การศึกษาค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำ สำหรับการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง

ญาณิศา ตันติปาลกุล[1*], คุณัช ปาลวัฒน์วิไชย[2], ขนิษฐา หทัยสมิทธ์[3],
รัตน์สุภา ธรรมาภรณ์[1], เพียงฤทัย บุญประสิทธิ์[1], ปาริฉัตต์ วิเศษสิงห์[4], สุปรีชา วิเชียรศรี[4]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร
[2]ส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต ฝ่ายผลิตโรงงานผลิตน้ำบางเขน
การประปานครหลวง กรุงเทพมหานคร
[3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร
[4]สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร
[*]Corresponding author email: yanisa.ta@bsru.ac.th

ได้รับบทความ: 26 ตุลาคม 2565
ได้รับบทความแก้ไข: 3 ธันวาคม 2565
ยอมรับตีพิมพ์: 6 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำในการผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง โดยเก็บตัวอย่างน้ำประปาในสถานีสูบ – จ่ายน้ำทั้ง 5 สถานี แบ่งเป็นสถานีสูบส่งน้ำประปา 3 สถานี และสถานีสูบจ่ายน้ำประปา 2 สถานี เพื่อวิเคราะห์หาค่าคลอรีนอิสระตกค้างตาม Standard Method No.4500-CLA ทุก ๆ 2 นาที ตั้งแต่เวลาที่เริ่มเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนจนกระทั่งค่าคลอรีนอิสระตกค้างลดลงใกล้เคียงกับค่าก่อนการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในทุกสถานี จากการวิจัยพบว่า เพื่อให้การฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ถังเก็บน้ำใสในสถานีสูบส่งน้ำที่ 1, 2 และ 3 ควรมีค่าคลอรีนอิสระตกค้างไม่ต่ำกว่า 0.60, 0.83 และ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในสถานีสูบจ่ายน้ำที่ 1 และ 2 ควรมีค่าคลอรีนอิสระตกค้างไม่ต่ำกว่า 0.71 และ 0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยปัจจัยหนึ่งที่ทำให้

ระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีนไม่เป็นไปตามทฤษฎี คือ เกิดการไหลลัดของน้ำและการเกิดน้ำขังภายในถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบส่ง - จ่ายน้ำ

คำสำคัญ: ค่าคลอรีนอิสระตกค้าง/ ระยะเวลาในการสัมผัสน้ำของคลอรีน/
กระบวนการผลิตน้ำประปา

The Study of the Minimum Value of Free Residual Chlorine for Water Treatment Process, Bangkhen Water Treatment Plant, Metropolitan Waterworks Authority

Yanisa Tantipalakul[1*], Kunut Palawatwichai[2],
Khanitta Hathaisamit[3], Ratsupa Thammaporn[1], Piangruetai Boonprasith[1],
Parichat Wisetsing[4], Supreecha Wichensri[4]

[1]Medical Science Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok
[2]Water Quality Analysis Section, Bangkhen Water Treatment Plant, Metropolitan Waterworks Authority, Bangkok
[3]Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok
[4]Industrial Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok
[*]Corresponding author email: yanisa.ta@bsru.ac.th

Received: 26 October 2022
Revised: 3 December 2022
Accepted: 6 December 2022

Abstract

The purpose of this research was to study the minimum value of free residual chlorine for water treatment process, Bangkhen water treatment plant of Metropolitan Waterworks Authority. Water samples were collected from 5 transmission – distribution stations, divided into 3 transmission stations and 2 distribution stations. Free residual chlorine were determined according to Standard Method No.4500-CLA every 2 minutes from the time of increasing the concentration of chlorine until the free residual chlorine decreases close to before the experiment. The experiment was repeated 3 times in all stations.

The result showed that the efficiency of disinfection in reservoir at Transmission 1, Transmission 2, Transmission 3, Distribution 1 and Distribution 2 should have a residual free chlorine at least 0.60, 0.83, 0.88, 0.71 and 0.94 milligrams per liter, respectively. The factor that caused the contact time of chlorine not be in accordance with the theory was the occurrence of short-circuit flow and stagnant zone of water inside reservoir of the plant.

