การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้สารส้มและกัวกัม

Efficiency Comparison of Lead Removal in Wastewater Using Alum and Guar Gum

ยุวดี สีโส, มาณิการ์ ผาสุก, พรไพร ธรรมมาอ่อน, อิสรี จิรจริยาเวช*, วรางคณา วิเศษมณี ลี
คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
*Email : Isaree_e@yahoo.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น ด้วยสารส้มและสารส้มร่วมกับกัวกัม โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของ น้ำเสียเริ่มต้นในช่วง 5-7 ปริมาณสารส้มในช่วง 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณกัวกัมในช่วง 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7 การใช้สารส้มปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 97.59 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้สารส้ม และสารส้มร่วมกับกัวกัม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Duncan พบว่าการใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารส้มร่วมกับกัวกัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ P-value <0.05 สำหรับปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเริ่มต้นและปริมาณของสารส้ม พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว โดยมีค่า P-value 0.278 และ 0.470 ตามลำดับ

คำสำคัญ : สารส้ม กัวกัม โคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น

Abstract

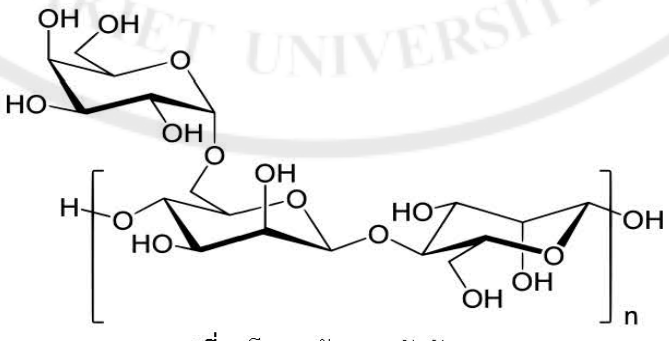
The objective of this research was to determine the coagulant dose and optimum pH of lead removal by coagulation-flocculation process using alum and alum with guar gum. This study using synthetic wastewater containing lead concentration of 10 mg/L. The lead removal efficiency of wastewater was studied in the range of pH 5-7, alum dose 100-1,000 mg/L and guar gum dose 0-10 mg/L. The result from the batch experiment showed that the highest average of lead removal efficiency from wastewater were at pH 7 and alum dose 100 mg/L, the lead removal efficiency was 97.59%. The statistics of One-way ANOVA with Duncan use for the different of lead removal efficiency average for alum and alum with guar gum. The results of different of coagulant were statistically significant at 95% (p-value <0.05). The result showed that the only alum was highest efficiency. The factors of initial pH of wastewater and alum dose were not significant relationships with the efficiency of lead removal at the p-value 0.278 and 0.470, respectively.

Keywords : Alum, Guar gum, Coagulation-flocculation

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำตะกั่วไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ การผลิตแก้ว การผลิตเซรามิค การผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ การผลิตสี การชุบโลหะ อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีการปนเปื้อนตะกั่ว ทั้งนี้น้ำเสียดังกล่าวไม่สามารถบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพได้ เนื่องจากตะกั่วเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบ จำเป็นต้องใช้กระบวนการบำบัดทางเคมีโดยวิธีการต่างๆ เช่น กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) ซึ่งจะมีการเติมสารเคมีต่างๆ เพื่อตกตะกอน เช่น การใช้ปูนขาว ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9 มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วร้อยละ 98.57 โดยมีตะกอนเกิดขึ้น 550 มิลลิลิตรต่อลิตร (พลอยไพริล ภูมิสุทธาผล และคณะ, 2561: 832-839) กระบวนการดูดซับ (adsorption) โดยใช้สารที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนเพื่อดูดซับอนุภาคต่างๆ ไว้ภายในโครงสร้าง แต่ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่เมื่อเลยจุด break point และ กระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น (coagulation-flocculation) ซึ่งมีการเติมสารทำลายเสถียรภาพ เพื่อให้เกิดการรวมอนุภาคเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ แล้วตกตะกอนลงได้ โดยสารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้ เช่น สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ และสารสกัดจากธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน แทนนิน เป็นต้น (Barakat, 2011) นอกจากนี้ยังพบว่าในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่นมีการประยุกต์โดยนำกัวกัมมาใช้เพื่อช่วยในการตกตะกอน เนื่องจากกัวกัมเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ดของเมล็ดกัว โดยในน้ำเสียที่มีอนุภาคคอลลอยด์และมีตะกั่วปนเปื้อน เมื่อมีการเติมกัวกัมซึ่งเป็นโพลิเมอร์สายยาว (long chain biopolymer) ลงไปจะสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์และรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกตะกอนลงมาได้ (Mukherjee et al., 2014)

กัวกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภทพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ด (endosperm) ของเมล็ดกัว ทั้งนี้พบว่าองค์ประกอบของกัวกัมส่วนใหญ่จะเป็นพอลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ ประมาณร้อยละ 85.50 และมีส่วนที่เป็นโปรตีนประมาณร้อยละ 4 (Sharma, 2018) โครงสร้างของกัวกัมมีลักษณะเป็นสายยาวชนิดไบโอโพลิเมอร์ และรอบโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) เกาะอยู่เป็นจำนวนมาก (รูปที่ 1) ซึ่งกัวกัมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้านและใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) นอกจากนี้ยังมีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ กัวกัมที่สกัดได้และผ่านการทำแห้ง มีลักษณะเป็นผง ละลายได้ดีในน้ำเย็น มีสีขุ่น มีโปรตีนและเซลลูโลส (Cellulose) สามารถใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร และถูกนำมาใช้เป็นสารที่ทำให้หนืด กันเสีย คงสภาพ เป็นสารยึดติด และยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นต้น และเนื่องจากกัวกัมมีลักษณะเป็นไบโอโพลิเมอร์ จึงนิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่นได้ (Mukherjee et al., 2014)



รูปที่ 1 โครงสร้างของกัวกัม

ที่มา : Mukherjee (2018)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาปริมาณสารและค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียระหว่างการใช้สารส้มและสารส้มร่วมกับกัวกัม โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เพื่อศึกษาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น ด้วยสารส้มและกัวกัม และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย โดยกระบวนการ โคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่นด้วยสารส้มและกัวกัม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์

1.1 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเตรียมสารละลายสต๊อคจากตะกั่วไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) ให้มีความเข้มข้นของตะกั่ว 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ละลายตะกั่วไนเตรท 1,600 มิลลิกรัม ละลายน้ำปราศจากไอออนปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร

1.2 วิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียโดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	Electrometric โดยใช้ pH meter
ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัม ต่อลิตร	Acid digestion และวัดปริมาณโลหะด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น iCE 3000 Series

2. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์และไบโอฟล็อกกูแลนต์

2.1 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ ปีกเกอร์ละ 0.5 ลิตร แล้วเติมสารละลายตะกั่วให้มีความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 5

2.2 ทำการแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด โดยชุดการทดลองที่ 1 จะทำการเติมสารส้มเพื่อเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 2 จะทำการเติมสารส้มเพื่อเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการเติมกัวกัมเพื่อเป็นสารไบโอฟล็อกกูแลนต์ที่ความเข้มข้น 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 ทำการกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 2 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที

2.4 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 30 นาที และวัดปริมาตรสลัดจ์

2.5 เก็บตัวอย่างน้ำใสด้านบนไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง และตะกั่ว

3. ศึกษาปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

3.1 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ ปีกเกอร์ละ 0.5 ลิตร แล้วเติมสารละลายตะกั่วให้มีความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นจึงปรับให้มี pH เท่ากับ 6 และ 7 ตามลำดับ

3.2 ทำการแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด โดยชุดการทดลองที่ 1 จะทำการเติมสารส้มเพื่อเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 2 จะทำการเติมสารส้มเพื่อเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ที่ความเข้มข้น 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการเติมกัวกัมเพื่อเป็นสารไบโอฟล็อกกูแลนต์ ที่ความเข้มข้น 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3 ทำการกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 2 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที

