วารสารวิชาการสาธารณสุข
ปีที่ 32 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2566

Journal of Health Science
Vol. 32 No. 6, November - December 2023

นิพนธ์ต้นฉบับ *Original article*

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเติมคลอรีนในการผลิตน้ำบริโภค

สิทธิชัย สนิทกลาง ภ.บ.*
สุธิดา บุญสม ปร.ด. (เภสัชวิทยา)**
ณัฐ นาเอก Ph.D. (Clinical Epidemiology)***
** กลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ อำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย*
*** สาขาวิชาการบริบาลทางเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา*
**** หน่วยวิจัยเภสัชระบาดวิทยา เภสัชศาสตร์สังคมและการบริหาร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา*

วันรับ: 11 ม.ค. 2565
วันแก้ไข: 20 ก.ย. 2566
วันตอบรับ: 30 ก.ย. 2566

บทคัดย่อ การเติมคลอรีนเป็นขั้นตอนสำคัญในการกำจัดเชื้อจุลชีพเพื่อผลิตน้ำบริโภค ในปัจจุบันการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเติมคลอรีนแต่ละแบบยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงสังเกตแบบตัดขวางมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเติมคลอรีน (การใช้ปั๊มสารเคมีและการเติมคลอรีนเอง) ในกระบวนการเตรียมน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำบริโภค ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างน้ำและข้อมูลจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภค 23 แห่ง ในอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย โดยเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากเติมคลอรีนทั้งสองวิธี จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบมาตรฐานเพื่อทดสอบเชิงคุณภาพถึงปริมาณคลอรีนอิสระตามเกณฑ์มาตรฐาน 0.2-0.5 ppm (ผ่าน/ไม่ผ่าน) และการปนเปื้อนเชื้อจุลชีพ (พบ/ไม่พบ) ผลลัพธ์หลักจะเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติ Fisher's exact test จากการสำรวจของผู้วิจัยพบว่า 17 จาก 23 สถานที่ผลิตน้ำบริโภค (ร้อยละ 73.9) ใช้ปั๊มสารเคมีในการเติมคลอรีน เป็นที่น่าสนใจว่าร้อยละของตัวอย่างน้ำที่ผู้ผลิตใช้ปั๊มสารเคมีและใช้วิธีการเติมคลอรีนเอง มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือเท่ากับ 94.1 และ 16.7 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบทิศทางของความสัมพันธ์เช่นเดียวกันระหว่างวิธีการเติมคลอรีนและการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ ($p<0.05$) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์กลุ่มย่อยเฉพาะสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งของการผลิตก็ให้ผลที่สอดคล้องกัน จากผลการวิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ปั๊มสารเคมีมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการเติมคลอรีนเองในกระบวนการผลิตน้ำบริโภค ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนับสนุนให้มีการใช้ปั๊มสารเคมีอย่างแพร่หลายเพื่อส่งเสริมคุณภาพของน้ำบริโภคและเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค

คำสำคัญ: **การปรับคุณภาพน้ำดิบ; การเติมคลอรีน; ปั๊มสารเคมี; คลอรีนอิสระคงเหลือ; การปนเปื้อนเชื้อจุลชีพ**

บทนำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ร่างกายจำเป็นต้องใช้น้ำในการดำเนินชีวิตในปริมาณที่เหมาะสมในแต่ละวันโดยเฉพาะเพื่อการบริโภค การบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารพิษหรือเชื้อจุลชีพ เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ โรคอุจจาระร่วง โรคอาหารเป็นพิษ โรคบิด โรคไข้ไทฟอยด์ โรคไวรัสตับอักเสบชนิดเอ และโรคอหิวาตกโรค[1]

จากงานวิจัยของนิภาพรรณ และคณะ[2] แสดงให้เห็นถึงการระบาดของโรคไวรัสตับอักเสบชนิดเอ ในจังหวัด

