การกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน กรณีศึกษาระบบการผลิตน้ำประปาตำบลทรายมูล อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี

Removal of Turbidity and Dissolved Organic Carbon with Coagulation and Flocculation Process, the Case Study of Water Treatment System of Saimoon Municipality, Amphor Piboonmangsaharn, Ubon Ratchathani

อมรรัตน์ วงษ์กลม* และ ถนัด ธนะฉัตรชัยรัตนะ

Amornrat Wongklom* and Tanud Tanachatchairattana

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Program of chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University

Received : 9 June 2018

Accepted : 8 August 2018

Published online : 17 August 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนในระบบการผลิตน้ำประปาตำบลทรายมูล อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี โดยศึกษาชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน ผลของค่าความเป็นกรดด่างและผลการเติมสารรวมตะกอนชนิด anion polymer ต่อประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด สารสร้างตะกอนที่ศึกษา ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต (Alum) โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) กระบวนการสร้างและรวมตะกอนจะทำได้โดยใช้เครื่องจาร์เทส กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที 10 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที 20 นาที และปล่อยให้ตกตะกอน 60 นาที จากการศึกษาพบว่า การใช้ Alum PAC และ $FeCl_3$ จะมีผลต่อการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดิน ปริมาณที่เหมาะสม คือ 40 mg/L 60 mg/L และ 20 mg/L ตามลำดับ ค่า pH ตั้งต้นของน้ำผิวดินมีผลต่อรูปของสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำและผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัวของสารสร้างตะกอน ซึ่งควรใช้ pH ตั้งต้นอยู่ในช่วง pH 6-8 การใช้ anion polymer (polyacrylamide) เข้มข้น 0.10-0.60 mg/L จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ 0.10 mg/L จากการคำนวณค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอนและรวมตะกอนต่อต้นทุนการบำบัดน้ำ พบว่า สภาวะเหมาะสมในการบำบัดน้ำผิวดิน คือ การใช้สารสร้างตะกอนชนิด Alum เข้มข้น 40 mg/L เนื่องจาก มีต้นทุนการบำบัดน้ำต่ำที่สุด (0.1135 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) และง่ายต่อการใช้งาน

คำสำคัญ : ความขุ่น, สารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ, กระบวนการสร้างและรวมตะกอน

*Corresponding author. Email : amornrat_dekarnkon@hotmail.com

Abstract

The objective of this research was to study on removal of turbidity and dissolved organic carbon of surface water from Water Treatment System of Saimoon Municipality, Amphor Piboonmangsaharn, Ubon Ratchathani. The coagulants type and concentration, pH and addition of flocculants as anion polymer on the efficiencies of each coagulants were studied. The coagulants were aluminium sulfate (Alum), polyaluminium chloride (PAC) and ferric chloride ($FeCl_3$) were studied. Jar test was used in a coagulation and flocculation process with 100 rpm rapid mixing for 10 minutes, then slower to 30 rpm slow mixing for 20 minutes and settle for 60 minutes. It was found that a using of Alum, PAC and $FeCl_3$ were effected on removal of turbidity and dissolved organic carbon in surface water. The optimum contents were 40 mg/L, 60 mg/L and 20 mg/L, respectively. The initial pH of surface water was effected on characterization of dissolved organic carbon and dissociated products from coagulants. The optimum of initial pH was range from 6 to 8. The using of anion polymer (polyacrylamide) in the range of 0.10-0.60 mg/L was effected on the removal efficiency of turbidity and dissolved organic carbon in a little different. The optimum of anion polymer content was 0.10 mg/L. The expenses of coagulants and flocculants on cost of treatment were calculated. The optimum conditions of surface water treatment was the using of 40-mg/L Alum due to the cost of treatment was lowest (0.1135 baht/m^3) and easy to use.

Keywords : turbidity, dissolved organic carbon, coagulation and flocculation process

