

การกำจัดออร์โธฟอสเฟตและความขุ่นจากน้ำเสียชุมชนด้วยพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์และตะกอนจากการผลิตน้ำประปา

Removal of Orthophosphate and Turbidity from Municipal Wastewater by Polyaluminium Chloride and Water Treatment Sludge

สุวนันท์ ทันสมัย ผ่องศรี เป่าภูรี และ มัลลิกา ปัญญาคะโป

Suwanan Tansamai Pongsri Paopuree and Mallika Panyakapo

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University

*Corresponding author; E-mail: mpanyakapo@gmail.com

Received: 15 July 2022 /Revised: 05 August 2022 /Accepted: 19 October 2022

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ จึงต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ กระบวนการผลิตน้ำประปาทำให้เกิดตะกอนประปาเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ตะกอนเหล่านี้ยังคงมีสารพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลงเหลืออยู่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำสาร PACI และตะกอนประปามาใช้ในการบำบัดออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate, OP) และความขุ่นจากน้ำเสียชุมชน โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการบำบัด OP และความขุ่น ได้แก่ ความเข้มข้นของสาร PACI ปริมาณตะกอนประปา เวลาในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการตกตะกอน ผลการทดลองพบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ 1) การใช้สาร PACI ที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยทำการกวนเร็ว 1 นาที และกวนช้า 10 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 96.06 และ 96.03 ตามลำดับ 2) การใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา ที่ความเข้มข้นของสาร PACI 10 มก./ล. ร่วมกับตะกอนประปา 6 ก./ล. โดยทำการกวนเร็ว 1 นาที และกวนช้า 15 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 93.43 และ 84.95 ตามลำดับ และ 3) การใช้ตะกอนประปา ที่ปริมาณ 15 ก./ล. โดยทำการกวนเร็ว 20 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 81.12 และ 80.47 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด ค่าสารเคมีและการใช้ประโยชน์ของเสีย สรุปได้ว่าการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปาเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ผลการวิจัยยังพบว่าการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา สามารถบำบัดค่า COD ของแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำเสียให้คุณภาพน้ำที่ผ่านค่ามาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2553 ด้วย งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าตะกอนประปาสามารถนำกลับมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของตะกอนประปาและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนอีกด้วย

คำสำคัญ: น้ำเสียชุมชน ฟอสเฟต การสร้างและรวมตะกอนทางเคมี การตกตะกอนทางเคมี ตะกอนประปา

Abstract

Phosphate in municipal wastewater affects water quality and aquatic organisms. Therefore, wastewater must be treated before being discharged into water resources. The water treatment process of tap water production produces large amounts of water treatment sludge (WTS) containing polyaluminium chloride (PACl) used in the process. Therefore, this research studied on the removal of orthophosphate (OP) and turbidity from municipal wastewater by using PACl and WTS. Various factors such as PACl concentration, WTS dosage, reaction time and settling time were studied. The results showed that the optimum conditions were as follows: 1) OP and turbidity removal under the condition of PACl 30 mg/L by 1 min rapid mixing and 10 min slow mixing were 96.06% and 96.03%, respectively, 2) OP and turbidity removal by using PACl 10 mg/L and WTS 6 g/L with 1 min rapid mixing and 15 min slow mixing were 93.43% and 84.95%, respectively, and 3) OP and turbidity removal under the condition of WTS at 15 g/L by 20 min rapid mixing were 81.12% and 80.47% respectively. When considering the treatment efficiency, the chemical cost and the utilization of waste, it can be concluded that the use of PACl with WTS is the most appropriate condition. Moreover, this condition could be applied to treat COD, total suspended solids (TSS) and total phosphorus (TP) in wastewater to produce water that quality is conforming to the effluent standards by the Ministry of Natural Resources and Environment (2010). This research indicates that WTS can be recycled for municipal wastewater treatments increasing the value of WTS and to reducing sludge disposal costs.

Keywords: Municipal wastewater, Phosphate, Chemical coagulation and flocculation, Chemical precipitation, Water treatment sludge

บทนำ

น้ำเสียชุมชนเกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากการประกอบอาหาร น้ำทิ้งจากการชำระล้างสิ่งสกปรกในครัวเรือนและอาคารประเภทต่าง ๆ¹ ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ส่งผลให้วัชพืชน้ำหรือแพลงก์ตอนพืชเกิดการเจริญเติบโต

อย่างรวดเร็ว ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่ายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากในหลายพื้นที่ของประเทศ² วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการบำบัดฟอสเฟต ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี การใช้ตัวดูดซับ และการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ³ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย โดยเติมสารเคมีที่เป็นเกลือโลหะที่มีค่าประจุตรงข้าม

เพื่อจับกับฟอสเฟตที่ละลายน้ำแล้วทำให้เกิดการตกตะกอน (Chemical precipitation)⁴ เช่น สารส้ม สารพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PACI) สารเพอร์ริคคลอไรด์

ตะกอนประปาเกิดจากขั้นตอนการสร้างและรวมตะกอน (Chemical coagulation and flocculation) ในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยมีการใช้สารเคมีต่าง ๆ เพื่อให้สารที่ปนเปื้อนในน้ำเกิดการจับตัวกันจนกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย โรงงานผลิตน้ำบางเขนเกิดตะกอนประปาเฉลี่ย 350 ตันต่อวัน ซึ่งเป็นภาระในการนำไปกำจัด⁵ โดยพบว่าตะกอนประปามีธาตุอาหารพืชโดยทั่วไปอยู่ในระดับปานกลางถึงดี มีประจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงซึ่งเป็นผลมาจากสารเคมีที่เติมลงในน้ำดิบเพื่อการตกตะกอน⁶ และองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปามีปริมาณของซิลิกาและอลูมิเนียมมากที่สุด ตามลำดับ⁷ ซึ่งจากสมบัติดังกล่าว จึงทำให้มีผู้ที่สนใจศึกษาการนำตะกอนประปามาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น Wei et al.⁸ ซึ่งพบว่าตะกอนสามารถใช้ในการบำบัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 98 และ Georgantas and Grigoropoulou⁹ ได้ศึกษาการบำบัดฟอสฟอรัสด้วยตะกอนประปา พบว่าตะกอนมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย อีกทั้งสามารถบำบัดความขุ่นและ COD ได้ และ Nair and Ahammed¹⁰ ได้ศึกษาการนำ PACI และตะกอนประปา มาใช้ในการบำบัด OP ได้ร้อยละ 87 อีกทั้งสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย BOD และ COD ได้ กลไกการบำบัดมลสารมี 2 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการตกตะกอน ซึ่งเป็นการเติมสารเคมีลงในน้ำ เพื่อทำปฏิกิริยากับสารที่ละลายน้ำ¹¹ เช่น OP

