให้นักเรียนเขียน exit ticket ก่อนออกจากห้องเรียน เพื่อประเมินความรู้ที่นักเรียนได้รับ

สื่อการเรียนการสอน

1. ใบความรู้ เรื่อง การเลือกอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรด-เบส
2. หนังสือเรียนวิชาเคมี 3 ของ สสวท.
3. อุปกรณ์การทดลอง/ใบบันทึกกิจกรรม/การทดลอง เรื่องการเลือกอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรด-เบส

การวัดผลประเมินผล

การวัดผลประเมินผลด้าน	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. การสรุปความคิดรวบยอด 2. วัดจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. การสรุปความคิดรวบยอด 2. บันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. ทำได้ถูกต้องร้อยละ 70 ขึ้นไป 2. ทำถูกต้องร้อยละ 60 ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติการทดลอง	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน/ทดลอง	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรมความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป

กิจกรรมเสนอแนะ

....

....

....

บันทึกหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ผู้บันทึก นางสาวอาร์ซีซ๊ะ ดินอะ วันที่บันทึก ....

1. การดำเนินการจัดการเรียนรู้ ( ) เป็นไปตามแผน
( ) ไม่ เป็นไปตามแผน

2. บรรยากาศระหว่างการเรียน

....

....

....

3. สรุปผลการจัดการเรียนรู้

จำนวนนักเรียนที่ผ่านการประเมิน .... คน คิดเป็นร้อยละ ....

จำนวนนักเรียนที่ไม่ผ่าน การประเมิน .... คนคิดเป็นร้อยละ ....

4. ปัญหาที่พบในการจัดการเรียนรู้

....

....

....

5. สิ่งที่ควรพัฒนาในการจัดการเรียนรู้ครั้งต่อไป

....

....

....

6. แนวทางการแก้ไขนักเรียนที่ไม่ผ่านการประเมิน

....

....

....

ลงชื่อ .... ผู้บันทึก

(นางสาวอาร์ซีซ๊ะ ดินอะ)

ความคิดเห็นของผู้นิเทศ/ผู้ที่ได้รับมอบหมาย

....

....

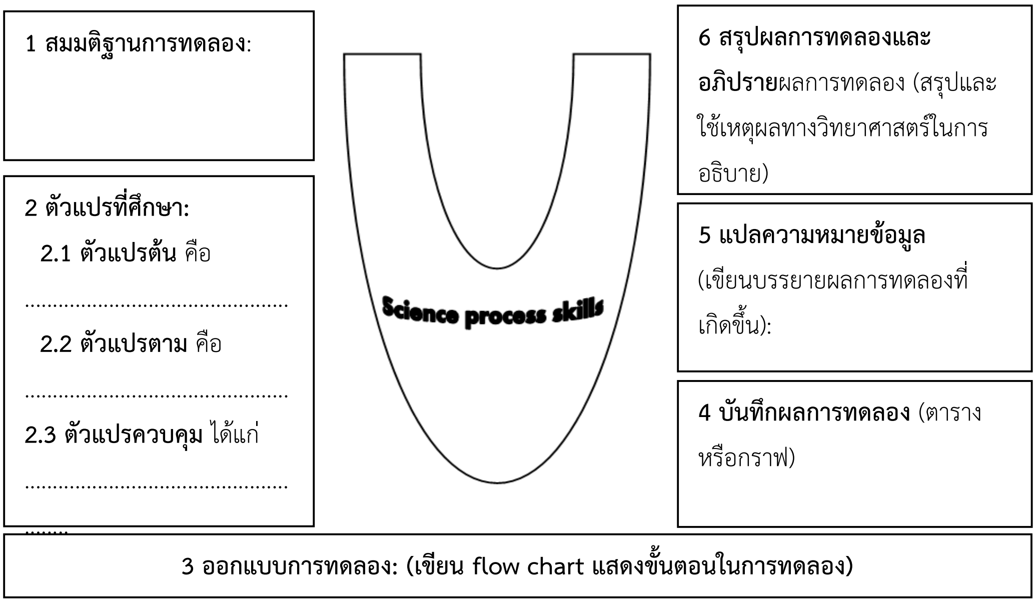
ลงชื่อ .... ผู้นิเทศ

(....)

ภาคผนวก ค

แบบบันทึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills)

โดยใช้แผนผังตัวยู



ภาพที่ ค.1 แบบบันทึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills)

ภาคผนวก ง

เกณฑ์การวิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills)

โดยใช้แผนผังตัวยู

ตารางที่ ง.1 เกณฑ์การวิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) โดยใช้แผนผังตัวยู

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานชัดเจนสอดคล้องกับเนื้อหา และสามารถตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ชัดเจน แต่สอดคล้องกับเนื้อหา และสามารถตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ชัดเจน ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา แต่สามารถตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ชัดเจน ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา และไม่สามารถตรวจสอบได้
2. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้องและสอดคล้องกับสมมติฐานและระบุตัวแปรควบคุมได้อย่างสมบูรณ์	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้องและสอดคล้องกับสมมติฐาน แต่ระบุตัวแปรควบคุมไม่สมบูรณ์	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้องและสอดคล้องกับสมมติฐาน แต่ระบุตัวแปรควบคุมไม่ถูกต้อง	กำหนดตัวแปรต้นหรือตัวแปรตามอย่างใดอย่างหนึ่งได้ถูกต้อง แต่ยังไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน
3. ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้สมบูรณ์และสอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน และเลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน แต่ยังไม่สมบูรณ์ เลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน แต่ยังไม่สมบูรณ์ และเลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ไม่เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐาน

ตารางที่ ง.1 เกณฑ์การวิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) โดยใช้แผนผังตัวยู (ต่อ)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
4 ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองได้อย่างสมบูรณ์	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้สอดคล้องกับการทดลองแต่ไม่สมบูรณ์	ออกแบบตารางหรือบันทึกผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดลองอย่างใดอย่างหนึ่ง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดลอง
5. ทักษะการแปลความหมายข้อมูล	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน ชัดเจนและรัดกุม	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน แต่ไม่ชัดเจนรัดกุม	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องบางส่วน	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลไม่ถูกต้อง
6. ทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูล และครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูล แต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปหรืออภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูลแต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลไม่สอดคล้องกับข้อมูลและไม่ครอบคลุมเนื้อหา

ภาคผนวก จ

แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง การไทเทรต กรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดเขียนเครื่องหมาย √ ลงในช่องว่าง

1. เพศ ( )ชาย ( ) หญิง

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้ ใช้เพื่อสำรวจความคิดเห็น และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ในรายวิชา เคมี 3 รหัสวิชา ว32223 กรุณาตอบแบบสอบถามให้ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุดเกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นในกิจกรรมนี้ โดยให้นักเรียนทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความคิดเห็นของนักเรียน<u>เพียงช่องเดียว/คำถามเท่านั้น</u>

ในการตอบแบบสอบถามครั้งนี้ จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อนักเรียน โปรดพิจารณาคำตอบที่นักเรียนให้ข้อมูล ให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

โดยเลือก	1	หมายถึงความพึงพอใจ	น้อยที่สุด
	2	หมายถึงความพึงพอใจ	น้อย
	3	หมายถึงความพึงพอใจ	ปานกลาง
	4	หมายถึงความพึงพอใจ	มาก
	5	หมายถึงความพึงพอใจ	มากที่สุด

รายการ	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
ส่วนที่ 1 ด้านการสอน					
1. ครูผู้สอนอธิบายวัตถุประสงค์และเนื้อหาการเรียนได้ชัดเจน					
2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน					
3. ครูผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกัน และกันในระหว่างเรียน					
4. ครูผู้สอนให้ความสนใจตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อมีข้อสงสัย					
ส่วนที่ 2 กิจกรรมการทดลอง					
5. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายมีความน่าสนใจ					
6. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายสามารถทำได้ง่าย					
7. การทดลองทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการไทเทรต กรด-เบสมากขึ้น					
8. อุปกรณ์การทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายมีจำนวนเพียงพอกับนักเรียน					
9. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่าย ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผล					
10 ในการทดลอง นักเรียนคิดว่า นักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับทักษะปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น					
11. ในระหว่างที่ทำการทดลอง ผู้เรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างเพื่อนในกลุ่มและเรียนรู้การทำงานเป็นทีม					
12. การทดลองนี้นักเรียนรู้สึกมีแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากขึ้น					

ข้อเสนอแนะ

....

....

....

....

....

....

👍👍👍 ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ 👍👍👍

ภาคผนวก ฉ
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจสอบเครื่องมือ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ตรวจสอบแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องการไทเทรต กรด-เบส
ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

1. นางพนิดา วิทยะพงศ์	ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนจะโหนงพิทยาคม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา
2. นางวรรณี ปรางสุวรรณ	ครูเชี่ยวชาญ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา
3. นายทวี มุสิกะ	ครูเชี่ยวชาญ โรงเรียนสทิงพระวิทยา อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

ภาคผนวก ช

แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้

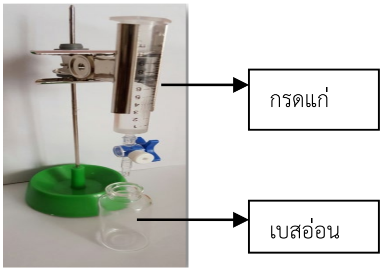
จุดประสงค์	**ข้อสอบ**	**ระดับการพิจารณา**		
		+1	**0**	**-1**
บอกความหมายของการไทเทรต สารละลายมาตรฐาน และจุดสมมูลได้	1. การไทเทรตสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้นหมายถึงวิธีการหาปริมาณของสารชนิดหนึ่งที่ไม่ทราบความเข้มข้น โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ทราบความเข้มข้นและวัดปริมาตรของสารละลายทั้งสองชนิดที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน ซึ่งสารละลายมาตรฐานนั้นหมายถึงสารใด และภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกันเรียกว่าอะไร ตามลำดับ (วัดความจำ) ก. สารที่ทราบความเข้มข้น จุดยุติ ข. สารที่ไม่ทราบความเข้มข้น จุดยุติ **ค. สารที่ทราบความเข้มข้น จุดสมมูล** ง. สารที่ไม่ทราบความเข้มข้น จุดสมมูล **เหตุผล:** (วัดความจำ) ก. สารละลายมาตรฐาน คือ สารที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดยุติ ข. สารละลายมาตรฐาน คือ สารที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่า จุดยุติ **ค. สารละลายมาตรฐาน คือ สารที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่า จุดสมมูล** ง. สารละลายมาตรฐาน คือ สารที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ภาวะที่สารละลายทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่า จุดสมมูล			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td>ทำการไทเทรต เพื่อหาจุดยุติ และจุดสมมูลได้</td><td>2. การไทเทรตข้อใดให้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด (วัดการวิเคราะห์)
<table>
<tr><th>ข้อ</th><th>สาร 1</th><th>สาร 2</th><th>อินดิเคเตอร์</th><th>ช่วง pH อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี</th></tr>
<tr><td>ก.</td><td>HCl</td><td>$NaHCO_3$</td><td>ฟีนอล์ฟทาลีน</td><td>8.3 - 10.4</td></tr>
<tr><td>ข.</td><td>NH_4Cl</td><td>$Ca(OH)_2$</td><td>เมทิลเรด</td><td>4.4 - 6.0</td></tr>
<tr><td>ค.</td><td>$NaHS$</td><td>$NaOH$</td><td>ฟีนอลเรด</td><td>6.7 - 8.3</td></tr>
<tr><td>**ง.**</td><td>**$HClO_4$**</td><td>**NH_3**</td><td>**ไทมอลบลู**</td><td>**1.2 - 2.9**</td></tr>
</table>

