PBRU SCIENCE JOURNAL
2021.18(1) : 52-61

การพัฒนาชุดทดสอบสำหรับหาปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

Development of a Test Kit for Determining Water Hardness of Swimming Pools

เมมุน ซัตตาร์[1,*], นิรันดร์ บุญยิ่ง[1] และ ฟารีดา หะยีเย๊ะ[2]

Memoon Sattar[1,*], Nirun Boonying[1] and Fareeda Hayeeye[2]

[1]*คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตยะลา*

[2]*คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*

[1]*Faculty of Sports and Health Science, Thailand National Sports University, Yala*

[2]*Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani*

***Corresponding author; E-mail:** memoonsattar@gmail.com

Received: 25 December 2020 /Revised: 20 January 2021 /Accepted: 19 February 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดทดสอบความกระด้างของน้ำโดยอาศัยหลักการพื้นฐานการหาความกระด้างรวมของน้ำด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอใช้เออริโอโครมแบลคทีเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดลองแบบย่อส่วนและพัฒนาขึ้นเป็นชุดทดสอบความกระด้างของน้ำจากงานวิจัยพบว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถหาค่าความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ และให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับวิธีการไทเทรตแบบมาตรฐาน อีกทั้งยังสะดวกต่อการใช้งานและสามารถลดขั้นตอนการวิเคราะห์ ทำให้ทราบผลอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่ถึง 1 นาที นอกจากนี้การหาค่าความกระด้างของน้ำด้วยชุดทดสอบยังมีต้นทุนในส่วนปริมาณของสารเคมีที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐานแบบไทเทรต ถึง 95% ซึ่งเป็นจุดเด่นของชุดทดสอบความกระด้างของน้ำที่พัฒนาขึ้นนี้

คำสำคัญ: ความกระด้าง ชุดทดสอบ การไทเทรตด้วยอีดีทีเอ

Abstract

In this work, the water hardness test kit was developed base on the titration with EDTA by using Eriochrome black T as an indicator. The small-scale experiment was used for the water hardness test kits. From this study, the developed test kit can determine the hardness of the pool water, giving a percent relative error of less than 10% as compared with the standard titration method. The advantages of hardness analysis with test kits were a convenience for field test of local water and give quick results in 1 minute. In addition, the cost estimation of the test kit was lower than the standard method up to 95%.

Keywords: Hardness, Testing kit, EDTA titration

บทนำ

การว่ายน้ำจัดว่าเป็นการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่ดีเหมาะกับทุกช่วงอายุทำให้ร่างกายแข็งแรงและช่วยกระชับกล้ามเนื้อในทุก ๆ ส่วนของร่างกาย แต่ทั้งนี้การว่ายน้ำในสระว่ายน้ำที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าความเป็นกรดด่างที่สูงเกินไปในสระว่ายน้ำส่งผลให้สภาพฟันของนักว่ายน้ำเกิดการสึกกร่อนได้ง่าย [1-3] นิยมใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำอย่างไรก็ตามค่าคลอรีนอิสระในน้ำสูงเกินมาตรฐาน จะส่งผลเสียต่อนักว่ายน้ำโดยเป็นอันตรายต่อผิวหนังและระคายเคืองตา [4, 5] อีกทั้งยังทำให้การควบคุมค่าความเป็นกรดด่างทำได้ยาก นอกจากนี้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนทำให้เกิดสารตกค้างที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารคลอรีนในรูป HOCl และ OCl^- ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยสารกลุ่มนี้ถูกจัดว่าเป็นกลุ่มสารก่อมะเร็ง เช่นกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (THMs) และกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก (HAAs) [6] ขึ้นเมื่อสระว่ายน้ำมีสารเหล่านี้ก็จะส่งผลกระทบต่อนักว่ายน้ำ ทั้งนี้ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำอยู่มากมาย เช่น การกำจัดกรดฮาโลแอซิติกด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชั่น [7] และการกำจัดเชื้อโรคด้วยการควบคุมคุณภาพน้ำโดยการใช้โอโซน [8, 9] นอกจากค่าคลอรีนและความเป็นกรดด่างแล้วค่าความกระด้างของน้ำก็ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำในสระว่ายน้ำอีกด้วย โดยพบว่าสระว่ายน้ำที่มีค่าความกระด้างของน้ำในสระต่ำจะเกิดการ กัดกร่อนขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบทำน้ำร้อนอีกทั้งทำให้ระคายเคืองผิวหนังและตาของผู้ใช้งาน และหาก ค่าความกระด้างของน้ำสูงจะส่งผลให้น้ำในสระว่ายน้ำตกตะกอนและขุ่น ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบกรองน้ำ ระบบทำน้ำร้อน ระบบเกลือ ระบบท่อน้ำ ปั๊มของระบบหมุนเวียนน้ำของสระว่ายน้ำลดต่ำลง [10, 11] ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อทุกระบบของสระว่ายน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญของการทดสอบหาปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