Keywords: Free residual chlorine/ Contact time/ Water treatment process

บทนำ

น้ำประปาที่ผลิตจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวง ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีกระบวนการบำบัดขั้นต้น (pre-treatment) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการสร้างตะกอนและรวมตะกอน (coagulation-flocculation) ด้วยสารส้ม (alum) ในถังตกตะกอนสัมผัส (solid contact clarifier) น้ำที่ผ่านการตกตะกอนจะถูกส่งไปยังบ่อกรองเร็ว (rapid gravity filtration) โดยจะมีการฆ่าเชื้อโรคขั้นสุดท้ายด้วยการเติมคลอรีนในถังเก็บน้ำใส (reservoir) ในสถานีสูบ – จ่ายน้ำทั้ง 5 สถานี แบ่งเป็นสถานีสูบส่งน้ำประปา (transmission water : TW) 3 สถานี และสถานีสูบจ่ายน้ำประปา (distribution : DIS) 2 สถานี [1]

การใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค (chlorination) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดี ทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำ เนื่องจาก คลอรีนมีราคาถูก เหมาะกับการใช้ปริมาณมาก คงอยู่ในน้ำได้นาน เป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่มีอำนาจออกซิไดส์ซิง (oxidizing power) สูง เมื่อเติมลงในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ได้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) และกรดไฮโปรคลอรัส (HOCl) ซึ่งเป็นกรดอ่อนแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและไฮโปรคลอไรต์ไอออน (OCl^-) เพียงบางส่วน

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow H^+ + Cl^- + HOCl$$

$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^-$$

ด้วยเหตุนี้ ในน้ำจึงมีคลอรีนในรูปคลอรีนอิสระ (Cl_2) กรดไฮโปรคลอรัส และไฮโปรคลอไรต์ไอออน รวมเรียกว่า คลอรีนอิสระตกค้าง (free residual chlorine : FRC) [2] ที่มีความสามารถฆ่าเชื้อโรคและจุลินทรีย์ รวมทั้งสารอื่นๆ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว ไวรัส ในน้ำได้ [3–5] ดังนั้นหากเติมคลอรีนให้มากพอหลังจากที่คลอรีนทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ จะมีคลอรีนอิสระตกค้างอยู่ในน้ำคอยทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ อย่างไรก็ตาม ถ้าเติมคลอรีนมากเกินไปจะเกิดการกัดกร่อนเส้นท่อ [6] และทำให้น้ำประปามีกลิ่นคลอรีนแรง ไม่เหมาะแก่การอุปโภคหรือบริโภค ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (disinfection byproducts) เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (trihalomethane) สารฮาโลอะซิติกแอซิด (haloacetic acid) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง [4] และทำให้ต้นทุนด้านสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาสูง [7]

ปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนผลิตน้ำประปาให้บริการพื้นที่ทั้งหมด 30 เขตในกรุงเทพมหานคร คิดเป็นร้อยละ 60 ของพื้นที่ให้บริการของการประปานครหลวง [1] คุณภาพของน้ำจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ควรปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อโรค ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อสุขอนามัยที่ดีของประชาชนผู้ใช้น้ำ โดยองค์การอนามัยโลกแนะนำว่าคลอรีนควรมีเวลาสัมผัสกับน้ำ (contact time) อย่างน้อย 30 นาที

และค่าคลอรีนอิสระตกค้างไม่ควรต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้การฆ่าเชื้อก่อโรคในน้ำประปามีประสิทธิภาพ [8]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสน้ำของคลอรีนและค่าคลอรีนอิสระตกค้างในแต่ละสถานีสูบส่ง – จ่ายน้ำ โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง เพื่อเป็นแนวทางการกำหนดค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำ ในแต่ละโรงสูบส่ง – จ่าย ให้เหมาะสมตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

วัสดุและวิธีการ

1. สารเคมี

ใช้สารเคมีระดับวิเคราะห์ (analytical grade) ดังนี้ กรดเอทิลีนไดแอมมีนเตตระอะซิติก (ethylene diamine tetra acetic acid : EDTA) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (disodium hydrogen phosphate : Na_2HPO_4) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate : KH_2PO_4) เอ็น,เอ็น-ไดเอทิล-1,4ฟีนิลลีน (N,N-diethyl-1,4phenylene) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) แอมโมเนียมไอร์ออน (II) ซัลเฟต เฮกซะไฮเดรต (ammonium iron (II) sulfate hexahydrate : $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \bullet 6H_2O$)

2. การหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง

เก็บข้อมูลอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำ ในถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบส่งน้ำประปา (transmission water : TW) 3 สถานี และสถานีสูบจ่ายน้ำประปา (distribution : DIS) 2 สถานี ของโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง ตลอด 24 ชั่วโมง มาหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง โดยพิจารณาเลือกช่วงเวลาที่อัตราการไหลของน้ำสูงและระดับความสูงของน้ำในถังเก็บน้ำใสต่ำ เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่สั้นที่สุดที่น้ำเดินทางจากถังเก็บน้ำใสถึงที่สูบน้ำของสถานีสูบส่ง – จ่าย ทำให้มีระยะเวลาในการสัมผัสน้ำของคลอรีนน้อยที่สุด มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในน้ำประปามากที่สุด

3. การคำนวณหาระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎี (theoretical detention time : TDT)

การทำปฏิกิริยาของคลอรีนกับน้ำเพื่อกำจัดเชื้อโรคจะเกิดขึ้นภายในถังเก็บน้ำใส จึงดำเนินการเก็บข้อมูลความกว้าง ความยาว ระดับน้ำ และอัตราการไหลของน้ำจากถังเก็บน้ำใสของสถานีสูบส่ง – จ่าย มาหาระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎี [9] ดังสมการที่ 1

$$\text{TDT (นาที)} = \frac{\text{ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)}}{\text{อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/นาที)}} \quad (1)$$

4. การทดลองหาระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีน (tracer test) [10]

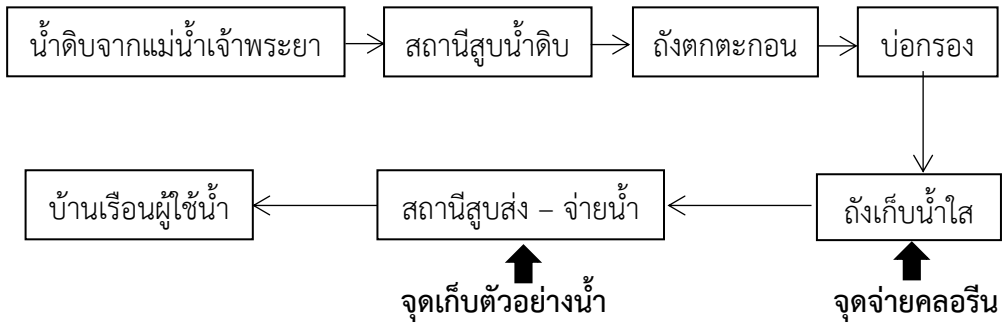
เพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนที่จ่ายในสถานีสูบส่ง – จ่ายเป็น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 15 นาที เก็บน้ำประปา ณ จุดเก็บตัวอย่างของสถานีสูบส่ง – จ่าย ทำการวิเคราะห์หาค่าคลอรีนอิสระตกค้างตาม Standard Method No.4500-CLA [11] โดยตวงน้ำประปาตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์และสารละลายเอ็น, เอ็น-ไดเอทิล-1,4ฟีนิลลีน อย่างละ 5 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับแอมโมเนียมไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต จนสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี อ่านค่าที่ไทเทรตได้และบันทึกค่าคลอรีนอิสระตกค้าง ทุก ๆ 2 นาที ตั้งแต่เวลาที่เริ่มเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนจนกระทั่งค่าคลอรีนอิสระตกค้างลดลงใกล้เคียงกับค่าก่อนการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในทุกสถานี จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาระยะเวลากักเก็บน้ำของระบบ โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลา และนำค่าความเข้มข้นของคลอรีนที่เพิ่มขึ้นจากค่าคลอรีนอิสระตกค้างเริ่มต้นร้อยละ 10 ดังสมการที่ 2 มาลากเส้นสัมผัสเส้นกราฟและลากลงมาตั้งฉากกับแกน X จุดสัมผัสแกน X คือ ระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีนและน้ำดังกล่าวออกจากถังเก็บน้ำใสแล้วประมาณร้อยละ 10 (T_{10})

$$T_{10} = [(\text{maximum FRC} - \text{initial FRC}) \times 10\%] + \text{initial FRC} \qquad (2)$$

เมื่อ T_{10} = ระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีนและน้ำออกจากถังเก็บน้ำใส ประมาณร้อยละ 10

maximum FRC = ค่าคลอรีนอิสระตกค้างสูงสุด

initial FRC = ค่าคลอรีนอิสระตกค้างเริ่มต้น



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาและจุดเก็บตัวอย่างน้ำในการทดลอง

5. การหาค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระตกค้าง [9-10, 12-14]

วิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระตกค้าง เพื่อใช้เป็นแนวทางการกำหนดเกณฑ์ควบคุมค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำ ในแต่ละสถานีสูบส่ง – จ่ายน้ำ ดังสมการที่ 3

$$CT_{values} = C \times T \quad (3)$$

เมื่อ CT_{values} = ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค

C = ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระตกค้าง

T = เวลาในการสัมผัสน้ำของคลอรีน

ผลการศึกษา

1. ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง

จากรายงานสูบส่ง – จ่ายน้ำในถังเก็บน้ำใสประจำวันของแต่ละสถานี สถานีสูบส่ง 3 สถานี ได้แก่ สถานีสูบส่งที่ 1 (TW1) สถานีสูบส่งที่ 2 (TW2) สถานีสูบส่งที่ 3 (TW3) และสถานีสูบจ่าย 2 สถานี ได้แก่ สถานีสูบจ่ายที่ 1 (DIS1) สถานีสูบจ่ายที่ 2 (DIS2) โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง พบว่า ช่วงเวลาที่อัตราการไหลของน้ำสูงและระดับความสูงของน้ำในถังเก็บน้ำใสต่ำ ในแต่ละสถานี คือ 20:00 10:00 22:00 21:00 และ 21:00 นาฬิกา ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

2. ระยะเวลาสัมผัสน้ำตามทฤษฎี

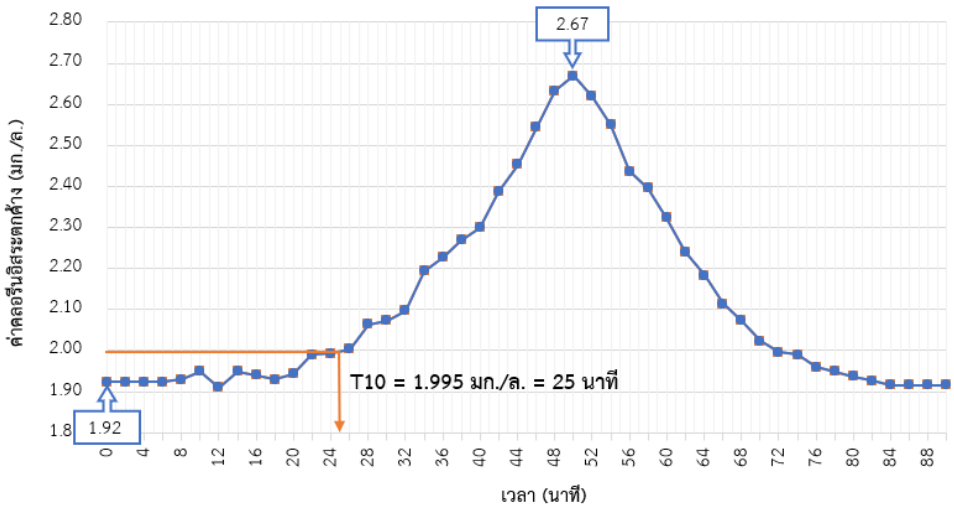
เมื่อนำข้อมูลความกว้าง ความยาว อัตราการไหล และระดับน้ำของถังเก็บน้ำใสมาคำนวณหาระยะเวลาสัมผัสน้ำตามทฤษฎี พบว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำตามทฤษฎีของสถานีสูบส่งที่ 1, 2, 3 และสถานีสูบจ่ายที่ 1, 2 เท่ากับ 74.29, 140.34, 100.11, 28.39 และ 35.41 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำการทดลองและระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎีของสถานีสูบส่ง – จ่ายน้ำ

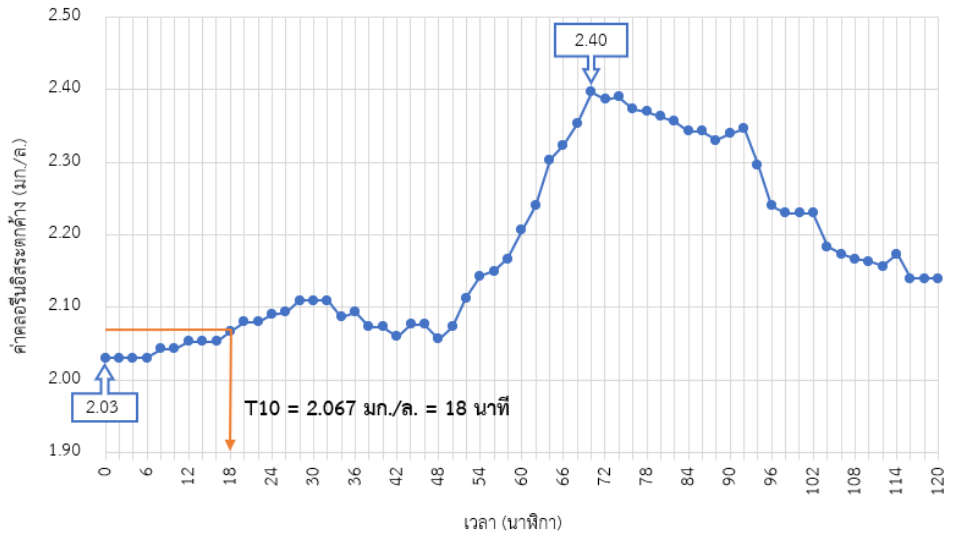
ถังเก็บน้ำใส ณ สถานี	กว้าง (ม.)	ยาว (ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	เวลา (นาฬิกา)	ระดับน้ำ (ม.)	อัตราการไหล (ลบ.ม./นาที)	ระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎี (TDT) (นาที)
TW1	120.80	187.75	60,102.53	20:00	2.65	809	74.29
TW2	140.30	187.75	115,638.42	10:00	4.39	824	140.34
TW3	155.50	180.00	83,690.10	22:00	2.99	836	100.11
DIS1	31.20	177.00	13,938.75	21:00	2.50	491	28.39
DIS2	28.00	180.00	11,188.80	21:00	2.22	316	35.41

3. ระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีน

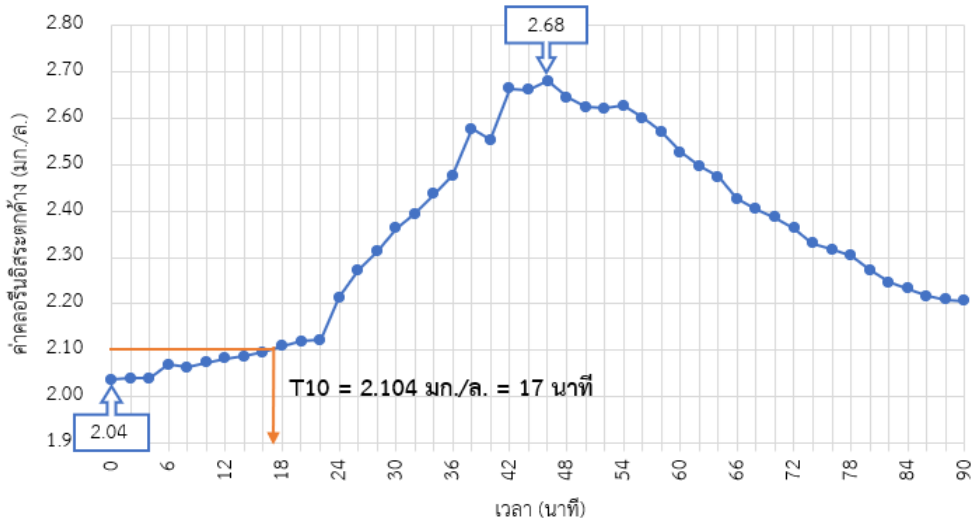
เมื่อนำค่าคลอรีนอิสระตกค้างเฉลี่ย มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลา เพื่อหาระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีนและน้ำดังกล่าวออกจากถังเก็บน้ำใสแล้วประมาณร้อยละ 10 (T_{10}) ดังภาพที่ 2 – 6 พบว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีนของสถานีสูบส่งที่ 1, 2, 3 และสถานีสูบจ่ายที่ 1, 2 เท่ากับ 25, 18, 17, 21 และ 16 นาที ตามลำดับ



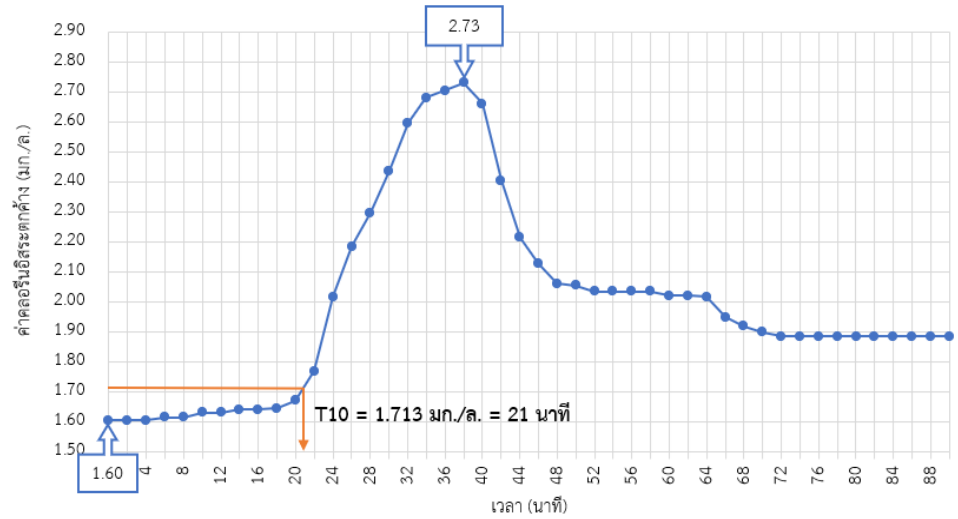
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลาของสถานีสูบส่งน้ำที่ 1



