KKU Journal for Public Health Research
Vol.16 No.1 January – March 2023

วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มีนาคม 2566

นิพนธ์ต้นฉบับ

ประสิทธิผลของการใช้ชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือ (อ 31) ในการคัดกรองการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ในน้ำบริโภค

ยุพิน โจ้แปง[(1)], จิรพรรณ โรมา[(1)], พิสิฐ วีระพันธ์[(1)], วาสนา คงสุข[(1)]*

วันที่ได้รับต้นฉบับ: 24 กุมภาพันธ์ 2566
วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 30 มีนาคม 2566

** ผู้รับผิดชอบบทความ*
(1) กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุข กรมอนามัย

บทคัดย่อ

การตรวจหาปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-) ในน้ำบริโภคมีความสำคัญ เพราะไนไตรท์ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นกรมอนามัยจึงกำหนดให้เพิ่มการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ในเกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้กรมอนามัย ฉบับปี พ.ศ. 2563 และแนะนำให้ใช้คลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำบริโภค รวมทั้งใช้ชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือ (อ 31) ในการคัดกรองคุณภาพน้ำบริโภค ส่งผลให้ชุดทดสอบ อ 31 มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และมีการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าคลอรีนในน้ำบริโภคทำให้ปริมาณไนไตรท์ลดลง การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคโดยผู้ใช้ชุดทดสอบเทียบกับวิธีมาตรฐาน และศึกษาประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ โดยเป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) เก็บข้อมูลจากการนำตัวอย่างน้ำบริโภคจำนวน 360 ตัวอย่าง ที่ตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ และนำมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือและปริมาณไนไตรท์ด้วยวิธีมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาในการบรรยายลักษณะของตัวอย่างน้ำบริโภค สถิติ Wilcoxon Signed Ranks test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำบริโภคตรวจพบคลอรีนอิสระคงเหลือ จำนวน 104 ตัวอย่าง (28.9%) ที่ระดับความเข้มข้น 0-13.5 mg/L และตรวจพบไนไตรท์ จำนวน 31 ตัวอย่าง (8.6%) ที่ระดับความเข้มข้น 0-0.4 mg/L การคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานมีค่าความไว ความจำเพาะ ค่าการทำนายผลบวก ค่าการทำนายผลลบ และความถูกต้อง เท่ากับ 100% 96.4% 92.0% 100% และ 97.5% ตามลำดับ และตัวอย่างน้ำบริโภคจำนวน 110 ตัวอย่าง ที่ทดสอบด้วยชุดทดสอบ อ 31 ให้ผลบวกที่ความเข้มข้น $\geq$0.2 mg/L เมื่อเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐานตรวจไม่พบปริมาณไนไตรท์ ซึ่งหากนำชุดทดสอบ อ 31 มาใช้เป็นวิธีการตรวจคัดกรองน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ 28.1% จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบมีความถูกต้องสูงและมีประสิทธิผลในการนำมาใช้คัดกรองตัวอย่างน้ำบริโภคก่อนส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ ซึ่งประชาชนสามารถนำไปเป็นแนวทางปฏิบัติอันจะก่อให้เกิดการประหยัดงบประมาณที่ใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำต่อไป

คำสำคัญ: *ไนไตรท์, ชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือ (อ 31), ประสิทธิผล*

KKU Journal for Public Health Research
Vol.16 No.1 January – March 2023

วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มีนาคม 2566

Original Article

Effectiveness of the Free Residual Chlorine Test Kit for Using as a Screening Test of Nitrite in Drinking Water

Yupin Jopang[(1)]*, *Jirapan Roma*[(1)], *Phisit Werapan*[(1)], *Wassana Kongsuk*[(1)]

Received Date: February 24, 2023
Accepted Date: March 30, 2023

** Corresponding author*
(1) Public Health Laboratory Division, Department of Health

Abstract

The quantification of nitrite (NO_2^-) in drinking water is very important because it affects the health of consumers. As a result, the Department of Health (DOH) included nitrite testing in the DOH's criteria for drinking water quality published in 2020 and recommended using chlorine as disinfectant for drinking water quality processes. Moreover, DOH suggests to use the free residual chlorine test kit as a tool for self-screening test of drinking water quality. Consequently, the free residual chlorine test kits have been used extensively. The previous studies showed that chlorine in drinking water reduces the amount of nitrite. This cross-sectional study aims to identify the effectiveness of free residual chlorine test kit for self-screening test of free residual chlorine in drinking water by comparison with the standard method, and determine the effectiveness of free residual chlorine test kit for using as a preliminary screening test in drinking water before analysis of nitrite. Overall, the 360 drinking water samples were collected and screened for free residual chlorine by using a test kit, and also were analyzed for free residual chlorine and nitrite by standard method. The descriptive statistics were used to describe the characteristics of the drinking water samples and using the Wilcoxon Signed Ranks test to compare the difference between the two groups of samples that were not independent of each other. Results showed that 104 drinking water samples (28.9%) were found free of residual chlorine at a concentration ranging from 0 to 13.5 mg/L and 31 drinking water samples (8.6%) were found nitrite at a concentration between 0 and 0.4 mg/L. The effectiveness of the test kit for self-screening of free residual chlorine compared with standard methods were 100% sensitivity, 96.4% specificity, 92.0% positive predictive value, 100% negative predictive value, and 97.5% accuracy. As expected, of 110 drinking water samples with positive of free residual chlorine ≥0.2 mg/L using a standard color chart were not detected the amount of nitrite. Therefore, the test kit can be used as a preliminary test prior to nitrite analysis with standard method, it will save costs up to 28.1% of the nitrite analysis. In conclusion, self-screening of free residual chlorine in drinking water by the test kit is very accurate. It is effective for using as a preliminary test prior to nitrite analysis which the public can use as a practical guideline. This will save costs for testing the drinking water quality.

