



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ผลของความเร็วยรอบของใบกวนของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สำหรับระบบผลิตน้ำประปา

Effect of impeller rotating speed of sludge recirculation clarifier on turbidity removal efficiency for water treatment plant

วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า*

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130

Wiwat Onnakklum*

Mahasawat Water Treatment Plant, Metropolitan Waterwork Authority, Bangkrui, Nonthaburi 11130

*Corresponding author.

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

วันที่รับบทความ 8 พฤษภาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2564 ; ครั้งที่ 2 กันยายน 2564 ; วันที่ตอบรับบทความ 2 พฤศจิกายน 2564

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของใบกวน โดยการควบคุมอัตราการเติมสารส้ม จาก 13, 17 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราการผลิตจาก 2.2, 2.4 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตร/วินาทีที่ใช้ในการทดสอบ ผลของความเร็วยรอบของใบกวนที่เหมาะสมสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ดีที่สุด ผลการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบกวนและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีแนวโน้มแบบสมการพหุนามอันดับ 3 โดยในช่วงความเร็วรอบใบกวน 1.3-1.6 รอบ/นาที่ จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นค่อนข้างต่ำ ส่วนในช่วงความเร็วรอบใบกวน 1.6-2.0 รอบ/นาที่ จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วรอบใบกวน เนื่องจากความเร็วรอบของใบกวนจะทำให้เกิดการไหลเวียนของตะกอนภายในส่วนกวนช้า เมื่อความเร็วของใบกวนเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตะกอนเกิดการชนกันและรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มความเร็วรอบของใบกวนจาก 2.0 ถึง 2.2 รอบ/นาที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบของใบกวนส่งผลให้เกิดการชนกันมากเกินไป ตะกอนขนาดใหญ่จึงแตกตัวเป็นตะกอนที่มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ ผลของอัตราการเติมสารส้มและอัตราการผลิตส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วย ค่าที่เหมาะสมจากอัตราการเติมสารส้ม 17 มิลลิกรัม/ลิตร, อัตราการผลิต 2.4 ลูกบาศก์เมตร/วินาทีและความเร็วรอบของใบกวน 1.9-2.1 รอบ/นาที่ ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงเท่ากับร้อยละ 89.4 ± 1.18

คำสำคัญ

ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ความเร็วรอบของใบกวน การกำจัดความขุ่น ระบบผลิตน้ำประปา

Abstract

This paper aims to study the turbidity removal efficiency of sludge recirculation clarifier when changing impeller rotating speed. The alum dosing rates of 13, 17 and 21 mg/l and production rates of 2.2, 2.4 and 2.6 cubic meter per second (cms) were applied in the study. The effect of optimized impeller rotating speeds corresponded to the best turbidity removal efficiency. Experimental results found that the relationship between the impeller rotating speeds and turbidity removal efficiency tended to in the third order polynomial equation. In the range of 1.3-1.6 rpm of impeller rotating speeds, the turbidity removal efficiencies were relatively low. In the range of 1.6-2.0 of impeller rotating speeds,

the turbidity removal efficiencies were increased with impeller rotating speeds. The increased impeller rotating speeds from 2.0 to 2.2 rpm resulted in relatively low of turbidity removal efficiencies. The increased impeller rotating speeds could possibly induce the sludge collision, thus decreasing sludge size. In addition, the alum dosing rates and production rates were also affected with turbidity removal efficiencies. The optimum conditions caused by 17 mg/l of alum dosing rate, 2.4 cms of production rate and 1.9-2.1 rpm of Impeller rotating speeds provided high turbidity removal efficiencies of $89.4 \pm 1.18\%$.

Keywords

sludge recirculation clarifier; impeller rotating speed; turbidity removal; water treatment

1. บทนำ

การตกตะกอนเป็นขั้นตอนหนึ่งในการผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป (Conventional water treatment) มีหน้าที่ในการกำจัดสารแขวนลอยที่ปะปนมากับน้ำดิบ เช่น สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือคอลลอยด์ สิ่งเหล่านี้จะบดบังทำให้แสงไม่สามารถส่องผ่านได้ เรียกว่า “ความขุ่น” การกำจัดความขุ่นในน้ำดิบ สำหรับการตกตะกอนจะอาศัยการเติมสารตกตะกอนร่วมกับการควบคุมค่าเกรเดียนต์ของความเร็วให้มีความเหมาะสม จึงจะส่งผลให้สามารถกำจัดความขุ่นออกจากน้ำดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ การตกตะกอน ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1.การกวนเร็วหรือการสร้างแกนตะกอน (Coagulation) เป็นการกวนเพื่อผสมสารตกตะกอนกับน้ำดิบให้คลุกเคล้าและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยให้อนุภาคของคอลลอยด์เกิดการชนกัน เพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ 2.การกวนช้าหรือการรวมตะกอน (Flocculation) เป็นการกวนเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ เกิดการชนกันและรวมตัวกันเป็นฟล็อก (Floc) 3.การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการแยกฟล็อกในน้ำดิบออกมาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกดึงให้ฟล็อกแยกชั้นออกจากน้ำส่วนที่ใส