บทนำ

กระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นการนำน้ำที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดมาผ่านระบบบำบัดน้ำที่สามารถผลิตเป็นน้ำประปาที่สะอาดได้ กระบวนการผลิตน้ำประปานั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของแหล่งน้ำเป็นสำคัญ แหล่งน้ำผิวดินนับเป็นแหล่งน้ำที่ส่วนใหญ่ใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อผลิตน้ำประปา ซึ่งปัญหาที่พบมากของแหล่งน้ำผิวดิน ได้แก่ การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และความขุ่นในน้ำอาจมาจากสภาพพื้นที่หรือสภาพของฤดูกาลที่ส่งผลทำให้ดัชนีคุณภาพของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ความขุ่นของน้ำหรือการเจือจางขององค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนสภาพขององค์ประกอบของน้ำอาจส่งผลต่อปริมาณการใช้สารเคมีสำหรับผลิตน้ำประปา เช่น การเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการสร้างและการรวมตะกอน การใช้สารที่เป็นกรดและเบสสำหรับปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง การใช้สารคลอรีนเพื่อใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Yupaporn *et al.,* 2011) นอกจากนี้การเติมปริมาณสารเคมีมากไปหรือน้อยไปอาจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อผลิตน้ำประปา และประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปา นอกจากนี้การใช้สารเคมีบางชนิดอาจทำให้มีปริมาณของตะกอนมากขึ้นและยากต่อการกำจัดตะกอนหรืออาจใช้พื้นที่ในการบำบัดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้น้ำดิบที่มาจากน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลจะสามารถลดปัญหาเรื่องความขุ่น และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ (Bangkhen Water Treatment Plant, 2016)

สำหรับกระบวนการสร้างและการรวมตะกอนเป็นกระบวนการกำจัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และความขุ่นในน้ำโดยการเติมสารเคมีช่วยสร้างและรวมตะกอน ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลให้สารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนสามารถเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคได้ แล้วทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes,

THMs) ขึ้น ซึ่งสารที่เกิดขึ้นเป็นสารก่อมะเร็งที่เป็นอันตรายต่อผู้อุปโภคบริโภค โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ (Ottawa and Ontario, 2006) ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเกิดสารกลุ่ม THMs ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ปริมาณคลอรีน ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำกับคลอรีน ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ อุณหภูมิของน้ำและปริมาณความเข้มข้นของโบรไมด์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดสารประกอบกลุ่ม THMs การป้องกันการเกิดสารกลุ่ม THMs สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การเปลี่ยนแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณน้อย การเลือกสารเคมีในการฆ่าเชื้อโรคชนิดอื่น เช่น การใช้โอโซนหรือแสงอุลตราไวโอเลตในการฆ่าเชื้อโรคแทนคลอรีน (Bangkhen Water Treatment Plant, 2016; Ottawa and Ontario, 2006; Musikavong *et al*., 2005) แต่อย่างไรก็ตามการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนก็ยังเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสในน้ำได้ และง่ายต่อการควบคุมดูแลระบบประปา ดังนั้นการจัดการที่ต้นเหตุคือการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำจึงง่ายกว่าการเปลี่ยนแปลงระบบสารเคมีใหม่ การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สามารถทำได้โดยการสร้างและการรวมตะกอน

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนเป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยใช้สารเคมี เพื่อทำการแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำ สร้างโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคและทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ช่วยกำจัดความขุ่นหรือสารแขวนลอยออกจากน้ำ ทำให้น้ำใสและมีลักษณะที่น่าใช้ (Munsin, 1989) โดยสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนมีหลายชนิด ได้แก่ สารส้ม (aluminium sulfate, Alum) (Kirsten *et al*., 2003) โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminium chloride, PAC, $Al_2(OH)_3Cl_3$) (Ning *et al*., 2014) เฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride, $FeCl_3$) (Jia *et al*., 2015) เป็นต้น แต่สารสร้างตะกอนที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาควรเป็นสารที่หาง่าย ราคาถูก และไม่มีความเป็นพิษหลงเหลือในน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมกับน้ำผิวดินโดยใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ รวมถึงศึกษาผลของค่าความเป็นกรดด่างและผลการเติมสารรวมตะกอนชนิด anion polymer ที่มีต่อประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด และคำนวณค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอนและต้นทุนการบำบัดน้ำเพื่อรองรับการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบ้านท่าเสี้ยว ต.ทรายมูล อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับคือน้ำประปามีคุณภาพ และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างน้ำผิวดินจากแม่น้ำมูล

เก็บน้ำผิวดินจากแม่น้ำมูล ซึ่งเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา บ้านท่าเสี้ยว ต.ทรายมูล อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี โดยเก็บในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งมีค่าความขุ่น 77 NTU เก็บใส่ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร จำนวน 10 ถัง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเริ่มต้นและใช้สำหรับทดสอบการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนในห้องปฏิบัติการ (Jar test)

2. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

นำน้ำผิวดิน 1,000 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 L จำนวน 6 ใบ เติมสารสร้างตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และทำการตกตะกอนด้วยเครื่อง Jar test โดยจำลองสภาวะเดียวกับถังตกตะกอนคือ รอบที่ 1 ปั่นกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที รอบที่ 2 ปั่นกวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที (Amornrat, 2016) จากนั้นดูดน้ำใสส่วนบนมาทำการวิเคราะห์ค่าความขุ่น ค่าความเป็นด่าง ค่าพีเอช ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำและเลือกความเข้มข้น