***Keywords*:** *Nitrite, Free Residual Chlorine Test Kit, Effectiveness*

บทนำ

ไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นสารประกอบที่พบในน้ำใต้ดินและผิวดิน เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ของไนโตรเจนในสารอินทรีย์โดย Nitrifying bacteria และเกิดจากปฏิกิริยารีดักชั่น (Reduction) ของไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งพบได้ในธรรมชาติจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (Bernhard, 2010) ไนไตรท์เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยจะจับกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดง และเปลี่ยนเป็นเมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobin) ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) เมทฮีโมโกลบินไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกายได้ ถ้าร่างกายมีมากกว่า 10% ของฮีโมโกลบินจะทำให้เกิดอาการเมทฮีโมโกลบินนีเมีย (Methemoglobinaemia) ผู้ป่วยโดยเฉพาะเด็กทารกที่อายุน้อยกว่า 3 เดือนจะมีอาการตัวเขียว (Cyanosis) และกรณีมีอาการมากจะทำให้ขาดออกซิเจน (Asphyxia) (Morris & William, 1944; WHO, 2017) และจากการศึกษาของ Abasse et al. (2022) ที่ได้สังเคราะห์งานวิจัยอย่างเป็นระบบ (Systematic review) โดยการวิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis) พบว่าการบริโภคไนไตรท์มีความสัมพันธ์กับการเกิดเนื้องอกสมอง มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ และมะเร็งกระเพาะอาหาร ดังนั้นเพื่อเป็นการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภค กรมอนามัยจึงกำหนดให้เพิ่มการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ในเกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย ฉบับปี พ.ศ. 2563 จากเดิม 20 รายการ เพิ่มเป็น 21 รายการ โดยกำหนดให้ปริมาณไนไตรท์ต้องไม่เกิน 3 mg/L (พรเพชร ศักดิ์ศิริชัยศิลป์ และคณะ, 2564; กรมอนามัย, 2564) แต่จากการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ในน้ำบริโภคในงานประจำของกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย ปีงบประมาณ 2564-2565 จำนวน 8,941 ตัวอย่าง พบปริมาณไนไตรท์เกินเกณฑ์มาตรฐานเพียง 3 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 3.1 mg/L 6.6 mg/L และ 7.0 mg/L คิดเป็นร้อยละ 0.03

คลอรีน (Chlorine) เป็นสารอนินทรีย์ในกลุ่มฮาโลเจน นิยมใช้ในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และสาธารณสุข โดยเฉพาะการนำมาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของระบบประปา กระบวนการผลิตน้ำบริโภค และน้ำใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและเครื่องดื่ม ฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ เช่น สระว่ายน้ำ (Mintz et al., 2001; Center for disease control, 2005; Reiff et al., 1996; Thompson, Sobsey, & Bartram, 2003; Arnold & Colford, 2007) และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าคลอรีนในน้ำบริโภคทำให้ปริมาณไนไตรท์ลดลง เนื่องจากไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์โดยคลอรีนอิสระคงเหลือ (HOCl) ในปฏิกิริยา Chlorination เปลี่ยนเป็นไนเตรท:

$$HOCl + NO_2^- = Cl^- + NO_3^- + H^+$$

และกรณีตัวอย่างน้ำบริโภคมีแอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยโมโนคลอรามีน ในปฏิกิริยา Chloramination เปลี่ยนเป็นไนเตรท (Yang & Cheng, 2007) ดังนี้

$$NH_2Cl + NO_2^- + H_2O = NO_3^- + NH_4^+ + Cl^-$$

ชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือ (อ 31) เป็นชุดทดสอบที่กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัยผลิต จำหน่าย และสนับสนุนให้กับหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชนในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภค เพื่อเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคในชุมชน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งข้อดีของชุดทดสอบ อ 31 คือ ใช้งานง่าย วิธีทำไม่ซับซ้อน ราคาถูก ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการให้ผลสอดคล้องกับการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีไทเทรตกับดีพีดี (DPD: N, N-diethyl-p-phenylenediamine) (The American Public Health Association, the American Water Works Association & the Water Environment Federation, 2017; Chemistry Stack Exchange, 2020) ที่เป็นวิธีมาตรฐานไม่น้อยกว่าร้อยละ 97 (ศูนย์ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย, 2562)

การตรวจพบคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าน้ำบริโภคนั้นได้ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้นจากแหล่งน้ำผิวดินเพื่อฆ่าเชื้อโรคและกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคมั่นใจในคุณภาพของน้ำบริโภค ดังนั้นถ้าผู้บริโภคสามารถตรวจคัดกรองคลอรีน

อิสระคงเหลือในน้ำบริโภคได้ด้วยตนเองโดยการใช้ชุดทดสอบ อ 31 และให้ผลการทดสอบที่มีความถูกต้อง แม่นยำ นอกจากจะเกิดประโยชน์ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำดื่มในครัวเรือนแล้ว ยังอาจลดค่าใช้จ่ายในการตรวจหาปริมาณไนไตรท์ได้อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าคลอรีนอิสระคงเหลือที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำบริโภคสามารถออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เปลี่ยนเป็นไนเตรท ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำบริโภคที่มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือจะตรวจไม่พบปริมาณไนไตรท์ ดังนั้นอาจไม่จำเป็นต้องส่งตรวจหาปริมาณไนไตรท์ตามเกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย ฉบับปี พ.ศ. 2563 ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือโดยผู้ใช้ชุดทดสอบเทียบกับวิธีมาตรฐาน และศึกษาประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 สำหรับคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ในห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคโดยผู้ใช้ชุดทดสอบเทียบกับวิธีมาตรฐาน และศึกษาประสิทธิผลของการใช้ชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) โดยการนำตัวอย่างน้ำบริโภคที่ตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ ได้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมระบบ หรือผู้ดูแลระบบ หรือผู้ตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคของหน่วยงานต่างๆ ที่ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริโภคที่กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย โดยขณะจัดส่งตัวอย่างน้ำบริโภคต้องมีการรักษาสภาพตัวอย่าง ด้วยการแช่เย็นด้วยน้ำแข็ง หรือ ice pack อุณหภูมิไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส และทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือทันทีหลังจากตัวอย่างน้ำบริโภคมาถึงห้องปฏิบัติการ และตรวจหาปริมาณไนไตรท์โดยวิธีมาตรฐาน

- **ประชากรและตัวอย่าง**

ประชากรและตัวอย่าง คือน้ำบริโภคที่ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย การคำนวณขนาดตัวอย่าง ใช้สูตร (Daniel, 2010) ดังนี้

$$n = \frac{\boldsymbol{Z^2 a/_2\ p(1-p)}}{\boldsymbol{e^2}}$$

โดย n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

p = สัดส่วนที่ต้องการสุ่มจากลักษณะที่สนใจในประชากร โดยใช้ข้อมูลจากผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการในงานประจำที่พบตัวอย่างน้ำบริโภค ตรวจพบปริมาณคลอรีนอิสระคิดเป็นร้อยละ 0.33

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1.96

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ (กำหนดให้ e = 0.05)

แทนค่าในสูตร $n = \frac{(1.96)^2\,(0.33)(1-0.33)}{(0.05)^2}$

$= 340$

ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างน้ำบริโภค 340 ตัวอย่าง และเพิ่มจำนวนตัวอย่าง 5% เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 360 ตัวอย่าง

เก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำบริโภคที่ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย ระหว่างเดือนธันวาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566 และมีเกณฑ์การคัดเข้า คือตัวอย่างน้ำบริโภคต้องผ่านการตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยชุดทดสอบ อ 31 ที่ผลิตโดยกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ

- **เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา**

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือผลการตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดย

ผู้ใช้ชุดทดสอบ ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือและปริมาณไนไตรท์โดยวิธีมาตรฐาน

