



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

ผลร่วมของการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นและสารตกตะกอนต่อการกำจัดความขุ่นของ
กระบวนการตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา โดยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

Combined effect of pre-chlorination and coagulant addition on turbidity removal of the clarification water in water treatment plant by sludge blanket clarifier

วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130

Wiwat Onnakklum

Mahasawat Water Treatment Plant, Metropolitan Waterworks Authority, Bangkruai, Nonthaburi 11130

*Corresponding author.

E-mail: wp_js38@hotmail.com; Telephone: 08 1432 2066

วันที่รับบทความ 27 ตุลาคม 2562; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 14 พฤศจิกายน 2562; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 20 ธันวาคม 2562

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 3 9 มีนาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ 13 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในกระบวนการตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา โดยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน โดยการควบคุมอัตราการเติมสารตกตะกอน ผลการทดลองถูกเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน ผลการทดลองพบว่า การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นมีผลต่อการกำจัดความขุ่นในกระบวนการตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะสามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าการไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้น การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นสามารถกำจัดความขุ่นเฉลี่ย $86.3\% \pm 1.7\%$ และการไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้นสามารถกำจัดความขุ่นเฉลี่ย $81.5\% \pm 2.8\%$ เพราะว่าการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะลดค่า pH ของน้ำหลังจากการตกตะกอนได้มากกว่าการไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือของน้ำหลังการตกตะกอนและส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ในความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล โดยที่อัตราการจ่ายสารส้ม 18 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือของน้ำหลังการตกตะกอนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.12-0.16 มิลลิกรัม/ลิตร โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยเฉลี่ย $2.7\% \pm 1\%$

คำสำคัญ

การเติมคลอรีนแบบขั้นต้น ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน พัลเซเตอร์ การกำจัดความขุ่น

Abstract

This paper aims to study performance of turbidity removal of the clarification water in water treatment plant by sludge blanket clarifier. By controlling coagulant dosing rate, the results between pre-chlorination and no pre-chlorination addition on turbidity removal efficiency of the clarifier were compared. Experimental results found that the pre-chlorination addition was significantly affected on turbidity removal efficiency for the clarification water. The pre-chlorination addition provided higher turbidity removal efficiency than the no pre-chlorination addition. For, the pre-chlorination addition, turbidity removal efficiency was $86.3\% \pm 1.7\%$. For the no pre-chlorination addition turbidity

removal efficiency was $81.5\% \pm 2.8\%$. Because of the pre-chlorination addition showed higher a decreased pH than the no pre-chlorination addition. The increasing in residual chlorine from the clarified water enhanced increasing of turbidity removal efficiency in polynomial relation. At a 18-mg/l alum dosage, the optimum residual chlorine from the clarified water was in range 0.12-0.16 mg/l which provided highest turbidity removal efficiency. The optimum residual chlorine enhanced turbidity removal efficiency about $2.7\% \pm 1\%$.

Keywords

pre-chlorination; sludge blanket clarifier; pulsator; turbidity removal

1. บทนำ

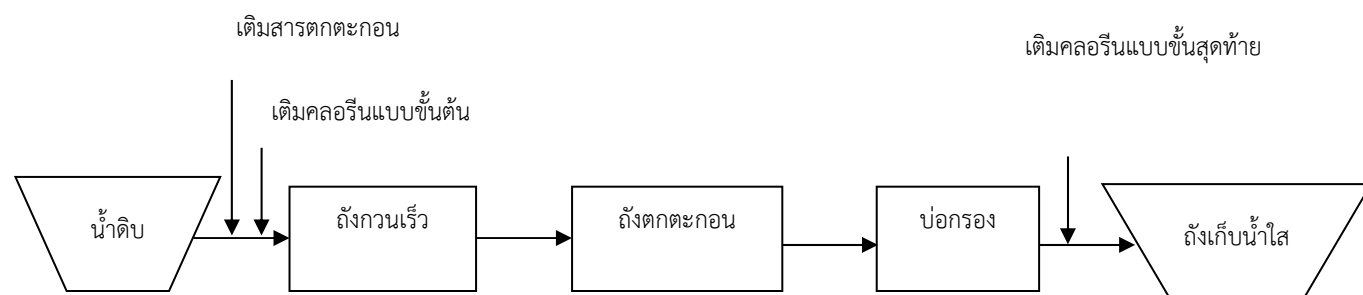
การผลิตน้ำประปา เป็นการนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาบำบัดเพื่อให้ได้เป็นน้ำประปาที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน กระบวนการผลิตน้ำประปาประกอบไปด้วย 5 กระบวนการ 1.การกวนเร็ว เป็นการกวนเพื่อผสมสารตกตะกอนกับน้ำดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน 2.การกวนช้า เป็นการกวนเพื่อให้ตะกอนขนาดเล็กจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น 3.การตกตะกอน เป็นการให้น้ำดิบที่ผสมกับสารตกตะกอนแล้ว ไหลผ่านอย่างช้า ๆ ทำให้ตะกอนขนาดใหญ่เกิดการแยกตัวออกจากน้ำดิบ ส่วนที่เป็นตะกอนจะถูกแยกออกไปกำจัด ส่วนที่เป็นน้ำใสจะถูกส่งไปยังกระบวนการต่อไป 4.การกรอง น้ำหลังจากตกตะกอนจะถูกบังคับให้ไหลผ่านวัสดุกรอง เช่น หินทราย แอมนธาไรต์ เพื่อแยกตะกอนขนาดเล็กออกไป ส่วนตะกอนจะถูกดักอยู่บนวัสดุกรอง 5.การฆ่าเชื้อโรค เป็นการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ โดยการเติมคลอรีน การใช้ก๊าซโอโซน การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต

ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป จะรวมเอาการกวนช้าและการตกตะกอนเข้าเป็นกระบวนการเดียวกัน เรียกว่า “ถังตกตะกอน ชนิดใช้ตะกอน (Solid Contact Clarifier)”

หลักการทำงานของถังตกตะกอนชนิดใช้ตะกอน จะคล้ายกับถังกวนทั่วไป คือ การควบคุมอัตราการเติมสารตกตะกอนและการควบคุมค่าเกรเดียนต์ของความเร็ว (Velocity Gradient) ให้มีความเหมาะสม โดยทั่วไปเพื่อให้สามารถความขุ่นของประปาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนควรมีค่าไม่เกิน 10 Nephelometric Turbidity Unit (NTU)[1]

สารตกตะกอน ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ สารส้ม เนื่องจากสารส้มเป็นสารตกตะกอนที่หาได้ง่ายในทุกพื้นที่ มีความง่ายต่อการใช้งานและการขนส่ง[2] การใช้งานสารส้มจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของน้ำดิบด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้สารส้มคือ pH โดยค่า pH ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้สารส้มอยู่ในช่วง 6.0-7.5 [3-4]

การฆ่าเชื้อโรคในระบบผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปจะนิยมใช้คลอรีน เป็นสารเคมีในการฆ่าเชื้อโรค จะประกอบไปด้วยการเติมคลอรีน 2 แบบ คือ 1.การเติมคลอรีนแบบขั้นต้น และ 2. การเติมคลอรีนแบบขั้นสุดท้าย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

การเติมคลอรีนแบบขั้นต้น เป็นการฆ่าเชื้อโรคแบบหนึ่ง

โดยการเติมคลอรีนลงในน้ำดิบพร้อมกับสารตกตะกอน ผสมกับน้ำดิบและเข้าสู่ถังตกตะกอน การเติมคลอรีนแบบขั้นต้น

เพื่อใช้ในการกำจัดแบคทีเรียและควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียว

การเติมคลอรีนขั้นสุดท้าย เป็นฆ่าเชื้อโรคขั้นสุดท้าย โดยการเติมคลอรีนลงในน้ำที่ผ่านการตกตะกอนและการกรองแล้ว เพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรคขั้นสุดท้าย ก่อนที่น้ำประปาจะถูกส่งไปยังผู้ใช้น้ำต่อไป องค์การอนามัยโลก แนะนำว่า เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการฆ่าเชื้อโรคปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในประปาหลังจากการเติมคลอรีนขั้นสุดท้ายควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.2-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร และ ความขุ่นน้ำประปาควรมีค่าไม่เกิน 1 NTU[5]

การใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรค จะต้องถูกจำกัดปริมาณการเติมให้น้อยที่สุด เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดผลข้างเคียงที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อโรค (Disinfection By Products) หน่วยงาน United States Environmental Protection Agency (USEPA) แนะนำปริมาณ Total Trihalomethanes (TTHMs) และ Haloacetic Acids (HAA5) ในน้ำประปาควรมีค่าไม่เกิน 0.08 และ 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ[6] TTHMs และ HAA5 เป็นผลข้างเคียงจากการใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรค โดยคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon) ในน้ำ สามารถเกิดได้ทั้งการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นและการเติมคลอรีนขั้นสุดท้าย ปริมาณการเกิดสาร TTHMs และ HAA5 จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำและอัตราการเติมคลอรีน โดยทั่วไปอัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะถูกควบคุมให้มีปริมาณที่เหมาะสมด้วยการควบคุมปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ ให้มีค่าน้อยที่สุดเพื่อให้เกิด TTHMs และ HAA5 น้อยที่สุด การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะมีโอกาสที่จะเกิด TTHMs และ HAA5 มากกว่าการเติมคลอรีนขั้นสุดท้ายเนื่องจากการเติมคลอรีนขั้นต้นจะเติมลงในน้ำดิบซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดและมีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าน้ำที่ผ่านการตกตะกอนและการกรองแล้ว การตกตะกอน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากในการผลิตน้ำประปา เนื่องจากเป็นกระบวนการแรกที่ต้องรองรับต่อความขุ่นน้ำดิบที่เข้ามาโรงงานซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล [7] และตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ[8] อีกทั้งยังต้องควบคุมความขุ่นน้ำหลังตกตะกอนให้อยู่ในเกณฑ์ควบคุมเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพน้ำประปาได้ตามมาตรฐาน เพราะหาก

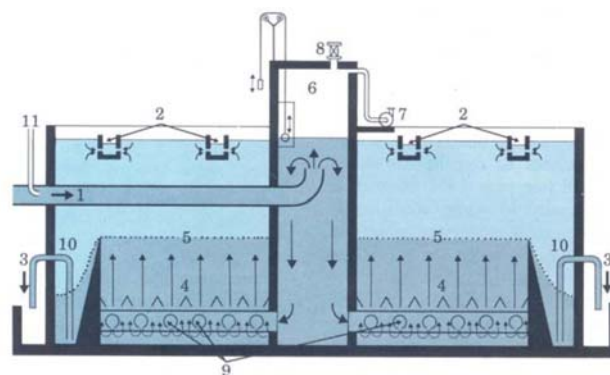
กระบวนการตกตะกอนไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำหลังตกตะกอนได้ตามเกณฑ์ควบคุม จะส่งผลให้เป็นภาระของกระบวนการถัดไป ที่จะต้องทำงานหนักมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้คุณภาพน้ำประปาไม่เป็นไปตามมาตรฐานได้

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษา 1.ผลของการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นสำหรับถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอน และ 2.ผลของปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังการตกตะกอนต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่น

2. วิธีการวิจัย

2.1 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนชนิดใช้ตะกอน หรือถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอน หรือที่เรียกว่า “Pulsator” เป็นถังตกตะกอนทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 40.5 เมตร ยาว 67.5 เมตร มีความสูง 5 เมตร มีหอสุญญากาศขนาด 25 ตารางเมตรจำนวน 2 หอ มีอัตราการผลิตสูงสุด 210,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน หรือ อัตราการไหล 3.2 เมตร/ชั่วโมง[9] ดังรูปที่ 2



- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. ท่อน้ำเข้า | 7. พัดลมดูดอากาศ |
| 2. รางน้ำล้น | 8. วาล์วระบายลม |
| 3. ท่อระบายตะกอน | 9. ท่อกระจายน้ำ |
| 4. Stilling Baffles | 10. รางรับตะกอน |
| 5. ระดับความสูงของขั้นตะกอน | 11. ท่อเติมสารตกตะกอน |
| 6. หอสุญญากาศ | |