ของสารสร้างตะกอนที่ทำให้มีความขุ่นต่ำกว่า 4 NTU ตามมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาคและมีปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำต่ำ จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ

ชนิดของสารสร้างตะกอนที่ใช้ ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต (Alum ; $Al_2(SO_4)_3$ .18 H_2O) โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC, Polyaluminium chloride 18 % Al_2O_3) และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) เข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L ตามลำดับ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

3. ศึกษาผลของ pH ตั้งต้นต่อประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด และทำการปรับค่า pH ตั้งต้นของน้ำผิวดินที่ pH 4 - 9 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

4. ศึกษาผลของปริมาณสารรวมตะกอนชนิด anion polymer ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

การทดลองจะใช้ anion polymer ชนิด polyacrylamide ที่ระดับความเข้มข้น 0.10-0.60 mg/L ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

5. ศึกษาค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอน สารรวมตะกอนและต้นทุนการบำบัดน้ำ

นำปริมาณสารสร้างตะกอนและสารรวมตะกอนที่เหมาะสมที่ทำให้น้ำมีความขุ่นต่ำกว่า 4 NTU ตามมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาค และมีปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำต่ำ มาคำนวณค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ดังสมการที่ (1)-(3) เพื่อเลือกสารสร้างตะกอนที่มีต้นทุนการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำต่ำที่สุด (Yanisa *et al*., 2018)

ค่าใช้จ่ายสารสร้างตะกอนหนึ่งหน่วย = (ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม x ราคาสารสร้างตะกอน) / 1,000,000 (1)
(บาท/ลูกบาศก์เมตร) (mg/L) (บาท/ตัน)

ค่าใช้จ่ายสารรวมตะกอนหนึ่งหน่วย = (ปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม x ราคาสารสร้างตะกอน) / 1,000,000 (2)
(บาท/ลูกบาศก์เมตร) (mg/L) (บาท/ตัน)

โดย 1,000,000 คือ ตัวแปลงหน่วย (unit conversion factor) สำหรับแปลงหน่วยมิลลิกรัมเป็นตันและลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร

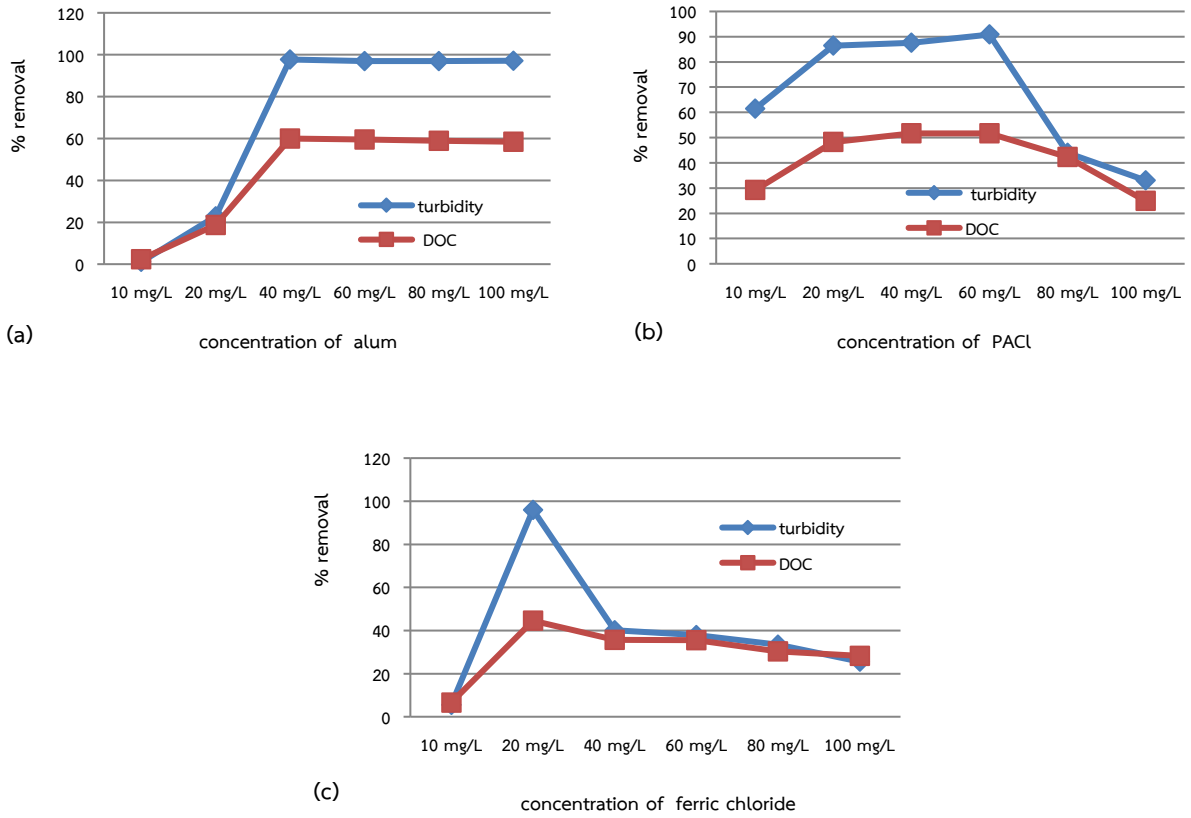
ต้นทุนการบำบัดน้ำหนึ่งหน่วย = ค่าใช้จ่ายสารสร้างตะกอนหนึ่งหน่วย + ค่าใช้จ่ายสารรวมตะกอนหนึ่งหน่วย (3)
(บาท/ลูกบาศก์เมตร) (บาท/ลูกบาศก์เมตร) (บาท/ลูกบาศก์เมตร)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินของสารสร้างตะกอน 3 ชนิดได้แก่ สารส้ม (Alum) โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และเฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) โดยใช้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีด้วยการทำ Jar test กำหนดให้ความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนมีความเข้มข้นระหว่าง 10-100 mg/L pH ของน้ำผิวดิน 6.2 และไม่มีการเติมสาร anion polymer ในสภาวะที่ไม่มีการเติมปูนขาว จากภาพที่ 1 พบว่า สารสร้าง

ตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำและได้ความขุ่นต่ำกว่า 4 NTU ตามมาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาคเมื่อใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม โดยการใช้ปริมาณ Alum 40 mg/L จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำสูงที่สุดคือ ร้อยละ 97.71 และร้อยละ 59.97 ตามลำดับ (ภาพที่ 1 a) ซึ่งทำให้มีความขุ่นและปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่เหลือจากการบำบัดต่ำสุด คือ 1.5 NTU และ 4.83 mg/L ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qin *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษากระบวนการสร้างตะกอน (coagulation) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (natural organic matter) ในน้ำของประเทศสิงคโปร์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ Alum ในการทำ Jar test จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 ผลของปริมาณสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดต่อร้อยละการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (a) alum (b) PAC (c) ferric chloride

การใช้ปริมาณ PAC เข้มข้นระหว่าง 20 – 60 mg/L จะสามารถกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันและมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ PAC มากกว่า 60 mg/L โดยที่ระดับความเข้มข้น 60 mg/L จะสามารถกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 90.82 และ 51.66 ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีความขุ่นและปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่เหลือจากการบำบัดต่ำสุด คือ 2.23 NTU และ 4.93 mg/L ตามลำดับ (ภาพที่ 1 b)

การใช้ปริมาณ $FeCl_3$ เข้มข้น 20 mg/L จะสามารถกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 96.01 และ 44.55 ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีความขุ่นและปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่เหลือจากการ

บำบัดต่ำสุด คือ 0.893 NTU และ 5.60 mg/L ตามลำดับ (ภาพที่ 1 c) ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ $FeCl_3$ สูงกว่า 20 mg/L จะทำให้น้ำเริ่มมีสีเหลืองเข้มตามปริมาณของ $FeCl_3$ ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ปริมาณของ $FeCl_3$ ในการบำบัดที่มากเกินกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ในน้ำ ดังนั้นจึงเห็นสีของน้ำเป็นสีของ $FeCl_3$ ที่มากเกินพอ นอกจากนี้ เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนค่อนข้างสูง จึงทำให้ค่า pH และค่าความเป็นด่างของน้ำลดลง และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วจะทำให้มีเหล็กหลงเหลืออยู่ในน้ำ (Ploypailin, 2013) ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้ำ จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กำจัดความขุ่นและปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