ความกระด้างของน้ำ (Water hardness) ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจากธาตุในกลุ่มอัลคาไลน์ เอิร์ท หรือโลหะหมู่ 2 ในตารางธาตุ โดยเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือการย่อยสลายสารอินทรีย์บนชั้นผิวหน้าดินโดยแบคทีเรีย แล้วรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อไหลซึมไปสัมผัสกับชั้นหินที่เป็นด่างโดยเฉพาะชั้นหินปูนซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือ แมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) เป็นองค์ประกอบหลักก็จะละลายหินปูนมากับน้ำส่งผลให้น้ำมีปริมาณ Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} มากขึ้นความกระด้างของน้ำจึงเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วปริมาณ Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} จะเป็นตัววัดความกระด้างของน้ำ แสดงได้ดังปฏิกิริยาเคมี [12]

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \longrightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$Mg^{2+} + 2HCO_3^- \longrightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$$

เนื่องจากน้ำที่มีความกระด้างจะเป็นน้ำที่มีหินปูน $CaCO_3$ ละลายอยู่ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณความกระด้างได้จากปริมาณหินปูนของ $CaCO_3$ และ รายงานในหน่วยมิลลิกรัมของ $CaCO_3$ ต่อน้ำ 1 ลิตร (mg L^{-1}) หรือส่วนในล้านส่วน (ppm)

จากประกาศของ กระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 1/2550 ว่าด้วยเรื่องการควบคุมการประกอบกิจการสระว่ายน้ำ ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของเคมีต่าง ๆ ในสระว่ายน้ำ โดยพบว่าค่าเคมีที่เกี่ยวข้องกับการ