หลักสำคัญในการควบคุมกระบวนการตกตะกอน คือ 1. การเลือกชนิดของสารตกตะกอน ให้มีความเหมาะสมกับคุณภาพของน้ำดิบ ชนิดของสารตกตะกอนที่เหมาะสมจะส่งผลให้สารตกตะกอนทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ 2.อัตราการผลิตสารตกตะกอนที่เหมาะสม จะส่งผลให้สารตกตะกอนสามารถกำจัดความขุ่นออกจากน้ำดิบได้สูงสุดและ 3.การควบคุมอัตราการกวนทั้งการกวนเร็ว การกวนช้าและการตกตะกอนให้มีความเหมาะสมจะส่งผลให้ตะกอนในน้ำดิบ

สามารถรวมตัวกันจากตะกอนขนาดเล็กกลายเป็นตะกอนขนาดใหญ่จนสามารถแยกตัวออกจากน้ำดิบได้

สารตกตะกอนที่ใช้ในการตกตะกอน จะต้องพิจารณาคุณสมบัติ ช่วงการใช้งานของสารตกตะกอน ให้สอดคล้องกับคุณภาพน้ำดิบจึงจะส่งผลให้สารตกตะกอนทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เช่น สารส้ม จะเหมาะสมกับค่า pH ในช่วง 6.0-7.5 เพอริกคลไรด์ จะเหมาะสมกับ pH ในช่วง 5.0-8.5 [1-4] สารตกตะกอนที่นิยมใช้มากที่สุด คือ สารส้ม เนื่องจากช่วงใช้งานมีความเหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบ หาได้ง่ายและมีราคาถูก [2]

อัตราการเติมสารตกตะกอน เป็นอีกปัจจัยสำคัญในการควบคุมการทำงานของกระบวนการตกตะกอน สารตกตะกอนที่เติมเข้าไปผสมกับน้ำดิบจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยในน้ำดิบ ส่งผลให้สารแขวนลอยรวมตัวกันเป็นตะกอน อัตราการเติมสารตกตะกอนจะต้องสอดคล้องกับปริมาณตะกอนหรือความขุ่นที่มากับน้ำดิบ จึงจะทำให้สามารถควบคุมความขุ่นของน้ำหลังตกตะกอนได้ อัตราการเติมสารตกตะกอนที่น้อยเกินไปหรือมากเกินไป จะทำให้ไม่สามารถกำจัดตะกอนออกจากน้ำดิบและควบคุมคุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล [5-6]

ถังตกตะกอนชนิดใช้ตะกอน (Solid contact clarifier) คือ ถังตกตะกอนชนิดหนึ่งโดยรวมการกวนช้าและการตกตะกอนเข้ามาอยู่ในเครื่องจักรเดียวกัน โดยการนำเอาคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ มารวมเป็นฟล็อกที่มีความเข้มข้นสูงคล้ายกับถังกวนช้าโดยทั่วไป แต่จะใช้ฟล็อกที่สร้างขึ้นใช้ในการดักจับคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพที่เข้ามาใหม่ และควบคุมความเข้มข้นของฟล็อกให้มีความเหมาะสม ไม่อัดตัวแน่นและไม่ฟุ้งกระจาย การควบคุมความเข้มข้นของฟล็อกสามารถทำได้ 2 วิธีคือ 1.การยกระดับน้ำภายในหอสุญญากาศ

ให้มีระดับสูงกว่าระดับผิวน้ำของถังตกตะกอน จากนั้นจะลดระดับให้กลับมามีระดับปกติอย่างกะทันหัน เพื่อสร้างแรงกระแทกให้กับคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ ทำให้เกิดการสัมผัสกันและก่อตัวขึ้นมีลักษณะเป็นชั้นของฟล็อก เพื่อทำหน้าที่ในการดักจับคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพต่อไป เรียกถังตกตะกอนชนิดนี้ว่า “ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน” (Sludge blanket clarifier) 2.การกวนเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการเคลื่อนที่ของคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ เพื่อให้มีโอกาสชนกันและรวมตัวกันเกิดเป็นฟล็อกขึ้นภายในส่วนกวนช้า และฟล็อกที่เกิดขึ้นจะหมุนเวียนอยู่ในส่วนกวนช้าเพื่อจับกับคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพต่อไป เรียกถังตกตะกอนชนิดนี้ว่า “ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน” (Sludge recirculation clarifier)

การควบคุมการทำงานของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนให้สามารถควบคุมคุณภาพน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดี จะต้องคำนึงถึงปัจจัย ดังนี้ 1. ค่าเกรเดียนต์ของความเร็วของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน สามารถทำได้โดยการควบคุมความเร็วรอบของใบกวนให้มีความเหมาะสม อัตราการกวนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่อัตราการกวนที่มากเกินไปจะทำให้ฟล็อกเกิดการแตกตัวมีขนาดเล็กลง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดลง [7-9] โดยทั่วไปค่าเกรเดียนต์ของความเร็วสำหรับถังกวนช้า ควรมีค่าประมาณ 20-70 วินาที⁻¹[1] 2.อัตราการผลิต เป็นตัวกำหนดปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน คือ อัตราน้ำล้นผิว ซึ่งคืออัตราเร็วของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนตกตะกอน เนื่องจากการตกตะกอนจะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการดึงดูดในฟล็อกตกลงสู่ก้นถังตกตะกอนในขณะที่น้ำใสจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวน้ำด้านบน ถ้าอัตราผิวน้ำล้นสูงจะทำให้ ฟล็อกขนาดเล็กมีโอกาสหลุดออกไปกับน้ำใส ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดต่ำลงได้[7,10-11]นอกจากนี้เลือกชนิดสารตกตะกอนและควบคุมอัตราการเติมสารตกตะกอนให้สอดคล้องกับคุณภาพน้ำดิบ การควบคุมอัตราน้ำล้นผิวหรืออัตราการผลิตและการควบคุมอัตราการกวน โดยทั่วไปถังตกตะกอนควรควบคุมความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนมีค่าไม่เกิน 10 Nephelometric Turbidity Unit (NTU) [12-13]



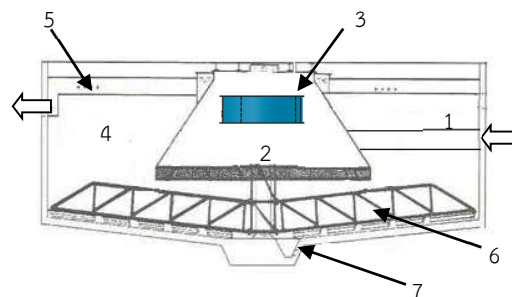
รูปที่ 1 ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษา 1.ผลของความเร็วรอบของใบกวนต่อการกำจัดความขุ่นในถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน และ 2.ความเร็วรอบของใบกวนที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าสูงสุด

2. วิธีการวิจัย

2.1 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ดังรูปที่ 1 เป็นถังตกตะกอนทรงกระบอกตั้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 เมตร ความสูง 5 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนกวนช้า ขนาด 19.5 เมตร มีอัตราการผลิตสูงสุด 210,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน หรือ อัตราผิวน้ำล้น 3.1 เมตร/ชั่วโมง ใบกวนชนิด Impeller แบบ Backward Blade จำนวน 36 ใบ



- | | |
|----------------|------------------|
| 1. ท่อทางเข้า | 5. รางรับน้ำล้น |
| 2. ส่วนกวนช้า | 6. ใบกวนตตะกอน |
| 3. ใบกวน | 7. ท่อระบายตะกอน |
| 4. ส่วนตกตะกอน | |

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนที่ใช้ในการศึกษา

หลักการทำงานและส่วนประกอบของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ดังรูปที่ 2 น้ำดิบที่ผสมกับสารตกตะกอนแล้ว จะไหลเข้าถังตกตะกอนทางด้านท่อทางเข้าหมายเลข 1 เข้าสู่บริเวณส่วนกวนหมายเลข 2 ตรงกลางถังตกตะกอน จะประกอบไปด้วย ใบกวน หมายเลข 3 ทำหน้าที่สร้างการไหลเวียนของน้ำดิบภายในส่วนกวนช้า เพื่อให้คอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ เกิดการชนกัน โดยจะต้องควบคุมความเร็วรอบของใบกวน เพื่อควบคุมอัตราการไหลเวียนของคอลลอยด์ให้เหมาะสมกับความขุ่นน้ำดิบ อัตราการเติมสารตกตะกอนและอัตราผิวน้ำล้น บริเวณหมายเลข 4 จะเป็นน้ำส่วนที่ใสและฟล็อกถูกแยกชั้นออกจากกัน ฟล็อกจะตกลงสู่ก้นถังตกตะกอนจะถูกกวาดด้วยใบกวาดตะกอน หมายเลข 6 ให้ไหลรวมและระบายออกบริเวณก้นถังหมายเลข 7 และส่วนน้ำใสจะไหลขึ้นสู่ด้านบน จะไหลลงรางน้ำล้นหมายเลข 5 และไหลเข้าสู่กระบวนการถัดไป

2.2 การกวนเร็ว

การกวนเร็วใช้เป็นถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์ (Hydraulic Jump) หลักการทำงานคือ การอาศัยการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงอย่างกะทันหัน ทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นในน้ำดิบที่ไหลผ่านและสามารถผสมน้ำดิบและสารตกตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกวนเร็วโดยใช้ถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์

2.3 น้ำดิบ

น้ำดิบที่ใช้ เป็นน้ำดิบจากน้ำผิวดิน ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำดิบที่ใช้พิจารณาจะเป็นค่าความขุ่นในหน่วย Nephelometric Turbidity Unit (NTU) เป็นการวัดคุณภาพของน้ำโดยอาศัยวัดการกระเจิงแสงที่แสงสามารถส่องผ่านได้ เป็นการบ่งชี้ถึง