เหตุผล: (วัดความเข้าใจ)
ก. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH เท่ากับ 7
ข. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7
ค. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7
ง. **การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7**</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
ทำการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูลได้	3. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายเบสอ่อนกับกรดแก่ชนิดหนึ่ง โดยใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์ ค่า pH ของสารละลายผสมก่อนจุดสมมูลกับหลังจุดสมมูลตรงกับข้อใด (วัดความเข้าใจ)  **ก. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลมากกว่า pH หลังจุดสมมูล** ข. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลน้อยกว่า pH หลังจุดสมมูล ค. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลและหลังจุดสมมูลมีค่าเท่ากัน ง. ค่า pH ก่อนจุดสมมูลอาจมากกว่าหรือน้อยกว่า pH หลังจุดสมมูลก็ได้ขึ้นกับปริมาตรของไทแทรนต์ **เหตุผล:** (วัดความเข้าใจ) กรดแก่เป็นไทแทรนต์ เบสอ่อนอยู่ในภาชนะรองรับ **ก. ก่อนจุดสมมูลจะมีเบสเหลือ หลังจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลมากกว่า pH หลังจุดสมมูล** ข. ก่อนจุดสมมูลจะมีเบสเหลือ หลังจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลน้อยกว่า pH หลังจุดสมมูล ค. ก่อนจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ หลังจุดสมมูลจะมีเบสเหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลมากกว่า pH หลังจุดสมมูล ง. ก่อนจุดสมมูลจะมีกรดแก่เหลือ หลังจุดสมมูลจะมีกรดเบสเหลือ ดังนั้นสารละลายผสมมีค่า pH ก่อนจุดสมมูลและหลังจุดสมมูลมีค่าเท่ากัน			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
ทำการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูลได้	4. ถ้านักเรียนทำการไทเทรตสารละลายเบสอ่อน CH_3NH_2 กับกรดแก่ HBr นักเรียนควรใช้สารใดเป็นไทแทรนต์ และค่า pH ของสารละลายที่จุดสมมูล มีค่าเท่าไหร่ (วัดความเข้าใจ) ก. HBr มี pH มากกว่า 7 ข. HBr มี pH น้อยกว่า 7 ค. CH3NH2 มี pH มากกว่า 7 ง. CH_3NH_2 มี pH น้อยกว่า 7 **เหตุผล:** ก. ในการไทเทรตควรใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นเบส **ข. ในการไทเทรตควรใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นกรด** ค. ในการไทเทรตควรใช้เบสอ่อนเป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นเบส ง. ในการไทเทรตควรใช้เบสอ่อนเป็นไทแทรนต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CH_3NH_3Br และน้ำ ซึ่งสารละลายมีสมบัติเป็นกรด			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
ทำการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติและจุดสมมูลได้	5. นักเรียนกลุ่มที่ 1 ได้ทำการทดลองการไทเทรตระหว่าง สารละลาย HCl เข้มข้น 0.20 mol/dm^3 ปริมาตร 50.00 cm^3 กับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.20 mol/dm^3 เป็นไทแทรนต์ ส่วนนักเรียนกลุ่มที่ 2 ทำการทดลองทำนองเดียวกับกลุ่มที่ 1 แต่ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด เป็น 0.020 mol/dm^3 I. ก่อนจุดสมมูล: ที่ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้เท่ากัน สารละลายผสมของนักเรียนกลุ่มที่ 1 จะมี pH มากกว่ากลุ่มที่ 2 II. ที่จุดสมมูล: นักเรียนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 จะใช้ปริมาตรของ NaOH เท่ากัน และสารละลายผสมมีค่า pH เท่ากับ 7 III. หลังจุดสมมูล: ที่ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้เท่ากัน สารละลายผสมของนักเรียนกลุ่มที่ 1 จะมี pH มากกว่ากลุ่มที่ 2 ข้อใดถูกต้อง(วัดการวิเคราะห์) ก. ข้อ I เท่านั้น ข. ข้อ I และ II **ค. ข้อ II และ III** ง. ข้อ III เท่านั้น **เหตุผล:** (วัดความเข้าใจ) เป็นการไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่ ก. I. ก่อนจุดสมมูล: มีกรดเหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้น กรดมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH มากกว่ากลุ่มที่ 2 II. ที่จุดสมมูล: pH มากกว่า 7 ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นของกรดและเบสเท่าใดก็ตาม III. หลังจุดสมมูล: มีเบสแก่เหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นเบสมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH น้อยกว่ากลุ่มที่ 2 ข. I. ก่อนจุดสมมูล: มีกรดเหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นกรดมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH มากกว่ากลุ่มที่ 2 II. ที่จุดสมมูล: pH เท่ากับ 7 ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นของกรดและเบสเท่าใดก็ตาม III. หลังจุดสมมูล: มีเบสแก่เหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นเบสมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH น้อยกว่ากลุ่มที่ 2			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
	ค. **I ก่อนจุดสมมูล: มีกรดเหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นกรดมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH น้อยกว่ากลุ่มที่ 2** **II. ที่จุดสมมูล: pH เท่ากับ 7 ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นของกรดและเบสเท่าใดก็ตาม** **III. หลังจุดสมมูล: มีเบสแก่เหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นเบสมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH มากกว่ากลุ่มที่ 2** ง. I. ก่อนจุดสมมูล: มีกรดเหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นกรดมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH น้อยกว่ากลุ่มที่ 2 II. ที่จุดสมมูล: pH มากกว่า 7 ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นของกรดและเบสเท่าใดก็ตาม III. หลังจุดสมมูล: มีเบสแก่เหลือ กลุ่มที่ 1 ใช้ความเข้มข้นเบสมากกว่า สารละลายผสมจึงมี pH มากกว่ากลุ่มที่ 2			
ทำนายค่า pH ของสารละลายโดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้	6. โบรโมไทมอลบลูมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH 6.0 – 7.6 จากสีเหลืองเป็นน้ำเงิน เมื่อหยดโบรโมไทมอลบลูลงในสารละลาย A ที่มี pH=7 สารละลายจะมีสีอะไร (วัดความเข้าใจ) **ก. เขียว** ข. น้ำเงิน ค. เหลือง ง. สรุปไม่ได้ **เหตุผล:** (วัดความเข้าใจ) **ก. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเมื่อมี pH ระหว่าง 6.0-7.6** ข. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อมี pH ระหว่าง 6.0-7.6 ค. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เมื่อมี pH มากกว่าหรือเท่ากับ 7.6 ง. สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เมื่อมี pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.6			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
ทำนายค่า pH ของสารละลายโดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้	7. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายกรดแอซีติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อถึงจุดยุติจะได้สารละลายซึ่ง pH เท่ากับเท่าใด (วัดการวิเคราะห์) ก. เท่ากับ 7 **ข. มากกว่า 7** ค. น้อยกว่า 7 ง. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 **เหตุผล:** การไทเทรตระหว่างสารทั้งสอง จะได้ผลิตภัณฑ์คือ (วัดความเข้าใจ) ก. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกลาง เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH เท่ากับ 7 **ข. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นเบส เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH มากกว่า 7** ค. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกรด เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH น้อยกว่า 7 ง. CH_3COONa และน้ำซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติเป็นกลาง เมื่อถึงจุดยุติจึงมี pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7			
ทำนายค่า pH ของสารละลายโดยประมาณจากการไทเทรตกรด-เบสแต่ละคู่ที่กำหนดให้	8. เมื่อผสมสารละลาย HCl 0.10 mol/dm^3 ปริมาตร 25.00 cm^3 กับสารละลาย NaOH 0.10 mol/dm^3 ปริมาตร 20.00 cm^3 เข้าด้วยกันสารละลายผสมจะมีค่า pH เป็นอย่างไร (วัดการวิเคราะห์) ก. pH เท่ากับ 7 ข. pH มากกว่า 7 **ค. pH น้อยกว่า 7** ง. ยังสรุปไม่ได้ **เหตุผล:** (วัดความเข้าใจ) ก. เมื่อมีปริมาณกรดเท่ากับเบส สารละลายผสมจึงเป็นกรด จึงมี pH เท่ากับ 7 ข. เมื่อมีปริมาณกรดน้อยกว่า สารละลายผสมจึงเป็นเบส จึงมี pH มากกว่า 7			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
	ค. เมื่อมีปริมาณกรดมากกว่า สารละลายผสมจึงเป็นกรด จึงมี pH น้อยกว่า 7 ง. ไม่สามารถสรุปค่า pH ได้			
คำนวณหาปริมาณกรดหรือเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันโดยใช้ข้อมูลจากการไทเทรตได้	9. ในการไทเทรตกรดเบสได้บรรจุไทแทรนต์ แล้วปรับปริมาตรเริ่มต้นดังรูป ก. หลังจากไขไทแทรนต์ลงไปจนถึงสเกลบนบิวเรตต์ดังรูป ข. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตเป็นเท่าใด (วัดความเข้าใจ)  ก. 1.00 cm^3 ข. 9.40 cm^3 **ค. 8.40 cm^3** ง. 10.40 cm^3 **เหตุผล:** (วัดความเข้าใจ) ก. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น ข. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายสุดท้าย **ค. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายสุดท้ายลบด้วยสเกลล์ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น** ง. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตดูได้จากสเกลล์ปริมาตรสารละลายสุดท้ายบวกด้วยสเกลล์ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