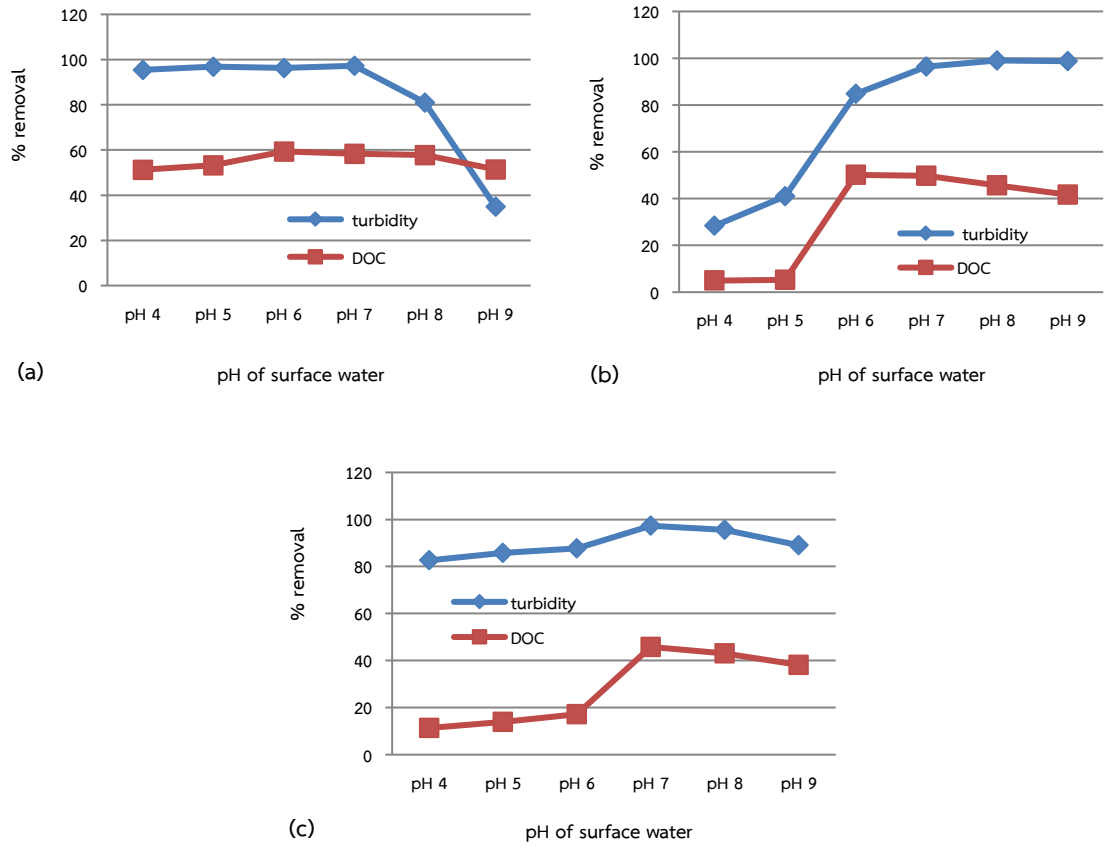
การใช้ Alum PAC และ $FeCl_3$ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhonglian et al. (2010) ได้ศึกษาการกำจัดความขุ่นและสารอินทรีย์ในแม่น้ำเหลือง ประเทศจีนโดยกระบวนการสร้างตะกอนด้วย PAC และ Alum พบว่า PAC และ Alum มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

2. ผลของ pH ตั้งต้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

เมื่อนำน้ำผิวดินมาผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยการทำ Jar test เพื่อหา pH ตั้งต้นที่เหมาะสม โดยทำการทดลองช่วง pH 4-9 ในสภาวะที่มีการเติม Alum 40 mg/L PAC 60 ml/L และ $FeCl_3$ 20 mg/L ไม่มีการเติม anion polymer จากภาพที่ 2 a พบว่า Alum มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในช่วง pH 4 - 7 และเมื่อ pH ของน้ำผิวดินเพิ่มขึ้น (> pH 8) ประสิทธิภาพการกำจัดจะค่อยๆลดลงเป็นลำดับ โดยที่ pH 7 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงที่สุด คือร้อยละ 97.25 ในขณะที่ pH 6 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 59.34 ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมิเนียมมีการละลายต่ำในช่วง pH 5.7-6.2 ถ้าความเข้มข้นของอะลูมิเนียมมากเกินพอจะทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในรูป $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นตะกอนวุ้น ซึ่งจะทำให้สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น ถ้า pH อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 5.7 อะลูมิเนียมจะละลายน้ำอยู่รูปประจุบวก ได้แก่ Al^{3+} $Al(OH)^{2+}$ $Al(OH)_2^{+}$ จึงจะเกิดการสะเทินประจุที่ผิวของคอลลอยด์ แต่ถ้า pH อยู่ในช่วงเบสอะลูมิเนียมจะอยู่ในรูป $Al(OH)_4^{-}$ (Kabsch-Korbutowicz *et al.*, 2005) สำหรับสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฮิวมิกที่ pH ต่ำจะเกิดการ protonation ของสารอินทรีย์เปลี่ยนรูปให้มีความเป็น hydrophobic สูงขึ้น จึงเกิดการตกตะกอนแยกออกจากน้ำได้ดี แต่ที่ pH สูงสารประกอบฮิวมิกจะมีประจุลบและอะลูมิเนียมจะอยู่ในรูป $Al(OH)_3$ และ $Al(OH)_4^{-}$ จึงไม่เกิดกลไกการสะเทินประจุ แต่จะเกิดเฉพาะกลไกการดูดซับบน Floc เท่านั้น ดังนั้น สภาวะ pH ต่ำหรือสูงเกินไปจะเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะต่อการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Gregor *et al.*, 1997) จากการทดลองนี้จึงเลือก pH 7 เป็น pH ตั้งต้นในการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำด้วยสารสร้างตะกอน Alum ต่อไป