บึงกาฬ ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2555 พบผู้ป่วยทั้งสิ้น 1,272 ราย คิดเป็นอัตราป่วย 504.99 ต่อประชากรแสนคน โดยผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการพบเชื้อไวรัสตับอักเสบชนิดเอ ในน้ำดิบ น้ำแข็ง และอุจจาระของพนักงานจากโรงงานน้ำแข็งแห่งหนึ่ง และจากการสอบสวนโรคพบว่า น้ำแข็งจากโรงงานดังกล่าวเป็นสาเหตุของการระบาดที่เกิดขึ้น ค่า adjusted odds ratio ของการติดเชื้อไวรัสตับอักเสบชนิดเอ ในกลุ่มผู้บริโภคน้ำแข็งจากโรงงานดังกล่าวคิดเป็น 3.66 (95% CI 1.34-9.98) ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการที่ผู้ผลิตนำน้ำดิบซึ่งไม่ผ่านการบำบัดด้วยคลอรีนหรือการฆ่าเชื้อด้วยวิธีอื่น ๆ ไปใช้ในการผลิตน้ำแข็ง ด้วยความเข้าใจผิดว่ากระบวนการออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) จะช่วยแก้ปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพทุกชนิดได้

ปัญหาการปนเปื้อนเชื้อจุลชีพในกระบวนการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเกิดได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ การปรับคุณภาพน้ำดิบที่ไม่เหมาะสม การขาดการบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์การผลิต ตลอดจนการปนเปื้อนหลังการฆ่าเชื้อ[3] จึงนำไปสู่การสร้างข้อกำหนดในหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (good manufacturing practice; GMP) สำหรับการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท[4] ซึ่งแหล่งน้ำและการปรับคุณภาพน้ำเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่จะต้องได้รับการตรวจสอบคุณภาพ โดยพิจารณาจากการไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ และต้องมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ (free residual chlorine) อยู่ในช่วง 0.2-0.5 ppm ดังนั้น การเติมคลอรีนในการปรับคุณภาพน้ำดิบจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทให้ได้มาตรฐานและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

จากการเยี่ยมสำรวจสถานที่ผลิตน้ำบริโภคในเขตอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย พบว่า ในปัจจุบันมีการเติมคลอรีน 2 วิธี ได้แก่ (1) การใช้ปั๊มสารเคมีกำหนดขนาด (dosing pump) และ (2) การเติมคลอรีนเองโดยตรงที่ถังเก็บน้ำดิบถังแรกแล้วปล่อยให้ไหลไปที่ถังเก็บน้ำดิบอื่น จากนั้นทิ้งไว้นานประมาณ 30 นาที ก่อนปล่อยน้ำดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำบริโภคในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจากข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดวิธีที่เหมาะสมในการเติมคลอรีน รวมทั้งจากการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมยังไม่พบงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการเติมคลอรีนทั้งสองวิธี

คณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเติมคลอรีนเพื่อปรับคุณภาพน้ำดิบ ณ สถานที่ผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เขตอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย โดยจะมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพต่อการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพและปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ ซึ่งผลการวิจัยนี้อาจเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปสู่การปรับปรุงข้อกำหนดมาตรฐานการผลิตน้ำบริโภค ทั้งนี้เพื่อให้ประชาชนได้บริโภคน้ำที่มีคุณภาพ สะอาดและปลอดภัย ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีในระยะยาวต่อไป

วิธีการศึกษา

รูปแบบและขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงสังเกตที่เก็บข้อมูลเชิงตัดขวาง (cross-sectional observational study) โดยสำรวจและเก็บข้อมูลจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิททุกแห่งในเขตอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย จำนวนทั้งสิ้น 23 แห่ง ระหว่างวันที่ 1 ถึง 30 มิถุนายน 2564 เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้กระทำโดยตรงต่อมนุษย์ จึงไม่จำเป็นต้องขอพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

ตัวแปรและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ตัวแปรต้น (independent variable) คือ วิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การใช้ปั๊มสารเคมีและการเติมคลอรีนเอง ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ คุณภาพน้ำดิบ ซึ่งประเมินจาก (1) ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในช่วง 0.2-0.5 ppm (ผ่าน/ไม่ผ่าน) และ (2) การปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ (พบ/ไม่พบ) และตัวแปรร่วม (covariate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจสัมพันธ์กับปริมาณคลอรีนอิสระ