รูปที่ 2 ถังตกตะกอนชนิดขั้นตะกอน

หลักการทำงาน น้ำดิบจะไหลเข้าทางท่อทางเข้าหมายเลข 1 ทำการเติมสารตกตะกอนโดยท่อหมายเลข 11 จากนั้น น้ำดิบที่ผสมกับสารตกตะกอนแล้วโดยกระบวนการกวนเร็ว จะถูกดูดเข้าไปในหอสุญญากาศหมายเลข 6 ให้เหนือกว่าระดับน้ำปกติโดยอาศัยแรงยกจาก พัดลมดูดอากาศ หมายเลข 7 และควบคุมระดับความสูงของระดับน้ำในหอสุญญากาศโดยวาล์ว หมายเลข 8 จากนั้นน้ำในหอสุญญากาศจะถูกปล่อยอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำดิบที่ผสมสารตกตะกอนแล้ว ตกตามแรงโน้มถ่วงของโลกและกระจายไปตามท่อกระจายน้ำหมายเลข 9 และถูกบังคับให้อนุภาคของตะกอนเกิดการชนกันโดย Stilling Baffles หมายเลข 4 ส่งผลให้อนุภาคตะกอนจับตัวกันเป็นชั้นตะกอน ชั้นตะกอนที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวดักจับตะกอนใหม่ให้ติดอยู่กับชั้นตะกอนจนเมื่อตะกอนสะสมจะเกินระดับความสูงหมายเลข 5 ตะกอนส่วนเกินจะล้นลงรางรับตะกอน หมายเลข 10 และถูกระบายออกจากถังตกตะกอนโดยท่อระบายตะกอนหมายเลข 3 และส่วนน้ำใสจะผ่านชั้นตะกอนมาได้ จะไหลล้นลงรางน้ำล้นหมายเลข 2 และไหลเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือ การกรอง

2.2 การกวนเร็ว

การกวนเร็วที่ใช้เป็นถึงกวนเร็วแบบชลศาสตร์ (Hydraulic Jump) มีค่าเกรเดียนต์ของความเร็ว 200 วินาที⁻¹ หลักการทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงอย่างกะทันหัน ทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นและสามารถผสมน้ำดิบและสารตกตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกวนเร็วโดยใช้ถึงกวนเร็วแบบชลศาสตร์

2.3 น้ำดิบ

น้ำดิบที่ใช้ เป็นน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลอง อำเภอท่าม่วง

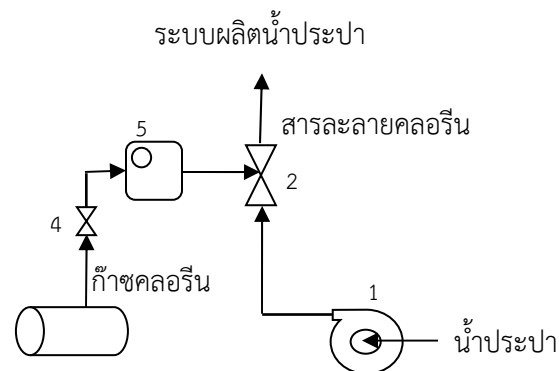
จังหวัดกาญจนบุรี ผ่านคลองประปาฝั่งตะวันตกเป็นระยะทาง 106 กิโลเมตร จะมีค่าความขุ่นน้ำดิบในช่วงเดือน มกราคมถึง เมษายน 2562 จะอยู่ในช่วง 25-35 NTU รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำดิบ

ดัชนีคุณภาพน้ำดิบ	ช่วงใช้งาน
ความขุ่น (NTU)	25-35
pH	8.0-8.2
อุณหภูมิ (°C)	26-28
Total Organic Carbon (mg/l)	1.8-2.0
Alkalinity (mg/l)	100-110

2.4 การเติมคลอรีน

การเติมคลอรีนจะประกอบไปด้วย เครื่องสูบน้ำ, Ejector, วาล์วลดความดันและเครื่องเติมคลอรีน โดยเริ่มต้นจากเดินเครื่องสูบน้ำหมายเลข 1 น้ำความดันสูงจะไหลผ่าน Ejector หมายเลข 2 ส่งผลให้เกิดแรงดูดในเส้นท่อ ส่วนคลอรีนซึ่งถูกบรรจุในถังบรรจุคลอรีน ขนาด 1 ตันหมายเลข 3 ในสถานะของผสมอิมัลชัน จะถูกดูดออกจากถังบรรจุคลอรีนในสถานะก๊าซผ่านวาล์วลดความดันหมายเลข 4 ที่ความดัน 2 bar_g และควบคุมอัตราการเติมคลอรีนด้วยเครื่องเติมคลอรีน หมายเลข 5 เข้าสู่ Ejector หมายเลข 2 จากนั้นก๊าซคลอรีนจะถูกผสมเข้ากับน้ำเป็นสารละลาย ที่ Ejector หมายเลข 2 และใช้ความดันของน้ำ ดันสารละลายเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาต่อไป ดังรูปที่ 4



1. เครื่องสูบน้ำ
2. Ejector
3. ถังบรรจุคลอรีน
4. วาล์วลดความดัน
5. เครื่องเติมคลอรีน