จากภาพที่ 2 b พบว่า การใช้ PAC จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ โดย ที่ pH ตั้งต้นมากกว่า 6 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ระหว่างร้อยละ 84.79 ถึงร้อยละ 99.04 และที่ pH 8 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 99.04 และที่ pH ตั้งต้น 6 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำสูงที่สุด คือร้อยละ 50.132 PAC มีกลไกการกำจัดความขุ่นและสารอินทรีย์รูปแบบเดียวกับ Alum แต่ PAC มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในช่วง pH ที่กว้างกว่า Alum เนื่องจาก PAC อยู่ในรูปโพลิเมอร์หรือคอลลอยด์ของเกลืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย จึงใช้ได้ในช่วง pH ที่กว้างกว่า Alum นั่นคือ น้ำผิวดินจะมี pH ตั้งต้นต่ำหรือสูงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดี

จากภาพที่ 2 c พบว่า การใช้ $FeCl_3$ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ โดย ที่ pH ตั้งต้น 7 $FeCl_3$ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ และมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด คือร้อยละ 97.32 และ 45.80 ตามลำดับ

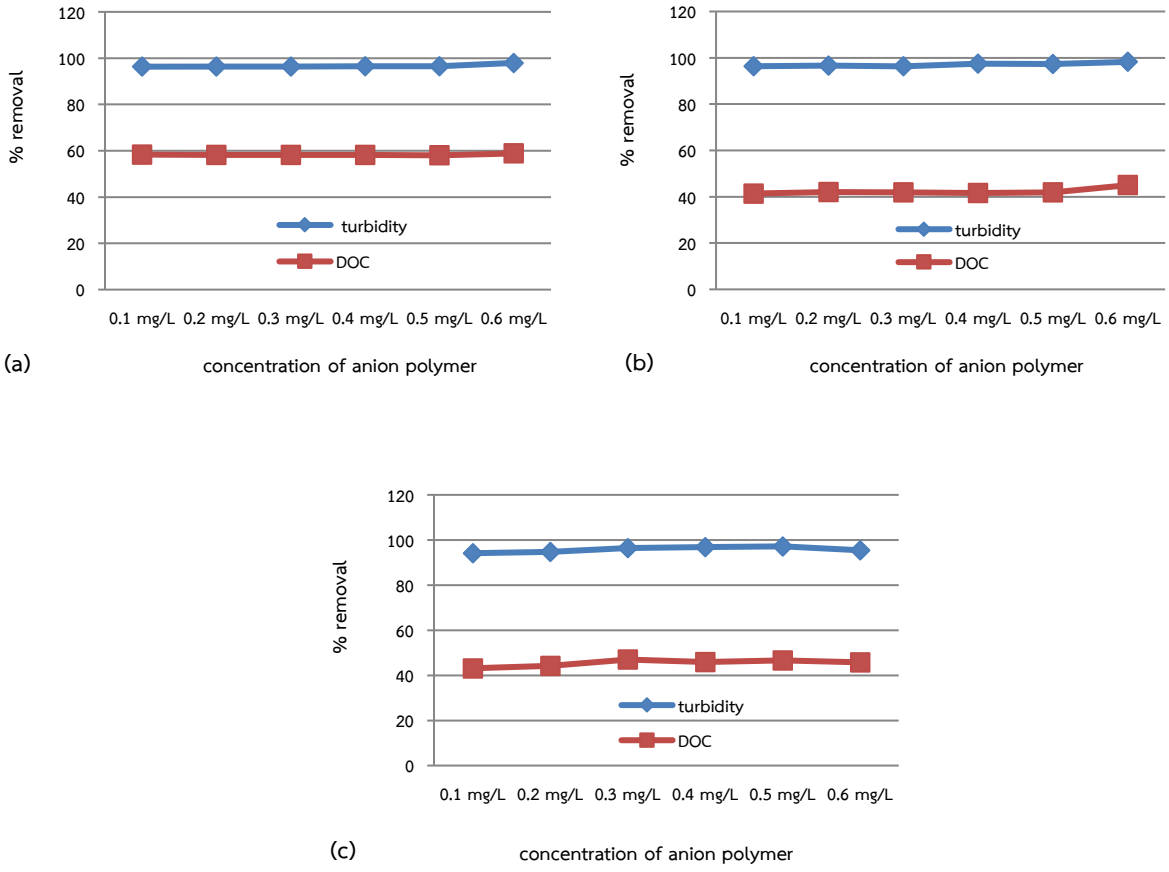


ภาพที่ 2 ผลของ pH ตั้งต้นของน้ำดิบต่อร้อยละการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เมื่อใช้สารสร้างตะกอน a) Alum 40 mg/L b) PAC 60 mg/L และ c) $FeCl_3$ 20 mg/L

3. ผลของปริมาณสารรวมตะกอนชนิด anion polymer ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดินของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

เมื่อนำน้ำผิวดินมาผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยการทำ Jar test เพื่อหาปริมาณ anion polymer ที่เหมาะสมโดยใช้ความเข้มข้นของ anion polymer (polyacrylamide) 0.10-0.60 mg/L ใช้ปริมาณสาร Alum 40 mg/L PAC 60 mg/L และ $FeCl_3$ 20 mg/L ควบคุม pH 7 จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อใช้สารรวมตะกอนชนิดสาร anion polymer จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้สูงกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ และการใช้ anion polymer ที่ระดับความเข้มข้น 0.10-0.60 mg/L จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันและได้ความขุ่นต่ำกว่า 4 NTU ตามมาตรฐานการประปาส่วนภูมิภาค เมื่อใช้ปริมาณสารสร้างตะกอน Alum 40 mg/L PAC 60 mg/L และ $FeCl_3$ 20 mg/L ควบคุม pH 7 ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์ถูกสะเทินประจุไปแล้ว ดังนั้นการใช้ anion polymer ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่