คงเหลือหรือการปนเปื้อนของจุลชีพในน้ำดิบ[5] ได้แก่ ความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิของน้ำดิบ ระยะเวลาในการเก็บสิ่งส่งตรวจ จำนวนและชนิดของถังเก็บน้ำดิบ และแหล่งน้ำดิบที่สถานที่ผลิตใช้ผลิตน้ำบริโภค

ในการเก็บข้อมูลจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคนั้น ผู้วิจัยได้ติดต่อผู้ผลิตล่วงหน้าเพื่อนัดหมายวันเวลาในการเก็บตัวอย่าง และสอบถามข้อมูลทั่วไป พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการตรวจคุณภาพตามแบบเก็บข้อมูลที่กำหนด โดยการเก็บตัวอย่างจะปฏิบัติตามขั้นตอนและวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบริโภคเพื่อทดสอบคุณภาพน้ำตามมาตรฐานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข[6] ความเข้มข้นสารละลายคลอรีนที่ใช้เท่ากับ 0.5 ppm เก็บตัวอย่างหลังจากการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ตามเกณฑ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา[5] ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองเก็บตัวอย่างน้ำดิบเพื่อทดสอบคุณภาพน้ำจาก 2 ตำแหน่ง คือ (1) ด้านบนโดยใช้การเก็บตัวอย่างจากผิวน้ำ และ (2) ด้านล่างโดยวิธีเปิดก๊อกในถังสุดท้าย (ภาพที่ 1) จากการเปรียบเทียบพบว่าตัวอย่างน้ำดิบจากทั้งสองตำแหน่งมีคุณภาพไม่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างด้านบนเท่านั้น

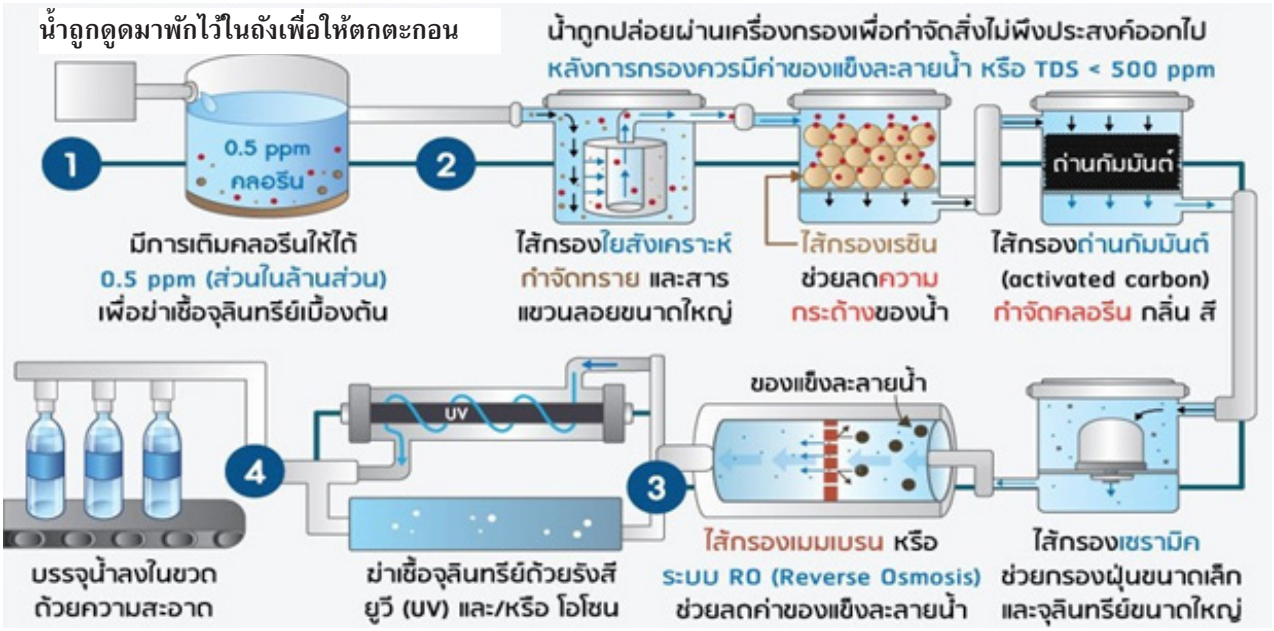
การตรวจสอบคุณภาพน้ำดิบ

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพน้ำดิบ โดยใช้ชุดทดสอบดังต่อไปนี้[6,8]