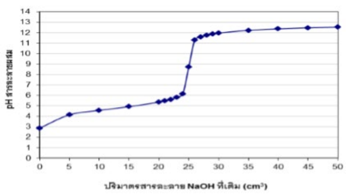
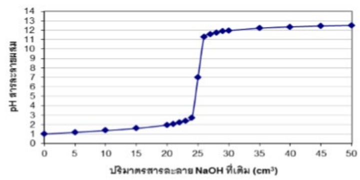
จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	**0**	**-1**
คำนวณหาปริมาณกรดหรือเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันโดยใช้ข้อมูลจากการไทเทรตได้	10. ต้องใช้สารละลาย HCl เข้มข้น 0.10 mol/dm^3 ปริมาตรเท่าใดจึงจะทำให้ปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายเบสอ่อน NH_3 เข้มข้น 0.10 mol/dm^3 ปริมาตร 25.00 cm^3 และสารละลายผสมที่ได้มีสมบัติกรด-เบส อย่างไร (วัดการวิเคราะห์) ก. 25.00 cm^3, เบส **ข. 25.00 cm^3, กรด** ค. 50.00 cm^3, เบส ง. 50.00 cm^3, กรด **เหตุผล:** อัตราส่วนโดยโมลของ HCl และ NH_3 ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นอัตราส่วนเท่ากับ (วัดการวิเคราะห์) ก. 1:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 25.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH มากกว่า 7 **ข. 1:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 25.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH น้อยกว่า 7** ค. 2:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 50.00 cm^3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH มากกว่า 7 ง. 2:1 จึงใช้ปริมาตร HCl เท่ากับ 50.00 cm ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ NH_4Cl ทำให้ได้สารละลายผสมมี pH น้อยกว่า 7			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

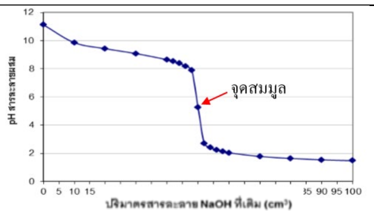
<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td>คำนวณหาปริมาณกรดหรือเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันโดยใช้ข้อมูลจากการไทเทรตได้</td><td>11. ในการไทเทรตกรดเบส ได้ปริมาตรไทแทรนต์ที่ใช้จุดยุติ
<table>
<tr><th>ครั้งที่</th><th>ปริมาตรไทแทรนต์ (cm^3)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>10.40</td></tr>
<tr><td>2</td><td>9.95</td></tr>
<tr><td>3</td><td>9.90</td></tr>
</table>
ดังนี้ (วัดความเข้าใจ)
จากข้อมูล ควรรายงานปริมาตรไทแทรนต์ที่ใช้ ดังข้อใด
ก. ครั้งที่ 3
ข. เฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง
ค. เฉลี่ยครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2
ง. เฉลี่ยครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3
เหตุผล: (วัดความเข้าใจ)
ก. รายงานผลจากข้อมูลครั้งสุดท้าย
ข. รายงานผลจากการรวมข้อมูลทั้งหมดแล้วนำมาเฉลี่ยตามจำนวนครั้งที่ทดลอง
ค. ครั้งที่ 3 ข้อมูลที่ได้มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นการรายงานผลจึงควรเฉลี่ยจากครั้งที่ 1 และ 2 เท่านั้น
ง. ครั้งที่ 1 ข้อมูลที่ได้ต่างจากครั้งอื่นเกิน 0.20 cm^3 การรายงานผลจึงควรเฉลี่ยจากครั้งที่ 2 และ 3</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

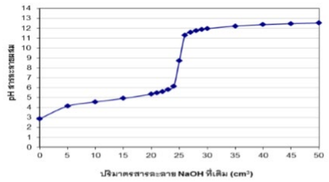
ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

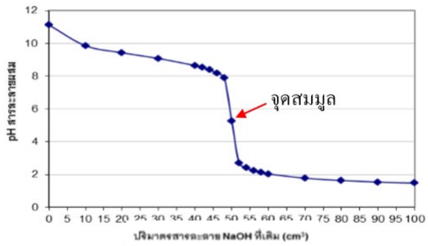
<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td>หาจุดสมมูลค่า pH และปริมาตรของสารละลายกรดหรือเบส ณ จุดสมมูลกราฟของการไทเทรตที่กำหนดให้ได้</td><td>12. ข้อใดเปรียบเทียบกราฟไทเทรชันของ
(1) ระบบกรดอ่อนกับเบสแก่
(2) ระบบกรดแก่กับเบสแก่ได้ถูกต้อง เมื่อใช้เบสแก่เป็นไทแทรนต์ (วัดการวิเคราะห์)
ก. ที่จุดเริ่มต้น ค่า pH ของ (1) น้อยกว่า ข ที่ความเข้มข้นของกรดเท่ากัน
ข. หลังจุดสมมูล ค่า pH ของสารละลายผสมใน (2) จะเปลี่ยนไปมากกว่า (1)
ค. ก่อนจุดสมมูล เมื่อเริ่มไทเทรตค่า pH ของสารผสมใน (1) จะเปลี่ยนช้ากว่า (2)
ง. ก่อนถึงจุดสมมูลและหลังจุดสมมูล ค่า pH ของสารละลายผสมใน (2) จะเปลี่ยนไปมากกว่า (1)

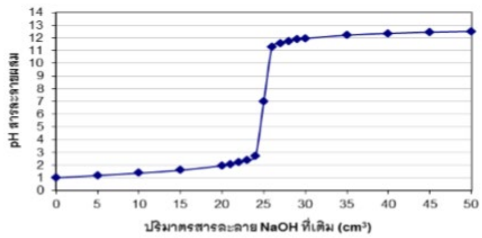
เหตุผล: เป็นไปดังกราฟไทเทรชันดังต่อไปนี้ (วัดความเข้าใจ)
ก.

(1)

(2)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td></td><td>

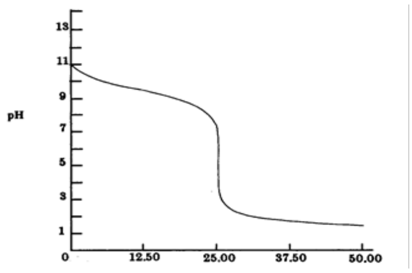
(1)


(2)
ง.


(1)


(2)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
หาจุดสมมูลค่า pH และปริมาตรของสารละลายกรดหรือเบส ณ จุดสมมูลกราฟของการไทเทรตที่กำหนดให้ได้	คำชี้แจง ข้อมูลต่อไปนี้ประกอบการตอบคำถามข้อ 13- 14 กราฟของการไทเทรตระหว่างสารละลายของเบสชนิดหนึ่ง กับสารละลาย HCl เป็นดังรูป  **ปริมาตรสารละลาย HCl ที่เติม** 13. ค่า pH ที่จุดสมมูลของการไทเทรตดังกราฟ มีค่าเท่ากับเท่าไหร่ (วัดความจำ) ก. 2 ข. 4 **ค. 6** ง. 10 **เหตุผล:** (วัดความจำ) ก. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสแก่ จะมี pH ที่จุดสมมูลเท่ากับ 7 ข. การไทเทรตของระบบกรดอ่อน-เบสแก่ จะมี pH ที่จุดสมมูลมากกว่า 7 ค. **การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน จะมี pH ที่จุดสมมูล น้อยกว่า 7** ง. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน จะมี pH ที่จุดสมมูลมากกว่า 7			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td>หาจุดสมมูลค่า pH และปริมาตรของสารละลายกรดหรือเบส ณ จุดสมมูลกราฟของการไทเทรตที่กำหนดให้ได้</td><td>14. ในการไทเทรตสารละลายเบสชนิดหนึ่งด้วยสารละลาย HCl ดังกราฟ จะเลือกใช้อินดิเคเตอร์ชนิดใด จึงจะบอกจุดยุติได้ใกล้เคียงกับจุดสมมูล (วัดความเข้าใจ)
<table>
<tr><th>ข้อ</th><th>อินดิเคเตอร์</th><th>ช่วง pH</th><th>การเปลี่ยนสี</th></tr>
<tr><td>ก.</td><td>A</td><td>6.0 - 7.6</td><td>เหลือง - น้ำเงิน</td></tr>
<tr><td>ข.</td><td>B</td><td>8.3 - 10.4</td><td>ไม่มีสี - ชมพู</td></tr>
<tr><td>ค.</td><td>C</td><td>6.7 - 8.3</td><td>เหลือง - แดง</td></tr>
<tr><td>ง.</td><td>D</td><td>4.4 - 6.2</td><td>แดง - เหลือง</td></tr>
</table>
เหตุผล: (วัดความเข้าใจ)
ก. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลเท่ากับ 7
ข. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสแก่ อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลน้อยกว่า 7
ค. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลมากกว่า 7
ง. การไทเทรตของระบบกรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูลน้อยกว่า 7</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
เลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด – เบส แต่ละคู่ที่กำหนดให้และบอกเหตุผลได้	15. อินดิเคเตอร์ตัวไหนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการไทเทรตระหว่างกรด HNO_2 (Ka = 5.1×10^{-4}) กับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.10 โมล/ลิตร (การนำไปใช้) ก. เมทิลเรด ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 4.4 - 6.2 **ข. ไทมอลบลู ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 8.0-9.6** ค. เมทิลออเรนจ์ ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 3.1 - 4.4 ง. โบรโมไทมอลบลู ซึ่งเปลี่ยนสีในสารละลายที่มี pH ระหว่าง 6.0 - 7.6 **เหตุผล:** การไทเทรตระหว่าสารทั้งสองเป็นการไทเทรตระบบ (การนำไปใช้) ก. กรดแก่-เบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือน้อยกว่า 7 **ข. กรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือ เท่ากับ 7** ค. กรดแก่-เบสอ่อน อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือน้อยกว่า 7 ง. กรดอ่อน-เบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมควรมีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล นั่นคือมากกว่า 7			