รูปที่ 4 การเติมคลอรีน

2.5 การเก็บข้อมูล

การศึกษาผลของการเติมคลอรีนแบบขั้นต้น ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่น โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 1. กรณีเติมและไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้น 2. กรณีเติมคลอรีนแบบขั้นต้นที่ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ต่างกัน โดยจะทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือน มกราคม-เมษายน 2562 ซึ่งเป็นช่วงที่ความขุ่นน้ำดิบอยู่ในช่วง 25-35 NTU โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วัดค่าความขุ่นน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ โดยใช้เครื่องวัดความขุ่นชนิด Nephelometric ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100AN ความละเอียด 1 NTU และความผิดพลาดไม่เกิน 2%

2. ปรับอัตราการผลิตที่ 190,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก Prosonic S FMU 90 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลในช่องเปิด มีความละเอียด 1 ลูกบาศก์เมตร ความผิดพลาดไม่เกิน 0.2%

3. เติมน้ำส้มที่อัตราการเติม 430 ลิตร/ชั่วโมง คิดเป็นสัดส่วนปริมาณสารสัมผัสปริมาณน้ำดิบ 18 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเติมน้ำส้มชนิด แม็กเนติก ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น AXFA14G มีความละเอียด 10 ลิตร ความผิดพลาดไม่เกิน 0.2%

4. เติมคลอรีนแบบขั้นต้น ใช้เครื่องเติมคลอรีนยี่ห้อ De Nora รุ่น 4200B ความละเอียด 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4% โดยจะตรวจวัดปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือทุก ๆ 4 ชั่วโมง

4.1 กรณีศึกษาผลของการเติมของคลอรีนแบบขั้นต้น จะทำการเติมคลอรีนที่อัตราการเติม 1.6 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2 กรณีศึกษาผลของปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังตกตะกอน จะทำการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นที่อัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้น 1.0-1.8 มิลลิกรัม/ลิตร

อัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นที่ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นอัตราที่น้อยกว่าค่าความต้องการคลอรีนของน้ำดิบ จึงส่งผลให้ไม่มีค่าปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือของน้ำหลังการตกตะกอน

อัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นที่มาก จะส่งผลให้ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังการตกตะกอนมีค่าสูง และมีโอกาสที่จะส่งผลให้ปริมาณ TTHMs หรือ HAA5 ในน้ำประปา

เกินเกณฑ์มาตรฐานได้ นอกจากนี้ การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นที่มากเกินไปจนเป็นจำนวนมากจะไม่ได้ช่วยลดปริมาณการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นสุดท้าย เนื่องจากปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือจะมีปริมาณลดลงประมาณ 30-40% เมื่อผ่านการตกตะกอนและการกรอง[10] อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองคลอรีนอีกด้วย

5. ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน

2.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ดัชนีสำหรับบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของถังตกตะกอน จะต้องสามารถบ่งชี้ศักยภาพในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำดิบให้ได้มากที่สุด เรียกว่า “ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น” คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความขุ่นที่ถังตกตะกอนสามารถกำจัดออกไปต่อค่าความขุ่นน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น} = \frac{T_{rw} - T_{cw}}{T_{rw}} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ T_{rw} คือ ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)

T_{cw} คือ ความขุ่นน้ำหลังตกตะกอน (NTU)

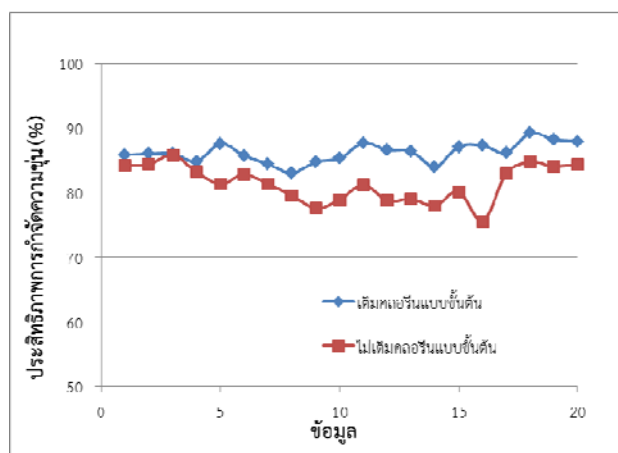
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลของการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