โดยทำการกวนเร็ว เพื่อให้เกิดเป็นตะกอนตกลงสู่ด้านล่างได้ และ 2) กระบวนการสร้างและรวมตะกอน ซึ่งมี 2 ขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการเติมสารเคมีที่มีประจุบวก เพื่อทำปฏิกิริยากับประจุที่ผิวของสารแขวนลอยซึ่งก่อให้เกิดความขุ่น โดยทำการกวนเร็วด้วยเวลาสั้น และขั้นที่ 2 เป็นการกวนช้าในเวลานานกว่า เพื่อทำให้อนุภาคแขวนลอยรวมตัวกันและเกิดเป็นตะกอนที่มีลักษณะเป็นเมือกขุ่น (Floc) ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น^{11,12} การกวนเร็วเพียงขั้นตอนเดียวทำให้เกิดกระบวนการบำบัดแบบการตกตะกอน แต่การกวนเร็วตามด้วยการกวนช้าทำให้เกิดกระบวนการบำบัดแบบการตกตะกอนรวมกับการสร้างและรวมตะกอนด้วย¹¹

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชนจากกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งปนเปื้อนด้วยมลสารต่าง ๆ เช่น สารอินทรีย์ของแข็งแขวนลอย และ OP ส่งผลให้แหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยและบริเวณใกล้เคียงเกิดการเน่าเสีย ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการนำสาร PACI และตะกอนประปาจากโรงผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครนครปฐม ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัย โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นในน้ำเสียชุมชน ระหว่างการใช้สาร PACI ตะกอนประปา และสาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการบำบัด OP และความขุ่น ได้แก่ ความเข้มข้นของสาร PACI ปริมาณตะกอนประปา เวลาในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการตกตะกอน เพื่อให้ได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัด จากนั้นจึงทำการศึกษาการบำบัดมลสารชนิดอื่น ๆ

ในน้ำเสียชุมชน ได้แก่ COD ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) การนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้ประโยชน์ในการบำบัดมลสารในน้ำเสีย เป็นการเพิ่มมูลค่าของตะกอนที่เหลือทิ้ง อีกทั้งยังลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนด้วย

วิธีการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

สารสร้างตะกอนที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สาร PACI ความเข้มข้น 10% W/V ดัง Figure 1 (a) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากโรงผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครนครปฐม อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม



Figure 1. Materials (a) 10% W/V Polyaluminium chloride (PACI) (b) Water treatment sludge

2. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ OP ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Colorimetric โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Jasco รุ่น V530 ความขุ่นวัดด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH รุ่น 2100P, COD วิเคราะห์ด้วยวิธี Closed reflux, TSS วิเคราะห์โดยการกรองน้ำ

ตะกอนประปาที่ใช้ในการศึกษา เป็นตะกอนที่เก็บจากบ่อทิ้งตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาเทศบาลนครนครปฐม อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม แสดงดัง Figure 1 (b) โรงผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครนครปฐมมีการใช้สาร PACI เป็นสารสร้างและรวมตะกอนทางเคมีจึงทำให้ตะกอนประปายังคงมีสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนหลงเหลืออยู่

น้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการศึกษา เป็นน้ำเสียชุมชนที่เก็บมาจากบ่อสูบน้ำเสียรวมจากกลุ่มหอพักเพชรรัตน์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

ตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C, และ TP วิเคราะห์โดยยอยน้ำตัวอย่างด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก และวิเคราะห์ด้วยวิธี Colorimetric โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Jasco รุ่น V530 ทุกพารามิเตอร์วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ APHA, AWWA, and WEF¹³

3. ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยสาร PACI และ ตะกอนประปา

3.1 ภาพรวมของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบำบัด OP และความขุ่นในน้ำเสียชุมชน โดยการใช้สาร PACI และตะกอนประปา ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการบำบัด ได้แก่ ความเข้มข้นของสาร PACI ปริมาณตะกอนประปา เวลาในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการตกตะกอน ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองที่ pH เริ่มต้นของน้ำเสียตัวอย่างนั้น ๆ ซึ่งจะมี pH อยู่ในช่วง 5.5 – 9.0 ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งน้ำเสียชุมชน¹⁴ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนมาวิเคราะห์ค่า pH เริ่มต้น ค่าความเข้มข้นของ OP และค่าความขุ่น (ก่อนการบำบัด) จากนั้นการทดลองด้วย Jar Test เป็น 2 แบบ ได้แก่ 1) แบบกวนเร็ว เพื่อศึกษาการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอน และ 2) แบบกวนเร็วตามด้วยการกวนช้า เพื่อศึกษาการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วมกับกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

วิธีการทดลองเริ่มจากการตวงน้ำเสียปริมาตร 500 มล. ใส่บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มล.