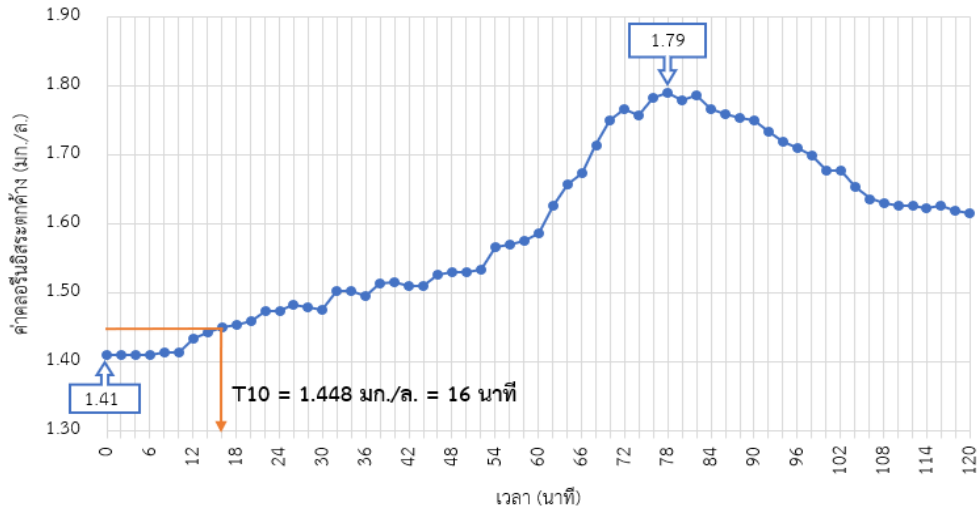
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลาของสถานีสูบส่งน้ำที่ 2



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลาของสถานีสูบส่งน้ำที่ 3



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลาของสถานีสูบจ่ายน้ำที่ 1



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระตกค้างกับเวลาของสถานีสูบจ่ายน้ำที่ 2

4. ค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำ

นำระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีนของสถานีสูบส่ง – จ่ายน้ำ ที่ได้มาคำนวณหาค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำด้วยสมการที่ 3 โดยแทนค่า CT_{values} เท่ากับ 15 นาที•มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจาก องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมีค่า CT_{values} อย่างน้อยเท่ากับ 15 นาที•มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทั้งแบคทีเรียและไวรัสโดยทั่วไป [8]

คำนวณค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำของสถานีสูบส่งน้ำที่ 1 ดังนี้

$$CT_{values} = C \times T$$

$$C = 15 / 25$$

$$= 0.60 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

และผลการหาค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำของสถานีสูบส่งที่ 2, 3 และสถานีสูบจ่ายที่ 1, 2 เท่ากับ 0.83, 0.88, 0.71 และ 0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคลอรีนอิสระตกค้างของสถานีสูบส่ง – จ่ายน้ำ

ถังเก็บน้ำใส ณ สถานี	ระดับน้ำ (เมตร)	อัตราการไหล (ลบ.ม./นาที)	ระยะเวลาสัมผัสน้ำของคลอรีน (T_{10}) (นาที)	ระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎี (TDT) (นาที)	Baffling Factor (T_{10}/TDT)	ค่าคลอรีนอิสระตกค้างขั้นต่ำ (มก./ล.)
TW1	2.65	809	25	74.29	0.34	**0.60**
TW2	4.39	824	18	140.34	0.13	**0.83**
TW3	2.99	836	17	100.11	0.17	**0.88**
DIS1	2.50	491	21	28.39	0.74	**0.71**
DIS2	2.22	316	16	35.41	0.45	**0.94**