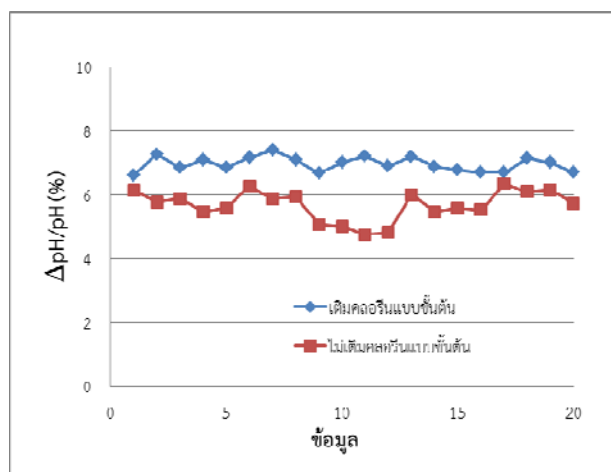
ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5 จะพบว่า การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นสามารถกำจัดความขุ่นเฉลี่ย $86.3\% \pm 1.7\%$ และการไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้นสามารถกำจัดความขุ่นเฉลี่ย $81.5\% \pm 2.8\%$ ซึ่งการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่ากรณีไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้น อย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.00 ด้วยวิธี 2-Sample T test) โดยมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าโดยเฉลี่ย 4.8%

โดยปกติ การตกตะกอนโดยใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน จะส่งผลให้ pH ของน้ำหลังการตกตะกอนลดลงด้วย เนื่องจากสารส้มนั้นมีความเป็นกรด[11] จากรูปที่ 6 จะพบว่า การตกตะกอนโดยไม่มีการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะมีค่า pH ของน้ำหลังการตกตะกอนเป็น 7.58-7.78 และอัตราการลดลงของ

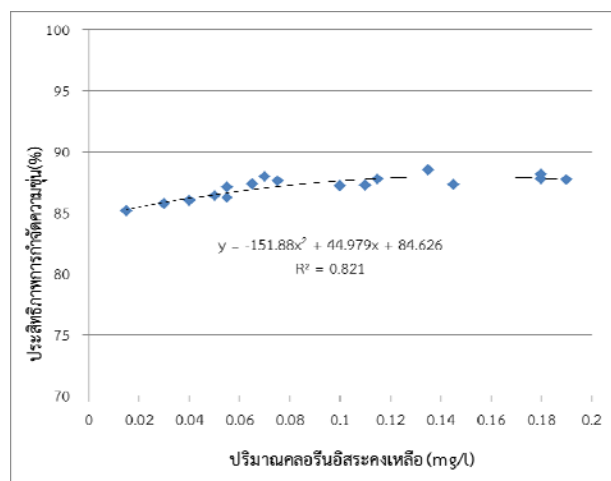
pH ของน้ำหลังการตกตะกอนเฉลี่ย $5.7\% \pm 0.4\%$ แต่เมื่อมีการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะส่งผลให้มีค่า pH ของน้ำหลังการตกตะกอนเป็น 7.48-7.64 และอัตราการลดลง pH ของน้ำหลังการตกตะกอนเพิ่มขึ้นเป็น $7.0\% \pm 0.2\%$ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งในการใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน คือ ค่า pH กรณีการเติมคลอรีนแบบขั้นต้น จะส่งผลให้ ค่า pH น้ำหลังการตกตะกอนมีค่า pH เข้าใกล้และอยู่ในช่วง pH ที่เหมาะสม (6.0-7.5) ได้ดีกว่ากรณีไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้น



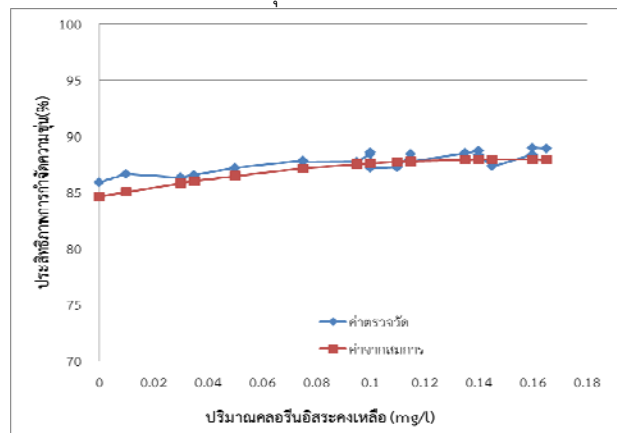
รูปที่ 5 ผลของการเติม/ไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น



