KKU Journal for Public Health Research
Vol.17 No.4 October – December 2024

วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปีที่ 17 ฉบับที่ 4 เดือน ตุลาคม – ธันวาคม 2567

นิพนธ์ต้นฉบับ

การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม ด้วยตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยจากการผลิตโรงไฟฟ้าถ่านหิน

สิริมา นุตโร[1], พรพรรณ สกุลคู[2], กาญนิถา ครองธรรมชาติ[2], อุไรวรรณ อินทร์ม่วง[2], นัฐชานนท์ เขาราธ[2]*

วันที่ได้รับต้นฉบับ: 20 สิงหาคม 2567
วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 12 กันยายน 2567

** ผู้รับผิดชอบบทความ*
(1) นักศึกษาหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มวิชาการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
(2) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Email : spornp@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยจากการผลิตโรงไฟฟ้าถ่านหินถูกใช้เป็นตัวดูดซับ ในการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว เหล็ก และสังกะสี ในน้ำเสียสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยเถ้าลอยและตะกอนดิน คือ pH 8 และ pH 7 ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักตะกั่ว เหล็ก และสังกะสีที่เหมาะสมของเถ้าลอยและตะกอนดินคือความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว เหล็ก และสังกะสี พบว่าระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักของเถ้าลอย คือ 90 นาที มีร้อยละ 99.50, 98.70 และ 99.70 ตามลำดับ และตะกอนดินร้อยละการกำจัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดได้ดีระยะเวลาสัมผัสที่ 60 นาที มีร้อยละ 98.90, 95.90 และ 98.90 ตามลำดับ และปริมาณที่เหมาะสมของตะกอนดินและเถ้าลอยที่ใช้เป็นตัวดูดซับ คือ 20 กรัม

คำสำคัญ: *เถ้าลอย, ตะกอนดิน, โลหะหนัก*

KKU Journal for Public Health Research
Vol.17 No.4 October – December 2024

วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปีที่ 17 ฉบับที่ 4 เดือน ตุลาคม – ธันวาคม 2567

Original Article

Removal of Heavy Metals in Wastewater from Dyeing Industry with Soil Sediments from the Tap Water Production Process and Fly Ash from Coal-Fired Power Plants

Sirima Nutaro[(1)], Pornpun Sakunkoo[(2)], Kannitha Krongthamchat[(2)], Uraiwan Inmuong[(2)], Nathchanon Khaorat[(2)]*

Received Date: August 20, 2024
Accepted Date: September 12, 2024

** Corresponding author*
(1) Master of Public Health Program in Safety Occupational Health Environment Management, Faculty of Public Health, Khon Kaen University
(2) Department of Occupational Safety and Environmental Health, Faculty of Public Health, Khon Kaen University
Email : spornp@kku.ac.th

Abstract

Sediments from the water production process and fly ash from the production of coal-fired power plants are used as adsorbents to remove heavy metals, lead, iron, and zinc in synthetic wastewater from the dyeing industry. From the experiment, it was found that the optimum pH for adsorbing heavy metals with fly ash and sediment was pH 8 and pH 7, respectively. The optimum concentration of lead, iron, and zinc heavy metal solutions of fly ash and sediment is 10 mg/L. Efficiency in the adsorption of heavy metals, lead, iron, and zinc, it was found that the appropriate contact time that affects the adsorption of heavy metals of fly ash is 90 minutes, with percentages equal to 99.50%, 98.70%, and 99.70%, respectively, and sediment had good percentage removal of all three types of heavy metals at a contact time of 60 minutes with percentages equal to 98.90, 95.90, and 98.90 respectively. The optimum amount of sediment was and fly ash used as adsorbent is 20 grams.