ปริมาณตะกอนที่ปะปนมากับน้ำดิบ รายละเอียดของคุณภาพน้ำดิบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำดิบ

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

2.4 สารตกตะกอน

สารตกตะกอนที่ใช้ เป็นสารส้ม น้ำ ความเข้มข้นของอะลูมินาร้อยละ 8 เดิมเข้าสู่กระบวนการผลิตด้วย Metering pump ขนาด 1.5 kW อัตราการไหลสูงสุด 13.7 ลูกบาศก์เมตร/นาที่

Metering pump มีลักษณะการทำงานคล้ายเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบ โดยเปลี่ยนจากลูกสูบในกระบอกสูบมาเป็นแผ่นไดอะแฟรม และควบคุมอัตราการไหลโดยการปรับระยะชัก (Stroke) ในสัดส่วน 0-100 ของช่วงชักตามแนวแกน

2.5 การเก็บข้อมูล

การศึกษาลักษณะของความเร็วรอบของใบกวนต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่น โดยศึกษาช่วงความขุ่นน้ำดิบ 25-35 NTU, อัตราการผลิต 2.2, 2.4 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และ อัตราการเติมสารส้ม 13, 17 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

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

2. ปรับอัตราการผลิตที่ 2.2, 2.4 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามลำดับ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก Prosonic S FMU 90 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลในช่องเปิด มีความละเอียด 1 ลูกบาศก์เมตร ความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.2

3. เติมน้ำที่อัตราการเติม 13, 17 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเติมสารส้มชนิด แม็กเนติก ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น AXFA14G มีความละเอียด 10 ลิตร ความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.2

4. ตรวจวัดค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอน
5. คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน
6. ทำการทดลองซ้ำ การทดลองละ 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

2.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพการทำงานของถังตกตะกอน สามารถประเมินผลได้จากการเปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่างค่าความขุ่นที่ถังตกตะกอนสามารถกำจัดออกไปต่อค่าความขุ่นน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ เรียกว่า “ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น” สามารถคำนวณได้จาก สมการ

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

โดยที่ T_{rw} คือ ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)

T_{cw} คือ ความขุ่นน้ำหลังตกตะกอน (NTU)

ค่าเกรเดียนต์ของความเร็ว คือ ระดับของความปั่นป่วนของน้ำภายในถังกวน เป็นดัชนีใช้สำหรับบ่งชี้ อัตราการกวนผสมกันระหว่างสารเคมีและน้ำ

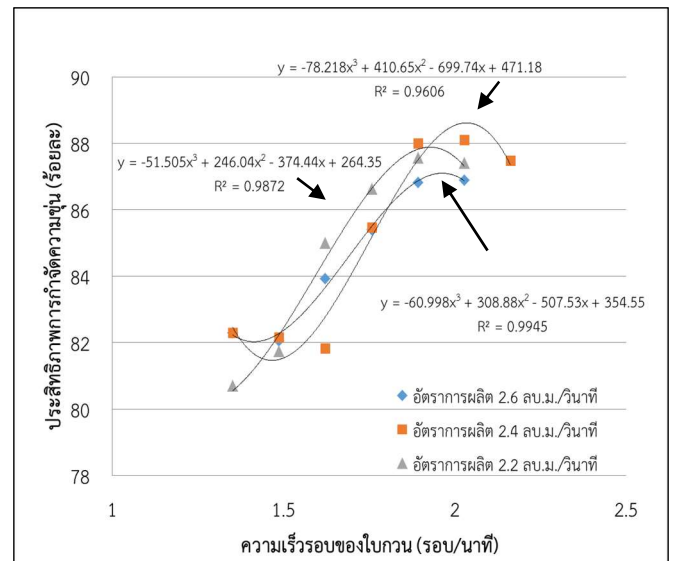
$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (2)$$

โดยที่ G คือ ค่าเกรเดียนต์ของความเร็ (วินาที⁻¹)

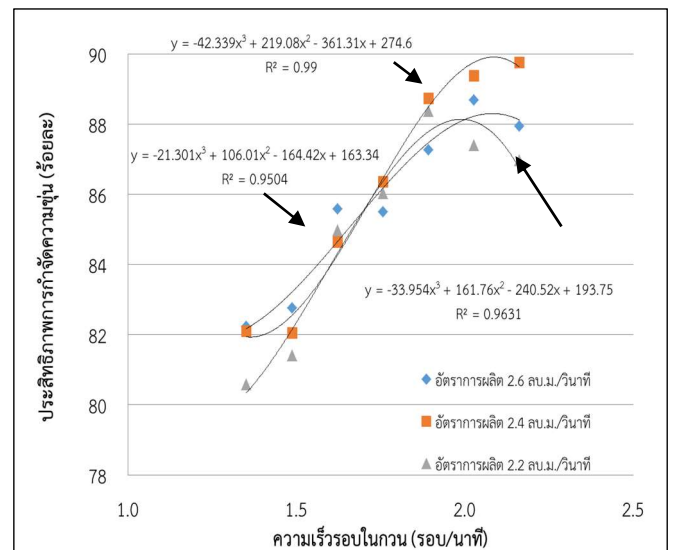
P คือ กำลังของใบกวน (W)

μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa.s)

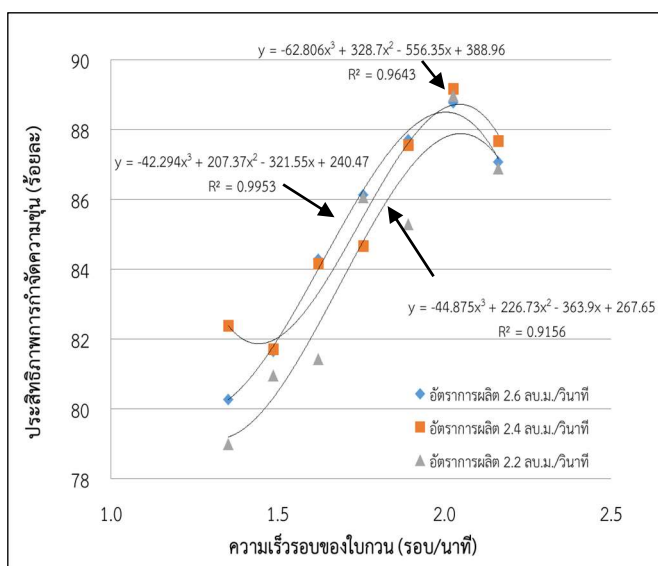
V คือ ปริมาตรของถังกวน (ลบ.ม.)



รูปที่ 4 ผลของความเร็รอบใบกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น กรณี อัตราการเติมสารส้ม 13 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 5 ผลของความเร็รอบใบกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกรณี อัตราการเติมสารส้ม 17 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 6 ผลของความเร็วรอบใบกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น กรณี อัตราการเติมสารส้ม 21 มิลลิกรัม/ลิตร

3. ผลการวิจัย

ถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน จะรับน้ำดิบที่ผ่านการผสมกับสารตกตะกอน คือ สารส้ม โดยการกวนเร็วด้วยการกวนเร็วแบบชลศาสตร์ เมื่อเข้าสู่ถังตกตะกอนในส่วนกวนช้า ทำการควบคุมความเร็วรอบของใบกวน เพื่อสร้างการหมุนเวียนของคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพในส่วนกวนช้า ทำให้เกิดการจับตัวกันขึ้นเป็นฟล็อกขึ้น

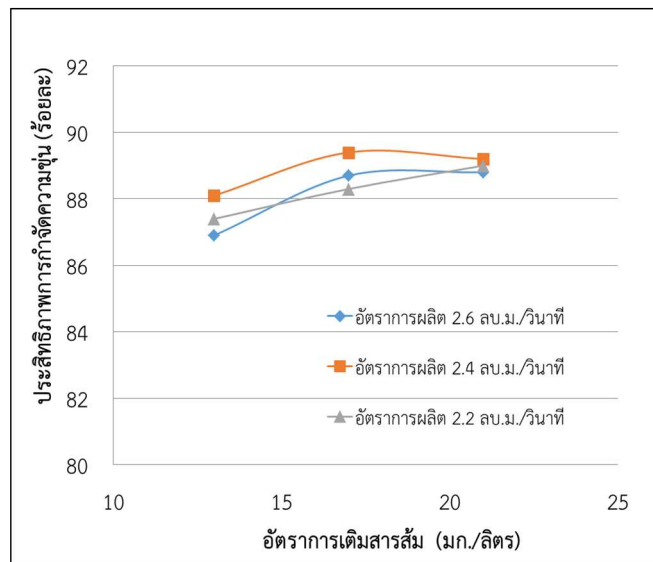
การทดลองจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน ในช่วงความเร็วรอบของใบกวน 1.3-2.3 รอบ/นาที ที่อัตราการผลิต 2.2, 2.4 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และที่อัตราการเติมสารส้ม 13, 17 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร

จากการทดลองดังรูปที่ 4-6 จะพบว่าพฤติกรรมของค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในทุก ๆ อัตราการผลิตและในทุก ๆ อัตราการเติมสารส้ม จะมีลักษณะความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลยกกำลัง 3 โดยในช่วงความเร็วรอบของใบกวน 1.3-1.6 รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับความเร็วรอบของใบกวนในช่วงอื่นๆ ส่วนในช่วงความเร็วรอบของใบกวน 1.6-2.0 รอบ/นาที เมื่อความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของใบกวนสูงขึ้นไปอีก เป็น 2.0-2.2

