

ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ สำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียน

อาร์ชีชีะ ดินอะ¹ สุภาพ ดาเมือง² มะลิวรรณ อมตธงไชย²
ปฐิม จารุจรัส² และเสนอ ชัยรัมย์^{2*}

¹หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา และ ²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

*E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

รับบทความ: 5 สิงหาคม 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 1 พฤศจิกายน 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ สำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียนเคมี ชุดทดลองการไทเทรตนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ง่าย ประกอบด้วยกระบอกฉีดยา (ขนาด 10 มิลลิลิตร) ข้อต่อสามทาง ขวดแก้วขนาดเล็ก (ขนาด 30 มิลลิลิตร) ฝาปิดจุกยาง เหล็กเสียบกระดาษ และคลิปหนีบกระดาษ จากผลการทดลอง พบว่า ชุดไทเทรตที่พัฒนา นี้ให้ผลที่ใกล้เคียงกับชุดไทเทรตมาตรฐาน มีร้อยละของความผิดพลาด (%error) ต่ำกว่าร้อยละ 5% ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้แต่ใช้ปริมาตรสารละลายน้อยลง (5.00 มิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 0.05 โมลต่อลิตร ชุดอุปกรณ์นี้มีต้นทุนต่ำกว่าชุดไทเทรตมาตรฐาน (104 บาท หรือ US\$3) ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเหมาะสำหรับบริบททางการศึกษาที่ไม่สามารถเข้าถึงเครื่องมือที่ทันสมัยในหลายโรงเรียนที่อยู่ในเขตชนบทของประเทศไทย ชุดไทเทรตนี้นอกจากจะมีประโยชน์เป็นสื่อการสอน สำหรับครูแล้ว ยังเป็นการเพิ่มประสบการณ์ที่สนุกสนานสำหรับนักเรียนในห้องปฏิบัติการอีกด้วย นอกจากนี้ ครูวิทยาศาสตร์อาจประยุกต์ใช้ชุดไทเทรตที่พัฒนานี้สำหรับห้องเรียนของตนเองในรายวิชาเคมีและสาขาเกี่ยวข้องได้

คำสำคัญ: ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่าย การทดลองแบบย่อส่วน ต้นทุนต่ำ การไทเทรตกรด-เบส
มัธยมศึกษา

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

Aseesah Din-a¹, Suparb Tamuang², Maliwan Amatatongchai²,
Purim Jarujamrus² and Sanoe Chairam^{2*}

¹Program of Science Education, and ²Department 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) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายทางเคมีโดยอาศัยการวัดปริมาตรเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่ไม่

ทราบความเข้มข้นจากการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (Skog et al., 2013) การไทเทรตในเคมีวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การไทเทรตกรด-เบส (acid-base titration) การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox titra-

tion) 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) (Skooq et al., 2013) เมื่อพิจารณาชุดไทเทรตมาตรฐานวัสดุและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ค่อนข้างมีขนาดใหญ่และมีราคาต่อชุดค่อนข้างสูง นักวิจัยหลายกลุ่มจึงเริ่มมีแนวคิดในการพัฒนาชุดทดลองระดับไมโคร (microscale) หรือแบบย่อส่วน (small-scale laboratory) ซึ่งมีต้นทุนต่ำและมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม ชุดการทดลองระดับไมโครหรือแบบย่อส่วนไม่เพียงแต่จะใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีขนาดเล็กลง แต่ยังเป็น การทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยด้วย นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายโดยใช้หลักการและทฤษฎีเดียวกัน ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาตรฐานทั่วไป (standard scale) อีกด้วย (Wooster, 2007)