จากตารางที่ 2 พบว่า ระยะเวลาการสัมผัสน้ำของคลอรีนต่ำกว่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำตามทฤษฎีในทุกการทดลอง จึงคำนวณค่า baffling factor เพิ่มเติม เพื่อพิจารณาการไหลลัดวงจรของน้ำ (short-circuit) และการเกิดน้ำขัง (stagnant zone) ในถังเก็บน้ำใส ดังสมการที่ 4

$$\text{ค่า baffling factor} = T_{10} / TDT \quad (4)$$

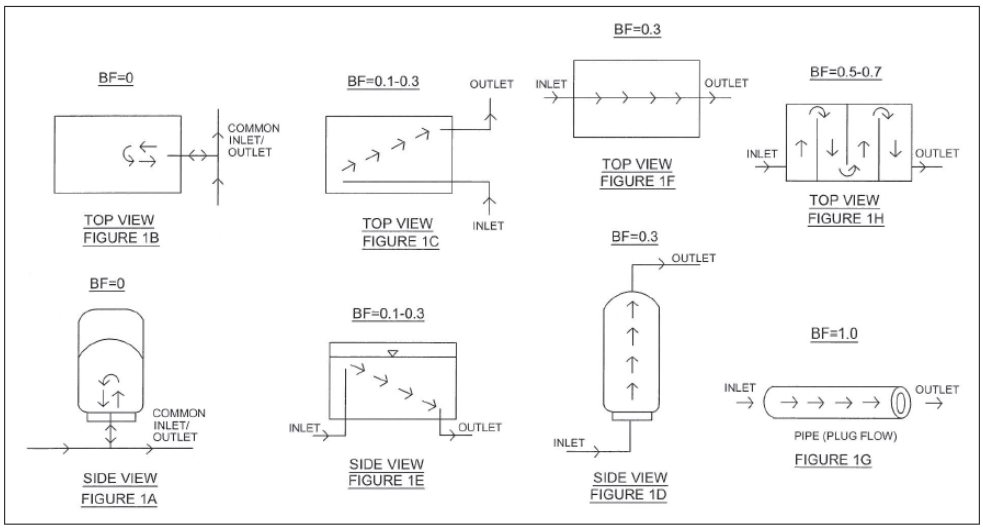
ได้ค่า baffling factor ของสถานีสูบส่งที่ 1, 2, 3 และสถานีสูบจ่ายที่ 1, 2 เท่ากับ 0.34, 0.13, 0.17, 0.74 และ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

วิจารณ์

สาเหตุที่ระยะเวลาการสัมผัสน้ำของคลอรีนต่ำกว่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำตามทฤษฎี อาจเนื่องมาจากเมื่อน้ำเข้ามายังทางเข้า (inlet) ของถังเก็บน้ำใสอาจไหลลัดไปยังทางออก (outlet) อย่างรวดเร็วและมีบริเวณที่น้ำขังนิ่งไม่ได้สัมผัสกับคลอรีนอย่างเต็มที่ เมื่อระดับน้ำในถังเปลี่ยนไป น้ำที่ขังไหลออกสู่ทางออกโดยมีปริมาณคลอรีนต่ำหรือไม่มีเลย น้ำส่วนนี้เป็นส่วนที่ออกจากถังเร็วกว่าระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎี ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำ [9]

นอกจากนั้น ค่า baffling factor ที่คำนวณได้สามารถสื่อถึงปริมาณแผ่นกั้นทางน้ำ (baffles) การไหลลัดทางน้ำและการเกิดน้ำขังนิ่งในถังเก็บน้ำใส โดยค่า baffling factor สูงแสดงถึงมีแผ่นกั้นทางน้ำมาก เกิดการไหลลัดทางน้ำและน้ำขังที่ต่ำ มีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ตามเกณฑ์ขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental

Protection Agency, USEPA) [14] สถานีสูบส่งน้ำที่ 1, 2 และ 3 มีค่า baffling factor อยู่ในช่วง 0.1 – 0.3 แสดงให้เห็นว่า ภายในถังเก็บน้ำใสไม่มีแผ่นกันทางน้ำ เกิดการไหลลัดและน้ำขังในถังเก็บน้ำใสอย่างมาก สถานีสูบจ่ายน้ำที่ 1 และ 2 มีค่า baffling factor อยู่ในช่วง 0.4 – 0.7 แสดงให้เห็นว่า ภายในถังเก็บน้ำใสมีแผ่นกันทางน้ำพอประมาณ เกิดการไหลลัดและน้ำขังปานกลาง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะของแผ่นกั้นทางน้ำและการไหลของน้ำตามค่า baffling factor [15]