เติมสาร PACI หรือตะกอนประปา (แบบเปียก) ตามปริมาณที่กำหนดในแต่ละการทดลอง นำบีกเกอร์วางในเครื่อง Jar Test จุ่มใบพัดลงในบีกเกอร์ โดยมีการกวนเร็ว ที่ 120 รอบต่อนาที และกวนช้า ที่ 30 รอบต่อนาที ซึ่งมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาตามที่กำหนด เมื่อครบระยะเวลา หยุดกวน ยกใบพัดขึ้น ปล่อยให้มีการตกตะกอนตามระยะเวลาในการตกตะกอนที่กำหนด นำน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น จากนั้นนำน้ำที่เหลื้อมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no.42 แล้วนำน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ OP (หลังบำบัด) เมื่อได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมแล้ว จึงนำไปทำการทดลองบำบัดพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ COD, TSS และ TP จากนั้นทำการสรุปผลการวิจัย

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตและความขุ่น

สภาวะการทดลองที่ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการบำบัดด้วยสาร PACI ตะกอนประปา และ สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา แสดงดัง Table 1 - 3 ตามลำดับ

Table 1. Experimental conditions of OP and turbidity removal by PACI

	PACI conc. (mg/L)	Time for Rapid Mixing at 120 rpm (min)	Time for Slow Mixing at 30 rpm (min)	Settling time (min)
Rapid mixing	5-120	5-30	-	10-35
Rapid and slow mixing	5-120	1	5-30	10-35

Table 2. Experimental conditions of OP and turbidity removal by water treatment sludge

	Sludge dosage (g/L)	Time for Rapid Mixing at 120 rpm (min)	Time for Slow Mixing at 30 rpm (min)	Settling time (min)
Rapid mixing	1.0-35.0	5-30	-	10-35
Rapid and slow mixing	1.0-35.0	1	5-30	10-35

Table 3. Experimental conditions of OP and turbidity removal by PACl and water treatment sludge

	PACl conc. (mg/L)	Sludge dosage (g/L)	Time for Rapid Mixing at 120 rpm (min)	Time for Slow Mixing at 30 rpm (min)	Settling time (min)
Rapid mixing	10-35	5.0-10.0	5-30	-	10-35
Rapid and slow mixing	5-30	2.0-13.0	1	5-30	10-35

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดมลสารชนิดต่างๆ

เมื่อได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมจากการศึกษาในข้อ 3.2 แล้วจึงนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารชนิดต่าง ๆ ได้แก่ COD TSS และ TP

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ลักษณะของตะกอนประปาและน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการวิจัย

ตะกอนประปาที่เก็บตัวอย่างมาจากบ่อทิ้งตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาเทศบาลนครนครปฐม อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.5-8.4 และความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 91.92 สำหรับน้ำเสียชุมชนที่เก็บตัวอย่างมาจากบ่อสูบน้ำเสียรวมจากกลุ่มหอพักเพชรรัตน์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐมพบว่าลักษณะของน้ำเสียก่อนการบำบัดมีดังนี้ pH อยู่ในช่วง 7.3-7.9 ความขุ่นอยู่ในช่วง 15.6

– 58.1 NTU COD อยู่ในช่วง 45.33 – 48.00 มก./ล. TSS อยู่ ในช่วง 6.67 – 7.33 มก./ล. OP อยู่ในช่วง 0.71 – 1.27 มก./ล. และ TP อยู่ในช่วง 3.17 – 6.29 มก./ล.

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดออร์โธฟอสเฟตและความขุ่นด้วยสาร PACl

2.1 ผลของความเข้มข้นของสาร PACl

ผลของความเข้มข้นของสาร PACl ที่สภาวะการทดลองของน้ำเสียมี pH เริ่มต้น 7 เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และเวลาตกตะกอน 30 นาที สำหรับการกวนเร็ว พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสาร PACl เพิ่มขึ้นจาก 5 มก./ล. เป็น 40 มก./ล. สามารถบำบัด OP และความขุ่นได้เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 57.04 เป็นร้อยละ 95.19 และจากร้อยละ 51.28 เป็นร้อยละ 91.03 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่ที่ความเข้มข้น 40-120 มก./ล. ปฏิบัติการบำบัดจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าคงที่ ดัง Figure 2 (a) ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสาร PACl ที่ 40 มก./ล. บำบัด OP และ

ความขุ่น ได้ร้อยละ 95.19 และร้อยละ 91.03 ตามลำดับ เพื่อทำการทดลองต่อไป และสำหรับการกวนเร็ว-กวนช้า พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสาร PACI เพิ่มขึ้นจาก 5 มก./ล. เป็น 30 มก./ล. สามารถบำบัด OP และความขุ่นได้เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 64.37 เป็นร้อยละ 96.93 และจากร้อยละ 79.69 เป็นร้อยละ 91.56 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้น 30 – 120 มก./ล. ปฏิกริยาการบำบัดจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าคงที่ ดัง Figure 2 (b) ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสาร PACI ที่ 30 มก./ล. บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 96.93 และร้อยละ 91.56 ตามลำดับ เพื่อทำการทดลองต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่น พบว่าวิธีการกวนเร็ว-กวนช้า

มีการใช้สาร PACI ในปริมาณที่น้อยกว่าและยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการบำบัดด้วยวิธีการกวนเร็วเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการกวนเร็ว-กวนช้า ทำให้อนุภาคสัมผัสกันมากเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ เกิดเป็นตะกอนเมือกกวน สามารถกวาดอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ด้านบน ทำให้ตกตะกอนลงสู่ด้านล่างได้มากขึ้น และจากผลการทดลองทั้ง 2 วิธี พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสาร PACI มากขึ้น จะสามารถบำบัด OP และความขุ่นได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Georgantas and Grigoropoulou⁹ ที่ทำการศึกษการบำบัด OP โดยใช้สารส้มและสารอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารที่ช่วยในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมากขึ้น

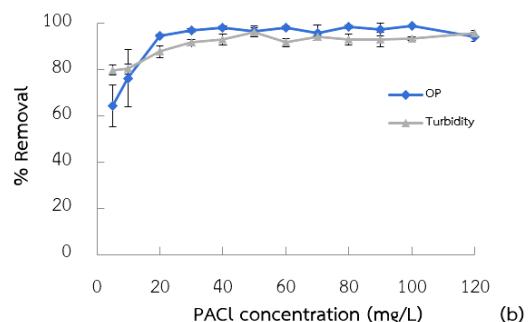
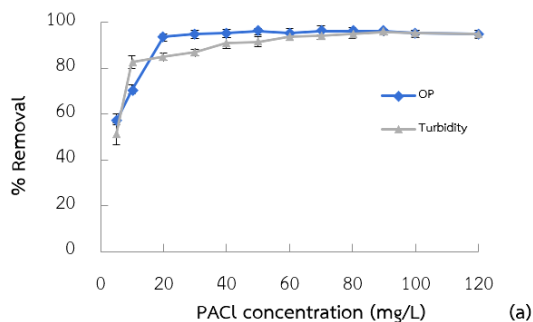