3.4 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 30 นาที และวัดปริมาตรสลัดจ์

3.5 เก็บตัวอย่างน้ำใสด้านบนไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง และตะกั่ว

3.6 ทดลองชุดควบคุม โดยนำไปกวนเร็ว กวนช้า และตกตะกอน โดยไม่ได้เติมสารโคแอกกูแลนต์และฟล็อกกูแลนต์

4. การวิเคราะห์ผลการศึกษา ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย พิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว โดยใช้สูตรดังนี้

ประสิทธิภาพการกำจัด (%)= $[(C_o - C_t)/C_0] \times 100$

โดยที่ C_0 คือ ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียก่อนบำบัด

C_t คือ ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียหลังบำบัด

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และร้อยละ

สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ วิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยใช้สารส้มกับสารส้มร่วมกับกัวกัม และความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วตามค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: One Way ANOVA) ด้วยวิธี Duncan

ผลการวิจัย

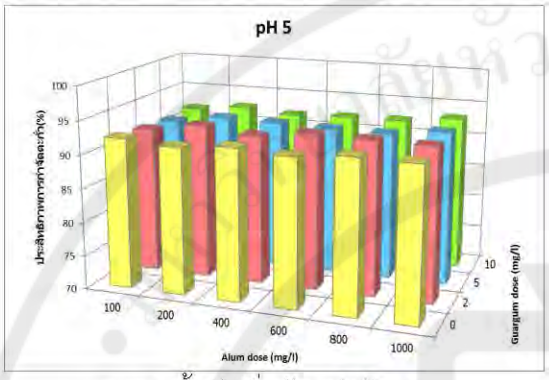
1. คุณลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 6.91-7.01 และความเข้มข้นตะกั่วมีค่าอยู่ในช่วง 9.62-9.78 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อประสิทธิการกำจัดตะกั่ว ภายหลังการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 5 ที่มีการใช้สารส้มในช่วง 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับกัวกัมในช่วง 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 91.49-93.15 โดยการใช้สารส้ม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับกัวกัม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดคิดเป็น ร้อยละ 93.15 สำหรับที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 90.98-93.04 โดยการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 93.04 และที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7 มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วใกล้เคียงกันในช่วงร้อยละ 85.80-97.59 โดยการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดร้อยละ 97.59 แสดงดังรูปที่ 2

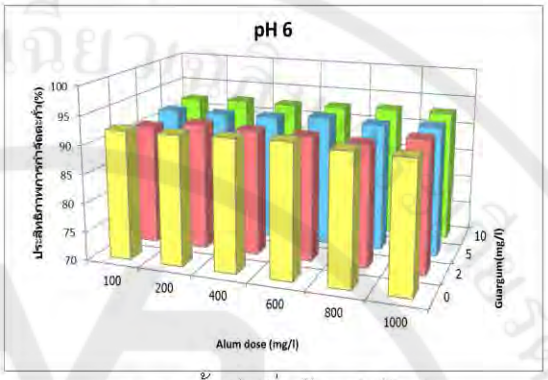
3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยการใช้สารส้ม และสารส้มร่วมกับกัวกัม

3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วระหว่างการใช้สารส้ม กับการใช้สารส้มร่วมกับกัวกัมในปริมาณต่างๆ

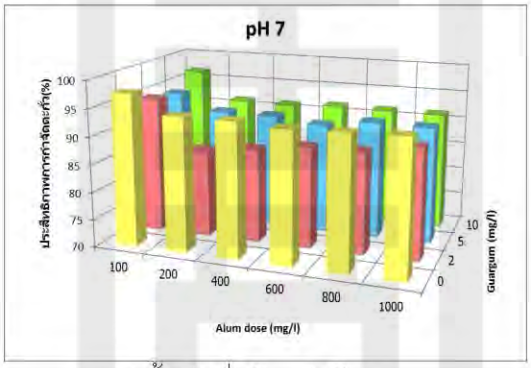
จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วระหว่างการใช้สารส้ม กับการใช้สารส้มร่วมกับกัวกัมในปริมาณต่างๆ โดยการทดสอบทางสถิติ One Way ANOVA ด้วยวิธี Duncan พบว่า การใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวจะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 93.11 ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารส้มร่วมกับกัวกัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ P-value < 0.05 แสดงดังตารางที่ 2