- **การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่าง**

การศึกษาครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ กรมอนามัย เลขที่ 583/2565 ณ วันที่ 22 ธันวาคม 2565

- **ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล**

1) ระยะเตรียมการ

1.1) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.2) ดำเนินการขอจริยธรรมจากคณะกรรมการจริยธรรม กรมอนามัย

1.3) ประชุมชี้แจงเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องของศูนย์อนามัยเขต กรมอนามัย 12 แห่ง เกี่ยวกับโครงการ ซักซ้อม และทบทวนวิธีการจัดเก็บและส่งตัวอย่างน้ำบริโภค

1.4) เจ้าหน้าที่ศูนย์อนามัยเขต กรมอนามัย ประสานงานกับเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมระบบ หรือ ผู้ดูแลระบบหรือผู้ตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคของหน่วยงานต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่ที่ตนเองรับผิดชอบให้เก็บตัวอย่างน้ำบริโภค

2) ระยะดำเนินการวิจัย

2.1) เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมระบบหรือผู้ดูแลระบบหรือผู้ตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคเก็บตัวอย่างน้ำบริโภค พร้อมตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยชุดทดสอบ อ 31 ที่ผลิตโดยกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย โดยแหล่งที่มาของน้ำบริโภคขึ้นกับผู้เก็บตัวอย่างน้ำเป็นผู้เลือก

2.2) เจ้าหน้าที่ศูนย์อนามัยเขต กรมอนามัย รวบรวมตัวอย่างน้ำบริโภคจากผู้เก็บตัวอย่างน้ำบริโภคในพื้นที่ส่งตรวจคุณภาพน้ำบริโภค ณ กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุข กรมอนามัย โดยควบคุมอุณหภูมิระหว่างนำส่งไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส ด้วยการแช่เย็นด้วยน้ำแข็ง หรือ ice pack

2.3) นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริโภค โดยเก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำบริโภคที่ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัยระหว่างเดือนธันวาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566 จนได้ตัวอย่างน้ำบริโภค 360 ตัวอย่างตามเป้าหมาย

2.4) ตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยชุดทดสอบ อ 31 ที่ผลิตโดยกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุข กรมอนามัย โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ (ศูนย์ห้องปฏิบัติการ กรมอนามัย, 2562)

วิธีทดสอบ

(1) เตรียมอุปกรณ์สำหรับชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภค

- ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดสอบประมาณ ¾ ถ้วย
- แผ่นเทียบสีมาตรฐาน ระบุความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือที่ระดับ 0.2 0.5 และ 1.0 mg/L จำนวน 1 แผ่น
- ขวดเปล่าสำหรับใส่น้ำตัวอย่างเพื่อทดสอบ จำนวน 2 ขวด
- ขวดพลาสติกบรรจุสารละลายทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือ จำนวน 2 ขวด

(2) รินตัวอย่างน้ำที่ต้องการทดสอบลงในขวดแก้วจนถึงขีดที่กำหนด

(3) หยดสารละลายทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือจำนวน 4 หยดลงในน้ำตัวอย่าง

(4) ผสมให้เข้ากัน โดยกลับขวดตัวอย่างไป-มา 20 ครั้ง สังเกตุการเกิดสีในขวดตัวอย่างทดสอบ

(5) เทียบสีที่เกิดขึ้นกับแผ่นเทียบสีมาตรฐานคลอรีนอิสระคงเหลือ ค่าที่อ่านได้คือค่าคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภค (mg/L)

การแปลผล สีที่เกิดขึ้นของตัวอย่างน้ำบริโภคเมื่อทดสอบด้วยชุดทดสอบ อ 31 เทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐานไม่เปลี่ยนสี ถือว่าให้ผลเป็นลบ (ดังภาพที่ 1)

2.5) ตรวจวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยวิธีไทเทรตกับดีพีดี (DPD: N, N-diethyl-p-phenylenediamine) (The American Public Health Association, the American Water Works Association & the Water Environment Federation, 2017)

วิธีทดสอบ

(1) เตรียมสารเคมี

(1.1) สารละลายบัฟเฟอร์

ละลาย Na_2HPO_4 anhydrous 24 g และ KH_2PO_4 anhydrous 46 g ในน้ำกลั่นและละลาย EDTA 0.8 g ในน้ำกลั่น 100 ml นำทั้งสองสารละลายมารวมกัน เติม $HgCl_2$ 0.02 g เพื่อป้องกันราและการรบกวนจากไอโอไดด์ แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 L

(1.2) สารละลายดีพีดี

ละลาย anhydrous DPD Sulfate 1.1 g ในน้ำกลั่นที่มี H_2SO_4 (1+3) จำนวน 8 ml และ EDTA 0.2 g ผสมกัน ปรับปริมาตรให้เป็น 1 L เก็บในที่มืด โดยใช้ขวดสีชาและจุกแก้ว ทิ้งเมื่อเปลี่ยนสี

(1.3) สารละลายมาตรฐาน FAS

ละลาย $Fe(NH_4)_2SO_4.6H_2O$ จำนวน 1.106 g ลงในน้ำกลั่นที่มี H_2SO_4 (1+3) จำนวน 1 ml เติมน้ำกลั่นที่พึ่งต้มเดือดและปล่อยให้เย็นมาใหม่ๆ จนได้ปริมาตร 1 L สารละลายนี้ใช้ได้ไม่เกิน 1 เดือน

(1.4) สารละลายโซเดียมอาร์เซไนด์

ละลาย $NaAsO_2$ 5.0 g ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 Lด้วยน้ำกลั่น

(1.5) สารละลาย H_2SO_4 (1+3)

ค่อยๆ เติม H_2SO_4 25 ml ลงในน้ำกลั่น 75 ml

(2) เติมสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลายดีพีดี อย่างละ 5 ml ในขวด Titrate เขย่าให้เข้ากัน

(3) เติมน้ำตัวอย่าง 100 ml (อาจผ่านการเจือจางมาแล้วหรือไม่ก็ได้) ผสมให้เข้ากัน

(4) Titrate อย่างรวดเร็วกับสารละลายมาตรฐาน FAS จนสีแดงหายไป บันทึกค่าที่อ่านได้เป็นค่าคลอรีนอิสระ

การคำนวณ

- สำหรับตัวอย่าง 100 มิลลิลิตรที่ไม่ผ่านการเจือจาง

FAS 1 ml = chlorine 1 mg Cl_2/L

- สำหรับการเจือจางตัวอย่างเป็นตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

Chlorine (mg Cl_2/L) = 100 x (ปริมาตรที่ titrate ได้/ปริมาตรตัวอย่างที่นำมาเจือจาง)

รายงานผลทศนิยม 1 ตำแหน่งในหน่วย mg Cl_2/L

การแปลผล รายงานผลตามปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคที่ตรวจพบ

2.6) ตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ด้วยวิธีคัลเลอร์ริเมตริก (Colorimetric method) (The American Public Health Association, the American Water Works Association & the Water Environment Federation, 2017)