จากการค้นคว้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องใน

ระดับนานาชาติ นักวิจัยหลายกลุ่มพยายามพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเพื่อใช้สอนในวิชาเคมี เช่น การพัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วน Singh et al. (1998) ได้พัฒนาการไทเทรตโดยใช้ไมโครบิวเรต (microburet) สำหรับใช้ในการไทเทรตกรด-เบส การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ การตกตะกอน และการไทเทรตปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อน เมื่อเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐาน ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนั้นนอกจากให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับชุดการไทเทรตมาตรฐานแล้ว ยังมีข้อดีหลายด้าน ได้แก่ ต้นทุนต่ำ (ประมาณ 700 บาท หรือ 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 บิวเรตแบบดิจิตอลจะต่อฟวงเข้ากับขวดบรรจุสารขนาด 1.0 L โดยอาศัยอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อให้เข้ากันได้ (adapter) บิวเรตแบบดิจิตอลนี้มีความถูกต้องมากกว่าการควบคุมด้วยมือ สำหรับไทแทรนด์ที่มีปริมาตร 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) ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีคือ

ช่วยลดการแตกหักของอุปกรณ์เครื่องแก้ว ทำให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการได้ และยังคงของเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งใช้สารในปริมาณน้อย

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในระดับชาติ นักวิจัยบางกลุ่มเริ่มให้ความสำคัญและพยายามพัฒนาชุดการทดลองด้วยปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเพื่อนำมาใช้ในวิชาเคมีหลายสาขาวิชา ทั้งเคมีอินทรีย์ เคมีอนินทรีย์ เคมีวิเคราะห์ และชีวเคมี ซึ่งมีดังนี้ Achary et al. (2009) พัฒนาปฏิบัติการระดับไมโครสำหรับเคมีไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย 4 บทเรียน ได้แก่ ปฏิบัติการรีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก เซลล์ความเข้มข้น และการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า การทดลองในระดับไมโครนี้ใช้สารเคมีในปริมาณน้อย จุดเด่นของการทดลองระดับไมโคร คือ มีความปลอดภัย ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ลดปริมาณสารตกค้างหลังการทดลอง และทำให้เวลาที่ใช้ทดลองน้อยลง หลังจากนำปฏิบัติการระดับไมโครที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 (ปวช. 3) พบว่า ผู้เรียนมีความเข้าใจในบทเรียนดียิ่งขึ้น เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ Khattiyavong et al. (2014) พัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดยมีแนวคิดทางเคมีเกี่ยวกับรีดักซ์สิ่งแวดล้อม กล่าวคือ ลดปริมาณการใช้สารเคมีในการทดลอง ทำให้ของเสียมีปริมาณที่น้อยลง และใช้เวลาในการทดลองน้อยลง แต่ยังคงรักษาภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองได้ หลังจากนำปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้กับนักเรียน พบว่า ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนา

ขั้นนี้ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิกมากกว่าการใช้ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบดั้งเดิม

ถึงแม้ว่าจะเริ่มมีการพัฒนาชุดการทดลองแบบย่อส่วนเพื่อนำมาใช้สอนรายวิชาเคมี ไม่ว่าจะเป็นสาขาเคมีอินทรีย์ เคมีอินทรีย์ ชีวเคมี เคมีวิเคราะห์ และเคมีไฟฟ้า ในประเทศมากขึ้น แต่การพัฒนาชุดการไทเทรตแบบย่อส่วน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ที่ต้นทุนต่ำเหมาะกับโรงเรียนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณยังมีอยู่น้อย Achary et al. (2010) พัฒนาปฏิบัติการทดลองระดับไมโครสำหรับการไทเทรต ซึ่งประกอบด้วยปิเปตและกระบอกฉีดยา และใช้งานหลอดพลาสติกขนาดเล็กเป็นภาชนะรองรับสารขณะที่ทำการไทเทรต จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้กับชุดการไทเทรตมาตรฐาน พบว่า ชุดการไทเทรตที่พัฒนาขึ้นนี้ง่ายต่อการใช้งานและมีการใช้สารในปริมาณที่น้อย อย่างไรก็ตาม ชุดปฏิบัติการทดลองสำหรับการไทเทรตแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้นนี้ยังต้องอาศัยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์บางส่วนจากชุดการไทเทรตมาตรฐาน ได้แก่ ขาดังและที่หนีบ ทำให้ชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ยังมีต้นทุนที่สูงและไม่เหมาะกับโรงเรียนขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ สำหรับการไทเทรตในห้องเรียน วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการไทเทรตมาตรฐาน ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นมานี้ น่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครู เพราะมีขนาดเล็กกว่า ใช้สารเคมีน้อยกว่า มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า

และประสิทธิภาพการไทเทรตของชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ มีร้อยละของความผิดพลาด (%error) ต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เป็นสื่อการสอนแทนชุดบิวเรตมาตรฐานทั่วไปสำหรับการไทเทรตกรด-เบส ได้ และนอกจากนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการสอนการไทเทรตในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณเป็นอย่างยิ่ง

วัสดุ/อุปกรณ์ และสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) 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/อุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำประกอบด้วย 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

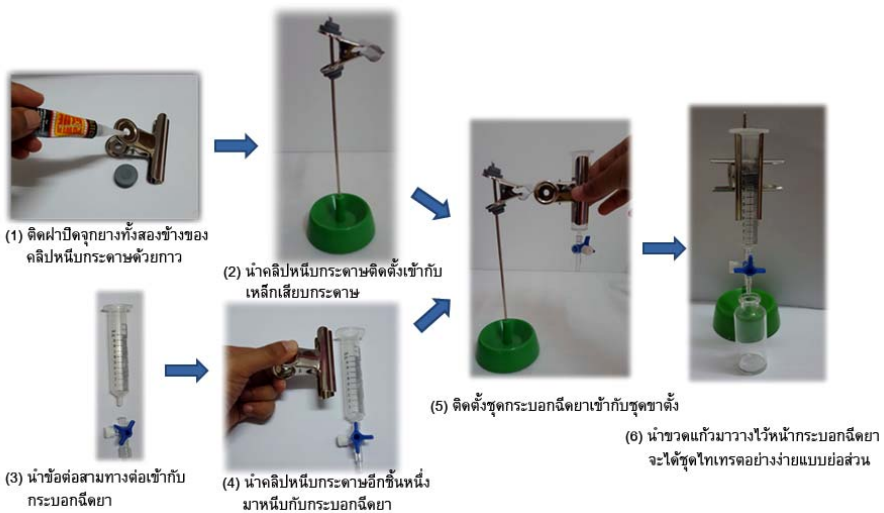
การสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำมีขั้นตอนดังนี้

เริ่มต้นจากการติดฝาปิดจุกยาง (rubber stopper) บนปีกทั้งสองข้างของคลิปหนีบกระดาษ (paper binder clip) ด้วยกาว (glue) จากนั้นนำคลิปหนีบกระดาษนี้ไปติดตั้งเข้ากับเหล็กเสียบกระดาษ (memo spike holder) คลิปหนีบกระดาษสามารถเลื่อนขึ้น-ลงเพื่อปรับความสูงได้ตามต้องการ เพราะ

ความยืดหยุ่นจากฝาปิดจุกยาง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนขาตั้งและที่หนีบ (stand and clamp) ของชุดการไทเทรต

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

ติดตั้งชุดกระบอกฉีดยาเข้ากับชุดขาตั้งและที่หนีบ นำขวดแก้ว (vial bottle) มาวางไว้ใต้กระบอกฉีดยา ขวดแก้วเปรียบเสมือนเป็นขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) สำหรับบรรจุสารละลายขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนของการสร้างชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ

การใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในการไทเทรตกรด-เบส

ขั้นตอนสำหรับการใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำในการไทเทรตกรด-เบส มีดังนี้

เปิดสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) 0.05 M KHP ปริมาตร 5.00 mL ลงในขวดแก้ว จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ ฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH (ที่บรรจุในกระบอกจีดยา) 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

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

ตาราง 1 เปรียบเทียบผลการทดลองจากการไทเทรตด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐาน

กรดตัวอย่าง	ความเข้มข้นค่าจริง	ความเข้มข้นที่คำนวณได้ (n = 3)			
		ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้น	%error	ชุดบิวเรตมาตรฐาน	%error
$\text{CH}_3\text{COOH}^\dagger$	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

¹กรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้มสายชูจัดเป็นเครื่องปรุงรสอาหารชนิดหนึ่งที่ให้รสเปรี้ยว มี CH_3COOH ความเข้มข้น 5%

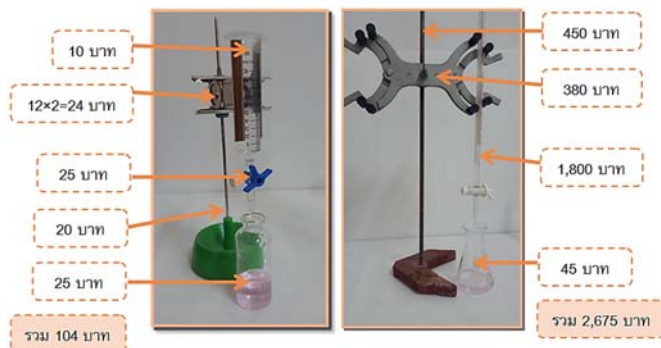
²กรดฟอร์มิกหรือกรดมดนิยมนำมาผสมกับน้ำยางเพื่อทำให้ยางจับตัวกันเป็นแผ่นหรือก้อน มี HCOOH ความเข้มข้น 85-95%

เป็นผู้สาธิตการทดลองเพื่อให้นักเรียนได้รู้จักสารเคมีที่ใช้ ทักษะที่เป็นพื้นฐาน และขั้นตอนของการไทเทรต ภายหลังจากการสาธิตของครู นักเรียนเป็นผู้ที่ได้ลงมือปฏิบัติจริงด้วยตนเอง โดยนักเรียนทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4-5 คน หลังจากที่ได้ทดลองด้วยตนเองแล้ว นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักเรียนกับนักเรียน และระหว่างนักเรียนกับครู เกี่ยวกับผลจากทฤษฎีกับผลจากการทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ราคาของวัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นและต้นทุนทั้งหมดระหว่างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นกับชุดบิวเรตมาตรฐานแสดงในภาพที่ 3 วัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นที่ใช้ในการสร้างชุดไทเทรตอย่างง่ายที่สร้างขึ้นประกอบด้วย กระจกบอณินิตยา ขนาด 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/อุป-

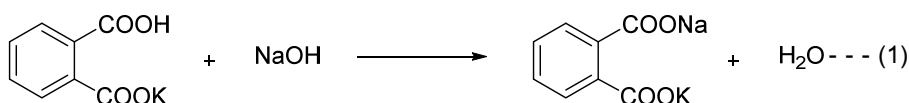
กรณ์แต่ละชิ้นที่ใช้ในชุดบิวเรตมาตรฐานประกอบด้วย ขาตั้งราคา 450 บาท มือหนีบปีกผีเสื้อราคา 380 บาท บิวเรตราคา 1,800 บาท และขวดรูปชมพู่ราคา 45 บาท รวมต้นทุนทั้งหมดสำหรับชุดบิวเรตมาตรฐานคือ 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ US\$76.5) จะเห็นได้ว่า นอกจากวัสดุ/อุปกรณ์แต่ละชิ้นสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายยาหรือตามท้องตลาดทั่วไปแล้ว 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 ที่พัฒนาขึ้นนี้มีราคาถูกกว่า standard buret ค่อนข้างมาก (ประมาณ US\$30-40) นอกจากชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ใช้สารในปริมาณน้อยกว่าบิวเรตมาตรฐานแล้ว ยังช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองอีกด้วย