Figure 2. Effect of PACI concentration on OP and turbidity removal at pH 7. (a) Rapid mixing at 120 rpm, 30 min (b) Rapid mixing at 120 rpm, 1 min and Slow mixing at 30 rpm, 30 min

2.2 ผลของเวลาทำปฏิกิริยาและเวลาตกตะกอน

สำหรับวิธีการกวนเร็ว ที่ความเข้มข้นของสาร PACI 40 มก./ล. และวิธีการกวนเร็ว-กวนช้า ที่ความเข้มข้นของสาร PACI 30 มก./ล. มีประสิทธิภาพใน

การบำบัดสูง และไปในแนวทางเดียวกัน คือที่ระยะเวลา 5-30 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยทั้ง 2 วิธี เลือกใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมเหมือนกัน คือ 10 นาที เพื่อศึกษาผลของเวลาตกตะกอนต่อไป

โดยวิธีกวนเร็ว บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 97.89 และร้อยละ 97.30 ตามลำดับ และวิธีกวนเร็ว-กวนช้า บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 96.59 และร้อยละ 94.94 ตามลำดับ สำหรับผลของเวลาตกตะกอนในช่วง 10 – 35 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการกวนทั้ง 2 วิธี มีเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมเหมือนกัน คือ 15 นาที โดยวิธีกวนเร็ว บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 97.54 และร้อยละ 96.10 ตามลำดับ และวิธีกวนเร็ว-กวนช้า บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 96.06 และร้อยละ 96.03 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohammed and Shanshool¹⁵ ที่ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งด้วยสารส้มและแคลเซียมคลอไรด์ ที่เวลาทำปฏิกิริยา 5-10 นาที พบว่าเวลาการทำปฏิกิริยาในช่วงแรก ความเข้มข้นของฟอสเฟตจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไอออนของฟอสเฟตและอลูมิเนียมสามารถสัมผัสกันมาก และเมื่อถึงจุดสมดุลแล้วประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตจะลดลงหรือคงที่ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ebeling et al.¹⁶ ที่ศึกษาการบำบัดของแข็งและฟอสฟอรัสโดยใช้สารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนมากขึ้นทำให้อนุภาคสามารถตกลงสู่ด้านล่างได้มากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสเฟตจึงมีค่าน้อยลง แต่เมื่อถึง ณ เวลานั้น ความเข้มข้นฟอสเฟตจะเปลี่ยนแปลงทีละน้อยจนคงที่

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัด OP และความขุ่นด้วยตะกอนประปา

3.1 ผลของปริมาณตะกอนประปา

ที่สภาวะการทดลองของน้ำเสียมี pH เริ่มต้น 7 เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และเวลาตกตะกอน 30 นาที สำหรับการกวนเร็ว พบว่า เมื่อปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้น จาก 1 ก./ล. เป็น 35 ก./ล. ความสามารถในการบำบัด OP จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 26.51 เป็นร้อยละ 95.77 แต่การบำบัดความขุ่นจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนประปาจาก 1 ก./ล. เป็น 10 ก./ล. สามารถบำบัดความขุ่นได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 18.66 เป็นร้อยละ 66.49 และที่ปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้น จาก 12 ก./ล. เป็น 35 ก./ล. การบำบัดความขุ่นจะค่อย ๆ ลดลงดัง Figure 3 (a) ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสมที่ 15 ก./ล. บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 81.53 และร้อยละ 65.76 ตามลำดับ สำหรับการทดลองต่อไป และสำหรับการกวนเร็ว-กวนช้า พบว่า เมื่อใช้ปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้น จาก 1 ก./ล. เป็น 35 ก./ล. ความสามารถในการบำบัด OP และความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.32 เป็นร้อยละ 91.87 และจากร้อยละ 26.84 เป็นร้อยละ 83.01 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณ 20 ก./ล. ถึง 35 ก./ล. ค่าการบำบัดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นดัง Figure 3 (b) ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสมที่ 20 ก./ล. บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 81.30 และร้อยละ 74.24 ตามลำดับ สำหรับการทดลองต่อไป

จากผลการทดลองการกวนทั้ง 2 วิธี พบว่าเมื่อใช้ปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้นจะสามารถบำบัด OP ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรุ่งระวี มาจิต และคณะ⁶ ที่ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ตะกอนประปา พบว่าเมื่อปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้น จะสามารถบำบัด

OP ได้มากขึ้น เพราะตะกอนประปามีความจุ แลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง เนื่องจากสาร อลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกา สำหรับกรณีการกวน เร็ว เมื่อปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการ บำบัดความขุ่น เนื่องจากตะกอนประปามี ลักษณะเป็นเลนละเอียดสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากของแข็ง

แขวนลอยที่กำจัดออกจากน้ำประปา ดัง Figure 1 (b) ดังนั้นเมื่อใช้ตะกอนประปาในปริมาณมาก ประกอบกับการกวนเร็ว จึงทำให้เลนสีน้ำตาลหลุด จากตะกอนออกมาปะปนกับน้ำเสียทำให้ความขุ่น ในน้ำเสียสูงขึ้น