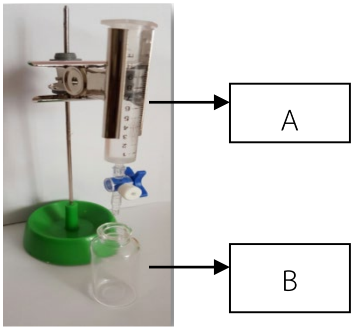
ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td>เลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด – เบส แต่ละคู่ที่กำหนดให้และบอกเหตุผลได้</td><td>16. ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงในสารละลาย A จะได้สีชมพู แต่ถ้าหยดลงในสารละลาย B จะไม่มีสี แสดงว่าอย่างไร (ช่วง pH ของฟีนอล์ฟทาลีน = 8.3 - 10.0 เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู) (วัดการวิเคราะห์)
ก. A เป็นเบส B เป็นกรด
ข. A เป็นกรด B เป็นเบส
ค. A และ B ทำปฏิกิริยาสะเทินกัน
ง. pH ของสารละลาย A และสารละลาย B ไม่เท่ากัน
เหตุผล: (วัดความเข้าใจ)
ก. A เป็นเบส เพราะ สารละลายเปลี่ยนสีที่ pH ≥10.0 แต่ B เป็นกรด เพราะ สารละลายไม่มีสีที่ pH ≤ 8.3
ข. A เป็นกรด เพราะ สารละลายเปลี่ยนสีที่ pH ≥10.0 แต่ B เป็นเบส เพราะ สารละลายไม่มีสีที่ pH ≤ 8.3
ค. A เป็นเบส เพราะ สารละลายเปลี่ยนสีที่ pH ≥10.0 แต่ B มี pH ต่ำกว่า A เพราะ สารละลายไม่มีสีที่pH ≤ 8.3
ง. A เป็นเบส เพราะ สารละลายเปลี่ยนสีที่ pH ≥10.0 แต่ B มี pH สูงกว่า A เพราะ สารละลายไม่มีสีที่pH ≤ 8.3</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

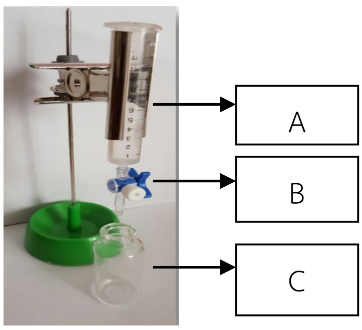
ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td>เลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด – เบส แต่ละคู่ที่กำหนดให้และบอกเหตุผลได้</td><td>คำชี้แจง ข้อมูลต่อไปนี้ใช้ประกอบการตอบคำถามข้อ 17-18
<table>
<tr><th>อินดิเคเตอร์</th><th>เปลี่ยนสีเมื่อสารละลายมี pH ระหว่าง</th></tr>
<tr><td>เมทิลออเรนจ์</td><td>3.1 - 4.4</td></tr>
<tr><td>โบรโมครีซอลกรีน</td><td>3.8 - 5.4</td></tr>
<tr><td>เมทิลเรด</td><td>4.4 - 6.2</td></tr>
<tr><td>ฟีนอล์ฟทาลีน</td><td>8.3 - 10.0</td></tr>
</table>
17. ในการไทเทรตระหว่างสารละลายกรดแอซีติก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ใด (การนำไปใช้)
ก. เมทิล เรด
ข. เมทิล ออเรนจ์
ค. ฟีนอล์ฟทาลีน
ง. โบรโมครีซอลกรีน
เหตุผล: การไทเทรตระหว่างสารทั้งสอง จะได้ผลิตภัณฑ์คือ CH_3COONa และน้ำ ซึ่งสารละลาย CH_3COONa มีสมบัติ (วัดความเข้าใจ)
ก. สมบัติเป็นกลางอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH เท่ากับ 7
ข. สมบัติเป็นเบสอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7
ค. สมบัติเป็นกรดอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH มากกว่า 7
ง. สมบัติเป็นเบสอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH น้อยกว่า 7</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>เลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด – เบส แต่ละคู่ที่กำหนดให้และบอกเหตุผลได้</td><td>18. เมื่อเติมฟีนอล์ฟทาลีน ลงในสารละลายชนิดหนึ่ง ซึ่งมี pH เท่ากับ 7.8 ปรากฏเป็นสีอะไร (วัดความจำ)
ก. ไม่มีสี
ข. สีแดง
ค. สีน้ำเงิน
ง. สีบานเย็น
เหตุผล: (วัดความจำ)
ก. การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนจากสีแดงเป็นไม่มีสีที่ pH 8.3 - 10.0
ข. การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนที่ pH 8.3 - 10.0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

<table>
<tr><th rowspan="2">จุดประสงค์</th><th rowspan="2">ข้อสอบ</th><th colspan="3">ระดับการพิจารณา</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>0</th><th>-1</th></tr>
<tr><td></td><td>ค. การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพูอ่อนที่ pH 8.3 - 10.0
ง. การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนจากปีนสีบานเย็นเป็นไม่มีสีที่ pH 8.3 - 10.0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>นำหลักการไทเทรตกรด-เบสไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้</td><td>19. ในการหาปริมาณของกรดแอซีติกในน้ำส้มสายชูแท้ โดยนำมาไทเทรตกับสารละลาย NaOH 0.1 mol/dm^3 pH ที่จุดสมมูล = 8.7 การจะหาความเข้มข้นของกรดแอซีติกในน้ำส้มสายชูแท้ได้ถูกต้อง ควรทดลองตามข้อใด (การนำไปใช้)

<table>
<tr><th>การทดลอง</th><th>สารละลายบรรจุใน A</th><th>สารละลายบรรจุใน B</th><th>อินดิเคเตอร์</th></tr>
<tr><td>ก</td><td>น้ำส้มสายชู</td><td>NaOH</td><td>เมทิลเรด</td></tr>
<tr><td>ข</td><td>น้ำส้มสายชู</td><td>NaOH</td><td>เมทิลออเรนจ์</td></tr>
<tr><td>ค</td><td>NaOH</td><td>น้ำส้มสายชู</td><td>ฟีนอล์ฟทาลีน</td></tr>
<tr><td>ง</td><td>NaOH</td><td>น้ำส้มสายชู</td><td>โบรโมไทมอลบลู</td></tr>
</table>
เหตุผล: (วัดความจำ)
ก. A บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน, B บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 6.0 – 7.6
ข. A บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน, B บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3 - 10.0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
	ค. A บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น, B บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 6.0 -7.6 ง. A บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น, B บรรจุสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3 - 10.0			
นำหลักการไทเทรตกรด-เบสไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้	20. ถ้านักเรียนจะทดลองเพื่อหาปริมาณเบสในยาลดกรดโดยการไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 mol/dm^3 นักเรียนจะมีวิธีการทดลองโดยบรรจุ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ยาลดกรด และอินดิเคเตอร์ ตรงตำแหน่งใด ตามลำดับ (การนำไปใช้)  ก. A, C, B ข. A, C, C **ค. C, A, A** ง. C, A, C **เหตุผล:** (วัดความจำ) ก. สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นบรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์ สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนและอินดิเคเตอร์บรรจุในภาชนะรองรับ ข. สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นและอินดิเคเตอร์บรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์ สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนบรรจุในภาชนะรองรับ			

ตารางที่ ช.1 แบบประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

จุดประสงค์	ข้อสอบ	ระดับการพิจารณา		
		+1	0	-1
	ค. สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนบรรจุในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์ สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น และอินดิเคเตอร์บรรจุในภาชนะรองรับ ง. สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนบรรจุ ในหลอดฉีดยาแทนบิวเรตต์ อินดิเคเตอร์บรรจุใน three way stop cock สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้นบรรจุในภาชนะรองรับ			

ภาคผนวก ซ
การวิเคราะห์เครื่องมือ

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา(IOC) ของแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องการไทเทรต กรด-เบส แบบปรนัยชนิดตัวเลือก 3 ลำดับขั้น โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ตารางที่ ซ.1 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องการไทเทรต กรด-เบส

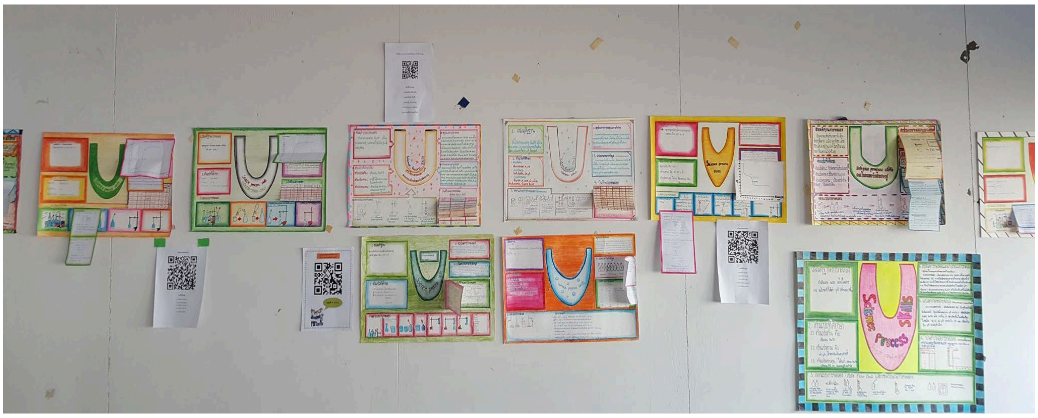
ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	ผลการพิจารณา
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
2	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
3	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
4	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
5	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
6	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
7	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
8	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
9	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
10	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
11	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
12	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
13	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
14	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
15	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
16	1	0	0	1	0.33	ไม่สอดคล้อง
17	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
18	0	0	0	0	0.00	ไม่สอดคล้อง
19	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง
20	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง

ภาคผนวก ณ
ภาพประกอบการทำกิจกรรม

ภาพที่ ณ.1 การทำกิจกรรมของนักเรียน

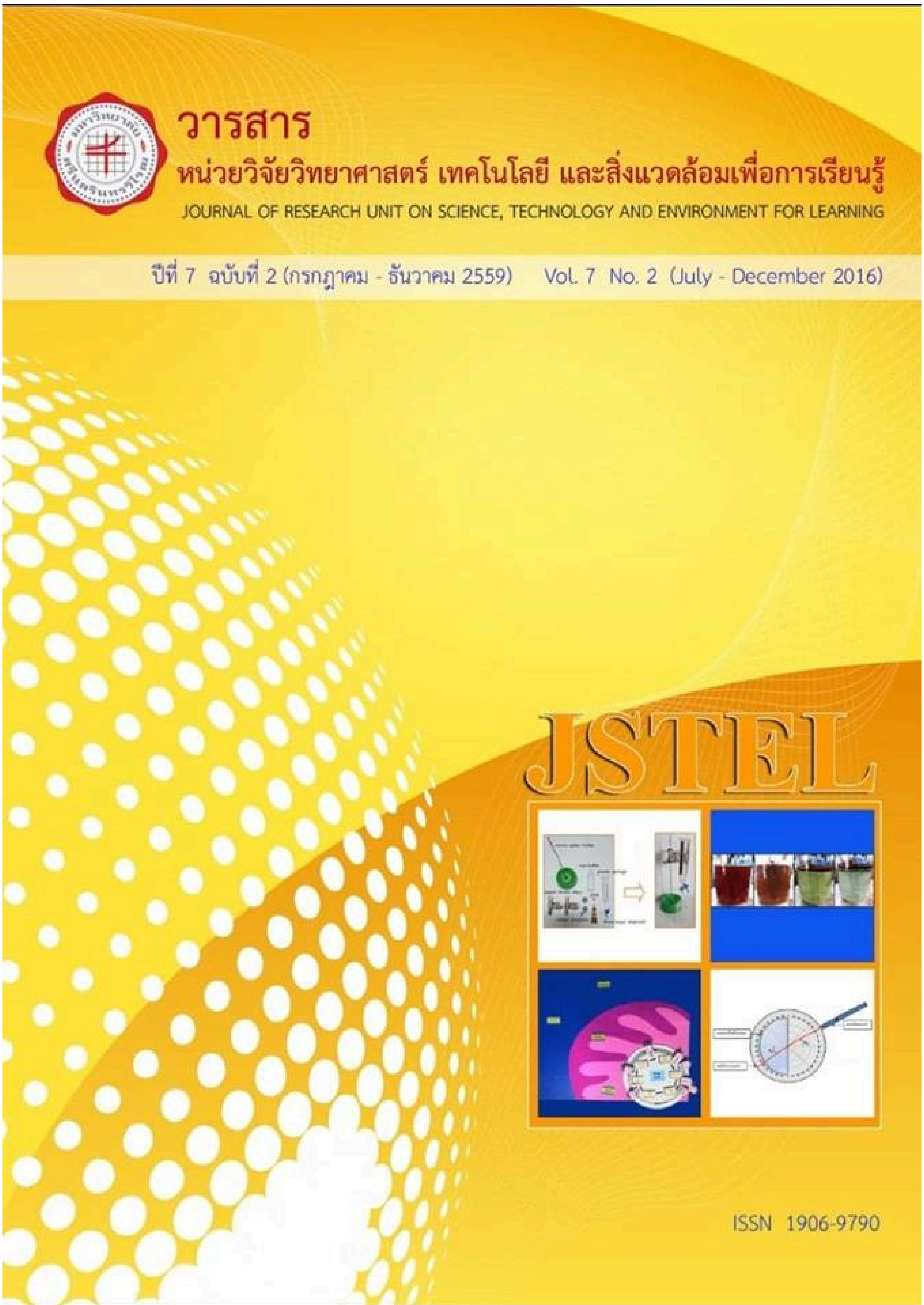
ภาพที่ ณ.1 การทำกิจกรรมของนักเรียน (ต่อ)

ภาพที่ ณ.1 การทำกิจกรรมของนักเรียน (ต่อ)



ภาพที่ ณ.1 การทำกิจกรรมของนักเรียน (ต่อ)

ภาคผนวก ญ
เผยแพร่ผลงานวิจัย


วารสาร
หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้
JOURNAL OF RESEARCH UNIT ON SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT FOR LEARNING
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2559) Vol. 7 No. 2 (July - December 2016)
JSTEL
ISSN 1906-9790

J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning Vol. 7 No. 2 (2016)

ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ สำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียน

อาร์ซีซ๊ะ ดินอะ[1] สุภาพ ตาเมือง[2] มะลิวรรณ อมตธงไชย[2]
ปุริม จารุจำรัส[2] และเสนอ ชัยรัมย์[2*]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา และ [2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190
*E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

รับบทความ: 5 สิงหาคม 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 1 พฤศจิกายน 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี ชุดทดลองการไทเทรตนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ง่าย ประกอบด้วยกระบอกฉีดยา (ขนาด 10 มิลลิลิตร) ข้อต่อสามทาง ขวดแก้วขนาดเล็ก (ขนาด 30 มิลลิลิตร) ฝาปิดจุกยาง เหล็กเสียบกระดาษ และคลิปหนีบกระดาษ จากผลการทดลอง พบว่า ชุดไทเทรตที่พัฒนานี้ให้ผลที่ใกล้เคียงกับชุดไทเทรตมาตรฐาน มีร้อยละของความผิดพลาด (%error) ต่ำกว่าร้อยละ 5% ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้แต่ใช้ปริมาตรสารละลายน้อยลง (5.00 มิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 0.05 โมลต่อลิตร ชุดอุปกรณ์นี้มีต้นทุนต่ำกว่าชุดไทเทรตมาตรฐาน (104 บาท หรือ US$3) ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเหมาะสำหรับบริบททางการศึกษาที่ไม่สามารถเข้าถึงเครื่องมือที่ทันสมัยในหลายโรงเรียนที่อยู่ในเขตชนบทของประเทศไทย ชุดไทเทรตนี้นอกจากจะมีประโยชน์เป็นสื่อการสอนสำหรับครูแล้ว ยังเป็นการเพิ่มประสบการณ์ที่สนุกสนานสำหรับนักเรียนในห้องปฏิบัติการอีกด้วย นอกจากนี้ ครูวิทยาศาสตร์อาจประยุกต์ใช้ชุดไทเทรตที่พัฒนานี้สำหรับห้องเรียนของตนเองในรายวิชาเคมีและสาขาเกี่ยวข้องได้

คำสำคัญ: ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่าย การทดลองแบบย่อส่วน ต้นทุนต่ำ การไทเทรตกรด-เบส มัธยมศึกษา

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (2559)

Simple, Low-Cost and Small Scale Titration Set for Microscale Laboratory in Classroom

Aseesah Din-a[1], Suparb Tamuang[2], Maliwan Amatatongchai[2], Purim Jarujamrus[2] and Sanoe Chairam[2*]

[1]Program of Science Education, and [2]Department of Chemistry, Faculty of Science,
Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand
[*]E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

Received: 5 August 2016 Accepted: 1 November 2016

Abstract

This research aimed to fabricate a simple, low-cost and small scale titration set for microscale laboratory in chemistry classroom. A titration set is simple to construct, consists of a 10-mL plastic syringe, three ways stopcock, 30-mL small vial bottle, rubber stoppers, memo spike holder and paper binder clips. The results obtained from the developed titration set were slightly different from the standard titration set. The design has been found to be precise and accurate compared to the standard titration set (<5%error) but with lesser use of samples (5.00 mL) and concentration of standard solution (0.05 mol/L). The device cost is more inexpensive than the standard titration set (฿104 or US$3). It is suitable for educational context for which there is limited access to sophisticate instruments at many schools in urban areas of Thailand. This titration set here is not only useful as teaching tool for teacher, but also enable an enjoyable experience for the students in laboratory. Furthermore, science teachers may apply the developed titration set for their classes in chemistry and related fields.

Keywords: Titration set, Small scale laboratory, Low-cost, Acid-base titration, High school

บทนำ

การไทเทรต (titration) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายทางเคมีโดยอาศัยการวัดปริมาตรเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นจากการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (Skoog et al., 2013) การไทเทรตในเคมีวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การไทเทรตกรด-เบส (acid-base titration) การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox titration) และการไทเทรตปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อน (complexometric titration) สำหรับการไทเทรตทุกประเภท จุดที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่า จุดสมมูล (equivalent point) แต่ในทางปฏิบัติ ผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่นิยมติดตามสารทั้งสองที่ทำปฏิกิริยาโดยอาศัยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ (indicator) จุดที่อินดิเคเตอร์เกิดการเปลี่ยนสี เรียกว่า จุดยุติ (end point) ซึ่งอาจตรง/ไม่ตรงกับจุดสมมูลพอดีก็ได้ ดังนั้นถ้าต้องการผลการทดลองที่ถูกต้องมากที่สุด ผู้ทดลองต้องเลือกอินดิเคเตอร์ที่มีช่วงของการเปลี่ยนสีที่ใกล้เคียงกับจุดสมมูลของปฏิกิริยาให้มากที่สุด

สำหรับชุดการไทเทรตโดยทั่วไป สารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นบรรจุในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ส่วนสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นบรรจุอยู่ในบิวเรต (burette) หรือเรียกว่าไทแทรนต์ (titrant) ซึ่งยึดด้วยขาตั้งพร้อมที่หนีบ (stand and clamp) (Skoog et al., 2013) เมื่อพิจารณาชุดไทเทรตมาตรฐาน วัสดุและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ค่อนข้างมีขนาดใหญ่และมีราคาต่อชุดค่อนข้างสูง นักวิจัยหลายกลุ่มจึงเริ่มมีแนวคิดในการพัฒนาชุดทดลองระดับไมโคร (microscale) หรือแบบย่อส่วน (small- scale laboratory) ซึ่งมีต้นทุนต่ำและมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม ชุดการทดลองระดับไมโครหรือแบบย่อส่วนไม่เพียงแต่จะใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดเล็กลง แต่ยังเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยด้วย นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายโดยใช้หลักการและทฤษฎีเดียวกัน ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาตรฐานทั่วไป (standard scale) อีกด้วย (Wooster, 2007)

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องในระดับนานาชาติ นักวิจัยหลายกลุ่มพยายามพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเพื่อใช้สอนในวิชาเคมี เช่น การพัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วน Singh et al. (1998) ได้พัฒนาการไทเทรตโดยใช้ไมโครบิวเรต (microburet) สำหรับใช้ในการไทเทรตกรด-เบส การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ การตกตะกอน และการไทเทรตปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อน เมื่อเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐาน ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้นอกจากให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับชุดการไทเทรตมาตรฐานแล้ว ยังมีข้อดีหลายด้าน ได้แก่ ต้นทุนต่ำ (ประมาณ 700 บาทหรือ US$20) ประหยัดเวลาในการทดลอง (ใช้เวลาประมาณ 3–5 นาที) และสะดวกต่อการใช้งาน ดังนี้ ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนซึ่งชุดการไทเทรตมาตรฐาน บิวเรตขนาด 10 mL มีต้นทุนประมาณ 2,800 บาท (หรือ US$20) และขนาด 50 mL มีต้นทุนประมาณ 2,100 บาท (หรือ US$60) ใช้เวลาในการไทเทรตประมาณ 25 นาที อย่างไรก็ตาม สำหรับชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้ การเติมไทแทรนต์ยังต้องควบคุมด้วยมือจากผู้ทดลอง ซึ่งทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้