วิธีทดสอบ

(1) เตรียมสารเคมี

(1.1) สารมาตรฐานไนไตรท์ ความเข้มข้น 1,000 mg/L

- เตรียม Stock Standard ความเข้มข้น 1 mg/L ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำ DI
- เตรียม Stock Standard ความเข้มข้น 10 mg/L ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำ DI

(1.2) เตรียมความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.08, 0.10, 0.20, 0.40 และ 0.60 mg/L เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

โดยแต่ละความเข้มข้นให้ปรับปริมาตรเป็น 50 ml ด้วยน้ำ DI ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน

(2) เตรียมสารที่ทำให้เกิดสี (color reagent)

(2.1) เติมน้ำกลั่น 500 ml ในบีกเกอร์ขนาด 1 L ใส่กรดฟอสฟอริก 100 ml (รินช้าๆ)

(2.2) ละลาย Sulfanilamide 10 กรัม และ N-(1-Naphthyl)-ethylenediamine.2HCl (NED) 1 กรัม ในน้ำกลั่น

(2.3) สารเคมีข้อ 2.2 ผสมลงในสารละลายข้อ (2.1) ปรับปริมาตรให้ครบ 1 L (เก็บในขวดสีชา ได้ 1 เดือน หรือจนกว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล)

(3) การเตรียมตัวอย่าง

- กรณีตัวอย่างน้ำมีสารแขวนลอย ให้กรองตัวอย่างน้ำ โดยใช้แผ่นกรองขนาด 0.45 ไมครอน

- pH ของตัวอย่างน้ำต้องอยู่ในช่วง 5-9 ถ้า pH ไม่อยู่ในช่วงนี้ให้ปรับโดยใช้ กรด HCl 1 N หรือ NaOH 1 N หรือใช้สารละลายปรับ pH จำนวน 1 ml ต่อน้ำตัวอย่าง 50 ml

(4) การวิเคราะห์

(4.1) นำตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ให้หายเย็นที่อุณหภูมิห้อง ตวงตัวอย่างน้ำ 50 ml

(4.2) เติม color reagent จำนวน 2 ml ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

(4.3) วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร ภายใน 2 ชั่วโมง โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank นำค่าที่อ่านได้จากตัวอย่างหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

(5) การคำนวณ

ไนไตรท์ไนโตรเจน (mg NO_2^-/L as NO_2^-) = ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟ × แฟคเตอร์เจือจาง

ไนไตรท์ไนโตรเจน (mg NO_2^-/L as NO_2^-) = ไนไตรท์ในรูปไนโตรเจน (mg NO_2^-/L as N) × 3.28443

การแปลผล ตรวจพบปริมาณไนไตรท์ <0.02 mg/L ถือว่าตรวจไม่พบปริมาณไนไตรท์ในน้ำบริโภค

2.7) ทดสอบการลดลงของไนไตรท์เมื่อเติมคลอรีน

2.7.1) เติมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ลงในตัวอย่างน้ำบริโภค ความเข้มข้น 0.05 mg/L 0.1 mg/L 1 mg/L และ 3 mg/L โดยแต่ละความเข้มข้นตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบริโภค 20 ตัวอย่าง ทำซ้ำตัวอย่างละ 2 ครั้ง นำมาตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ (ก่อนเติมคลอรีน)

2.7.2) นำตัวอย่างน้ำบริโภคจากข้อ 2.7.1 มาเติมคลอรีน จนมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่ในตัวอย่างน้ำบริโภค 0.2-0.5 mg/L และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ (หลังเติมคลอรีน)

2.7.3) คำนวณร้อยละการลดลงของไนไตรท์ ก่อน-หลังเติมคลอรีน

$$\text{ร้อยละการลดลงของไนไตรท์} = \frac{(\text{ปริมาณไนไตรท์ก่อนเติมคลอรีน} - \text{ปริมาณไนไตรท์หลังเติมคลอรีน}) \times 100}{\text{ปริมาณไนไตรท์ก่อนเติมคลอรีน}}$$

- **การวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS ดังนี้

1) ใช้สถิติเชิงพรรณนาบรรยายลักษณะของตัวอย่างน้ำบริโภค ได้แก่จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด

2) ใช้สถิติ Wilcoxon Signed Ranks test หาความแตกต่างระหว่างผลการตรวจคลอรีนอิสระคงเหลือ โดยชุดทดสอบ อ 31 กับการตรวจพบ/ไม่พบปริมาณไนไตรท์ ระหว่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน โดย p-value <0.05

ผลการวิจัย

- **ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างน้ำบริโภค**

ตัวอย่างน้ำบริโภค จำนวน 360 ตัวอย่าง มาจากแหล่งน้ำจำนวน 6 แหล่ง ได้แก่ ประปาหมู่บ้าน/เทศบาล จำนวน 191 ตัวอย่าง (53.1%) โรงพยาบาล จำนวน 125 ตัวอย่าง (34.7%) โรงเรียน จำนวน 16 ตัวอย่าง (4.4%) การประปาส่วนภูมิภาค จำนวน 12 ตัวอย่าง (3.3%) ศูนย์การศึกษาเพื่อชุมชนในเขตภูเขา จำนวน 10 ตัวอย่าง (2.8%) และตู้กดน้ำในชุมชน จำนวน 6 ตัวอย่าง (1.7%) โดยตรวจพบคลอรีนอิสระคงเหลือ จำนวน 104 ตัวอย่าง (28.9%) ที่ระดับความเข้มข้น 0-13.5 mg/L และตรวจพบไนไตรท์ จำนวน 31 ตัวอย่าง (8.6%) ที่ระดับความเข้มข้น 0-0.4 mg/L แสดงดังตารางที่ 1

- **ประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคโดยผู้ใช้ชุดทดสอบ เทียบกับวิธีมาตรฐาน**

ผลการตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุด

ทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบที่ปฏิบัติงานในพื้นที่จริง เทียบกับผลการตรวจด้วยวิธีมาตรฐาน พบว่า ค่าความไว ค่าความจำเพาะ ค่าการทำนายผลบวก ค่าการทำนายผลลบ และค่าความถูกต้องเท่ากับ 100% 96.4% 92.0% 100% และ 97.5% ตามลำดับ ดังแสดงตามตารางที่ 2

- **ทดสอบการลดลงของปริมาณไนไตรท์หลังเติมคลอรีน**

เติมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ลงในตัวอย่างน้ำบริโภค ความเข้มข้น 0.05 mg/L 0.1 mg/L 1 mg/L และ 3 mg/L โดยแต่ละความเข้มข้นตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบริโภค 20 ตัวอย่าง ทำซ้ำตัวอย่างละ 2 ครั้ง จากนั้นนำมาตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ ก่อนและหลังเติมคลอรีน พบว่าตัวอย่างน้ำบริโภคที่มีสารมาตรฐานไนไตรท์ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีปริมาณไนไตรท์ลดลง 90.4-100% แสดงตามตารางที่ 3