รูปที่ 6 ผลของการเติม/ไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้นต่ออัตราการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำหลังการตกตะกอน



รูปที่ 7 ผลของปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือของน้ำหลังตกตะกอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น



รูปที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นที่ได้จากการตรวจวัดและค่าที่ได้จากสมการ

3.2 ผลของปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น

จากการทดลองดังรูปที่ 7 จะพบว่า เมื่อปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังการตกตะกอน มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะความสัมพันธ์แบบพอลิโนเมียล ดังสมการ

ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น

$$= -151.58C^2 + 44.979C + 88.626 \quad (2)$$

โดยที่ $R^2 = 0.821$;

C คือ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)

โดยที่ $0.0 \leq C \leq 0.2$

จากรูปที่ 7 จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 88.5% ที่ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ 0.12-0.16 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือน้อยกว่า 0.12 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังการตกตะกอนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เพราะว่าการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำหลังการตกตะกอนมีค่าลดลงเข้าใกล้ช่วงที่เหมาะสมของการใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้เพิ่มขึ้น 2.7% $\pm$ 1% [12] เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเมื่อปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังตกตะกอนมีค่า 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เมื่อปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือเพิ่มสูงขึ้นเกิน 0.16 มิลลิกรัม/ลิตร จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าลดลง เพราะว่าการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสารอินทรีย์ ทำให้เข้ามารบกวนการทำงานของสารตกตะกอน จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดต่ำลง[13]

จากสมการที่ (2) ได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของสมการกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ดังแสดงในรูปที่ 8 จะพบว่า ค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ได้จากสมการ จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงไม่เกิน 2%

จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่า อัตราการเติมสารส้มและอัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นในอัตราที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้[12] แต่การเติมคลอรีนแบบขั้นต้น จะต้องคำนึงถึงเกิดผลข้างเคียงที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อโรคด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง TTHMs และ HAA5 ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้น การควบคุมอัตราการเติมคลอรีนแบบขั้นต้น ให้อยู่ในอัตราการเติมที่เหมาะสม จะสามารถควบคุม TTHMs และ HAA5 ของน้ำประปาให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้[13] และจากการทดลองนี้ ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำประปา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของระบบผลิตน้ำประปา พบว่า มีปริมาณ TTHMs 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร และ ไม่พบ HAA5 ในน้ำประปา ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานของ USEPA[6]

นอกจากนี้การทำ Enhanced Coagulation รวมไปถึงการเติมสารตกตะกอน และสารช่วยตกตะกอน เช่น

Polyaluminium Chloride (PACl) และ โพลีเมอร์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น รวมไปถึงการควบคุมการเกิดผลข้างเคียงที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อโรคได้อีกด้วย[14]

4. สรุป

การตกตะกอน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากต่อระบบผลิตน้ำประปา โดยส่วนใหญ่ตะกอนที่ปะปนมากับน้ำดิบจะถูกกำจัดที่กระบวนการนี้ การควบคุมการทำงานของถังตกตะกอนให้มีประสิทธิภาพที่ดี จะนำไปสู่การผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพดีด้วยเช่นกัน ผลจากการทดลองได้ศึกษาถึงผลรวมของการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นและสารตกตะกอน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ดังรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้

1. การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นสามารถกำจัดความขุ่นเฉลี่ย $86.3\% \pm 1.7\%$ และการไม่เติมคลอรีนแบบขั้นต้นสามารถกำจัดความขุ่นเฉลี่ย $81.5\% \pm 2.8\%$ ซึ่งการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% เพราะว่าการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นจะช่วยลดค่า pH ของน้ำหลังการตกตะกอนให้ลดลงกว่าการใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนเพียงอย่างเดียว และทำให้ค่า pH เข้าใกล้จุดที่เหมาะสมของการทำปฏิกิริยาของสารส้มมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

2. การเติมคลอรีนแบบขั้นต้นพร้อมทั้งควบคุมปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังการตกตะกอนในปริมาณที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงขึ้นในการทดลองนี้ที่อัตราการเติมสารส้ม 18 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำหลังการตกตะกอนที่เหมาะสม คือ 0.12-0.16 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน[12] โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้เฉลี่ย $2.7\% \pm 1\%$ ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือของน้ำหลังการตกตะกอนในปริมาณที่น้อยเกินไปหรือสูงเกินไปจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ลดลงได้ ส่วนการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นสุดท้าย จะต้องควบคุมปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาให้มีค่าไม่น้อยกว่า 0.2-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรคขั้นสุดท้าย แต่การเติมคลอรีนทั้งแบบขั้นต้นและแบบขั้นสุดท้ายในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดผลข้างเคียงที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อโรคมามากเกินค่ามาตรฐานได้[10] ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมและตรวจวัดให้มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือทั้งในน้ำหลังการ