1. ชุดทดสอบอาหารสำหรับตรวจเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (อ 11) เป็นชุดตรวจสอบภาคสนามของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำบริโภค ซึ่งผลการตรวจด้วยชุดทดสอบดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสอดคล้องกับการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี multiple-tube fermentation technique ไม่น้อยกว่าร้อยละ 84.5 ซึ่งทดสอบโดยพิจารณาจากสีของอาหารตรวจเชื้อหลังจากตั้งไว้ 24 ชั่วโมง หากสีเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีส้ม สีส้มแกมเหลือง หรือสีเหลือง รวมทั้งมีความขุ่นและฟองแก๊สผุดขึ้นเมื่อเขย่าเบา ๆ แสดงว่าตัวอย่างน้ำมีการปนเปื้อนของเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย แต่หากตั้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วไม่เปลี่ยนสี จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงหลังจากตั้งไว้ต่ออีก 24 ชั่วโมง (รวมเป็น 48 ชั่วโมง)

2. ชุดทดสอบคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำบริโภค (อ 31) เป็นการทดสอบโดยอาศัยปฏิกิริยาทำให้เกิดสีตามวิธีมาตรฐานโดยเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน วิธีนี้เป็นวิธี

ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนหลักในการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท[7]



หมายเหตุ การเก็บตัวอย่างน้ำดิบเพื่อทดสอบคุณภาพน้ำในงานวิจัยนี้จะเก็บตัวอย่างจากผิวน้ำในถังน้ำดิบถังสุดท้าย (หมายเลข 1)

ที่น่าเชื่อถือโดยมีผลตรวจสอดคล้องกับวิธีการมาตรฐานในห้องปฏิบัติการไม่น้อยกว่าร้อยละ 97 ทั้งนี้มาตรฐานได้กำหนดว่าจะต้องมีคลอรีนไม่เกิน 250 mg ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร หรือปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือไม่เกิน 0.2-0.5 ppm

3. การวัดความเป็นกรดด่างของน้ำ จะใช้ชุด pH Test Kits V Unique V-color 4590 โดยสามารถวัดช่วงพีเอชระหว่าง 4.5-9.0 และเครื่องมือมีความละเอียดในการอ่านวัดค่าครั้งละ 0.5 หน่วย ทั้งนี้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำบริโภคในประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท กำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-8.5

4. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล สอบเทียบโดยฝ่ายเครื่องมือแพทย์ โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ (Date 30/01/2564 Due 31/01/2565) และกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข (Date 27/04/2564 Due 22/04/2565)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคทุกแห่งในเขตอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย จึงไม่ได้คำนวณขนาดตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ ข้อมูลลักษณะทั่วไปของสถานที่ผลิตน้ำบริโภคจะใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยนำเสนอเป็น จำนวน (ร้อยละ) ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) หรือค่ามัธยฐาน (ช่วงพิสัยควอไทล์) ขึ้นกับลักษณะข้อมูล การเปรียบเทียบลักษณะระหว่างสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้วิธีเติมคลอรีนทั้งสองวิธีใช้สถิติ Independent T-test หรือ Wilcoxon rank-sum test สำหรับตัวแปรชนิดต่อเนื่อง (continuous variable) และ Fisher's exact test สำหรับตัวแปรชนิดแบ่งกลุ่ม (categorical variable) สำหรับผลลัพธ์ในการศึกษาจะนำเสนอในรูปจำนวนและร้อยละ การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มใช้สถิติ Fisher's exact test

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรม STATA version 14 (StataCorp LLP, College Station, Texas) โดยกำหนดค่าผิดพลาดแอลฟาแบบสองทาง (two-sided alpha error) เท่ากับ 0.05