***Keywords*:** *Fly Ash, Soil Sediments, Heavy Metals*

บทนำ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปผลิตหรือจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค โดยในกระบวนการฟอกย้อมมีสารเคมีหลักที่ใช้ในการย้อม คือ สีย้อม (Dyes) และด้วยกระบวนการฟอกย้อมนั้นต้องใช้น้ำในปริมาณที่มาก ส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการฟอกย้อมที่ปล่อยออกมานั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ COD และ BOD มีปริมาณที่สูง อีกทั้งสีย้อมบางประเภทมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างทางเคมี ทำให้น้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการย้อมสีผ้านั้นมีโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) 0.1806 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็ก (Fe) 2.0910 มิลลิกรัมต่อลิตร และ สังกะสี (Zn) 1.7560 มิลลิกรัมต่อลิตร (กมลรัตน์ เกลียงประดิษฐ์, 2563) ดังนั้นผู้วิจัย จึงมีแนวคิดที่จะนำตะกอนดินและเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะหนักเพื่อเป็นทางเลือกทดแทนวิธีการบำบัดโลหะที่มีต้นทุนสูงที่ซึ่งตะกอนดินและเถ้าลอยนั้นเป็นวัสดุเหลือทิ้ง โดยตะกอนดินเป็นหนึ่งในวัสดุดูดซับที่มีลักษณะเป็นรูพรุนอนุภาค คล้ายดินเหนียวที่มีขนาดเล็กซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดโลหะหนักเช่นเดียวกันกับเถ้าลอยที่เป็นของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง อีกทั้งเถ้าลอยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมินัมออกไซด์ และเฟอร์ริกออกไซด์ มีลักษณะเป็นตัวดูดซับที่ดีอีกด้วย

การศึกษาในครั้งนี้จึงได้นำวัสดุทั้งสองชนิด ที่มีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันมาทำการทดสอบการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยจะทำการศึกษาปัจจัยและประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหิน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหิน

2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหิน

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ Nonparametric Statistics ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำค่าผลการตรวจวัดการดูดซับโลหะหนักของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหิน นั้นใช้สถิติ Kruskal-Wallis test และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักระหว่างตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหิน นั้นใช้สถิติ Mann whitneny u test โดยนำเสนอข้อมูลด้วยร้อยละและกราฟ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

1.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (กมลรัตน์ เกลียงประดิษฐ์, 2563)

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ถูกเตรียมขึ้นให้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจริงจากกระบวนการฟอกย้อม โดยมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 200-500 มก./ล. ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ในช่วง 5-11 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (ตารางที่ 1)

2. การเตรียมตะกอนดิน

โดยการนำตะกอนดินที่ได้จากกระบวนผลิตน้ำประปา มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาทำการบดตะกอนดินให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อนทราย ต่อมานำตะกอนดินที่ผ่านการคัดขนาดแล้วมาล้างด้วยน้ำปราศจากอิออน (DI water) แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุใส่ลงภาชนะที่ปิดสนิทก่อนนำไปใช้งาน (พรพรรณ เยาวยอด, 2562)

3. การเตรียมเถ้าลอย

นำตัวอย่างเถ้าลอยร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเพื่อแยกเถ้าลอยตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำเถ้าลอยที่ผ่านการคัดขนาดแล้วมาล้างด้วยน้ำปราศจากอิออน (DI water) อัตราส่วนเถ้าลอย 100 กรัมต่อปริมาตร 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เถ้าลอยตกตะกอน แล้วทำการกรองจากนั้นนำเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต่อด้วยนำไปดูดความชื้น 24 ชั่วโมง และบรรจุใส่ลงภาชนะที่ปิดสนิทก่อนนำไปใช้งาน (Visa, Andronic, & Duta, 2015)

4. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินและเถ้าลอย

ศึกษาคุณสมบัติของตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา มหาวิทยาลัยขอนแก่น และเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ผิว รูพรุน และสารประกอบออกไซด์ ด้วยวิธี BET SEM และ XRF โดยส่งวิเคราะห์ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (กมลรัตน์ เกลียงประดิษฐ์, 2563)

5. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของตะกอนดินและเถ้าลอย

5.1 ทดสอบผลช่วงค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ

กำหนดอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 10 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร (Kitchainukul, 2013) แล้วทำการปรับค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้มีค่า pH เท่ากับ 5 6 7 และ 8 จากนั้นนำไปกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42 จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการทดลองแบบเดียวกันในตะกอนดิน (กมลรัตน์ เกลียงประดิษฐ์, 2563)

5.2 ทดสอบความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก

กำหนดอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 10 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร โดยทดสอบความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ดังนี้ 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร (พรพรรณ เยาวอด, 2562) จากนั้นทำการปรับค่า pH ที่เหมะสมจากการทดสอบขั้นตอนที่ 5.1 นำไปกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42 จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการทดลองแบบเดียวกันในตะกอนดิน

5.3 ทดสอบระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก

กำหนดอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 10 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH และความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหมาะสมจากการทดสอบขั้นตอนที่ 5.1 และ 5.2 นำไปกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 60 90 และ 120 นาที (พรพรรณ เยาวอด, 2562) ที่อุณหภูมิห้อง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษวัตแมนเบอร์ 42 จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการทดลองแบบเดียวกันในตะกอนดิน