บำบัดน้ำในสระว่ายน้ำจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ การฆ่าเชื้อโรค (คลอรีนอิสระ) และการรักษาสมดุลของน้ำ (ความเป็นกรดด่าง, ความกระด้าง และอัลคาลินิตี้รวม) ความกระด้างของน้ำเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของน้ำในสระว่ายน้ำโดยเป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้กระบวนการต่าง ๆ ในระบบการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้งานสระว่ายน้ำ และยังป้องกันปัญหาน้ำเสีย ทั้งนี้ปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานควรอยู่ในช่วง 80-100 ppm [13] ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณความกระด้างของน้ำจึงจำเป็นต่อการรักษาสมดุลของน้ำในสระว่ายน้ำ ทั้งนี้โดยทั่วไปการวิเคราะห์หาปริมาณความกระด้างของน้ำนั่นสามารถกระทำได้โดยอาศัยเทคนิคการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) เนื่องจาก EDTA สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้หลายชนิด จึงนิยมใช้เป็นไทแทรนต์ในการไทเทรตทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้ดีเนื่องจากเมื่อ EDTA แตกตัวให้โปรตอนไปทั้งหมด 4 ตัว ทำให้ EDTA เกิดคู่อิเล็กตรอนอิสระอยู่ 6คู่ที่สามารถเกิดพันธะชนิดโคออร์ดิเนตกับโลหะได้ดังนั้น EDTA จึงเป็นลิแกนด์ชนิด hexadentate ligand โดยจะเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนไม่มีสีในอัตราส่วน 1 โมล EDTA : 1 โมลของโลหะ โดยอินดิเคเตอร์เออริโอโครมแบลคทีนิยมใช้ในการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติสำหรับการไทเทรตสารประกอบเชิงซ้อนของ EDTA เนื่องจากเป็นสีย้อมทางอินทรีย์ที่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะได้ วิธีการไทเทรตนี้มีข้อจำกัดคืออาจมีค่าคลาดเคลื่อนหากดำเนินการช้าเนื่องจาก Ca^{2+} จะเกิดการตกตะกอนได้ [14] อีกทั้งยังจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและอาศัยนักเคมีที่มีความชำนาญในการวิเคราะห์เท่านั้นเนื่องจากวิธีการไทเทรตต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางเคมีจำนวนมากทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายและมีความยุ่งยากสำหรับบุคคลทั่วไปที่มิใช่นักเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำในสระว่ายน้ำจำเป็นต้องทดสอบปริมาณความกระด้างทุกวัน การทดสอบด้วยวิธีการไทเทรตมีความยุ่งยากและความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากผู้ดูแลสระว่ายน้ำส่วนใหญ่มิใช่นักเคมี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาชุดทดสอบความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำเพื่อสามารถนำไปตรวจสอบปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำได้โดยมีขั้นตอนการทดสอบที่ง่ายสามารถทราบผลได้ทันที มีความแม่นยำสูง และไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญเฉพาะด้าน โดยชุดทดสอบพัฒนาขึ้นมาจากการทดลองแบบย่อส่วนของการไทเทรตอาศัยการนับจำนวนหยดของน้ำยาทดสอบด้วยการใช้หลอดหยดที่ได้มาตรฐานจนกระทั่งน้ำตัวอย่างเปลี่ยนสี จากนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณความกระด้างของน้ำในเทอมของความเข้มข้นของ $CaCO_3$ ในหน่วย ppm ด้วยวิธีคำนวณอย่างง่ายและให้ผลลัพธ์รวดเร็วภายในเวลาไม่เกิน 1 นาที นอกจากนี้ชุดทดสอบที่ผลิตขึ้นยังมีราคาถูกกว่าชุดทดสอบที่วางขายตามท้องตลาดและมีประสิทธิภาพโดยให้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับวิธีการไทเทรต

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและสารเคมี

สารละลายเกรดวิเคราะห์ดังนี้ สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์จากบริษัท Merck แคลเซียมคาร์บอเนตและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจาก Kem Aus เออริโอโครม

แบลคที, เอทานอล 95% และไตรเอทาโนลามีนจาก Merck เอทาโนลามีน และเกลือของไดโซเดียมแมกนีเซียมอีดีทีเอ (EDTA $MgNa_2$) จาก Ajax Aus

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมสารละลายและหาค่าความกระด้างของน้ำด้วยวิธีการไทเทรต

การไทเทรตหาความกระด้างโดยใช้สารละลาย EDTA เป็นการหาผลรวมของสารที่ก่อให้เกิดความกระด้างโดยจะใช้เออริโอโครมแบลคทีเป็นอินดิเคเตอร์ [15] ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

1.1 การเตรียมสารละลาย

- สารละลายมาตรฐาน EDTA เข้มข้น 0.01 M

สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 0.01 M 25 cm^3 เติม $MgSO_4.7H_2O$ หนัก 0.03 g คนสารละลายเป็นเนื้อเดียวเพื่อทำให้เออริโอโครมแบลคที ทำงานได้ดีขึ้น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 cm^3 เก็บสารละลายในขวดพอลิเอทิลีน

- สารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10

ชั่งสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ หนัก 6.8 g ละลายกับสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นปริมาตร 57 cm^3 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 cm^3 เก็บสารละลายบัฟเฟอร์ในขวดพลาสติก หรือขวดแก้วบอโรซิลิเคต ปิดจุกให้แน่นและไม่ควรเก็บสารนี้เกิน 1 เดือน