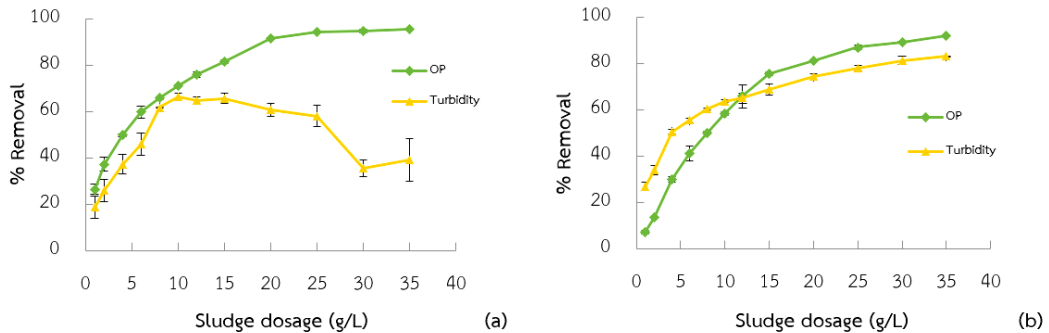


Figure 3. Effect of sludge dosage on OP and turbidity removal at pH 7. (a) Rapid mixing at 120 rpm, 30 min (b) Rapid mixing at 120 rpm, 1 min and Slow mixing at 30 rpm, 30 min

3.2 ผลของเวลาทำปฏิกิริยาและเวลาตกตะกอน

สำหรับการกวนเร็ว ผลของเวลาทำปฏิกิริยา ที่ปริมาณตะกอนประปา 15.0 ก./ล. และกวนด้วยความเร็ว 120 rpm พบว่า การบำบัด OP และความ ขุ่นด้วยตะกอนประปามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลา ทำปฏิกิริยาจาก 5 นาที เป็น 30 นาที โดยที่เวลา 5 – 15 นาที ความเข้มข้นของสารจะลดลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นเมื่อถึงจุดสมดุลจะเริ่มคงที่ ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 20 นาที เพื่อศึกษาผลของเวลาตกตะกอนต่อไป โดยบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 81.12 และ ร้อยละ 77.18 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพ การบำบัดที่เวลาตกตะกอน 10-35 นาที มีค่า ใกล้เคียงกัน จึงเลือกเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมคือ

20 นาที บำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 81.12 และร้อยละ 80.47 ตามลำดับ

สำหรับการกวนเร็ว-กวนช้า ผลของเวลาทำ ปฏิกิริยาที่ปริมาณตะกอนประปา 20.0 ก./ล. และ กวนด้วยความเร็ว 120 rpm เวลา 1 นาที และกวน ช้า 30 rpm พบว่า การบำบัด OP ของตะกอน ประปามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยา จาก 5 นาที เป็น 30 นาที และสามารถบำบัด ความขุ่นได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาทำปฏิกิริยา ที่เหมาะสม คือ 15 นาที เพื่อศึกษาผลของเวลา ตกตะกอนต่อไป โดยบำบัด OP และความขุ่นได้ ร้อยละ 81.23 และร้อยละ 63.88 ตามลำดับ และ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด ที่เวลาตกตะกอน 10 – 35 นาที มีค่าใกล้เคียงกัน จึงเลือกเวลา

ตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 15 นาที บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 79.55 และร้อยละ 60.30 ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าการบำบัด OP และความขุ่นด้วยตะกอนประปา โดยวิธีการกวนเร็ว และวิธีการกวนเร็ว-กวนช้า ที่เวลาทำปฏิกิริยาและเวลาดตกตะกอนต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการบำบัดไปในแนวทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maqbool et al.¹⁷ ซึ่งศึกษาการใช้กากตะกอนประปาในการบำบัดฟอสเฟตจากน้ำเสียเทศบาล พบว่าที่เวลาการทำปฏิกิริยาในระยะแรก ความเข้มข้นของฟอสเฟตจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตจะเริ่มคงที่ และพบว่าการบำบัด OP และความขุ่นโดยวิธีการกวนเร็ว ที่เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าการใช้วิธีการกวนเร็ว-กวนช้า

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัด OP และความขุ่นด้วยสาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา

4.1 ผลของความเข้มข้นของสาร PACI

สำหรับการกวนเร็ว ผลของความเข้มข้นของสาร PACI ที่สภาวะการทดลองของน้ำเสียมี pH เริ่มต้น 7 ที่เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และเวลาดตกตะกอน 30 นาที โดยใช้ปริมาณตะกอนประปา 15 ก./ล. ซึ่งได้มาจากผลการทดลองที่เหมาะสมของวิธีการกวนเร็วในข้อ 3.1 พบว่า ความเข้มข้นของสาร PACI ที่ 10-30 มก./ล. ประสิทธิภาพการบำบัด OP มีค่าสูงถึงร้อยละ 91.45-96.87 และบำบัดความขุ่นได้ร้อยละ 79.45-80.65 แต่การบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงที่ 35 มก./ล. ดัง Figure 4 (a) ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของ PACI ที่ 10 มก./ล.

บำบัด OP และความขุ่น ได้ร้อยละ 91.45 และร้อยละ 80.65 ตามลำดับ สำหรับการทดลองต่อไป

สำหรับการกวนเร็ว-กวนช้า ผลของความเข้มข้นของสาร PACI ที่สภาวะการทดลองของน้ำเสีย pH เริ่มต้น 7 ที่เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และเวลาดตกตะกอน 30 นาที โดยใช้ปริมาณตะกอนประปา 20 ก./ล. ซึ่งได้มาจากผลการทดลองที่เหมาะสมของวิธีการกวนเร็ว-กวนช้า ในข้อ 3.1 พบว่า ความเข้มข้นของสาร PACI 5-30 มก./ล. ประสิทธิภาพการบำบัด OP และความขุ่นมีค่าสูงและใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 91.04-97.20 และร้อยละ 84.98-87.56 ตามลำดับ ดัง Figure 4 (b) ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของ PACI ที่ 10 มก./ล. บำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 93.00 และร้อยละ 86.50 ตามลำดับ สำหรับการทดลองต่อไป