ผลการศึกษา

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลสถานที่ผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เขตอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย จำนวนทั้งสิ้น 23 แห่ง พบว่า สถานที่ผลิต 17 แห่ง (ร้อยละ 73.9) ใช้ปั๊มสารเคมีเติมคลอรีนในน้ำดิบ ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลลักษณะทั่วไปของสถานที่ผลิตทั้งสองกลุ่ม พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นแหล่งน้ำดิบที่ใช้ และพบว่าสถานที่ผลิตที่ใช้ปั๊มสารเคมีในการเติมคลอรีนมักนำน้ำจากแหล่งใต้ดินหรือน้ำประปามาใช้ผลิตน้ำบริโภค ในขณะที่สถานที่ผลิตที่ใช้วิธีเติมคลอรีนเองจะนำน้ำจากผิวดินหรือน้ำใต้ดินมาใช้ผลิตน้ำบริโภค (p=0.04)

ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเติมคลอรีนต่อปริมาณ

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของสถานที่ผลิตน้ำบริโภคแยกตามวิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบ

ลักษณะทั่วไป	สถานที่ผลิตแยกตามวิธีการเติมคลอรีน			p-value
	เติมคลอรีนเอง (N=6)	ใช้ปั๊มสารเคมี (N=17)	รวม (N=23)	
ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์				
ความเป็นกรดด่าง (pH)	7.6±0.32	7.2±0.68	7.3±0.63	0.18§
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.9±0.62	27.9±0.52	27.9±0.53	1.00§
ระยะเวลาหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำดิบ (นาที)				
การวัดคลอรีน	2.50±0.55	2.35±0.49	2.39±0.49	0.54§
การวัดจุลินทรีย์	4.33±0.82	4.06±0.66	4.13±0.69	0.43§

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของสถานที่ผลิตน้ำบริโภคแยกตามวิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบ (ต่อ)

ลักษณะทั่วไป	สถานที่ผลิตแยกตามวิธีการเติมคลอรีน			p-value
	เติมคลอรีนเอง (N=6)	ใช้ปั๊มสารเคมี (N=17)	รวม (N=23)	
ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่สำรวจ				
จำนวนถังน้ำดิบที่ใช้	3 (2, 5)	4 (3, 5)	3 (2, 5)	0.68‡
ชนิดของถังน้ำดิบที่ใช้				0.63†
พลาสติก	4 (66.7%)	13 (76.5%)	17 (73.9%)	
ปูน	2 (33.3%)	4 (23.5%)	6 (26.1%)	
แหล่งน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำบริโภค			0.04†	
น้ำผิวดิน	1 (16.7%)	0	1 (4.4%)	
น้ำใต้ดิน	5 (83.3%)	9 (52.9%)	14 (60.9%)	
น้ำประปา	0	8 (47.1%)	8 (34.7%)	

หมายเหตุ ตัวเลขในตารางนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวน (ร้อยละ) หรือค่ามัธยฐาน (พิสัยควอไทล์)
p-value วิเคราะห์ได้จาก §Independent T-test with equal variance, ‡Wilcoxon rank-sum test และ †Fisher's exact test

คลอรีนอิสระคงเหลือและการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพแสดงดังตารางที่ 2 โดยผลการศึกษาพบว่าการเติมคลอรีนโดยใช้ปั๊มสารเคมีจะสัมพันธ์กับการมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือตามเกณฑ์มาตรฐานสูงกว่าการเติมคลอรีนเอง (ร้อยละ 94.1 สำหรับการใช้ปั๊มสารเคมีและร้อยละ 16.7 สำหรับการเติมคลอรีนเอง p = 0.001) และตัวเลขดังกล่าวยังสอดคล้องกับผลลัพธ์การปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพด้วยเช่นกัน (p=0.001)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์กลุ่มย่อยเฉพาะสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่พบว่าสัมพันธ์กับวิธีการเติมคลอรีนและอาจส่งผลต่อคุณภาพของน้ำดิบที่ได้ (ตารางที่ 3) ซึ่งผลการวิเคราะห์ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการวิเคราะห์หลัก นั่นคือ การเติมคลอรีนโดยใช้ปั๊มสารเคมีจะสัมพันธ์กับ