- สารละลายอินดิเคเตอร์

ชั่งเออริโอโครมแบลคทีหนัก 0.15 g ละลายในสารละลายไตรเอทาโนลามีน 15 cm^3 เติม 95% เอทานอล 15 cm^3 เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาลที่กันสารละลายถูกแสงสว่าง

- สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนตที่อบจนแห้ง 0.2500 g ละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 M จนละลายหมดพอดี ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ได้มีปริมาตรเป็น 250 cm^3

1.2 การหาปริมาณความกระด้างด้วยการไทเทรต

1.2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA 0.01 M และการทำแบลงค์

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$ 50 cm^3 เติมสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10 และหยดสารละลายเออริโอโครมแบลคที 3-4 หยด ไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA 0.01 M จนกระทั่งถึงจุดยุติซึ่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงแดงไปเป็นสีน้ำเงิน ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง หาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลาย EDTA จากปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้ จากนั้นทำแบลงค์โดยการปิเปตน้ำกลั่น 50 cm^3 แทนสารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$

1.2.2 การหาค่าความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

การหาความกระด้างของน้ำตัวอย่างบริเวณสระว่ายน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ ทำการทดลองเช่นเดิมเพียงแต่เปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$ และน้ำกลั่นเป็นน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรสารละลาย EDTA ที่ใช้ จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณความกระด้างของน้ำด้วยสมการที่ (1) [15]

$$CaCO_3\,(ppm) = \frac{C_{EDTA} \times V_{EDTA} \times M.W.CaCO_3 \times 10^3}{V_{sample}}$$

เมื่อ C_{EDTA} คือ ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA (mol L^{-1}), V คือปริมาตรของสาร (cm^3) และ M.W. $CaCO_3$ = มวลโมเลกุลของ $CaCO_3$ คือ 100 g mol^{-1}

2. การเตรียมและการหาปริมาณความกระด้างของน้ำด้วยชุดทดสอบ

การเตรียมชุดทดสอบความกระด้างของน้ำอาศัยหลักการพื้นฐานของการไทเทรตและทำการทดลองแบบย่อส่วนทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

2.1 การเตรียมสารละลาย

- สารละลายหมายเลข (1)

ละลายเออริโอโครมแบลคทีในสารละลายผสมของไตรเอทาโนลามีนและเอทานอล 95% คนให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลายหมายเลข (1) ซึ่งเป็นสารละลายสีน้ำเงิน

- สารละลายหมายเลข (2)

เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงในน้ำกลั่น 40 cm^3 คนให้เป็นเนื้อเดียวกันเติมเอธาโนลามีน และ $EDTAMgNa_2$ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 cm^3 การเติมแมกนีเซียมไอออนลงไปทำให้อินดิเคเตอร์ทำงานได้ดีขึ้น สังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้น จากนั้นเติมสารละสายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH10 และเติม EDTA ลงไปจะได้สารละลายหมายเลข (2) ซึ่ง 1 หยด = 20 ppm $CaCO_3$

- สารละลายหมายเลข (3)

เตรียมโดยการเจือจางสารละลายหมายเลข (2) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 cm^3 จะได้สารละลายหมายเลข (3) ซึ่ง1 หยด = 10 ppm $CaCO_3$

โดยทั้งนี้ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมชุดทดสอบทั้งหมดอาศัยหลักการพื้นฐานของการไทเทรตและทำการทดลองแบบย่อส่วนพัฒนาจนเป็นชุดทดสอบความกระด้างของน้ำ