จากผลการทดลองการกวนทั้ง 2 วิธี พบว่าการบำบัด OP และความขุ่นด้วยสาร PACI ในปริมาณที่เท่ากัน โดยวิธีการกวนเร็ว-กวนช้าสามารถบำบัดได้ดีกว่าวิธีการกวนเร็วเพียงอย่างเดียว เนื่องจากวิธีการกวนเร็ว-กวนช้าเกิดกลไกการบำบัดร่วมกันระหว่างการตกตะกอนร่วมกับการสร้างและรวมตะกอน ขณะที่การกวนเร็วเกิดเพียงกลไกการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว และพบว่าการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา ในการบำบัด OP และความขุ่น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าสูง โดยที่มีการใช้สาร PACI ในปริมาณที่ลดลงมากเมื่อเทียบกับการทดลองใช้สาร PACI เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nair and Ahammed¹⁰ ที่ศึกษาการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา ในการบำบัด OP ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 87

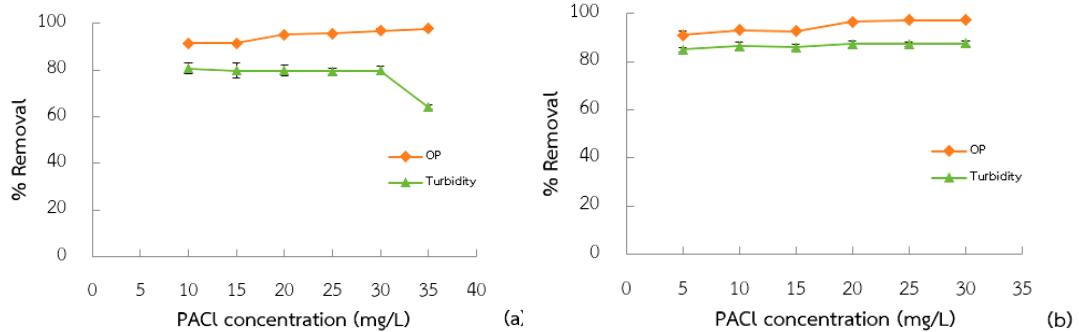


Figure 4. Effect of PACl concentration on OP and turbidity removal at pH 7. (a) sludge dosage 15 g/L, Rapid mixing at 120 rpm, 30 min (b) sludge dosage 20 g/L Rapid mixing at 120 rpm, 1 min and Slow mixing at 30 rpm, 30 min

4.2 ผลของปริมาณตะกอนประปา

การทดลองนี้ได้เลือกใช้ความเข้มข้นของ PACl 10 มก./ล. มาศึกษาผลของปริมาณตะกอนประปา ที่สภาวะการทดลองของน้ำเสียมี pH เริ่มต้น 7 ที่เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และเวลาตกตะกอน 30 นาที โดยใช้ 2 สภาวะการทดลอง คือ การกวนเร็ว และการกวนเร็วตามด้วยการกวนช้า

สำหรับการกวนเร็วพบว่าเมื่อปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการบำบัด OP และ ความขุ่นจะเพิ่มขึ้น ดัง Figure 5 (a) ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสม คือ 7 ก./ล. ซึ่งบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 82.51 และร้อยละ 83.27 ตามลำดับ

สำหรับการกวนเร็ว-กวนช้าพบว่าเมื่อใช้ปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการบำบัด OP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเมื่อถึงจุดสมดุลจะเริ่มคงที่ และประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกันดัง Figure 5 (b) ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสม คือ 6 ก./ล.

ซึ่งสามารถบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 86.04 และร้อยละ 87.46 ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าเมื่อใช้ปริมาณตะกอนประปาเพิ่มขึ้นจะสามารถบำบัด OP และความขุ่นได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nair and Ahammed¹⁰ ที่ทำการศึกษาการใช้กากตะกอนบำบัดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากถัง UASB ที่บำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าเมื่อใช้สาร PACl ร่วมกับตะกอนประปา จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด OP ได้มากขึ้น เนื่องมาจากความสามารถในการทำให้ประจุเป็นกลาง เมื่อเติมกากตะกอนในน้ำทิ้งแล้วเกิดการแตกตัวเป็นไอออนของโลหะแล้วถูกไฮโดรไลซิสให้เป็นสารซึ่งมีประจุบวก แล้วทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตที่มีประจุลบ จึงทำให้เกิดการตกตะกอนได้ และจะเห็นได้ว่าการบำบัด OP และความขุ่น โดยวิธีการกวนเร็ว-กวนช้ามีประสิทธิภาพบำบัดได้ดีกว่าและใช้ตะกอนประปาในปริมาณที่น้อยกว่าวิธีการกวนเร็วเพียงอย่างเดียว

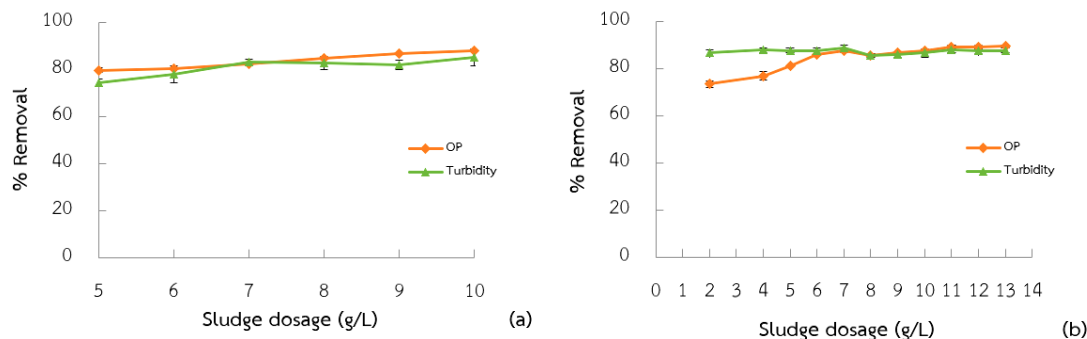


Figure 5. Effect of sludge dosage on OP and turbidity removal at pH 7. (a) PACl concentration 10 mg/L, Rapid mixing at 120 rpm, 30 min (b) PACl concentration 10 mg/L, Rapid mixing at 120 rpm, 1 min and Slow mixing at 30 rpm, 30 min