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

การประยุกต์ใช้ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้ ผู้วิจัยนำไปใช้เป็นการสอนสำหรับการสาธิตการไทเทรตกรด-เบสในห้องเรียนโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของกรด-เบส ในเบื้องต้นผู้วิจัยนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มาทำปฏิกิริยาสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) ในการทดลองนี้สารละลาย NaOH เป็นสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard solution) ถึงแม้ NaOH เป็นของแข็งสีขาว แต่เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดีมาก ดังนั้นสารละลาย NaOH ที่เตรียมขึ้นมาจึงมีความเข้มข้นที่ไม่แน่นอนและ

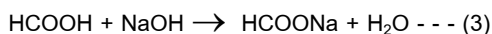
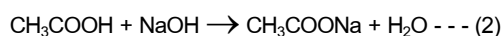
จำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยการไทเทรตกับสารละลาย KHP ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard solution) เพราะ KHP เป็นสารที่อยู่ในสถานะของแข็ง มีเสถียรภาพสูง มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีสูตรทางเคมีที่แน่นอน จึงทำให้สามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนได้จากน้ำหนักและปริมาตรที่เตรียมขึ้น สารละลาย KHP จึงมีความเข้มข้นที่แน่นอนและถูกต้องมากกว่าสารละลาย NaOH ปฏิบัติการเคมีจากการไทเทรต สารละลาย NaOH กับสารละลาย KHP แสดงในสมการ (1)



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

นักเรียนสามารถนำสารละลาย NaOH ที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอนนี้ไปใช้ประโยชน์ในการหา

ความเข้มข้นของกรดตัวอื่นที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันได้ เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) และกรดฟอร์มิก (HCOOH) ปฏิบัติการเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลาย NaOH กับสารละลาย CH_3COOH และ HCOOH สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังสมการ (2) และ (3)



เมื่อ CH_3COOH ทำปฏิกิริยากับ NaOH จะได้เกลือโซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) และน้ำ เป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อ HCOOH ทำปฏิกิริยากับ NaOH จะได้เกลือโซเดียมฟอร์มเมต (HCOONa) และน้ำเป็นสารผลิตภัณฑ์ สมการทั้ง 2 สมการมีอัตราส่วนของโมลระหว่างกรดกับเบสเป็น 1:1 เหมือนกัน จากความรู้เกี่ยวกับปริมาณสัมพันธ์ นักเรียนสามารถ

ใช้อัตราส่วนนี้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของกรดทั้ง 2 ชนิดแล้วเทียบกับค่าความเข้มข้นที่รายงานไว้บนฉลากสินค้าได้

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

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

ด้านค่าใช้จ่าย: ต้นทุนสำหรับชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ราคา 104 บาทต่อชุด (ประมาณ US\$3) ส่วนต้นทุนสำหรับชุดบิวเรตมาตรฐานราคา 2,675 บาทต่อชุด (ประมาณ US\$76.5) ดังนั้น ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อบส่วนนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์และมีงบประมาณไม่เพียงพอในการซื้ออุปกรณ์ และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของโรงเรียน และทำให้มี

งบประมาณเหลือพอสำหรับใช้ซื้อสารเคมีที่จำเป็นต้องใช้ในการเรียนการสอนมากขึ้น

ด้านปริมาณสารที่ใช้: กระบอกจัตยาที่ใช้ในชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้มีปริมาตรบรรจุเพียง 10 mL ส่วนบิวเรตมาตรฐานขนาดเล็กที่สุดที่ใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการจะมีปริมาตรบรรจุอยู่ที่ 25 mL ดังนั้นชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อบส่วนนี้จึงใช้ปริมาณสารที่น้อยกว่า

ด้านเวลา: เมื่อใช้ปริมาณสารที่น้อยกว่าชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้จึงใช้เวลาที่น้อยกว่าในการทดลองแต่ละครั้ง ทำให้มีเวลามากขึ้นในการวิเคราะห์ผลและคำนวณความเข้มข้นจากผลการทดลองที่ได้