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบกับปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือและการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ (N=23)

ผลลัพธ์	วิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบ				p-value§
	เติมคลอรีนเอง (N=6)		ใช้ปั๊มสารเคมี (N=17)		
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ					0.001
ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (0.2-0.5 ppm)	1	16.7	16	94.1	
ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (<0.2 ppm)	5	83.3	1	5.9	
การปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ					0.001
ไม่พบการปนเปื้อน	1	16.7	16	94.1	
พบการปนเปื้อน	5	83.3	1	5.9	

หมายเหตุ §p-value วิเคราะห์ได้จาก Fisher's exact test

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบกับปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือและการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ วิเคราะห์เฉพาะสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบ (n=14)

ผลลัพธ์	วิธีการเติมคลอรีนในน้ำดิบ				p-value§
	เติมคลอรีนเอง (N=6)		ใช้ปั๊มสารเคมี (N=17)		
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ					0.020
ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (0.2-0.5 ppm)	1	20.0	8	88.9	
ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (<0.2 ppm)	4	80.0	1	11.1	
การปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ					0.020
ไม่พบการปนเปื้อน	1	20.0	8	88.9	
พบการปนเปื้อน	4	80.0	1	11.1	

หมายเหตุ §p-value วิเคราะห์ได้จาก Fisher's exact test

การมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือสูงกว่าและมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพต่ำกว่าการเติมคลอรีนเองโดยไม่ใช้ปั๊มสารเคมี (p=0.020)

วิจารณ์

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดิบจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคกว่า 23 แห่ง ในอำเภอท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย พบว่าสถานที่ผลิตส่วนใหญ่ (ร้อยละ 73.9) ใช้ปั๊มสารเคมีเติมคลอรีนในน้ำดิบ โดยในกลุ่มที่ใช้วิธีดังกล่าวพบความสัมพันธ์กับร้อยละของการมีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่สูงกว่าและการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพที่ต่ำกว่ากลุ่มที่เติมคลอรีนเองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาเหตุที่การใช้ปั๊มสารเคมีสัมพันธ์กับปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่สูงกว่านั้น สามารถอธิบายได้ว่าการใช้ปั๊มสารเคมีจะช่วยให้สามารถควบคุมปริมาณคลอรีนได้แม่นยำกว่าการเติมคลอรีนลงถังเก็บน้ำดิบโดยตรง นอกจากนี้การเติมคลอรีนด้วยปั๊มสารเคมีผ่านท่อน้ำก่อนที่จะเข้าสู่ถังน้ำดิบจะทำให้คลอรีนสามารถผสมกับน้ำดิบได้อย่างทั่วถึงก่อน แล้วจึงไหลไปสู่ถังเก็บน้ำดิบต่อไป วิธีนี้สามารถปรับความถี่และความเข้มข้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือตามเกณฑ์ที่กำหนด และความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อจุลชีพ จึงลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพในตัวอย่างน้ำดิบได้ ในขณะที่การเติมคลอรีนเอง ผู้ผลิตจะเติมคลอรีนในถังแรกก่อน แล้วจึงปล่อยให้น้ำไหลไปยังถังอื่น ซึ่งอาจทำให้ควบคุมปริมาณคลอรีนได้ไม่แม่นยำ ส่งผลให้ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจมีปริมาณคลอรีนไม่เพียงพอในการกำจัดเชื้อจุลชีพ

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลพบว่า มี 1 ตัวอย่างที่นำมาจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้ปั๊มสารเคมี แต่กลับพบปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือน้อยกว่า 0.2 ppm และพบการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ ซึ่งปรากฏการณ์ที่พบอาจเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น คลอรีนที่ใช้เสื่อมสภาพ หรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการควบคุมปั๊มสารเคมี เป็นต้น ในขณะที่พบว่ามี 1 ตัวอย่างจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้วิธีการเติมเองที่มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่ในช่วงมาตรฐานตามที่เกณฑ์กำหนดและไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ โดยผู้วิจัยพบว่าสถานที่ผลิตดังกล่าวใช้ปริมาณน้ำดิบน้อย ซึ่งมีจำนวนถังเก็บน้ำดิบเพียง 2 ถัง จึงอาจควบคุมปริมาณคลอรีนที่เติมได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มกำหนดขนาด