- **ประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์**

ตัวอย่างน้ำบริโภคจำนวน 360 ตัวอย่าง นำไปคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ พบว่าให้ผลบวกจำนวน 107 ตัวอย่าง เมื่อนำไปตรวจหาปริมาณไนไตรท์ พบว่ามีตัวอย่างน้ำบริโภคจำนวน 3 ตัวอย่างมีปริมาณไนไตรท์ >0.2 mg/L ซึ่งให้ผลการตรวจคัดกรองด้วย อ 31 ให้ผลบวกเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีเหลืองจางแต่ความเข้มข้น <0.2 mg/L เมื่อเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน และผลการตรวจโดยวิธีมาตรฐานไม่พบปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ และตัวอย่างน้ำบริโภคที่ให้ผลลบจำนวน 253 ตัวอย่าง มีปริมาณไนไตรท์ ≥0.2 mg/L จำนวน 28 ตัวอย่าง โดยปริมาณไนไตรท์ที่ตรวจพบมีความเข้มข้นสูงสุด 0.4 mg/L ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย แสดงดังตารางที่ 4 และรูปภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณไนไตรท์ และปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ตรวจวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐาน ซึ่งตัวอย่างน้ำบริโภคที่ตรวจพบปริมาณไนไตรท์ ไม่พบปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ

บทสรุปและอภิปรายผล

น้ำเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เป็นสิทธิขั้นพื้นฐานที่รัฐต้องจัดหาให้กับประชาชน โดยเฉพาะการจัดน้ำดื่มที่สะอาด และเพียงพอ ซึ่งทั่วโลกให้ความสำคัญและองค์การสหประชาชาติกำหนดเป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน Sustainable Development Goals (SDGs) ข้อ 6.1 “บรรลุเป้าหมายการให้ทุกคนเข้าถึงน้ำดื่มที่ปลอดภัย และมีราคาที่สามารถซื้อหาได้ ภายในปี 2573” (สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน, 2561) สำหรับประเทศไทยภาครัฐได้ให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ โดยกำหนดเป็นแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) และมอบหมายให้สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติเป็นหน่วยงานหลักในการขับเคลื่อนงาน ทั้งนี้การจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคในระดับครัวเรือนและชุมชน เป็นยุทธศาสตร์หนึ่งที่ให้ความสำคัญในระดับการผลิต การควบคุมคุณภาพ และผู้บริโภค (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2562) โดยแหล่งน้ำที่ประชาชนใช้อุปโภคและบริโภค ได้แก่ น้ำประปา น้ำดื่มบรรจุขวด น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล น้ำฝน น้ำประปาภูเขา และตู้กดน้ำชุมชน แหล่งน้ำดังกล่าวต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำมาบริโภค ซึ่งวิธีการที่นิยมทำคือการเติมคลอรีนฆ่าเชื้อโรค เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและราคาถูก โดยให้มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำ >0.2 mg/L (Thompson, Sobsey, & Bartram, 2003; ปราโมทย์ เชี่ยวชาญ, 2551; สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย, 2556) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบตัวอย่างน้ำบริโภคเพียง 28.9% ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในตัวอย่างน้ำ โดยรวมจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคจากตู้กดน้ำชุมชน ที่ไม่พบคลอรีนอิสระคงเหลือเนื่องจากใช้วิธีการกรองแบบ Reverse osmosis และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารกรองในการกำจัดคลอรีน (กรมอนามัย, 2557) ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของธนพงศ์ ภูผาลี และคณะ (2561) ที่พบว่าน้ำดื่มจากตู้น้ำดื่มหยอดเหรียญอัตโนมัติในจังหวัดมหาสารคามไม่พบคลอรีนอิสระคงเหลือเช่นกัน ปัจจัยที่อาจส่งผลต่อปริมาณคลอรีนอิสระ

คงเหลือในตัวอย่างน้ำบริโภค อาจเกิดจากโครงสร้างระบบประปาไม่สมบูรณ์ เช่นระบบกรอง ระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยสารละลายคลอรีน ขาดงบประมาณในการบริหารจัดการ ผู้ดูแลระบบขาดความรู้ หรือไม่ตระหนักถึงความสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนจ่ายน้ำ (นราภรณ์ เกษมสานต์, ศมณพร สุทธิบาก, & นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์, 2559) หรือเติมคลอรีนปริมาณไม่มากพอ ซึ่งจากผลการศึกษาที่ผ่านมา (จรียา ยิ้มรัตนบวร & สุดจิต ครุจิต, 2560) พบว่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำประปาชุมชนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานทั้งในจุดสถานีสูบจ่ายก่อนออกระบบผลิตประปาและจุดใช้งานในครัวเรือน นอกจากนี้คลอรีนเป็นสารที่ไม่คงตัว สลายตัวได้ง่าย ไม่เสถียร มีความคงตัวประมาณ 140 นาที และสลายตัวได้ง่ายเมื่อโดนแสงแดด (Oliver et al., 1986)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาครั้งแรกในการประเมินความถูกต้องของการใช้ชุดทดสอบ อ 31 ที่ผลิตโดยกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย เพื่อคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคโดยผู้ใช้ชุดทดสอบ ซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมระบบหรือดูแลระบบหรือตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคของแต่ละชุมชน/หน่วยงานเทียบกับวิธีมาตรฐาน ซึ่งกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัยได้ผลิตชุดทดสอบ อ 31 เพื่อให้บริการแก่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชนและประชาชนนานกว่า 20 ปี ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคในชุมชน จากผลการศึกษาพบว่ามีความถูกต้องมากถึง 97.5% ในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคโดยผู้ใช้ชุดทดสอบ ซึ่งเป็นการปฏิบัติจริงในพื้นที่ โดยให้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ทดสอบโดยนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่มีความรู้และมีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (ศูนย์ห้องปฏิบัติการ กรมอนามัย, 2562) อย่างไรก็ตามการตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุดทดสอบ อ 31 ในการศึกษานี้พบผลบวกปลอมจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างน้ำเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีเหลืองจางแต่ความเข้มข้น <0.2 mg/L เมื่อเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน ทั้งนี้อาจเกิดจากชุดทดสอบ อ 31 ซึ่งเตรียมจากน้ำยา Ortho tolidine เมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนที่มีอยู่ในน้ำบริโภค เช่น ไนไตรท์ (NO_2^-) ความเข้มข้น >3.33 mg/L ขึ้นไป จะเปลี่ยนน้ำจากไม่มีสีเป็นสีเหลือง หรือเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ซึ่งตามธรรมชาติเป็นสารสีเหลือง ทำให้สีของเฟอร์ริกรบกวนการอ่านผล (Buswell, Boruff, & Enslow, 1925) หรือสารประกอบคลอรีน ที่เกิดจากคลอรีนรวมกับสารอื่น (Combined chlorine) เช่น แอมโมเนีย (NH_3) เมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีนจะทำให้เกิดโมโนคลอรามีน (Monochloramine: NH_2Cl) ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้เช่นเดียวกับคลอรีนอิสระคงเหลือ แต่ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียจะน้อยกว่า (Safe Drinking Water Committee, Board on toxicology and environmental health hazards, Assembly of Life Science, 1980)

การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบปริมาณไนไตรท์ก่อน-หลังเติมคลอรีน 30 นาที ตัวอย่างน้ำบริโภคต้องมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ 0.2-0.5 mg/L โดยทดสอบการลดลงของไนไตรท์ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 mg/L 0.1 mg/L 1 mg/L และ 3 mg/L พบว่าหลังจากเติมคลอรีนปริมาณไนไตรท์ลดลงถึง 90.4-100% เมื่อเทียบกับก่อนเติมคลอรีน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value<0.05 ซึ่งการลดลงของไนไตรท์ เกิดจากไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์โดยคลอรีนอิสระคงเหลือ (HOCl) ในปฏิกิริยา Chlorination และโมโนคลอรามีน ในปฏิกิริยา Chloramination ทั้งนี้การลดลงของไนไตรท์ในปฏิกิริยา Chloramination ขึ้นกับสภาพของน้ำบริโภค ได้แก่ pH อัตราส่วนน้ำหนัก Cl_2:N และปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่อยู่ในน้ำบริโภค (Yang & Cheng, 2007) จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการชี้ให้เห็นว่าคลอรีน ทั้งที่อยู่ในรูปของคลอรีนอิสระคงเหลือ หรือโมโนคลอรามีนมีผลต่อการลดลงของปริมาณไนไตรท์ในน้ำบริโภค

การศึกษาครั้งนี้พบปริมาณไนไตรท์ในตัวอย่างน้ำบริโภคอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย ฉบับปี 2563 ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าอัตราการพบจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคที่มีปริมาณไนไตรท์ ≥3 mg/L มีจำนวนน้อย รวมทั้งมีการใช้คลอรีนในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

บริโภคทำให้ปริมาณไนไตรท์ลดลง และ pH ของตัวอย่างน้ำบริโภคจากการศึกษาอยู่ในช่วง 6.3-8.6 โดยมีค่า mean (SD) เท่ากับ 7.6 (0.4) (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ซึ่งสภาพตัวอย่างน้ำบริโภคค่อนข้างเป็นกลาง ทำให้ไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทมากกว่า 99% (Yang & Cheng, 2007) นอกจากนี้จากผลการศึกษาพบว่าชุดทดสอบ อ 31 มีความถูกต้องในการตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคสูง ด้วยเหตุนี้การนำชุดทดสอบ อ 31 ที่ใช้งานง่าย วิธีทำไม่ซับซ้อน ราคาถูก ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงนำมาทดสอบหาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ในห้องปฏิบัติการจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีประโยชน์ สามารถลดจำนวนการส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์โดยไม่จำเป็น อย่างไรก็ตามการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์ในน้ำบริโภคยังคงมีความจำเป็น กรณีที่ตรวจทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุดทดสอบ อ 31 แล้วให้ผลลบ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์แบบเดิมกับการตรวจวิเคราะห์แบบใหม่ที่มีการเพิ่มขั้นตอนการตรวจคลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยชุดทดสอบ อ 31 สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการได้ 65,800 บาท คิดเป็น 28.1% และเมื่อคำนวณจากข้อมูลการให้บริการของกองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัย ปี 2564-2565 พบว่ามีจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภค ประมาณ 5,000 ตัวอย่าง/ปี ถ้าตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ทั้งหมด จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนเงิน 3,250,000 บาท (650 บาท x 5,000 ตัวอย่าง) แต่เมื่อคัดกรองด้วยชุดทดสอบ อ 31 ก่อนแล้วนำตัวอย่างที่ให้ผลลบนำไปตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ โดยอ้างอิงจากการศึกษาในครั้งนี้ที่ตรวจพบคลอรีนอิสระคงเหลือในตัวอย่างน้ำบริโภค 28.9% จะเสียค่าใช้จ่าย [(5 บาท x 5,000 ตัวอย่าง=25,000 บาท) + (650 บาท x 3,555 ตัวอย่าง=2,310,750 บาท) = 2,335,750 บาท] สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนเงิน 914,250 บาท ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ที่ลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างน้ำบริโภคที่ตรวจพบปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ ซึ่งปัจจุบันพบว่าคุณภาพน้ำบริโภคภายในประเทศส่วนใหญ่ยังไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย โดยน้ำบริโภคในครัวเรือนไม่ผ่านเกณฑ์ถึง 59.2% เนื่องจากมีสี ความขุ่น และแบคทีเรียเกินค่าที่กำหนด (สำนักงานสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย, 2564) และน้ำบริโภคของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพถึง 73.03% ส่วนใหญ่มีแบคทีเรียเกินค่าที่กำหนด (ชัญญานุช เวียงแก้ว & พรเพชร ศักดิ์ศิริชัยศิลป์, 2565) ดังนั้นหากมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการเติมคลอรีน โดยทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องให้ความร่วมมือกัน จะส่งผลให้ประชาชนได้บริโภคน้ำที่สะอาด และปลอดภัย นอกจากนี้จะทำให้ตัวอย่างน้ำที่ตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุดทดสอบ อ 31 มีจำนวนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้จำนวนตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ลดลง และค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริโภคจะลดลงไปด้วย

ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบมีความถูกต้องสูง และมีประสิทธิผลในการนำมาใช้คัดกรองตัวอย่างน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ ซึ่งประชาชนสามารถนำไปเป็นแนวทางปฏิบัติ อันจะก่อให้เกิดการประหยัดงบประมาณที่ใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำต่อไป

ข้อเสนอแนะหรือการนำไปใช้ประโยชน์

1) การคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภคด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ ซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่จริงมีความถูกต้องสูง และชุดทดสอบ อ 31 มีประสิทธิผลในการนำมาใช้คัดกรองตัวอย่างน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรสนับสนุน และสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับชุดทดสอบ อ 31 และการนำไปใช้คัดกรองเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ให้กับประชาชน เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภค ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการลดลง

2) การตรวจคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภค พบเพียง 28.9% หน่วยงานทุกภาคส่วนควรร่วมมือกัน และสร้างความรู้ ความตระหนักให้กับผู้ดูแลระบบ เกี่ยวกับความสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนจ่ายน้ำ รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณการบริหารจัดการคุณภาพน้ำบริโภคให้แก่ชุมชนด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณวชิรา ซอโฉม นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่กองห้องปฏิบัติการสาธารณสุขกรมอนามัยทุกคนที่ช่วยตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ และประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดส่งตัวอย่างน้ำบริโภค

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. (2557). **คู่มือปฏิบัติตู้น้ำดื่มหยอดเหรียญ การประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมอนามัย. (2564).**ประกาศกรมอนามัย เรื่อง เกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้ กรมอนามัย พ.ศ. 2563.** ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2565, จาก http://laws.anamai.moph.go.th/th/practices/download/?did=201133&id=62575&reload=

กลุ่มพัฒนาระบบจัดการคุณภาพน้ำบริโภค สำนักงานสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย. (2564). **รายงานการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคในครัวเรือน ประจำปี 2563.** นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

กลุ่มวิจัยและพัฒนาคุณภาพน้ำบริโภค สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย. (2556). **คู่มือพัฒนาคุณภาพน้ำบริโภคในโรงพยาบาล.** นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. (2562). **รายงานการสาธารณสุขไทย พ.ศ. 2559-2560.** นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.