4.3 ผลของเวลาทำปฏิกิริยาและเวลาตกตะกอน

สำหรับการกวนเร็ว ผลของเวลาทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของสาร PACl 10 มก./ล. ร่วมกับตะกอนประปา 7 ก./ล. และกวนด้วยความเร็ว 120 rpm พบว่า เมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 30 นาที ประสิทธิภาพการบำบัด OP และความขุ่นเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 67.81 เป็นร้อยละ 80.88 และจากร้อยละ 55.20 เป็น 86.69 ตามลำดับ โดยในช่วงแรกของปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาทีความสามารถในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงจุดสมดุลจะเริ่มคงที่ จึงเลือกใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือเวลา 20 นาที เพื่อศึกษาผลของเวลาดตกตะกอนต่อไป โดยสามารถบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 75.49 และร้อยละ 83.64 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่เวลาดตกตะกอน 10-35 นาที มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีเวลาดตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 15 นาที บำบัด OP

และความขุ่น ได้ร้อยละ 79.41 และร้อยละ 77.05 ตามลำดับ

สำหรับการกวนเร็ว-กวนช้า ผลของเวลาทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของสาร PACl 10 มก./ล. ร่วมกับตะกอนประปา 6 ก./ล. กวนด้วยความเร็ว 120 rpm เวลา 1 นาที และกวนช้า 30 rpm พบว่าที่เวลาทำปฏิกิริยา 5-30 นาที ประสิทธิภาพการบำบัด OP และความขุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 90.14-94.37 และร้อยละ 78.20-89.45 ตามลำดับ จึงเลือกใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือเวลา 15 นาที เพื่อศึกษาผลของเวลาดตกตะกอนต่อไป โดยสามารถบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 93.43 และร้อยละ 87.48 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด ที่เวลาดตกตะกอน 10-35 นาที มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีเวลาดตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 15 นาที บำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 93.43 และร้อยละ 84.95 ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าการบำบัด OP และความขุ่นด้วยสาร PACl ร่วมกับตะกอน

ประปา ที่เวลาทำปฏิกิริยาและเวลาดตกตะกอนต่าง ๆ ประสิทธิภาพในการบำบัดไปในแนวทางเดียวกัน คือ ในระยะแรกความเข้มข้นของสารจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วประสิทธิภาพในการบำบัดจะเริ่มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohammed and Shanshool¹⁵ และพบว่า การบำบัด OP และความขุ่นโดยวิธีการกวนเร็ว-กวนช้า ที่เวลาทำปฏิกิริยาต่าง ๆ ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่ามากกว่าการใช้วิธีการกวนเร็วเพียงอย่างเดียว

สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบำบัดออร์โธฟอสเฟตและความขุ่นในน้ำเสียชุมชนของ 3 การทดลอง แสดงดัง Table 4 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- 1) สภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยสาร PACI คือ การใช้สาร PACI 30 มก./ล. ที่เวลาทำปฏิกิริยา 10 นาที และเวลาดตกตะกอน 15 นาที โดยวิธีการกวนเร็วและกวนช้า ซึ่งอาศัยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการตกตะกอนทางเคมี จะเห็นได้ว่านอกจากบำบัด OP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสามารถบำบัดความขุ่น

ได้ดีอีกด้วย 2) สภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยตะกอนประปา คือ การใช้ปริมาณตะกอนประปา 15 ก./ล. ที่เวลาทำปฏิกิริยา 20 นาที และเวลาดตกตะกอน 20 นาที โดยวิธีการกวนเร็วอาศัยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี และ 3) สภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยสาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา คือ การใช้สาร PACI 10 มก./ล. ร่วมกับตะกอนประปา 6 ก./ล. เวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที และเวลาดตกตะกอน 15 นาที โดยวิธีการกวนเร็วและกวนช้า ด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีร่วมกับการตกตะกอนทางเคมี จากทั้ง 3 สภาวะการทดลองเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดรวมกับการใช้สารเคมี สรุปได้ว่าการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปาเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น เนื่องจากมีการใช้สาร PACI และปริมาณตะกอนประปาในปริมาณน้อยลง แต่ยังมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นสูง ซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าสารเคมีและค่าขนส่งตะกอนประปาด้วย

Table 4. The Optimum conditions for OP and turbidity removal

Materials	Method	PACI conc.	Sludge dosage	Reaction time	Settling time	Orthophosphate removal	Turbidity removal
PACI	Rapid mixing - slow mixing	30 mg/L	-	10 min	15 min	96.06%	96.03%
Sludge	Rapid mixing	-	15 g/L	20 min	20 min	81.12%	80.47%
PACI and sludge	Rapid mixing - Slow mixing	10 mg/L	6 g/L	15 min	15 min	93.43%	84.95%

5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดมลสารชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสีย

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด OP และความขุ่นด้วยสารเคมีต่าง ๆ ดัง Table 4 เมื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสีย พบว่า สามารถบำบัดค่า COD, TSS, OP และ TP ได้ดัง Table 5 มลสารต่าง ๆ ที่เหลืออยู่หลังการบำบัดเป็นไปตามค่ามาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2553¹⁴ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nair

and Ahammed¹⁰ ที่ได้มีการศึกษาการใช้กากตะกอนในการบำบัดมลสารในน้ำทิ้งชุมชน ได้แก่ การบำบัด TSS, BOD และ COD ได้ร้อยละ 80, 67 และ 61 ตามลำดับ และงานวิจัยของ Guan et al.¹⁸ ที่ศึกษาการใช้ตะกอนประปาบำบัดมลสารในน้ำเสีย ได้แก่ การบำบัดของ TSS และ COD ได้ร้อยละ 20 และ 15 ตามลำดับ โดยตะกอนประปาที่ผ่านการบำบัดมลสารในน้ำเสียมาแล้วนั้น พบว่าปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในตะกอน มีปริมาณเพิ่มขึ้น สามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูก ซึ่งจะช่วยให้ลดการใช้ปุ๋ยได้⁶