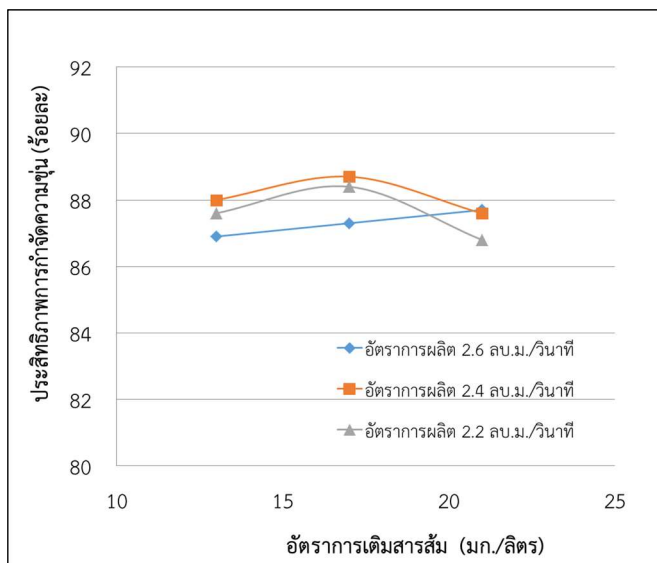
รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะกลับมีค่าลดต่ำลง เนื่องจากการหมุนของใบกวนในส่วนกวนช้า จะสร้างให้เกิดการหมุนเวียนของคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพในน้ำดิบให้เกิดการชนกันและจับกันเป็นฟล็อก และเมื่อความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้น จึงทำให้คอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพมีโอกาสเกิดการหมุนเวียนและจับตัวกันมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเร็วรอบใบกวนเพิ่มขึ้นมากเกินไป จะส่งผลให้ฟล็อกที่จับตัวกันแล้วเกิดการแตกตัวทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าลดต่ำลง [7-8]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน(ร้อยละ) กรณีความเร็วรอบใบกวน 2.0 รอบ/นาที

อัตราการเติมสารส้ม (มก./ลิตร)	อัตราการผลิต (ลบ.ม./วินาที)		
	2.2	2.4	2.6
13	87.4±2.27	88.1±2.45	86.9±1.80
17	88.3±1.90	89.4±1.18	88.7±1.14
21	89.0±0.97	89.2±2.03	88.8±2.48



รูปที่ 7 ผลของอัตราการเติมสารส้มต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกรณี ความเร็วรอบของใบกวน 1.9 รอบ/นาที



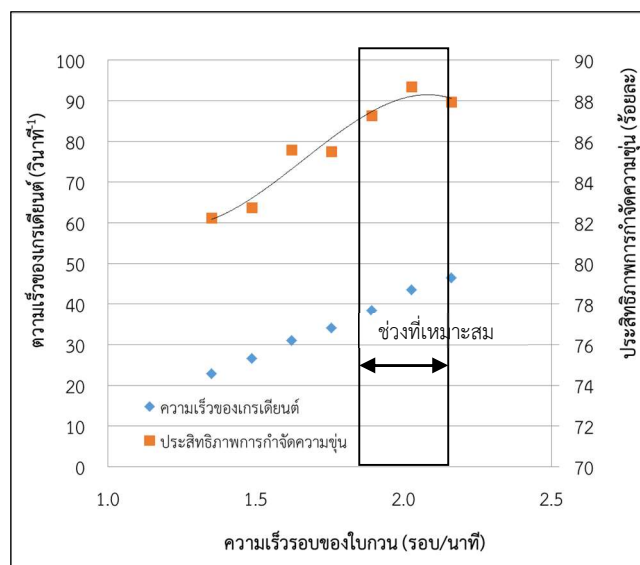
รูปที่ 8 ผลของอัตราการเติมสารส้มต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกรณี ความเร็วรอบของใบกวน 2.0 รอบ/นาที

จากรูปที่ 7-8 เมื่อพิจารณาที่อัตราการผลิต 2.4 ลูกบาศก์เมตร/วินาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการผลิต 2.2 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ในทุกๆ อัตราการเติมสารส้ม เนื่องจากอัตราการผลิตที่สูงจะส่งผลให้ อัตราฟิวน้ำล้นมีค่าสูงและระยะเวลาตะกอนที่จะสัมผัสกันภายในถังตกตะกอนมีค่าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าลดลง [9-10] ส่วนกรณีอัตราการผลิตต่ำเนื่องจากกระบวนการก่อนการตกตะกอนเป็นการกวนเร็ว (Coagulation) แบบคลาสสิก ซึ่งค่าเกรเดียนต์ของความเร็วจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอัตราการผลิต โดยเมื่ออัตราการผลิตลดลงจะส่งผลให้ค่าเกรเดียนต์ของความเร็วในการกวนเร็วมีค่าลดลงด้วย ทำให้อัตราการกวนเร็วไม่เพียงพอต่อการกวนผสมระหว่างน้ำดิบและสารส้ม จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนมีค่าลดลงด้วย [14-15]