ละลายน้ำจึงไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงเลือกใช้ปริมาณสาร anion polymer ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 mg/L เนื่องจาก เป็นการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำผิวดินในระบบการผลิตน้ำประปา



ภาพที่ 3 ผลของปริมาณ anion polymer ต่อร้อยละการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เมื่อใช้สารสร้างตะกอน a) alum 40 mg/L b) PAC 60 mg/L และ c) $FeCl_3$ 20 mg/L ควบคุม pH 7

4. ผลการศึกษาค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอน สารรวมตะกอนและต้นทุนการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ

หลักการพิจารณาเลือกสารสร้างตะกอน และสารรวมตะกอนที่ใช้ในกระบวนการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำของระบบการผลิตน้ำประปาตำบลทรายมูล อำเภอพิมูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี คือ สารสร้างตะกอน และสารรวมตะกอนจะต้องมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่ทำให้น้ำหลังผ่านการตกตะกอนมีความขุ่นต่ำกว่า 4 NTU ตามมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาค และต้องเป็นสารสร้างตะกอนและรวมตะกอนที่มีต้นทุนการบำบัดน้ำต่ำที่สุด จากการศึกษาต้นทุนการบำบัดน้ำในตารางที่ 1 พบว่า สารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่สุด คือ Alum 40 mg/L เนื่องจาก มีต้นทุนการบำบัดน้ำต่ำ คือ 0.1135 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำดิบ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ การใช้ $FeCl_3$ 20 mg/L จะมีต้นทุนการบำบัดน้ำเท่ากันกับการใช้ Alum 40 mg/L คือ 0.1135 บาทต่อลูกบาศก์

เมตรน้ำดิบแต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีสีเหลืองอมน้ำตาลเข้มขึ้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำทางกายภาพตามมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาค ส่วนการใช้สารสร้างตะกอนชนิด PAC 60 mg/L จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้สูงเช่นเดียวกันกับการใช้ Alum 40 mg/L แต่การใช้ PAC จะมีต้นทุนการบำบัดน้ำ 0.9135 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำดิบ ซึ่งสูงกว่าการใช้สารสร้างตะกอนชนิด Alum และ $FeCl_3$

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอน สารรวมตะกอนและต้นทุนการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ

ชนิดของสารสร้างตะกอน	ปริมาณสารสร้างตะกอน (mg/L)	ปริมาณสารรวมตะกอน (mg/L)	ราคาสารสร้างตะกอนบาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำดิบ	ราคาสารรวมตะกอนบาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำดิบ	ราคารวมบาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำดิบ
alum	40	0.10	0.10	0.0135	0.1135
PAC	60	0.10	0.90	0.0135	0.9135
$FeCl_3$	20	0.10	0.10	0.0135	0.1135