ก. pH น้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 5



ข. pH น้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 6



ค. pH น้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 7

รูปที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่นโดยใช้สารส้ม และสารส้มร่วมกับกัวกัม

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วระหว่างการใช้สารส้มชนิดเดียว กับการใช้สารส้มร่วมกับกัวกัมในปริมาณต่างๆ

ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และฟล็อคคูแลนต์	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ย (%)	P-value
สารส้ม 100-1000 มก./ล.	$93.11^{C} \pm 0.35$	0.000
สารส้ม 100-1000 มก./ล. + กัวกัม 2 มก./ล.	$91.13^{A} \pm 0.52$	
สารส้ม 100-1000 มก./ล. + กัวกัม 5 มก./ล.	$91.95^{B} \pm 0.49$	
สารส้ม 100-1000 มก./ล. + กัวกัม 10 มก./ล.	$92.41^{B} \pm 0.47$	

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แสดงบนประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่แตกต่างกัน แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่แตกต่างกัน

3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของการใช้สารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของการใช้สารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ โดยการทดสอบทางสถิติ One Way ANOVA ด้วยวิธี Duncan พบว่า การใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 จะมีประสิทธิภาพกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 94.56 ซึ่งแตกต่างจากน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ P-value < 0.05 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของการใช้สารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดที่ความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และฟล็อคคูแลนต์	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ย (%)			p-value
	pH 5	pH 6	pH 7	
สารส้ม 100-1000 มก./ล.	$92.21^{A}\pm0.33$	$92.57^{A}\pm0.28$	$94.56^{B}\pm1.50$	0.000
สารส้ม 100-1000 มก./ล. + กัวกัม 2 มก./ล.	$92.66^{B}\pm0.51$	$91.73^{B}\pm0.65$	$89.01^{A}\pm3.13$	0.000
สารส้ม 100-1000 มก./ล. + กัวกัม 5 มก./ล.	$92.23^{B}\pm0.47$	$92.21^{B}\pm0.36$	$91.40^{A}\pm1.32$	0.023
สารส้ม 100-1000 มก./ล. + กัวกัม 10 มก./ล.	$92.36^{B}\pm0.47$	$92.60^{B}\pm0.31$	$92.28^{B}\pm2.14$	0.804

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แสดงบนประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่แตกต่างกัน

3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของการใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของการใช้สารส้มปริมาณต่างๆ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน โดยการทดสอบทางสถิติ One Way ANOVA ด้วยวิธี Duncan พบว่า น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ใช้สารส้มปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 97.59 ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารส้มในปริมาณอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ P-value < 0.05 สำหรับที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6 การใช้สารส้มปริมาณ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 93.04 และที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7 การใช้สารส้มปริมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 92.54 แสดง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของการใช้สารส้มในปริมาณ 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ย (%) ของสารส้มปริมาณต่างๆ (มก./ล.)						P-value
	100	200	400	600	800	1,000	
5	92.36^{C}	91.73^{E}	92.39^{BC}	91.87^{D}	92.54^{A}	92.40^{B}	0.000
6	92.41^{D}	92.49^{C}	92.79^{B}	93.04^{A}	92.42^{D}	92.30^{E}	0.000
7	97.59^{A}	94.18^{B}	94.12^{C}	93.55^{E}	93.83^{D}	94.10^{C}	0.000

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แสดงบนประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่แตกต่างกัน