2.2 การหาความกระด้างของน้ำโดยใช้ชุดทดสอบ

2.2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA 0.01 M

สารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$ 10 cm^3 เติมสารละลายหมายเลข (1) ลงไป 1-2 หยดเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นหยดสารละลายหมายเลข (2) ทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าไปด้วย จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีชมพูม่วงไปเป็นสีฟ้า ดังแสดงใน Figure 1 จากนั้นคำนวณความกระด้างของน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำโดย 1 หยด = 20 ppm $CaCO_3$ ซึ่งก็คือน้ำตัวอย่างมีค่าความกระด้าง 20 ppm และหากต้องการค่าที่ใกล้เคียงและถูกต้องยิ่งขึ้น ทำการทดลองซ้ำโดยใช้ สารละลายหมายเลข (3) แทนสารละลายหมายเลข (2) ซึ่งจะให้ค่าความกระด้างของน้ำ 1 หยด = 10 ppm $CaCO_3$

2.2.2 การหาความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

ทำการทดลองเช่นเดิมโดยเปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$ เป็นน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ และเลือกใช้สารละลายหมายเลข (3) ในการวิเคราะห์เนื่องจากสามารถให้ค่าความกระด้างที่ใกล้เคียงกับค่าจริง

3. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ [16]

ค่าเฉลี่ยในการทดลองซ้ำโดยใช้สมการที่ (2) ความแม่นยำและความเที่ยงของการทดสอบปริมาณความกระด้างของน้ำสามารถคำนวณด้วยค่า S.D และ %RSD โดยใช้สมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \qquad (2)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (3)$$

$$\%RSD = \frac{S.D.}{\bar{x}} \qquad (4)$$

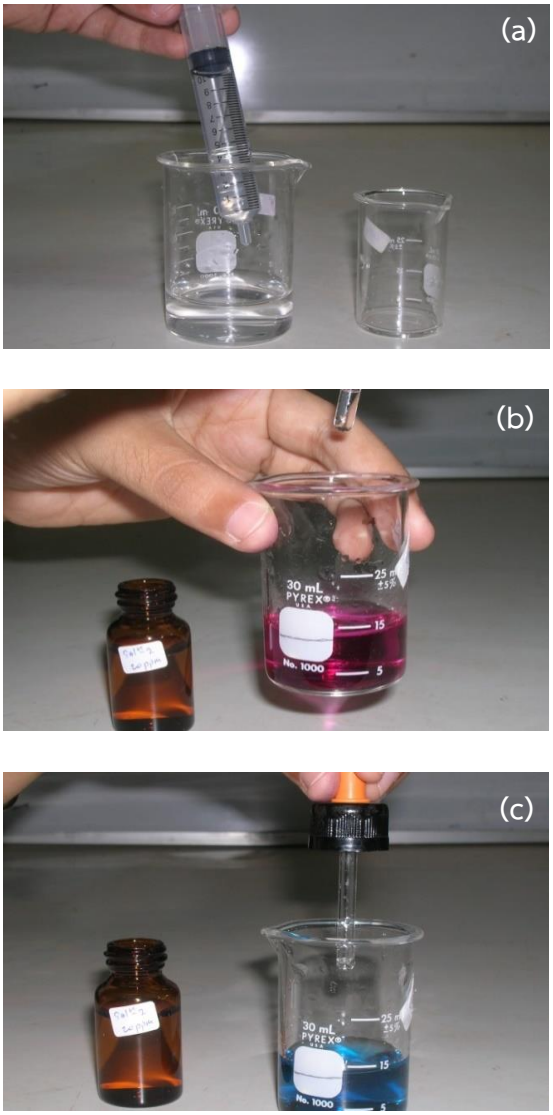

Figure 1 Procedures for using the test kit; (a) Sample water 10 cm^3 (b) Drop of reagent No.1 until a pink solution (c) Drop by drop of reagent No. 2 until the color changes from pink to blue