Abdullah et al. (2009) พัฒนาชุดไทเทรตระดับไมโคร (microtitration kit) ซึ่งประกอบด้วย microburet, microstand และ plastic microwell plate สำหรับ microburet ใช้ปริมาณสารละลายเพียง 1.00 mL ส่วนชุดการไทเทรตมาตรฐานใช้ปริมาณสารละลาย 25 mL จากนั้นนำชุดไทเทรตระดับไมโครที่พัฒนานี้ไปจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบส ผลการทดลอง พบว่า ชุดไทเทรตระดับไมโครที่พัฒนานี้ทำให้นักศึกษามีความเข้าใจในเรื่องการไทเทรตกรด-เบส การหาจุดยุติของการไทเทรตกรด-เบส และเรียนรู้การไท-

เทรตได้เร็วกว่าการใช้ชุดการไทเทรตมาตรฐาน

Villalón (2013) พัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วนจากการดัดแปลงขวดบรรจุสารให้เป็นบิวเรตแบบดิจิตอลสำหรับการไทเทรตที่ใช้ปริมาตรน้อย (small volume titration) ในงานวิจัยนี้ บิวเรตแบบดิจิตอลจะต่อพ่วงเข้ากับขวดบรรจุสารขนาด 1.0 L โดยอาศัยอุปกรณ์ที่เชื่อมให้เข้ากันได้ (adapter) บิวเรตแบบดิจิตอลนี้มีความถูกต้องมากกว่าการควบคุมด้วยมือ สำหรับไทแทรนต์ที่มีปริมาตร 100 mL หรือน้อยกว่า และสามารถประยุกต์ใช้กับขวดพลาสติกที่ทำมาจากพอลิเอทิลีน (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 65 mm) ที่ใช้อยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการได้ ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปไทเทรตกับสารที่มีราคาสูงหรือสารที่ไม่เสถียรได้ ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายและพื้นที่เก็บสารในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย

นอกจากการพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนสำหรับไทเทรตแล้ว ยังมีการพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเพื่อใช้สอนในหัวข้ออื่นในรายวิชาเคมีด้วย ตัวอย่าง Logan and Abrams (2012) ได้พัฒนาชุดอุปกรณ์อย่างง่ายในการแยกของเหลว-ของเหลว (liquid–liquid separation) โดยใช้กระบอกฉีดยาพลาสติก (plastic syringe) ฝาปิดจุกยาง (rubber stopper) และข้อต่อเปิด-ปิด (Luer-lock stopcock) สำหรับแยกกลีเซอรอล (glycerol) ออกจากไบโอดีเซล (biodiesel) ผลการทดลองพบว่า ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้แยกสารของเหลวได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาต้นทุน ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีค่าใช้จ่ายเพียงประมาณ 170 บาท (หรือ US$4.83) ซึ่งน้อยกว่าชุดอุปกรณ์กรวยแยกแบบแก้ว (glass separatory funnel) ที่มีราคาสูงถึงประมาณ 1,775 บาท (หรือ US$50.68) ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีคือช่วยลดการแตกหักของอุปกรณ์เครื่องแก้ว ทำให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการได้ และยังลดของเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งใช้สารในปริมาณน้อย

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในระดับชาติ นักวิจัยบางกลุ่มเริ่มให้ความสำคัญและพยายามพัฒนาชุดการทดลองด้วยปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเพื่อนำมาใช้ในวิชาเคมีหลายสาขาวิชา ทั้งเคมีอินทรีย์ เคมีอนินทรีย์ เคมีวิเคราะห์ และชีวเคมี ซึ่งมีดังนี้ Acharry et al. (2009) พัฒนาปฏิบัติการระดับไมโครสำหรับเคมีไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 4 บทเรียน ได้แก่ ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก เซลล์ความเข้มข้น และการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า การทดลองในระดับไมโครนี้ใช้สารเคมีในปริมาณน้อย จุดเด่นของการทดลองระดับไมโคร คือ มีความปลอดภัย ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ลดปริมาณสารตกค้างหลังการทดลอง และทำให้เวลาที่ใช้ทดลองน้อยลง หลังจากนำปฏิบัติการระดับไมโครที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3 (ปวช. 3) พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจในบทเรียนดียิ่งขึ้น เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ Khattiyavong et al. (2014) พัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดยมีแนวคิดทางเคมีเกี่ยวกับรักษ์สิ่งแวดล้อม กล่าวคือ ลดปริมาณการใช้สารเคมีในการทดลอง ทำให้ของเสียมีปริมาณที่น้อย ลง และใช้เวลาในการทดลองน้อยลง แต่ยังคงรักษาสภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองได้ หลังจากนำปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้นักเรียน พบว่า ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนา

ขึ้นนี้ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิกมากกว่าการใช้ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบดั้งเดิม

ถึงแม้ว่าจะเริ่มมีการพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเพื่อนำมาใช้สอนรายวิชาเคมี ไม่ว่าจะเป็นสาขาเคมีอินทรีย์ เคมีอนินทรีย์ ชีวเคมี เคมีวิเคราะห์ และเคมีไฟฟ้า ในประเทศมากขึ้น แต่การพัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ที่ต้นทุนต่ำเหมาะกับโรงเรียนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณยังมีอยู่น้อย Acharry et al. (2010) พัฒนาปฏิบัติการทดลองระดับไมโครสำหรับการไทเทรต ซึ่งประกอบด้วยปิเปตและกระบอกฉีดยา และใช้จานหลุมพลาสติกขนาดเล็กเป็นภาชนะรองรับสารขณะที่ทำการไทเทรต จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้กับชุดการไทเทรตมาตรฐาน พบว่า ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้ง่ายต่อการใช้งานและมีการใช้สารในปริมาณที่น้อย อย่างไรก็ตาม ชุดปฏิบัติการทดลองสำหรับการไทเทรตแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้นนี้ยังต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์บางส่วนจากชุดการไทเทรตมาตรฐาน ได้แก่ ขาตั้งและที่หนีบ ทำให้ชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ยังมีต้นทุนที่สูงและไม่เหมาะกับโรงเรียนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ สำหรับการไทเทรตในห้องเรียน วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐาน ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นมานี้น่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครู เพราะมีขนาดเล็กกว่า ใช้สารเคมีน้อยกว่า มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าและประสิทธิภาพการไทเทรตของชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ มีร้อยละของความผิดพลาด (%error) ต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เป็นสื่อการสอนแทนชุดบิวเรตมาตรฐานทั่วไปสำหรับการไทเทรตกรด-เบส ได้ และนอกจากนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการสอนการไทเทรตในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณเป็นอย่างยิ่ง

วัสดุ/อุปกรณ์ และสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (potassium hydrogen phthalate, KHP) ความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 5.00 mL โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 5.00 mL กรดฟอร์มิก (formic acid, HCOOH) ความเข้มข้น 85%w/w ปริมาตร 5.00 mL น้ำส้มสายชู 5% ปริมาตร 5.00 mL และฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) จำนวน 1–2 หยด สารละลายทุกตัวที่ใช้ในการทดลองนี้เตรียมและเจือจางด้วยน้ำกลั่น วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำประกอบไปด้วย กระบอกฉีดยาขนาด 10 mL จำนวน 1 อัน ข้อต่อสามทางจำนวน 1 อัน ขวดแก้วขนาดเล็กขนาด 30 mL จำนวน 1 ขวด ฝาปิดจุกยาง จำนวน 2 ฝา เหล็กเสียบกระดาษจำนวน 1 อัน และคลิปหนีบกระดาษ จำนวน 2 อัน ดังในภาพที่ 1 วัสดุ/อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายยาและท้องตลาดทั่วไป

ภาพที่ 1 วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

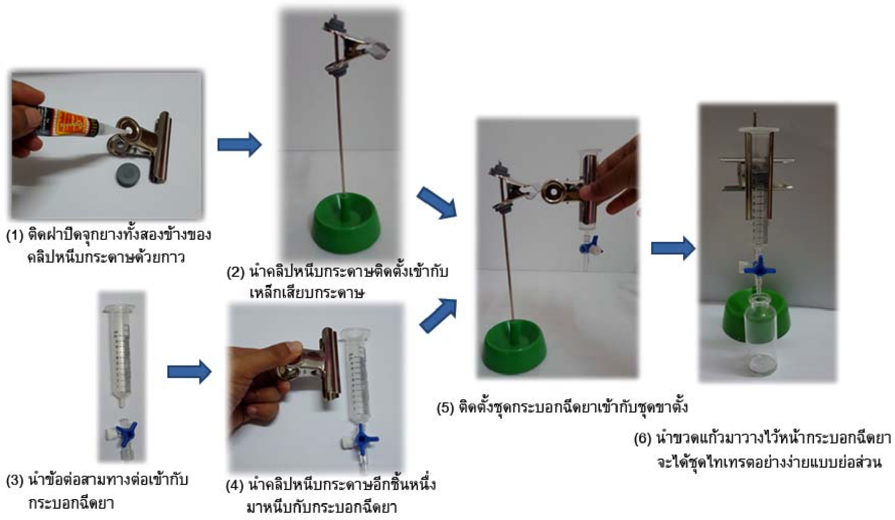
การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำมีขั้นตอนดังนี้

เริ่มต้นจากการติดฝาปิดจุกยาง (rubber stopper) บนปีกทั้งสองข้างของคลิปหนีบกระดาษ (paper binder clip) ด้วยกาว (glue) จากนั้นนำคลิปหนีบกระดาษนี้ไปติดตั้งเข้ากับเหล็กเสียบกระดาษ (memo spike holder) คลิปหนีบกระดาษสามารถเลื่อนขึ้น-ลงเพื่อปรับความสูงได้ตามต้องการ เพราะความยืดหยุ่นจากฝาปิดจุกยาง อุปกรณ์ที่สร้างชิ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนขาตั้งและที่หนีบ (stand and clamp) ของชุดการไทเทรต

นำข้อต่อสามทาง (three ways stopcock) มาต่อเข้ากับกระบอกฉีดยาพลาสติก (plastic syringe) อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนบิวเรต (burette) ไว้สำหรับบรรจุสารละลายไทแทรนต์ที่ใช้ในการไทเทรต กระบอกฉีดยาพลาสติกเปรียบเสมือนตัวบิวเรต ส่วนข้อต่อสามทางเปรียบเสมือนก๊อกปิด-เปิด (stopcock) สำหรับควบคุมการอัตราการไหลของสารละลายจากกระบอกฉีดยาพลาสติก จากนั้นนำคลิปหนีบกระดาษอีกชิ้นหนึ่งมาหนีบชุดบิวเรตอย่างง่าย