จรียา ยิ้มรัตนบวร, & สุดจิต ครุจิต. (2560). **รายงานการวิจัยการประเมินคุณภาพน้ำในระบบประปาในเขตเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2565, จาก http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/7446/1/Fulltext.pdf

ชัญญานุช เวียงแก้ว, & พรเพชร ศักดิ์ศิริชัยศิลป์. (2565). การศึกษาการจัดการคุณภาพน้ำบริโภคของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน. **วารสารสุขาภิบาลอาหารและน้ำ, 13**(2), 29-36.

ธนพงศ์ ภูผาลี, สมศักดิ์ อาภาศรีทองสกุล, อรนุช วงศ์วัฒนาเสถียร, & มาลี สุปันดี. (2561). คุณภาพและความปลอดภัยของน้ำดื่มจากตู้น้ำดื่มหยอดเหรียญอัตโนมัติในจังหวัดมหาสารคาม. **วารสารเภสัชกรรมไทย, 10**(2), 356-365.

นราภรณ์ เกษมสานต์, ศมณพร สุทธิบาก, & นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์. (2559). การประเมินคุณภาพน้ำระบบประปาหมู่บ้านตำบลเชียงเครือ จังหวัดสกลนคร. ใน **การจัดประชุมทางวิชาการ "มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 12" หัวข้อ "ก้าวสู่พัฒนาชุมชนที่ยั่งยืนโดยบูรณาการงานวิจัยและงานวิจัยประยุกต์" (Toward Sustainable Community Development by Integrating Basic and Applied Researches) ระหว่างวันที่ 8-9 กันยายน 2559 ณ อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** (หน้า 432-440). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ปราโมทย์ เชี่ยวชาญ. (2551). **ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ.** ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2565, จาก https://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/1_2551/Enronment.htm

พรเพชร ศักดิ์ศิริชัยศิลป์, วิโรจน์ วัชระเกียรติศักดิ์, รัชชผดุง ดำรงพิงคสกุล, อังคณา คงกัน, วราภรณ์ ถาวรวงษ์, & ปาริชาติ สร้อยสูงเนิน. (2564). การพัฒนามาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคของประเทศไทย. **วารสารสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย, 12**(1), 6-19.

ศูนย์ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2562). **ชุดตรวจสอบคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำดื่ม (อ 31).** ค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2565, จาก http://rldc.anamai.moph.go.th.

สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2562). **แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580).** กรุงเทพฯ: สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ.

สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. (2561). **Sustainable development goals.** ค้นเมื่อ 14 ธันวาคม 2565, จาก https://sdgs.nesdc.go.th

Abasse, K. S., Essien, E. E., Abbas, M., Yu, X., Xie, W., Sun, J., et al. (2022). Association between dietary nitrate, nitrite intake, and site-specific cancer risk: a systematic review and meta-analysis. **Nutrients, (14),** 666.

Arnold, B. F., & Colford, J. M., Jr (2007). Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhea in developing countries: A systematic review and meta-analysis. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 76**(2), 354–364.

Bernhard, A. (2010). The nitrogen cycle: Processes, players, and human impact. **Nature Education Knowledge, 3**(10), 25.

Buswell, A. M., Boruff, C. S., & Enslow, L.H. (1925). The sensitivity of the ortho-tolidine and starch-iodide tests for free chlorine [with discussion]. **Journal (American Water Works Association), 14**(5), 384-405.

Centers for Disease Control. (2005). **Safe Water Systems for the Developing World: A Handbook for Implementing Household-based Water Treatment and Safe Storage Projects.** Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention.

Chemistry Stack Exchange. (2020). **Mechanism of DPD (N,N-diethyl-p-phenylenediamine) reaction with free chlorine**. Retrieved November 12, 2022, from https://chemistry.stackexchange.com/questions/116870/mechanism-of-dpd-n-n-diethyl-p-phenylenediamine-reaction-with-free-chlorine

Daniel, W. W. (2010). **Biostatistics: Basic concepts and methodology for the health sciences.** New Jersey: John Wiley & Sons.

Mintz, E., Bartram, J., Lochery, P., & Wegelin, M. (2001). Not just a drop in the bucket: Expanding access to point-of-use water treatment systems. **American Journal of Public Health, 91**, 1565-1570.

Morris, G., & William, B. (1944). Outbreak of sodium nitrite poisoning. **American Journal of Public Health**, (35), 1217-1220.

Olivier, V. P., Snead, M. C., Kruse', C. W., & Kawata, K. (1986). Stability and effectiveness of chlorine disinfectants in water distribution systems. **Environmental Health Perspectives**, **69**, 15-29.

Reiff, F. M., Roses, M., Venczel, L., Quick, R., & Witt, V.M. (1996). Low-cost safe water for the world: A practical interim solution. **Journal of Public Health Policy**, **17**, 389-408.

Safe Drinking Water Committee, Board on toxicology and environmental health hazards, Assembly of Life Sciences. (1980). **Drinking water and health**. Washington, DC: National Academy press.

The American Public Health Association [APHA], the American Water Works Association [AWWA], and the Water Environment Federation [WEF]. (2017). **Standard methods for the examination of water and wastewater** (23rd ed.). Washington, DC: APHA.

Thompson, T., Sobsey, M., & Bartram, J. (2003). Providing clean water, keeping water clean: An integrated approach. **International Journal of Environmental Health Research, 13**(Suppl 1), S89-S94.

World Health Organization [WHO]. (2017). **Guidelines for drinking-water quality** (4th ed.). Geneva: WHO.

Yang, H., & Cheng, H. (2007). Controlling nitrite level in drinking water by chlorination and chloramination. **Separation and Purification Technology**, **56**, 392-396.