ผลการวิจัย

ผลของการหาความกระด้างของสารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$โดยวิธีการไทเทรตและชุดทดสอบ พบว่าให้ค่าความกระด้างที่ใกล้เคียงกันดังแสดงใน Table 1และได้ทำการทดสอบหาความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำจากแหล่งตัวอย่าง 6 แหล่ง คือ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติวิทยาเขตยะลา โรงแรมซีเอส ปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี และวิทยาเขตหาดใหญ่ โรงเรียนแหลมทองอุปถัมภ์ และสระว่ายน้ำเยลโล่ ปัตตานี พบว่า แหล่งน้ำทั้ง 6 แหล่งมีปริมาณความกระด้างไม่เกิน 100 ppm ตามค่ามาตรฐานของประกาศ กระทรวงสาธารณสุข ดังแสดงใน Table 2 นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ต้นทุนของการหาปริมาณความกระด้างของน้ำโดยวิธีการไทเทรตและการใช้ทดสอบ พบว่าการหาปริมาณความกระด้างของน้ำด้วยวิธีการไทเทรตมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้เป็นจำนวนมากและราคาแพงถึงแม้จะใช้ได้ในระยะยาวแต่ทั้งนี้ในแง่ของสารเคมีที่ใช้การทดสอบของวิธีการไทเทรตในแต่ละครั้งจะใช้สารเคมีในปริมาณมากกว่าการใช้ชุดทดสอบ รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการทดสอบตั้งแต่ขั้นเริ่มต้นจนได้ค่าความกระด้างของน้ำพบว่าการใช้ชุดทดสอบใช้เวลาเฉลี่ยเพียงไม่ถึง 1 นาที ซึ่งเร็วกว่าการทดสอบโดยการไทเทรตซึ่งมีความยุ่งยากและจำเป็นต้องอาศัยนักเคมีที่มีความชำนาญ

Table 1. Comparison of hardness analysis by using EDTA titration and test kit

Concentration of $CaCO_3$ (ppm)	Hardness ± S.D. (ppm)		% Error between EDTA titration and test kits
	EDTA Titration* (%RSD)	Test Kits**; (%RSD)	
20	19 ± 0.57 (3.09)	20 ± 0.00 (0.00)	5
40	38 ± 1.53 (3.98)	40 ± 1.41 (3.53)	5
60	60 ± 1.25 (2.09)	60 ± 0.00 (0.00)	0
80	79 ± 1.75 (2.22)	80 ± 1.00 (1.25)	1
100	100 ± 2.52 (2.51)	100 ± 1.74 (1.74)	0
120	118 ± 1.53 (1.29)	120 ± 1.40 (1.17)	2

From *3 and **100 replicate analyses (Reagent No.3)

Table 2. Results of hardness testing of sample water from swimming pool

Sample water from swimming pool	Hardness (ppm) ± SD.		% Error between EDTA titration and test kits
	EDTA Titration* (%RSD)	Test Kits** (%RSD)	
TNSU Yala	86 ± 2.65 (3.08)	90 ± 1.00 (1.11)	4
PSU Hatyai	92 ± 3.05 (3.33)	100 ± 1.40 (1.40)	9
CS Hotel Pattani	87 ± 4.04 (4.66)	90 ± 1.73 (1.79)	3

Table 2. Results of hardness testing of sample water from swimming pool (cont.)

Sample water from swimming pool	Hardness (ppm) ± SD.		% Error between EDTA titration and test kits
	EDTA Titration* (%RSD)	Test Kits** (%RSD)	
PSU Pattani	94 ± 3.05 (3.23)	100 ± 1.97 (1.98)	6
Lamtongupatam School	98 ± 2.08 (2.13)	100 ± 1.74 (1.74)	2
Yellow Swimming Pool Pattani	96 ± 4.04 (4.22)	100 ± 2.19 (2.22)	4

From *3 and **100 replicate analyses (Reagent No.3)