ติดตั้งชุดกระบอกฉีดยาเข้ากับชุดขาตั้งและที่หนีบ นำขวดแก้ว (vial bottle) มาวางไว้ใต้กระบอกฉีดยา ขวดแก้วเปรียบเสมือนเป็นขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) สำหรับบรรจุสารละลาย ขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

การใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในการไทเทรตกรด-เบส

ขั้นตอนสำหรับการใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในการไทเทรตกรด-เบส มีดังนี้

ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) 0.05 M KHP ปริมาตร 5.00 mL ลงในขวดแก้ว จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 1–2 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH (ที่บรรจุในกระบอกฉีดยา) ด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายในการไทเทรต ชะสารละลายที่ติดอยู่ที่ขอบผนังด้านในของขวดแก้วด้วยน้ำกลั่น (ถ้ามี) เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากใส/ไม่มีสีเป็นสีชมพูจาง (สีชมพูไม่จางหายไปประมาณ 30 วินาที) บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น แต่เปลี่ยนจากสารละลาย KHP เป็นกรดชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน เช่น กรดอะซิติก (5% CH_3COOH)[1] กรดฟอร์มิก (85% HCOOH)[2] อินดิเคเตอร์ใช้ฟีนอล์ฟทาลีน 1–2 หยด เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH (ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว) ชะสารละลายที่ติดอยู่ที่ขอบผนังด้านในของขวดแก้วด้วยน้ำกลั่น (ถ้ามี) สารละลายจะเปลี่ยนจากใส/ไม่มีสีเป็นสีชมพูจางเมื่อถึงจุดยุติ (สีชมพูไม่จางหายไป ประมาณ 30 วินาที) บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ สำหรับการไทเทรตกับกรดแต่ละชนิด ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดแต่ละชนิดจากการไทเทรต สุดท้ายเปรียบเทียบค่าระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นนี้กับชุดบิวเรตมาตรฐาน (ตาราง 1)

การใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในห้องเรียน

ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้นำไปใช้เป็นสื่อการสอนในห้องเรียน เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 24 คน ในโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดสงขลา โดยครู

ตาราง 1 เปรียบเทียบผลการทดลองจากการไทเทรตด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐาน

กรดตัวอย่าง	ความเข้มข้นค่าจริง	ความเข้มข้นที่คำนวณได้ (n = 3)			
		ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้น	%error	ชุดบิวเรตมาตรฐาน	%error
$CH_3COOH^{\dagger}$	5 %w/v	5.23 %w/v	4.60	5.07 %w/v	1.40
$HCOOH^{\ddagger}$	85.00 %w/w	88.78 %w/w	4.45	86.88 %w/w	2.21

†ผลิตโดย บริษัทไทยเทพรสผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) ตราภูเขาทอง

‡ผลิตโดย บริษัทแกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด

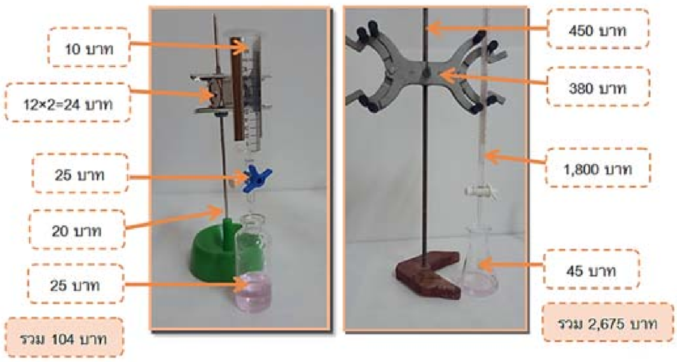
[1]กรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้มสายชูจัดเป็นเครื่องปรุงรสอาหารชนิดหนึ่งที่ให้รสเปรี้ยว มี CH_3COOH ความเข้มข้น 5%

[2]กรดฟอร์มิกหรือกรดมดนิยมนำมาผสมกับน้ำยางเพื่อทำให้ยางจับตัวกันเป็นแผ่นหรือก้อน มี HCOOH ความเข้มข้น 85–95%

เป็นผู้สาธิตการทดลองเพื่อให้นักเรียนได้รู้จักสารเคมีที่ใช้ ทักษะที่เป็นพื้นฐาน และขั้นตอนของการไทเทรต ภายหลังจากการสาธิตของครู นักเรียนเป็นผู้ที่ได้ลงมือปฏิบัติจริงด้วยตนเอง โดยนักเรียนทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4–5 คน หลังจากที่ทดลองด้วยตนเองแล้ว นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองและแลกเปลี่ยนความคิดระหว่างนักเรียนกับนักเรียน และระหว่างนักเรียนกับครูเกี่ยวกับผลจากทฤษฎีกับผลจากการทดลอง

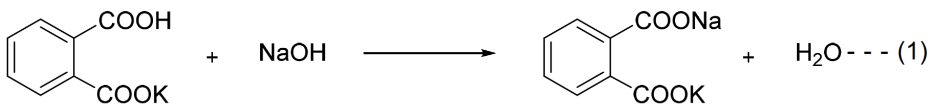
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ราคาของวัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นและต้นทุนทั้งหมดระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐานแสดงในภาพที่ 3 วัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นที่ใช้ในการสร้างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นประกอบด้วย กระบอกฉีดยาขนาด 10 mL จำนวน 1 อัน ราคา 10 บาท คลิปหนีบกระดาษขนาดกลาง จำนวน 2 ตัว ราคาตัวละ 12 บาท รวมเป็น 24 บาท ข้อต่อสามทางราคา 25 บาท เหล็กเสียบกระดาษราคา 20 บาท และ ขวดแก้วขนาด 30 mL ราคา 25 บาท รวมต้นทุนทั้งหมดสำหรับการสร้างชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้คือ 104 บาทต่อชุด (ประมาณ US$3) ส่วนวัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นที่ใช้ในชุดบิวเรตมาตรฐานประกอบด้วย ขาตั้งราคา 450 บาท มือหนีบปีกผีเสื้อราคา 380 บาท บิวเรตราคา 1,800 บาท และขวดรูปชมพู่ราคา 45 บาท รวมต้นทุนทั้งหมดสำหรับชุดบิวเรตมาตรฐานคือ 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ US$76.5) จะเห็นได้ว่า นอกจากวัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายยาหรือตามท้องตลาดทั่วไปแล้ว ยังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าชุดบิวเรตมาตรฐานค่อนข้างมาก แนวคิดในการพัฒนาชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้สอดคล้องกับ Cao et al. (2014) ที่ได้พัฒนาอุปกรณ์ electronic buret เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการไทเทรตในห้องเรียนซึ่งมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับราคาของ glass buret (ถ้ามี voltmeter ราคาน้อยกว่า US$20 หรือถ้ามี Arduino board ราคาน้อยกว่า US$50) และ Singh et al. (2000) ที่ได้พัฒนาชุดอุปกรณ์ microburet ที่ใช้ในการไทเทรตกรด-เบส เทียบกับ standard buret พบว่า อุปกรณ์ microburet ที่พัฒนาขึ้นมีราคาถูกกว่า standard buret ค่อนข้างมาก (ประมาณ US$30–40) นอกจากชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ใช้สารในปริมาณน้อยกว่าบิวเรตมาตรฐานแล้ว ยังช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองอีกด้วย



ภาพที่ 3 ราคาของวัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นและต้นทุนทั้งหมดระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้น (ซ้าย) กับชุดบิวเรตมาตรฐาน (ขวา)

การประยุกต์ใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ ผู้วิจัยนำไปใช้เป็นสื่อการสอนสำหรับการสาธิตการไทเทรตกรด-เบสในห้องเรียนโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของกรด-เบส ในเบื้องต้นผู้วิจัยนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มาทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) ในการทดลองนี้สารละลาย NaOH เป็นสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard solution) ถึงแม้ NaOH เป็นของแข็งสีขาว แต่เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดีมาก ดังนั้นสารละลาย NaOH ที่เตรียมขึ้นมาจึงมีความเข้มข้นที่ไม่แน่นอนและจำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยการไทเทรตกับสารละลาย KHP ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) เพราะ KHP เป็นสารที่อยู่ในสถานะของแข็ง มีเสถียรภาพสูง มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีสูตรทางเคมีที่แน่นอน จึงทำให้สามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนได้จากน้ำหนักและปริมาตรที่เตรียมขึ้น สารละลาย KHP จึงมีความเข้มข้นที่แน่นอนและถูกต้องมากกว่าสารละลาย NaOH ปฏิกิริยาเคมีจากการไทเทรต สารละลาย NaOH กับสารละลาย KHP แสดงในสมการ (1)



เมื่อ NaOH ทำปฏิกิริยากับ KHP จะได้เกลือโพแทสเซียมโซเดียมพทาเลตและน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น อัตราส่วนของโมลระหว่าง NaOH กับ KHP เป็น 1:1 เนื่องจากสารละลายทั้งสองไม่มีสี จุดยุติสามารถติดตามได้จากการใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายในขวดแก้วจะเปลี่ยนจากใส/ไม่มีสีเป็นสีชมพูจาง โดยหลักการเมื่อทราบปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับ KHP จะสามารถคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนได้โดยอาศัยปริมาณสัมพันธ์ จากการทดลองเมื่อเทียบความเข้มข้นโดยทำมาตรฐาน (standardization) พบว่า ปริมาตรเฉลี่ยของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตเท่ากับ 5.13 mL เพราะฉะนั้นความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.049 M

นักเรียนสามารถนำสารละลาย NaOHที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอนนี้ไปใช้ประโยชน์ในการหาความเข้มข้นของกรดตัวอื่นที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันได้ เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) และกรดฟอร์มิก (HCOOH) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลาย NaOH กับสารละลาย CH_3COOH และ HCOOH สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังสมการ (2) และ (3)

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O \text{ - - - } (2)$$

$$HCOOH + NaOH \rightarrow HCOONa + H_2O \text{ - - - } (3)$$

เมื่อ CH_3COOH ทำปฏิกิริยากับ NaOH จะได้เกลือโซเดียมอะซิเทต (CH_3COONa) และน้ำเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ในทำนองเดียวกัน เมื่อ HCOOH ทำปฏิกิริยากับ NaOH จะได้เกลือโซเดียมฟอร์เมต (HCOONa) และน้ำเป็นสารผลิตภัณฑ์ สมการทั้ง 2 สมการมีอัตราส่วนของโมลระหว่างกรดกับเบสเป็น 1:1 เหมือนกัน จากความรู้เกี่ยวกับปริมาณสัมพันธ์ นักเรียนสามารถ