ตกตะกอนและน้ำประปาในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนและเพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการฆ่าเชื้อโรค

3. ทางเลือกที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในถังตกตะกอนมีดังนี้ 1.การเติมสารตกตะกอนในปริมาณที่เหมาะสมร่วมกับการเติมคลอรีนแบบขั้นต้นที่เหมาะสม[12] 2.การปรับปรุงค่า pH ของน้ำให้อยู่ในช่วงที่สารตกตะกอนทำปฏิกิริยาได้ดี[15] 3.การทำ Enhanced Coagulation[14] 4. การเติมก๊าซโอโซนแบบขั้นต้น[16-17] และ 5.การเติมสารช่วยตกตะกอน เช่น PACl และ โพลีเมอร์[10]

การจะเลือกใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในถังตกตะกอนโดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งนั้น ขึ้นอยู่กับความพร้อมทั้งทางด้านเครื่องจักร ด้านสารเคมีของแต่ละโรงงานและด้านคุณภาพน้ำดิบของแต่ละแหล่งน้ำดิบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีศักดิ์ วังไพศาล. *วิศวกรรมการประปา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2557.
- [2] Dorea CC. Coagulant-based emergency water treatment. *Desalination*.2009;248:83-90.
- [3] American Water Works Association (AWWA), American Society of Civil Engineer (ASCE). *Water treatment plant design*. 4th ed. New York: McGRAW-Hill; 2005.
- [4] Twort AC, Ratnayaka DD, Brandt MJ. *Water supply*. 5th ed. Oxford; Butterworth-Heinemann; 2011.
- [5] World Health Organization (WHO). *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed. Geneva: WHO press; 2011.
- [6] United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Drinking water treatment plant residuals management technical report*. 2011. EPA 820-R-11-003.
- [7] Sharp EL, Parsons SA, Jefferson B. Seasonal variations in natural organic matter and its impact on coagulation in water treatment. *Science of the Total Environment*. 2006;363:183-94.
- [8] Mo W, Wang H, Jacob JM. Understanding the influence of climate change on the embodied energy of water supply. *Water Research*. 2016; 95:220-9.
- [9] Degramont. *Water treatment handbook*. Vol.2. 6th ed. Paris: Lavoisier Publishing; 1991.
- [10] Niu ZG, Hu XP, Zhang Y, Sun YY. Effect of chlorine dosage in prechlorination on trihalomethanes and haloacetic acids during water treatment process. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016:1-10
- [11] Phalakornkule C, Mangmeemak J, Intrachod K, Nantakumjorn P. Pretreatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation. *Scienceasia* 2010;36:142-9.
- [12] Lapsongpon T, Leungprasert S, Yoshimura C. Pre-chlorination contact time and the removal and control of *Microcystis aeruginosa* in coagulation. *7th International Conference on Environmental and Industrial Innovation, Earth and Environmental Science* 2017;67:1-7.
- [13] Ghenout D, Moulay S, Messaoudene NA, Aichouni M, Naceur MW, Boucherit A. Coagulation and chlorination of NOM and algae in water treatment: A review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. 2014;2(6-1):23-34.
- [14] Musikavong C, Inthanuchit K, Srimuang K, Suksaroj TT, Suksaroj C. Reduction of fractionated dissolved organic matter and their trihalomethanes formation potential with enhanced coagulation. *ScienceAsia*. 2013;39:56-66.
- [15] Ersoy B, Tosun I, Gunay A, Dikman S. Turbidity removal wastewaters of natural stone processing by flocculation/sedimentation methods. *Clean*. 2009;37(3):225-32.
- [16] Ghadimkani AA, Torabian A, Mehrabadi AR. Preozonation and prechlorination effect on TOC

removal in surface water treatment. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2006;9(4):708-12.

- [17] Torabian A, Ghadimkani AA, Mehrabadi AR, Shokouhi M, Heidarzadah R. Effect of preozonation and prechlorination on total organic carbon removal in surface water treatment in Iran. *WIT Transactions on Ecology and the Environmental*. 2007;103:305-14.