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น โดยใช้สารส้มและสารส้มร่วมกับกัวกัม ที่ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5-7 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยการทดสอบทางสถิติ One Way ANOVA ด้วยวิธี Duncan พบว่า การใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวจะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารส้มร่วมกับกัวกัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ p-value < 0.05 ทั้งนี้จากผลการศึกษาเมื่อเติมสารละลายกัวกัมลงไปจะเป็นการเพิ่มความข่นในน้ำ จึงอาจเป็นสาเหตุให้เป็นการขัดขวางกลไกการทำงานของสารส้มในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น- ฟล็อกกูเลชั่นได้ เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำเสียเริ่มต้นที่แตกต่างกันในช่วง 5-7 พบว่าที่การใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ p-value < 0.05

การใช้สารส้มในช่วง 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7 พบว่าการใช้สารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 97.59 ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารส้มในปริมาณอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 95% ที่ระดับ p-value < 0.05 ทั้งนี้การเติมสารส้มในระดับที่มากเกินปริมาณที่เหมาะสมจะพบว่าเป็นการเพิ่มประจุตรงข้ามซึ่งจะทำให้อนุภาคที่ปนเปื้อนในน้ำกลับมามีเสถียรภาพและไม่จับตัวเป็นฟล็อค จึงทำให้มีประสิทธิภาพลดลงได้ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สารส้ม และสารส้มร่วมกับกัวกัมพบว่า การใช้กัวกัมไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียซึ่งอาจเป็นผลมาจากตะกั่วที่ต้องการกำจัดอยู่ในรูปละลายน้ำ แต่กัวกัมที่เติมลงไปอาจเหมาะกับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ ดังเช่นงานวิจัยของ Mukherjee et al. (2014) ที่ใช้กัวกัมในการกำจัดและรวบรวมเยื่อกระดาษเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงคิดเป็นร้อยละ 94.68

สำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้สารส้มในงานวิจัยนี้ พบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเท่ากับ 7 และใช้สารส้มในปริมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 97.59 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pang et al. (2009) ที่พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6.5-7.8 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงสุดร้อยละ 99 แต่จะมีการใช้สารส้มในปริมาณ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจจะเกิดจากปัจจัยในเรื่องลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษามีความแตกต่างกัน ตลอดจนความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสีย สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น รวมทั้งระยะเวลา ความเร็วในการกวนผสมและการตกตะกอนในกระบวนโคแอกกูเลชั่น-ฟล็อกกูเลชั่น เป็นต้น ทั้งนี้ข้อเสนอแนะในการนำผลไปใช้ประโยชน์ คือ สามารถนำผลจากการวิจัยไปใช้ในการกำหนดชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีตะกั่วปนเปื้อน เช่น โรงงานผลิตตะกั่วจากแบตเตอรี่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อกำจัดตะกั่วได้

เอกสารอ้างอิง

พลอยไพริล ภูมิสุทธาผล และคณะ. (2561) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปูนขาวและโซดาไฟในการกำจัดตะกั่วโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. *การประชุมเชิงวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 "งานวิชาการรับใช้สังคม"*, 22 มิถุนายน 2561 ณ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสมุทรปราการ.

Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry, 4,* 361-377.

Mukherjee, S., Mukhopadhyay, S., Pariatamby, A., Hashim, M., Narayan Sahu, J., & Sen Gupta, B. (2014). A comparative study of biopolymers and alum in the separation and recovery of pulp fibers from paper mill effluent by flocculation. *Journal of Environmental Sciences*, *26*(9), 1851-1860.

Mukherjee, S., Mukhopadhyay, S., Zakwan Bin Zafri, M., Zhan, X., Ali Hashim, M., & Sen Gupta, B. (2018). Application of guar gam for the removal of dissolved lead from wastewater. *Industrial Crops and Products, 111*, 261-269.

Pang, F., Teng, S., Teng, T., & Omer A. (2009). Heavy metals removal by hydroxide precipitation and coagulation-flocculation methods from aqueous solutions. *Water Quality Research Journal, 44* (2), 174-182.

Sharma, G., Sharma, S., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A., Naushad, M., Ghfar, A., Tessema mola, G., & Stadler, F. (2018). Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers, 199,* 534-545.