ใช้อัตราส่วนนี้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทั้ง 2 ชนิดแล้วเทียบกับค่าความเข้มข้นที่รายงานไว้บนฉลากสินค้าได้

การเปรียบเทียบผลการทดลองจากการไทเทรตด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐาน (ตาราง 1) แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นที่คำนวณได้ของกรดแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นที่รายงานไว้บนฉลากสินค้าด้วย ร้อยละของความผิดพลาด (%error) มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้จึงใช้เป็นสื่อการสอนแทนชุดบิวเรตมาตรฐานทั่วไปสำหรับการไทเทรตกรด-เบสด้วยหลักการและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี (Wooster, 2007)

จากศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นนี้ โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 24 ชุด จำนวน 12 ข้อ (ตาราง 2) พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 ± 0.41 เมื่อเทียบกับชุดบิวเรตมาตรฐาน ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีหลายด้านดังนี้

ด้านค่าใช้จ่าย: ต้นทุนสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ราคา 104 บาทต่อชุด (ประมาณ US$3) ส่วนต้นทุนสำหรับชุดบิวเรตมาตรฐานราคา 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ US$76.5) ดังนั้น ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์และมีงบประมาณไม่เพียงพอในการซื้ออุปกรณ์ และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงเรียน และทำให้มีงบประมาณเหลือพอสำหรับใช้ซื้อสารเคมีที่จำเป็นต้องใช้ในการเรียนการสอนมากขึ้น

ด้านปริมาณสารที่ใช้: กระบอกฉีดยาที่ใช้ในชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้มีปริมาตรบรรจุเพียง 10 mL ส่วนบิวเรตมาตรฐานขนาดเล็กที่สุดที่ใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติจะมีปริมาตรบรรจุอยู่ที่ 25 mL ดังนั้นชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้จึงใช้ปริมาณสารที่น้อยกว่า

ด้านเวลา: เมื่อใช้ปริมาณสารที่น้อยกว่าชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้จึงใช้เวลาที่น้อยกว่าในการทดลองแต่ละครั้ง ทำให้มีเวลามากขึ้นในการวิเคราะห์ผลและคำนวณความเข้มข้นจากผลการทดลองที่ได้

ด้านสิ่งแวดล้อม: การทดลองแบบย่อส่วนใช้ปริมาณสารที่น้อยในการไทเทรตแต่ละครั้งจึงทำให้ของเสียทางเคมี (chemical waste) ที่เกิดจากการทดลองมีปริมาณน้อยลง ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ด้านการเรียนรู้: ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้อธิบายการไทเทรตกรด-เบสด้วยหลักการและทฤษฎีเดียวกันได้ นักเรียนทุกคนได้รับส่งเสริมการเรียนรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ซึ่งจากแบบสอบถามความพึงพอใจด้านการจัดกิจกรรมการทดลอง ข้อ 5 “การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายมีความน่าสนใจ” และข้อ 7 “การทดลองทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบสมากขึ้น” พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 ± 0.72 และ 4.75 ± 0.44 ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้นักเรียนรู้สึกสนุกสนานในการเรียนและการทดลองมากขึ้น

ด้านนวัตกรรมการเรียนรู้: ชุดทดลองการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นชุดการไทเทรตอย่างง่าย

ตาราง 2 ระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส

รายการประเมิน	ความพึงพอใจ		
	Mean	SD	แปลผล
ส่วนที่ 1 ด้านการสอน			
1. ครูผู้สอนอธิบายวัตถุประสงค์และเนื้อหาการเรียนได้ชัดเจน	4.50	0.51	มากที่สุด
2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน	4.25	0.61	มาก
3. ครูผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียน	4.63	0.65	มากที่สุด
4. ครูผู้สอนให้ความสนใจตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อมีข้อสงสัย	4.46	0.72	มาก
เฉลี่ย	**4.46**	**0.45**	**มาก**
ส่วนที่ 2 กิจกรรมการทดลอง			
1. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายมีความน่าสนใจ	4.58	0.72	มากที่สุด
2. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายสามารถทำได้ง่าย	4.42	0.65	มาก
3. การทดลองทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบสมากขึ้น	4.75	0.44	มากที่สุด
4. อุปกรณ์การทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายมีจำนวนเพียงพอกับนักเรียน	3.83	0.92	มาก
5. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่าย ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผล	4.04	0.69	มาก
6. ในการทดลอง นักเรียนคิดว่า นักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับ ทักษะปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น	4.33	0.64	มาก
7. ในระหว่างที่ทำการทดลอง ผู้เรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างเพื่อนในกลุ่มและเรียนรู้การทำงานเป็นทีม	4.17	0.48	มาก
8. การทดลองนี้นักเรียนรู้สึกมีแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากขึ้น	4.50	0.66	มากที่สุด
เฉลี่ย	**4.33**	**0.44**	**มาก**
เฉลี่ยรวม	**4.37**	**0.41**	**มาก**

แบบย่อส่วนใหม่และไม่เหมือนกับชุดการไทเทรตอื่นใดมาก่อน วัสดุ/อุปกรณ์หาซื้อได้ง่ายตามท้องถิ่น เช่น ร้านขายยาทั่วไป ซึ่งน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูวิทยาศาสตร์ทุกระดับชั้นในการนำไปสอนในห้องปฏิบัติการ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นสื่อการสอนเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ในห้องเรียน ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ง่าย วัสดุ/อุปกรณ์สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดและร้านขายยาทั่วไป ต้นทุนสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ 104 บาทต่อชุด (ประมาณ US$3) น้อยกว่าชุดบิวเรตมาตรฐานที่มีราคา 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ US$76.5) นอกจากมีต้นทุนต่ำแล้ว ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้ยังใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ทำให้ของเสียที่เกิดจากการทดลองมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย จากการสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรม

การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นนี้ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 ± 0.41 และจากการทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ให้ผลการทดลองใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับชุดไทเทรตมาตรฐานทั่วไป ซึ่งน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูวิทยาศาสตร์ทุกระดับชั้นในการนำไปสอนในห้องปฏิบัติการได้

ข้อเสนอแนะ

ชุดอุปกรณ์ไทเทรตอย่างง่ายนี้สามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน เรื่อง การไทเทรต สำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์และมีงบประมาณไม่เพียงพอในการซื้ออุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ครูผู้สอนที่สนใจสามารถปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์เป็นไปตามบริบทของโรงเรียนเพื่อไทเทรตหาปริมาณกรด-เบสจากสารตัวอย่างในห้องปฏิบัติการหรือสารตัวอย่างที่ใช้ในชีวิตประจำวันตามบริบทของชุมชนนั้น ๆ ได้ เช่น นักเรียนสามารถใช้ชุดอุปกรณ์ไทเทรตอย่างง่ายนี้ในการตรวจสอบความเข้มข้นของกรดน้ำส้มสายชูที่ขายตามท้องตลาด ใช้ตรวจสอบความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกที่เกษตรกรชาวสวนยางใส่ในน้ำยางเพื่อทำยางนั้นกลายเป็นก้อนก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ผ่านโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

Abdullah, M., Mohamed, N., and Ismail, Z. H. (2009). The effect of an individualized laboratory approach through microscale chemistry experimentation on students' understanding of chemistry concepts, motivation and attitudes. **Chemistry Education Research and Practice** 10(1): 53–61.

Acharry, S., and Suwannathada, J. (2010). The development of microscale laboratory: Titration. **International Journal of Arts and Science** 3(9): 296–305.

Acharry, S., Tambunchong, C. Wongrattana, C., and Wongsilapapirom, W. (2009). Electrochemistry: Microscale teaching module. **The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok** 19(1): 11–18. (in Thai).

Cao, T., Zhang, Q., and Thompson, J. E. (2014). Designing, constructing, and using an inexpensive electronic buret. **Journal of Chemical Education** 92(1): 106–109.

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. (in Thai)

Logan, S. J., and Abrams, N. M. (2012). A simple, semiquantitative device for liquid–

liquid separations. **Journal of Chemical Education** 89(12): 1609–1610.

ɟh, M. M., McGowan, C. B., Szafran, Z., and Pike, R. M. (1998). A modified microburet for microscale titration. **Journal of Chemical Education** 75(3): 371.

ɟh, M. M., McGowan, C. B., Szafran, Z., and Pike, R. M. (2000). A comparative study of microscale and standard burets. **Journal of Chemical Education** 77(5): 528–626.

ıog, D. A, West, D. M., Holler, F. J., and Crouch, S. R. (2013). **Fundamentals of Analytical Chemistry**. Singapore: Brook/Cole Cengage Learning.

Villalón, G. C. (2013). Adapting bottles to digital burets for small volume titration. **Journal of Chemical Education** 90(7): 952.

Wooster, M. (2007). Microscale chemistry. **Education in Chemistry** 44(2): 45–47.

บทความนี้มีข้อมูลเสริม (supplementary data) อยู่บนเว็บไซต์ของวารสาร ได้แก่ ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

นำเสนอผลงานวิจัย ในหัวข้อ การบูรณาการเทคโนโลยี QR Code ในการศึกษาการไทเทรตกรด-เบส (Integrating QR code Technology for Studying Acid-Base Titration) ในโครงการวิชาการ Partners in Learning Thailand Forum 2017 กิจกรรม "Thailand Innovative Teachers Leadership Awards 2017" ระหว่างวันที่ 27-29 พฤษภาคม 2560 ณ โรงแรมริเวอร์ไซด์ กรุงเทพมหานคร ได้รับคัดเลือกรับรางวัล 1 ใน 10 ผลงานระดับประเทศ Thailand Innovative Teachers Leadership Awards 2017 โดยเข้ารับถ้วยรางวัลพระราชทาน จากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาสยามบรมราชกุมารี วันที่ 8 กันยายน 2560 ณ ศาลาดุสิดาลัย สวนจิตรลดา

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวอาร์ซีซ๊ะ ดินอะ
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2547-พ.ศ.2550 มหาวิทยาลัยทักษิณ
	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
	พ.ศ.2553-2554 มหาวิทยาลัยทักษิณ
	ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาชีพครู
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2554-พ.ศ.2556
	โรงเรียนสตูลวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดสตูล
	พ.ศ. 2556-ปัจจุบัน
ตำแหน่ง	ครู ค.ศ.1
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนสทิงพระวิทยา
	อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา
โทรศัพท์	087-2877609
Email	kruazeezah@hotmail.com