Table 5. Removal efficiencies of Pollutants

Parameter	Std.	PACI			Sludge			PACI and Sludge		
		before	after	% removal	before	after	% removal	before	after	% removal
COD (mg/L)	-	48.00	10.67	77.78	48.00	34.67	27.78	48.00	4.62	72.22
TSS (mg/L)	≤ 30	7.33	3.33	54.55	7.33	4.67	36.36	7.33	2.00	72.73
OP (mg/L)	-	1.27	0.05	96.06	0.83	0.16	81.12	0.71	0.05	93.43
TP (mg/L)	≤ 2	6.29	0.29	90.96	6.29	0.19	93.90	6.29	0.07	97.90

หมายเหตุ: ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของ OP แตกต่างกัน เนื่องจากมีการวิเคราะห์ค่า OP เป็นพารามิเตอร์แรกเพื่อหาสภาวะ การทดลองที่เหมาะสมที่สุด จึงมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาทำการทดลองหลายครั้งในช่วงเวลาต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ตะกอนประปาที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีธาตุอาหารพืชอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีประจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง เป็นผลมาจากสารเคมีที่เติมลงในน้ำดิบเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำสาร PACI และตะกอนประปามาใช้ในการบำบัด OP และความขุ่นในน้ำเสียชุมชน โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการบำบัด OP และความขุ่น

ได้แก่ ความเข้มข้นของสาร PACI ปริมาณตะกอนประปา เวลาในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการตกตะกอน ผลการทดลองพบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสม 3 สภาวะ ได้แก่ 1) การใช้สาร PACI ที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยวิธีการกวนเร็วและกวนช้า ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 96.06 และ 96.03 ตามลำดับ รองลงมาคือ 2) การใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา ที่ความเข้มข้นของสาร PACI 10 มก./ล.

ร่วมกับตะกอนประปา 6 ก./ล. โดยวิธีการกวนเร็ว และกวนช้า ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นได้สูงถึงร้อยละ 93.43 และ 84.95 ตามลำดับ และ 3) การใช้ตะกอนประปาปริมาณ 15 ก./ล. โดยวิธีการกวนเร็ว มีประสิทธิภาพในการบำบัด OP และความขุ่นได้ร้อยละ 81.12 และ 80.47 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดร่วมกับการใช้สารเคมี สรุปได้ว่าการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปาเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

นอกจากการบำบัด OP และความขุ่นแล้ว ผลการวิจัยยังพบว่าการใช้สาร PACI ร่วมกับตะกอนประปา สามารถบำบัดค่า COD TSS และ TP ในน้ำเสียได้ตามค่ามาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2553 ด้วย งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าตะกอนประปาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของตะกอนประปา และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ตามสัญญาเลขที่ SRIF-JRG-2564-29 ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณครอบครัว ที่ได้สนับสนุนและคอยให้กำลังใจ จนทำให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน. [อินเทอร์เน็ต]. 2560. [เข้าถึงเมื่อ 3 ก.ย. 2564] เข้าถึงได้จาก: <http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER3/DRAWER056/GENERAL/00000973.PDF>
2. นฤตมภ์ สหนาวิน, จิราวรรณ ตอฤทธิ์. ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน EUTROPHICATION. วารสารคณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2555;15:154-9.
3. วสันต์ วีระพิทยานนท์. ผลกระทบของฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม. [อินเทอร์เน็ต]. 2556. [เข้าถึงเมื่อ 3 ก.ย. 2564] เข้าถึงได้จาก: <http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-12-2556-impact-envi.pdf>.
4. เสาวภา ยอดสูงเนิน. การนำกลับฟอสเฟตโดยใช้โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออนและการตกตะกอนทางเคมี. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2553.
5. พิมพ์ปวี จันทน์ประเสริฐ. การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังอัดของตะกอนดินประปา-แกลบยี้จื่อโพลิเมอร์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
6. รุ่งระวี มาจิต, คณิดา ตังคณานุรักษ์, วัชรพงษ์ วาระรัมย์. ศักยภาพของตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปาในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560;3:45-56.

7. ดวงกมล สุริยจักร, ภาสสันต์ วิชิตอมรพันธ์, วรรณะ เรืองสำเร็จ. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. กรุงเทพฯ: สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่; 2547. รายงานวิชาการ สอพ. 16/2547.
8. Wei X, Viadero RC, Bhojappa S. Phosphorus removal by acid mine drainage sludge from secondary effluents of municipal wastewater treatment plants. Water res 2008;42:3275-84.
9. Georgantas DA, Grigoropoulou HP. Orthophosphate and metaphosphate ion removal from aqueous solution using alum and aluminum hydroxide. J Colloid Interface Sci 2007;1:70-9.
10. Nair AT, Ahammed MM. Water treatment sludge for phosphate removal from the effluent of UASB reactor treating municipal wastewater. Process Saf Environ Prot 2015;94:105-12.
11. มัลลิกา ปัญญาคะโป. การบำบัดน้ำและน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม: คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2561.
12. ธมลวรรณ ชูประจง. การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นสารช่วยสร้างตะกอนและลดการใช้ปริมาณสารส้ม. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2555.
13. APHA, AWWA, and WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. Washington DC: American Public Health Association; 2012.
14. ศูนย์ช่วยเหลือให้ปฏิบัติตามกฎหมายสิ่งแวดล้อม. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบน้ำเสียรวมของชุมชน. [อินเทอร์เน็ต]. 2565. [เข้าถึงเมื่อ 4 เม.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <http://cac.pcd.go.th/index.php/ourservices/knowledgebased-law/2017-08-08-03-37-21/268-2535-43>
15. Mohammed SAM, Shanshool HA. Phosphorus removal from water and waste water by chemical precipitation using alum and calcium chloride. Iraqi J Chem Pet Eng 2009;10:35-42.
16. Ebeling JM, Sibrell PL, Ogden SR, Summerfelt ST. Evaluation of chemical coagulation-flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. Aquac Eng 2003;29:23-42.
17. Maqbool N, Khan Z, Asghar A. Reuse of alum sludge for phosphorus removal from municipal wastewater. Desalin Water Treat 2016;57:13246-54.
18. Guan XH, Chen GH, Shang C. Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage. Water Res 2005;39:3433-40.