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาอัตราการเติมสารส้มจะพบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของอัตราการเติมสารส้ม 17 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการเติมสารส้ม 13 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นว่าผลจากอัตราการเติมสารส้มในอัตราที่เหมาะสมร่วมกับความเร็วรอบของใบกวนที่เหมาะสม นอกจากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าสูงแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีความสม่ำเสมอมากที่สุดอีก

ด้วย กรณีอัตราการเติมสารส้ม 21 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ในทุกๆ ช่วงอัตราการผลิต เนื่องจากอัตราการเติมสารส้มที่สูง จะทำให้สารส้มเพิ่มโอกาสในการเข้าจับกับคอลลอยด์ในน้ำดิบ ให้สามารถช่วยในการรักษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในมีค่าที่สูงอยู่ได้ โดยปกติ อัตราการผลิตที่สูง ซึ่งจะมีอัตราน้ำล้นผิวที่สูงซึ่งโดยปกติจะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ลดต่ำลง แต่การเติมสารส้มในอัตราที่สูงกว่าจุดที่เหมาะสมเล็กน้อยจะยังสามารถช่วยให้การควบคุมถังตกตะกอนให้มีประสิทธิภาพสูงอยู่ได้ การเติมสารส้มในอัตราที่สูงจะช่วยให้สามารถควบคุมถังตกตะกอนให้มีประสิทธิภาพสูงได้แม้จะใช้งานถึงตกตะกอนในอัตราการผลิตที่ไม่เหมาะสม

แม้ในกรณีที่ กรณีอัตราการเติมสารส้ม 13 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นน้อย เนื่องจากอัตราการเติมสารส้มที่น้อยเกินไปจะทำให้ปริมาณสารส้มไม่เพียงพอกับการดักจับตะกอนในน้ำดิบ [4-5] ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าต่ำกว่า แต่ถ้าควบคุมความเร็วรอบของใบกวนให้เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้เพิ่มขึ้น โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าอัตราการเติมสารส้ม 17 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร ประมาณร้อยละ 2 แต่ถ้าอัตราการเติมสารส้มมากเกินไป จะทำให้ตะกอนที่เกิดการแตกตัวอีกครั้งและส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะกลับมีค่าลดต่ำลง [6]



รูปที่ 9 ช่วงความเร็วรอบของใบกวน ค่าเกรเดียนต์ของความเร็วที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าสูง

การควบคุมถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน โดยการควบคุมความเร็วรอบของใบกวน เพื่อสร้างการหมุนเวียนของคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพในน้ำดิบให้เกิดการจับตัวกันเป็นฟล็อก ในการทดลองช่วงความขุ่นน้ำดิบ 25-35 NTU, อัตราการผลิต 2.2, 2.4 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และอัตราการเติมสารส้ม 13, 17 และ 21 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าความเร็วรอบของใบกวนส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในถังตกตะกอนในความสัมพันธ์แบบพหุนามยกกำลัง 3 โดยความเร็วรอบของใบกวนที่มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด อยู่ในช่วง 1.9-2.1 รอบ/นาที ดังรูปที่ 9 จะพบว่า ค่าเกรเดียนต์ของความเร็วที่เหมาะสมในการกำจัดตะกอน อยู่ในช่วง 40-50 วินาที⁻¹ ความเร็วรอบของใบกวนที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดการจับตัวกันอย่างเหนียวแน่นและไม่เกิดการฟุ้งกระจาย สอดคล้องกับคำแนะนำของ AWWA และ ASCE [1] อัตราการผลิตที่สูงจะทำให้อัตราผิวน้ำล้นมีค่าสูงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าต่ำ และอัตราการผลิตต่ำเกินไปจะทำให้ อัตราการเติมสารส้มที่ต่ำเกินไปจะทำให้มีปริมาณสารส้มไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำดิบ อัตราการเติมสารส้มที่สูงจะมีข้อดีคือ ทำให้สามารถยังใช้งานถึงตกตะกอนได้ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สูงได้ ทั้งช่วงอัตราการผลิต 2.2, 2.4 และ 2.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยในการทดลองนี้ การควบคุมถึงตกตะกอนที่มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนสูงที่สุดในช่วงความขุ่น 25-35 NTU คือ อัตราการผลิต 2.4 ลูกบาศก์เมตร/วินาที, อัตราการเติมสารส้ม 17 มิลลิกรัม/ลิตร และความเร็วรอบของใบกวน 2.0 รอบ/นาที โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเท่ากับร้อยละ 89.4±1.18

ดังนั้น การควบคุมความเร็วรอบของใบกวนที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่จะทำให้สามารถกำจัดความขุ่นในถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังสามารถลดการใช้สารส้มและยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีได้อีกด้วย

4. สรุป

กระบวนการตกตะกอน เป็นหนึ่งในกระบวนการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำดิบของระบบผลิตน้ำประปา โดยตะกอนในน้ำดิบส่วนใหญ่จะถูกกำจัดที่กระบวนการนี้ โดยอาศัยการ