วิธีลดการไหลลัดของน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มแผ่นกั้นทางน้ำ (baffles) การเพิ่มหัวฉีด (diffusers) ในถังเก็บน้ำใส เพื่อช่วยยืดเวลาที่น้ำอยู่ในถังเก็บน้ำใสและลดปริมาณน้ำขังได้ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราการสัมผัสของน้ำเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เพราะจะยังคงมีน้ำบางส่วนจะออกจากถังเก็บน้ำใสเร็วกว่าระยะเวลากักเก็บน้ำตามทฤษฎี [9] อีกทั้งประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค (CT_{values}) เกิดจากผลคูณของคลอรีนอิสระคงเหลือหลังจากทำปฏิกิริยากับระยะเวลาการสัมผัสน้ำของคลอรีน ดังนั้น โรงงานผลิตน้ำจะทราบค่าของ CT_{values} ได้ที่ปลายถังเก็บน้ำใส ซึ่งถ้าการจ่ายคลอรีนมีปัญหาขัดข้องหรือจ่ายไม่ได้ปริมาณต่ำสุดที่ต้องการ อาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคได้ การเรียกคืนผลิตภัณฑ์ (product recall) ของกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการตรวจสอบปริมาณการจ่ายคลอรีนด้วยความถี่ที่เหมาะสมจึงเป็นกระบวนงานที่ควรถูกกำหนดขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงจากการจ่ายคลอรีนไม่เพียงพอ [10]

สรุป

เพื่อให้การฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงเรื่องการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคในน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง ควรควบคุมปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในถังเก็บน้ำใส ณ สถานีสูบส่งน้ำที่ 1, 2 และ 3 ให้ไม่ต่ำกว่า 0.6 – 0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สถานีสูบจ่ายน้ำที่ 1 และ 2 ไม่ต่ำกว่า 0.7 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำที่สุดมีค่ามากกว่า 15 นาทีมิลลิกรัมต่อลิตร ตามที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์ประจำส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต ฝ่ายโรงงานผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. กระบวนการผลิตน้ำประปาทั่วไป [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ป.] [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://www.mwa.co.th/download/prd01/water_technology/other/wtp2.pdf
2. มั่นสิน ตัณทุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2532.
3. Water Quality Department, MWA. มั่นใจกระบวนการผลิตน้ำประปาปลอดภัยจากเชื้อ *Heliobacter pylor.* [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก:https://web.mwa.co.th/download/prd01/parameters/ H_Pylori.pdf
4. นาฏอนงค์ เจริญสันติสุข, เกษม จันทร์แก้ว, อรอนงค์ ผิวนิล, ธนิศร์ ปัทมพิฑูร. คลอรีนและผลกระทบของคลอรีนคงเหลือต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2561;20(2),79-91.
5. วิยดา กวานเหียน, ดลฤดี ตวงสิน, สุนิษา ฐานะภักดี. คุณสมบัติการฆ่าเชื้อก่อโรคของน้ำออกซิไดซ์. วารสารพิษวิทยาไทย 2562;34(1):53-69.
6. ศุภรักษ์ แก้วแสง, อดิชัย พรพรหมินทร์, สุรชัย ลิปิวัฒนาการ. การศึกษาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบท่อจ่ายน้ำประปา. วิศวกรรมสาร มก 2559; 29(96):23-34.

7. จิราวัฒน์ หาญไพจิตรกุล. แนวทางการศึกษาการลดปริมาณคลอรีนในอนาคตเพื่อลดค่าใช้จ่ายในโรงผลิตน้ำประปาปทุมธานี. [วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2548.
8. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Malta: Gutenberg; 2011.
9. Andrew Lanchbery. Guide to the measurement and use of C_t. [Internet]. 2019 [cited 2020 October 3]. Available from: https://wioa.org.au/wp-content/uploads/2019/10/Guide-to-the-measurement-and-use-of-Ct.pdf
10. สายงานผลิตและส่งน้ำ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์. การทวนสอบค่า CT. วารสารวิชาการโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์และธนบุรี 2561;1-10.
11. Eaton AD, Franson MAH. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: American public health association, American water works association, Water environment Federation; 2005.
12. North Carolina Area Wide Optimization Program Team. The CT method: A reference guide. [Internet]. 2020 [cited 2020 October 3]. Available from: https://deq.nc.gov/media/ 16645/download
13. Rush, B. CT Disinfection made simple. [Internet]. 2002 [cited 2020 March 25]. Available from: https://files.knowyourh2o.com/pdfs/CTMadeSimple.pdf
14. EPA United States Environmental Protection Agency. Disinfection profiling and benchmarking l guidance manual. [Internet]. 2003 [cited 2020 October 3]. Available from: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/ 20002249.PDF?Dockey=20002249.PDF
15. Thad, P. Methods and Application of Groundwater Disinfection.[Internet]. 2018 [cited 2020 April 5]. Available from: https://waterwelljournal.com/methods-and-application-of-groundwater-disinfection-2/