การศึกษานี้เป็นงานวิจัยแรกที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้วิธีเติมคลอรีนในน้ำดิบที่แตกต่างกันต่อ

ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือและการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพ ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงสังเกตแบบตัดขวาง การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพเกิดขึ้นภายหลังจากการเติมคลอรีนแล้ว ทำให้สามารถบ่งชี้ความสัมพันธ์เชิงห้วงเวลา (temporal relationship) ได้ว่าการเติมคลอรีนเกิดขึ้นก่อนผลลัพธ์ ทั้งนี้หากมีการเก็บตัวอย่างน้ำดิบก่อนเติมคลอรีนมาวิเคราะห์ร่วมด้วย จะทำให้บ่งชี้ความสัมพันธ์เชิงห้วงเวลาดังกล่าวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ก็มีข้อจำกัดที่สำคัญ กล่าวคือ ความสัมพันธ์ที่พบอาจเป็นผลมาจากปัจจัยกวน (confounder) โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดของแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของน้ำดิบที่ได้ ซึ่งพบว่าเกือบร้อยละ 35.0 ของสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ใช้ปั๊มสารเคมีจะใช้น้ำประปาเป็นแหล่งน้ำดิบ และเป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำประปาจะมีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคอยู่แล้ว จึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่สูงกว่าและการไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพในกลุ่มที่ใช้ปั๊มสารเคมีนั้นอาจเป็นผลจากแหล่งน้ำดิบที่ใช้ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์กลุ่มย่อยเฉพาะสถานที่ผลิตน้ำที่ใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบก็ให้ข้อสรุปที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาหลัก ดังนั้น ผลของปัจจัยกวนดังกล่าวจึงอาจไม่ใช่ประเด็นที่สำคัญนัก นอกจากนี้ในงานวิจัยยังศึกษาเฉพาะคุณภาพของน้ำดิบ ไม่ได้นำผลิตภัณฑ์สุดท้ายมาวิเคราะห์คุณภาพร่วมด้วย ทำให้ไม่สามารถเชื่อมโยงถึงผลกระทบของการใช้น้ำดิบที่ไม่ผ่านมาตรฐานมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำบริโภคได้อย่างชัดเจนนัก

หากพิจารณาการนำผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้เชิงนโยบาย ผู้วิจัยเสนอให้มีการเพิ่มเติมแนวทางและข้อพิจารณาการตรวจสถานที่ผลิตอาหารตามหลักเกณฑ์ GMP ของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ในข้อกำหนดเฉพาะ 1 สำหรับการผลิตน้ำบริโภคใยภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท น้ำแร่ธรรมชาติ หรือน้ำแข็งบริโภคที่ผ่านวิธีการกรอง โดยควรกำหนดให้ต้องมีปั๊มสารเคมีเติมคลอรีนในการปรับคุณภาพน้ำดิบ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการปรับคุณภาพน้ำดิบ อันจะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคต่อไป