ควบคุมค่าเกรเดียนต์ของความเร็วและการเติมสารตกตะกอนด้วยชนิดและปริมาณที่มีความเหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบ กระบวนการเหล่านี้จะส่งผลให้การทำงานของถังตกตะกอนนั้นมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีในการกำจัดความขุ่นและการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพดีด้วยเช่นกัน ผลจากการทดลองได้ศึกษาถึงผลของความเร็วรอบของใบกวนในถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสำหรับระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป ดังรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้

1. ความเร็วรอบของใบกวน ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยเมื่อความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้พฤติกรรมของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นแบบพหุนามยกกำลัง 3
2. ความเร็วรอบของใบกวนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มถึงจุดที่เหมาะสมจะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด แต่ถ้าความเร็วรอบของใบกวนยังเพิ่มสูงขึ้นอีก จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดต่ำลง
3. ในช่วงความขุ่น 25-35 NTU, อัตราการผลิต 2.4 ลูกบาศก์เมตร/วินาที, อัตราการเติมสารส้ม 17 มิลลิกรัม/ลิตร และความเร็วรอบของใบกวน 2.0 รอบ/นาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 89.4±1.18
4. ค่าเกรเดียนต์ของความเร็วที่เหมาะสมสำหรับถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนที่ใช้ในการศึกษา อยู่ในช่วง 40-50 วินาที⁻¹

การควบคุมถึงตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีและจะนำไปสู่การผลิตน้ำประปาให้ได้ตามมาตรฐานนั้น ไม่ใช่เพียงแค่การเติมสารตกตะกอนในอัตราการเติมที่สูงเพียงอย่างเดียว จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ดี แต่การควบคุมความเร็วรอบของใบกวน การควบคุมอัตราการผลิตและการควบคุมอัตราการเติมสารตกตะกอนให้มีความเหมาะสม ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของถังตกตะกอนชนิดหมุนเวียนตะกอนเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของน้ำหลังการตกตะกอนให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Water Works Association (AWWA), American Society of Civil Engineer (ASCE). *Water Treatment Plant Design*. 4th ed. New York: McGRAW-Hill; 2005.
- [2] Dorea CC. Coagulant-based emergency water treatment. *Desalination*. 2009;248: 83-90.
- [3] Twort AC, Ratnayaka DD, Brandt MJ. *Water supply*. 5th ed. Oxford; Butterworth-Heinemann; 2011.
- [4] ญานิศา ตันติपालกุล, คุณิษ ปาลวัฒน์วิไชย, ธิติรัตน์ เตชะกรรจ์ และ เขมจิรา ไชยสาร. การศึกษาสารตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา การประปานครหลวง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา* 2561; 23(1):207-220.
- [5] ชัยวัฒน์ ชมสุวรรณ. *การปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา*. [วิทยานิพนธ์] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552.
- [6] โสภณ เอียดประพาล. *การศึกษาเกณฑ์การควบคุมและประสิทธิภาพของถังกำจัดความขุ่นแบบใช้ชั้นตะกอนในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โรงงานผลิตน้ำประปาแพงพวย จังหวัดราชบุรี*. [วิทยานิพนธ์] สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์. 2545.
- [7] ลัดดา ธรรมการณย์. ผลของใบพัดต่อการกำจัดความขุ่นด้วยถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน. [วิทยานิพนธ์] สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2536.
- [8] วิจารย์ ตันติธรรม. *การกำจัดความขุ่นแบบถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน*. [วิทยานิพนธ์] สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2537.
- [9] Zhang Z, Liu D, Hu D, Li D, Ren X, Cheng Y, Luan Z. Effect of slow-mixing on the coagulation performance of polyaluminum chloride (PACl). *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2013;21(3): 318-323.
- [10] สุรัตน์ อินทร์โต. *ผลของอัตราพัลเซชัน อัตราน้ำล้นผิวและระยะยกของน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการลดความขุ่นของถังตกตะกอนแบบพัลเซชันแคลริฟายเออร์*. [วิทยานิพนธ์] สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 2548.
- [11] Ghawi AH, Jasem YI. Optimization of the Horizontal Sedimentation Tank to Predict Turbidity Removal Efficiency in Water Treatment Plant in Iraq. *Diyala Journal of Engineering Sciences*. 2018;11(1): 33-37.
- [12] ทวีศักดิ์ วังไพศาล. *วิศวกรรมการประปา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2557.
- [13] Davis ML. *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. New York: McGRAW-Hill; 2010.
- [14] พลอยไพลิน ร่มโพธิ์ภักดี. *การกำจัดความขุ่นด้วยถังตกตะกอนล้มผัดแบบหมุนเวียนตะกอน*. [วิทยานิพนธ์] สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.
- [15] Hurst MW. *Evaluation of Parameters Affecting Steady-state Floc Blanket Performance*. [Dissertation] Environmental science, Cornell University; 2010.