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดลองเพื่อหาสภาวะเหมาะสมของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนเพื่อให้สามารถกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในขั้นการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน โดยเลือกน้ำผิวดินจากแม่น้ำมูล ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาบ้านท่าเสี้ยว ต.ทรายมูล อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี จากผลงานวิจัยพบว่า

1. ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนมีผลต่อการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดิน โดยการใช้ Alum PAC และ $FeCl_3$ จะมีผลต่อการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดิน ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ 40 mg/L 60 mg/L และ 20 mg/L ตามลำดับ ซึ่งการใช้ Alum PAC และ $FeCl_3$ เป็นสารสร้างตะกอนจะทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดิน

2. pH ตั้งต้นของน้ำผิวดินมีผลต่อรูปของสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำและผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัวของสารสร้างตะกอน ดังนั้นการใช้สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดควรใช้ pH ตั้งต้นให้เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง pH 6-8

3. เมื่อใช้ anion polymer (polyacrylamide) เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยการใช้ anion polymer จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในน้ำผิวดิน ซึ่งปริมาณ anion polymer ที่เหมาะสม คือ 0.10 mg/L เพราะจะทำให้ต้นทุนการกำจัดความขุ่นและสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำต่ำลง

4. สภาวะเหมาะสมในการใช้งานและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี คือสารสร้างตะกอนชนิด Alum เข้มข้น 40 mg/L เนื่องจาก มีต้นทุนการบำบัดน้ำต่ำที่สุดและง่ายต่อการใช้งาน คือ 0.1135 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำดิบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2560

เอกสารอ้างอิง

Bangkhen Water Treatment Plant. (2016). *Water Quality reports.* Report of the Water Quality Analysis system, Bangkhen Water Treatment Plant, Metropolitan Waterworks Authority. (in Thai).

Gregor, J.E., Nokesm, C. J. & Fenton, E. (1997). *Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation*. Institute of Environmental Science and Research Limited, Christchurch, New Zealand. 2949-2957.

Jia, S.H., Zhun, M., Jianjun, Q., Si, H.S. & Chee-Seng, T. (2015). Inline coagulation–ultrafiltration as the pretreatment for reverse osmosis brine treatment and recovery. *Desalination*, *365*, 242–249.

Kirsten, N.E. & Gary, W.V. 2003. Effects of raw water conditions on solution-state aluminum speciation during coagulant dilution. *Water Research*, *37,* 3341–3350.

Kabsch-Korbutowicz, M. 2005. Effect of Al coagulation type on natural organic matter removal efficiency in coagulation/ultrafiltration process. *Desalination, 185,* 327-333.

Munsin, T. (1989). *Water Engineering Volume 1*. Bangkok: Chulapress. (in Thai).

Musikavong, C., Suraphong, W., Tana, F.M. & Prasert, P. (2005). Reduction of organic matter and trihalomethane formation potential in reclaimed water from treated industrial estate wastewater by coagulation. *Journal of Hazardous Materials B*, *127,* 48-57.

Ning, W., Zhongguo, Z., Dan, L., Yue, W., Jun, W. & Qunhui, W. 2014. Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. *Chinese Journal of Chemical Engineering, 23,* 1041–1046.

Ottawa, Ontario. (2006). *Trihalomethanes, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document*. Federal-Provincial-Territorial Committee on health and the Environment, Health Canada.

Ploypailin, R. (2013). *Turbidity removal by solid contact clarifier with sludge recirculation*. (Master's thesis). Chulalongkorn University, Department of Environmental Engineering. (in Thai)

Qin J., Maungm H. O., Kiran A. K., Frans K. & Peter M. 2006. Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. *Separation and Purification Technology, 49,* 295-298.

Amornrat, W. (2016). Total hardness removal of groundwater by chemical precipitation process. *SNRU Journal of Science and Technology*, *8*(2), 216-223.

Yupaporn, A., Teerawan, B. & Nanthaphorn, S. (2011*). Improvement of coagulation-flocculation process for water supply system of Samrong sub district administrative Organization at Samrong district, Ubon Ratchathani province*. (Research report). Ubon Ratchathani Rajabhat University. (in Thai).

Yanisa, T., Kunut, P., Tidarat, D. & Jamjira, K. (2018). The Study of Optimal Coagulants for Water Treatment Process of Metropolitan Waterworks Authority. *Burapha Science Journal*, *23* (1), 207-220.

Zhonglian Y., Baoyu G. & Qinyan Y. (2010). Coagulation performance and residual aluminum speciation of $Al_2(SO_4)_3$ and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment. *Chemical Engineering Journal*, *165*, 122-132.