กล่าวโดยสรุป การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้ปั๊มสารเคมีสำหรับเติมคลอรีนเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ เนื่องจากการเติมคลอรีนด้วยวิธีดังกล่าวนอกจากจะสัมพันธ์กับปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่สูงกว่าแล้ว ยังพบการปนเปื้อนของเชื้อจุลชีพที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมคลอรีนเองโดยไม่ใช่ปั๊ม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกอบรมหลักสูตรการวิจัยผลลัพธ์และประเมินนโยบายสุขภาพ รุ่นที่ 1 จัดโดยคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเภสัชกรรมปฏิบัติ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงนิพนธ์ต้นฉบับ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร.ภก. ยุทธนา วงศาลาภ ซึ่งเป็นหนึ่งในคณะกรรมการผู้ประเมินโครงร่างงานวิจัยและเป็นผู้ประเมินนิพนธ์ต้นฉบับ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการเขียนนิพนธ์ต้นฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมโรค. ประกาศเตือนประชาชนป้องกันโรคและภัยสุขภาพในช่วงฤดูร้อน [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [สืบค้นเมื่อ 13 ส.ค. 2564]. แหล่งข้อมูล: https://ddc.moph.go.th/brc/news.php?news=17604&deptcode=
2. นิภาพรรณ สฤษดิ์อภิรักษ์, ชำนาญ ไวแสน, กิตติพิชญ์ จันที, ไผท สิงห์คำ, กรรณิการ์ หมอนพังเทียม, บวรวรรณ ดิเรกโภค, และคณะ. การระบาดของโรคไวรัสตับอักเสบเอในจังหวัดบึงกาฬ พ.ศ. 2555: การปนเปื้อนเชื้อจากน้ำแข็งสำหรับบริโภคของโรงงานแห่งหนึ่ง. วารสารวิชาการสาธารณสุข 2558;24(4):600-11.
3. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. แนวทางการป้องกันปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในการผลิตน้ำบริโภค

บรรจุขวด. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2547.
4. กองควบคุมอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. คู่มือการตรวจสถานที่ ผลิตตามหลักเกณฑ์ GMP น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. ฉบับที่ 2. กรุงเทพมหานคร: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2551.
5. คู่มือสำหรับผู้ควบคุมการผลิต น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท น้ำแร่ธรรมชาติและน้ำแข็งบริโภค. นนทบุรี: กองอาหาร สำนักคณะกรรมการอาหารและยา; 2564.
6. ศูนย์ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย กรมอนามัย. User manual for drinking water test kit. นนทบุรี: กรมอนามัย; 2558.
7. คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. นนทบุรี: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์; 2562.
8. มัทนา สมบัติวัฒนาเวศ, ชิดชนก เรือนก้อน. สถานการณ์คุณภาพน้ำดื่มจากตู้น้ำหยอดเหรียญและระบบการบำรุงรักษาในพื้นที่อำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา. วารสารเภสัชกรรมไทย 2563;12(2):288-98.

Abstract: Comparative Efficacy of Chlorination Methods in Drinking Water Production

Sittichai Sanitklang, B.Pharm.*; Suthida Boonsom, Ph.D. (Pharmacology); Nat Na-Ek, PhD (Clinical Epidemiology)*****

** Pharmacy Department, Thabo Crown Prince Hospital, Thabo, Nong Khai; ** Department of Pharmaceutical Care, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao; *** Pharmacoepidemiology, Social and Administrative Pharmacy (P-SAP) Research Unit, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao, Thailand*

Journal of Health Science 2023;32(6):1076-83.

Chlorination is a crucial step in eliminating microbial contaminants for drinking water production. Currently, there is a lack of information on the effectiveness of various chlorination methods. This observational cross-sectional study aimed to compare the efficiency of two chlorination methods (i.e., utilizing a dosing pump and manual chlorination) in the raw water preparation process for drinking water production. Water samples and data were collected from 23 drinking water production sites in Tha Bo District, Nong Khai Province, Thailand. After chlorination using both methods, the water samples were analyzed using standard test kits for qualitative testing in terms of free residual chlorine levels according to the standard criteria of 0.2-0.5 ppm (pass/fail) and the presence of microbial contamination (detected/not detected). The main outcomes were statistically compared between the groups using Fisher's exact test. We observed that 17 out of 23 water production sites (73.9%) used dosing pumps for chlorination. Interestingly, the percentage of water samples with acceptable residual chlorine content was 94.1% and 16.7% in the sites using dosing pumps and those using manual chlorination, respectively ($p<0.05$). Similar statistically significant relationships were found between chlorination methods and the presence of microbial contamination ($p<0.05$). Furthermore, subgroup analysis of sites using underground water as a production resource had also shown consistent findings. In conclusion, this study indicates that the use of dosing pumps is more effective than manual chlorination in the drinking water production process. Therefore, we recommend the widespread adoption of dosing pumps to enhance the quality of drinking water and ensure consumer safety.

Keywords: water conditioning, chlorination, dosing pump, free residual chlorine, microbial contamination