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เตรียมชุดทดสอบความกระด้างของน้ำโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการไทเทรตและทำการทดลองแบบย่อส่วน โดยในการเตรียมชุดทดสอบได้มีการเติมแมกนีเซียมไอออนลงไปเพื่อทำให้อินดิเคเตอร์เออริโอโครมแบลคทีทำงานได้ดีขึ้น สังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้นจากการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายEDTA ด้วยการใช้สารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$ ไทเทรตกับสารละลาย EDTA จนสารละลายเปลี่ยนจากม่วงแดงเป็นสีฟ้าอย่างถาวร พบว่าปฏิกิริยาในการไทเทรตเป็นดังนี้ $Ca^{2+} + Y^{4-} \rightarrow CaY^{2-}$ โดยที่ 1 โมล $Ca^{2+} \equiv$ 1 โมล EDTA โดยจะได้ว่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายEDTA คือ 0.01 M นอกจากนี้พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณความกระด้างของสารละลายมาตรฐาน $CaCO_3$ และน้ำจากแหล่งน้ำตัวอย่างทั้ง 6 แหล่งโดยวิธีการไทเทรตซึ่งคำนวณจากปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้และชุดทดสอบ ซึ่งคำนวณจากจำนวนหยดของสารละลายหมายเลข (3) ที่ใช้ โดย 1 หยด มีปริมาตรประมาณ 0.05 cm^3 และให้ค่าความกระด้างของน้ำ 10 ppm ทำการทดลองแบบย่อส่วน พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ค่าความกระด้างที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่า %RSD ที่ไม่เกิน 5 % อีกทั้งผลจาก Table 1 และ Table 2 พบว่า %RSD ของการใช้ชุดทดสอบมีค่าน้อยซึ่งเป็นการยืนยันว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำมีความเที่ยงและแม่นยำ นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของค่าความกระด้างของน้ำจากการทดสอบด้วยชุดทดสอบเมื่อเทียบกับการไทเทรตมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน10% จากค่าทางสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำสามารถนำมาใช้แทนวิธีการการไทเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งจากการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งในส่วนอุปกรณ์ วัสดุสารเคมี และเวลาที่ใช้ของการหาปริมาณความกระด้างของน้ำโดยวิธีการไทเทรตและชุดทดสอบแสดงให้เห็นว่าต้นทุนในการหาความกระด้างของน้ำโดยใช้ชุดทดสอบสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 80% และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบค่าความ

กระด้างของน้ำด้วยชุดทดสอบให้ผลการทดสอบที่รวดเร็วกว่าวิธีการไทเทรตถึง 95% ดังนั้นชุดทดสอบความกระด้างของน้ำจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทดสอบค่าความกระด้างของน้ำเพื่อการควบคุมคุณภาพของน้ำในสระว่ายน้ำเนื่องจากการใช้ชุดทดสอบเป็นวิธีการที่สะดวกและไม่จำเป็นต้องใช้นักเคมีที่ชำนาญการอีกทั้งยังสามารถทดสอบในภาคสนามและสามารถทราบผลได้ในเวลาอันรวดเร็ว จากผลการวิจัยทั้งหมดเป็นการยืนยันว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้แทนวิธีการไทเทรต นอกจากนี้ชุดทดสอบความกระด้างของน้ำยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบน้ำกระด้างให้สูงขึ้นโดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลงเมื่อเทียบกับวิธีไทเทรตด้วยการเตรียมสารละลายที่ใช้ทดสอบให้มีความเข้มข้นให้เหมาะสมกับแหล่งน้ำที่จะนำมาทดสอบ เพื่อให้จำนวนหยดที่ใช้ให้ค่าความกระด้างใกล้เคียงกับค่าความกระด้างของแหล่งน้ำที่นำมาทดสอบ

สรุปผลการวิจัย

ความกระด้างเป็นหนึ่งในค่าเคมีที่ใช้วัดสมดุลของน้ำในสระว่ายน้ำดังนั้นการหาปริมาณความกระด้างของน้ำจึงจำเป็นต้องทำได้ด้วยขั้นตอนง่าย ๆ จากการทดลองพบว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความกระด้างของน้ำใกล้เคียงกับวิธีการไทเทรตและพบว่า มีค่า%RSD ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นการยืนยันว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำมีความเที่ยงและแม่นยำมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปทดสอบนอกห้องปฏิบัติการในบริเวณสระว่ายน้ำได้อย่างสะดวกและให้ผลลัพธ์ในเวลาอันรวดเร็ว บุคคลทั่วไปสามารถใช้ชุดสอบความกระด้างของน้ำได้ง่ายกว่าการไทเทรตที่จำเป็นต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการอีกทั้งชุดทดสอบความกระด้างของน้ำที่พัฒนาขึ้นยังเหมาะสมกับการใช้งานภาคสนามบริเวณต่างๆ ที่นอกเหนือจากสระว่ายน้ำได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตยะลา ผู้ สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 สัญญาทุนเลขที่ 11/2563