ด้านสิ่งแวดล้อม: การทดลองแบบย่อบส่วนใช้ปริมาณสารที่น้อยในการไทเทรตแต่ละครั้งจึงทำให้ของเสียทางเคมี (chemical waste) ที่เกิดจากการทดลองมีปริมาณน้อยลง ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ด้านการเรียนรู้: ชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อบส่วนและต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้อธิบายการไทเทรตกรด-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 ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุด
 ไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ 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. อุปกรณ์การทดลองชุดไทเทรตอย่างง่ายมีจำนวนเพียงพอแก่นักเรียน	3.83	0.92	มาก
5. การทดลองด้วยชุดไทเทรตอย่างง่าย ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผล	4.04	0.69	มาก
6. ในการทดลอง นักเรียนคิดว่า นักเรียนมีพัฒนาการเกี่ยวกับ ทักษะปฏิบัติการ ทดลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น	4.33	0.64	มาก
7. ในระหว่างที่ทำการทดลอง ผู้เรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่าง เพื่อนในกลุ่มและเรียนรู้การทำงานเป็นทีม	4.17	0.48	มาก
8. การทดลองนี้นักเรียนรู้สึกมีแรงจูงใจที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากขึ้น	4.50	0.66	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.33	0.44	มาก
เฉลี่ยรวม	4.37	0.41	มาก

แบบย่อส่วนใหม่และไม่เหมือนกับชุดการไทเทรต
 อื่นใดมาก่อน วัสดุ/อุปกรณ์หาซื้อได้ง่ายตามท้องถิ่น
 เช่น ร้านขายยาทั่วไป ซึ่งน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับ
 ครูวิทยาศาสตร์ทุกระดับชั้นในการนำไปสอนใน
 ห้องปฏิบัติการ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดการไทเทรตอย่าง
 ง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นสื่อการ
 สอนเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ในห้องเรียน ชุด

การไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนนี้สามารถประ-
 ดิษฐ์ขึ้นมาได้ง่าย วัสดุ/อุปกรณ์สามารถหาซื้อได้
 ตามท้องตลาดและร้านขายยาทั่วไป ต้นทุนสำหรับ
 ชุดไทเทรตอย่างง่ายนี้ 104 บาทต่อชุด (ประมาณ
 US\$3) น้อยกว่าชุดบิวเรตมาตรฐานที่มีราคา 2,675
 บาทต่อชุด (ประมาณ US\$76.5) นอกจากนี้มีต้น-
 ทุนต่ำแล้ว ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วน
 นี้ยังใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ทำให้ของเสียที่
 เกิดจากการทดลองมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย
 จากการสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรม

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

ข้อเสนอแนะ

ชุดอุปกรณ์ไทเทรตอย่างง่ายนี้สามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน เรื่อง การไทเทรตสำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์และมีงบประมาณไม่เพียงพอในการซื้ออุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ครูผู้สอนที่สนใจสามารถปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์เป็นไปตามบริบทของโรงเรียนเพื่อไทเทรตหาปริมาณกรด-เบสจากสารตัวอย่างในห้องปฏิบัติการหรือสารตัวอย่างที่ใช้ในชีวิตประจำวันตามบริบทของชุมชนนั้น ๆ ได้ เช่น นักเรียนสามารถใช้ชุดอุปกรณ์ไทเทรตอย่างง่ายนี้ในการตรวจสอบความเข้มข้นของกรดน้ำส้มสายชูที่ขายตามท้องตลาด ใช้ตรวจสอบความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่เกษตรกรชาวสวนยางใส่ในน้ำยางเพื่อทำยางนั้นกลายเป็นก้อนก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง 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.
- Achary, S., and Suwannathada, J. (2010). The development of microscale laboratory: Titration. **International Journal of Arts and Science** 3(9): 296–305.
- Achary, 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.
- Singh, 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.
- Singh, 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.
- Skoog, 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) อยู่ในเว็บไซต์ของวารสาร ได้แก่ ชุดการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำสำหรับปฏิบัติการระดับไมโครในห้องเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ด้วยชุดทดลองการไทเทรตอย่างง่ายแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