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างน้ำบริโภคจำนวน 360 ตัวอย่างแยกตามแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ	จำนวนตัวอย่าง (%)	การตรวจวิเคราะห์คลอรีนอิสระคงเหลือด้วยวิธีมาตรฐาน		การตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ด้วยวิธีมาตรฐาน	
		จำนวน (%)	ปริมาณคลอรีน (mg/L)	จำนวน (%)	ปริมาณไนไตรท์ (mg/L)
1.ประปาหมู่บ้าน/เทศบาล	191 (53.1%)	53 (27.7%)	Mean (SD): 0.24 (0.7) Range: 0-5.4	25 (13.1%)	Mean (SD): 0.008 (0.034) Range: 0-0.4
2.โรงพยาบาล	125 (34.7%)	36 (28.8%)	Mean (SD): 0.47 (1.6) Range: 0-13.5	5 (4.0%)	Mean (SD): 0.001 (0.007) Range: 0-0.05
3.โรงเรียน	16 (4.4%)	2 (12.5%)	2.97, 0.94	1 (6.2%)	0.02
4.การประปาส่วนภูมิภาค	12 (3.3%)	11 (91.7%)	Mean (SD):0.61 (0.67) Range: 0-2.5	0	0
5.ศูนย์การศึกษาเพื่อชุมชนในเขตภูเขา	10 (2.8%)	2 (20.0%)	0.7, 0.9	0	0
6.ตู้กดน้ำในชุมชน	6 (1.7%)	0 (0%)	0	0	0
รวม	**360 (100%)**	**104 (28.9%)**	**Mean (SD):0.32 (1.12) Range: 0-13.5**	**31 (8.6%)**	**Mean (SD): 0.005 (0.026) Range: 0-0.4**

ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภค โดยผู้ใช้ชุดทดสอบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

ผลการคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุดทดสอบ อ31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ	ผลการตรวจวิเคราะห์คลอรีนอิสระคงเหลือ ด้วยวิธีมาตรฐาน		รวม
	พบปริมาณคลอรีน	ไม่พบปริมาณคลอรีน	
ผลบวก	104	9	113
ผลลบ	0	247	247
รวม	104	256	360

ความไว	= 104/104 x 100	= 100%
ความจำเพาะ	= 247/256 x 100	= 96.4%
ค่าการทำนายผลบวก	= 104/113 x 100	= 92.0%
ค่าการทำนายผลลบ	= 247/247 x 100	= 100%
ความถูกต้อง	= 351/360 x 100	= 97.5%

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละการลดลงของไนไตรท์หลังจากเติมคลอรีน 30 นาที โดยมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในตัวอย่างน้ำบริโภค 0.2-0.5 mg/L.

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไนไตรท์	การตรวจวัดไนไตรท์		ร้อยละการลดลงของไนไตรท์ (%)	p-value
	ก่อนเติมคลอรีน (n=20)	หลังเติมคลอรีน 30 นาที (n=20)		
0.05 mg/L	Mean (SD): 0.064 (0.006) Range (min-max): 0.055-0.078	Mean (SD): 0.003 (0.002) Range (min-max): 0.001-0.006	Mean (SD): 95.0 (2.38) Range (min-max): 90.40-99.08	<0.001*
0.1 mg/L	Mean (SD): 0.110 (0.010) Range (min-max): 0.100-0.130	Mean (SD): 0.001 (0.001) Range (min-max): 0-0.003	Mean (SD): 99.28 (0.69) Range (min-max): 97.65-100	<0.001*
1.0 mg/L	Mean (SD): 1.040 (0.020) Range (min-max): 0.990-1.080	Mean (SD): 0.008 (0.002) Range (min-max): 0.005-0.011	Mean (SD): 99.23 (0.17) Range (min-max): 99.00-99.50	<0.001*

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละการลดลงของไนไตรท์หลังจากเติมคลอรีน 30 นาที โดยมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในตัวอย่างน้ำบริโภค 0.2-0.5 mg/L. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไนไตรท์	การตรวจวัดไนไตรท์		ร้อยละการลดลงของไนไตรท์ (%)	p-value
	ก่อนเติมคลอรีน (n=20)	หลังเติมคลอรีน 30 นาที (n=20)		
3.0 mg/L	Mean (SD): 3.450 (0.120) Range (min-max): 3.290-3.680	Mean (SD): 0.004 (0.002) Range (min-max): 0.001-0.008	Mean (SD): 99.89 (0.05) Range (min-max): 99.77-100	<0.001*

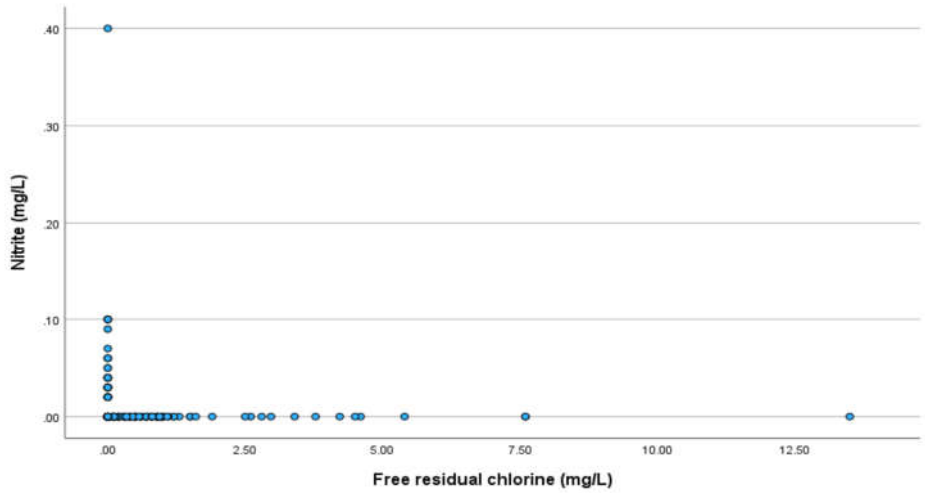
* Wilcoxon Signed Ranks test

ตารางที่ 4 ประสิทธิผลของชุดทดสอบ อ 31 ในการคัดกรองน้ำบริโภคเบื้องต้นก่อนส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์

ผลการตรวจคัดกรองคลอรีนอิสระคงเหลือด้วยชุดทดสอบ อ 31 โดยผู้ใช้ชุดทดสอบ	ผลการตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ ด้วยวิธีมาตรฐาน		รวม
	ไม่พบปริมาณไนไตรท์	พบปริมาณไนไตรท์	
ผลบวก	104	3*	107
ผลลบ	225	28	253
รวม	**329**	**31**	**360**

* ผลการตรวจคัดกรองด้วยชุดทดสอบ อ 31 ให้ผลบวกเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีเหลือง แต่ความเข้มข้น <0.2 mg/L เมื่อเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน โดยผลการตรวจด้วยวิธีมาตรฐานไม่พบปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ

ภาพที่ 1 ชุดทดสอบ อ 31 และการเทียบสีที่เกิดขึ้นกับแผ่นเทียบสีมาตรฐาน



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณไนไตรท์ และปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำบริโภค 360 ตัวอย่างโดยวิธีมาตรฐาน