เอกสารอ้างอิง

1. Buczkowska, R.J., Łagocka, R., Kaczmarek, W., Górski, M. and Nowicka, A. 2013. Prevalence of dental erosion in adolescent competitive swimmers exposed to gas-chlorinated swimming pool water. *Clin. Oral. Invest*. 17: 579-583.
2. Chuenarrom, C., Daosodsa, P. and Charoenphol, P. 2014. Effect of excessive trichloroisocyanuric acid in swimming pool water on tooth erosion. *Songklanakarin J. Sci.& Technol*. 36 (4): 445-450.
3. Hara, A.T, Carvalho, J.C and Zero. D.T. 2015.In Causes of dental erosion: extrinsic factors. dental erosion and its clinical management. New York: Springer: 69-96.
4. Delgado, A.J and Olafsson, V.G. 2017. Acidic oral moisturizers with pH below 6.7 may be harmful to teeth depending on formulation: A

short report. *Clin. Cosmet. Inves. Dent*. 9: 81-83.

5. Huihui, Z., Linyan, Y., Yejin. L., Weibo X., Kai, L., Yingqi, X. Shujuan, M. and Guomin, C. 2020. Environmental occurrence and risk assessment of haloacetic acids in swimming pool water and drinking water. *RSC Adv*. 10, 28267-28276.
6. Janthong, J. 2010. *Factors affecting trihalomethanes formation in chlorinated tap water and swimming pool water*. Master of Science thesis in Environmental Science, Silpakorn University. (in thai).
7. Yang, L. Zhou, J. She, Q. P. Wan, M. Wang, R. Chang V.W.C and Tang, C.Y. 2017. Role of calcium ions on the removal of haloacetic acids from swimming pool water by nano-Filtration: mechanisms and implications. *Water Res*. 11: 332-341.
8. Cheema. W., Andersen, H.R. and Kamilla, M.S. 2018. Improved DBP elimination from swimming pool water by continuous combined UV and ozone treatment. *Water Res*. 147: 214-222.
9. Kamilla, M.S, Spiliotopoulou, A. and Cheema, W. (2016). Effect of ozonation of swimming pool water on formation of volatile disinfection by-products-a laboratory study. *Chem. Engineer. J*. 289: 277-285.
10. Pansee, S. (2012). *The possibility of using ozone to control water quality in swimming pools*. Master of science thesis in Environmental Science, Chulalongkorn University. (in Thai).
11. Wirachti, C. (2008). *Swimming pool water quality management*. Master of Engineering, thesis in Environmental Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai).
12. Felber, S. 2017. Water Fundamentals Handbook: Section 2 Water hardness, 1st Ed, Dri-Steem Corporation USA: 7-10.
13. Permanent Secretary of Ministry of Public Health. 2007. Control of swimming pool operations, Ministry of Public Health. 1: 1-8. (in Thai).
14. Reining, R. 2018. Titration Handbook, Theory and practice of titration: Section 6 Complexometric titrations, SI Analytics, Xylem brand Inc. 137-141.
15. Ramya, P., Jagadeesh, A. Tirupathi E. and Venkateswara, L. 2015, A study on the estimation of hardness in ground water samples by EDTA tritrimetric method, *Inter. J. Recent Scientific Research*. 6(6): 4505-4507.
16. Ruengpapan, C. 2013. Basic statistic, 1st Edition, Department of Statistics, Faculty of Science, Khonkaen University. (in thai).