5.4 ทดสอบปริมาณของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก

กำหนดอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อน้ำเสียสังเคราะห์ในปริมาณ 5 10 15 20 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร (กมลรัตน์ เกลียงประดิษฐ์, 2563) ตามลำดับ ทำการปรับค่า pH และความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหมาะสมจากการทดสอบขั้นตอนที่ 5.1 และ 5.2 นำไปกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที ในค่าระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากการทดสอบขั้นตอนที่ 5.3 ที่อุณหภูมิห้อง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42 จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการทดลองแบบเดียวกันในตะกอนดินนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ และ ความจุของการดูดซับ ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{Adsorption efficiency (\%)} = \frac{C_1 - C_0}{C_1} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Adsorption capacity (mg/g)} = \left(\frac{C_1 - C_0}{m}\right) V \quad (2)$$

เมื่อ

C_1 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก (มก./ล.)

C_0 คือ ความเข้มข้นคงเหลือของโลหะหนัก (มก./ล.)

V คือ ปริมาตรของสารละลายโลหะหนัก (ล.)

m คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (ก.)

5.5 วิเคราะห์ผลการศึกษาร่วมกับไอโซเทอมการดูดซับ

ดำเนินการโดยการนำข้อมูลผลการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อหาความสอดคล้องกับไอโซเทอมทั้ง 2 แบบ ได้แก่ ไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอมของฟรุนดิช (Freundlich isotherm) ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

โดยใช้ผลจากการทดลองขั้นตอนที่ 5.2 ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามทฤษฎีไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช

$$q_e = \frac{q_e K_L C_e}{1+K_L\ C_e} \quad (3)$$

$$log(q_e) = log(K_F) + \frac{1}{n} log(C_e) \quad (4)$$

เมื่อ

qe คือ ความสามารถในการดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ ณ สมดุล (มก./ก.)

qm คือ ปริมาณการดูดซับสูงสุดที่ถูกดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มก./ก.)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ สมดุล (มก./ล.)

K_L คือ ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (ล./มล.)

K_f คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (ล./ก.)

$\frac{1}{n}$ คือ ปัจจัยที่แสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

6. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของตะกอนดินและเถ้าลอย

นำสภาวะที่เหมาะสมของเถ้าลอยและตะกอนมาทำการทดลองโดยนำเถ้าลอยปริมาณ 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์เติมสารละลายโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็กที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ pH 8 กวนที่ความเร็วรอบ 180-200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษวัตแมนเบอร์ 42 และ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง และทำการทดลองในตะกอนดิน นำตะกอนดินปริมาณ 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์เติมสารละลายโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว และเหล็กที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ pH 7 กวนที่ความเร็วรอบ 180-200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษวัตแมนเบอร์ 42 และ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง (พรพรรณ เยาวยอด, 2562)

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยและตะกอนดิน

1.1 สมบัติทางกายภาพ

เถ้าลอยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอมเทา จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope: SEM) ที่กำลังขยาย 4,000 และ 7,000 เท่า พบว่ารูปร่างของเถ้าลอยถ่านหินมีลักษณะค่อนข้างกลม (Sub-round to round) มีพื้นที่ผิวค่อนข้างแน่น ไม่กระจัดกระจาย และการวิเคราะห์โดยใช้วิธี BET พบพื้นที่ผิวของเถ้าลอยมีค่าเท่ากับ 5.493 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 3.235 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนมีค่าเท่ากับ 9.734 นาโนเมตร และสำหรับตะกอนดินพบว่าตะกอนดินนั้นมีลักษณะทางกายภาพเป็นสีเทาอมดำ จากการวิเคราะห์ด้วย SEM และ BET พบว่ารูปร่างของตะกอนดินนั้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป ไม่แน่นอน พื้นผิวค่อนข้างกระจัด โดยตะกอนดินนั้นมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 5.959 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 1.583 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดของรูพรุนอยู่ที่ 5.217นาโนเมตร

1.2 คุณสมบัติทางเคมี

จากการวิเคราะห์ทางเคมีในรูปออกไซด์ของตะกอนดินและเถ้าลอย ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry : XRF) พบสารประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าลอยที่พบมากที่สุด คือ CaO Fe_2O_3 SiO_2 และ Al_2O_3 มีสัดส่วนร้อยละ 36.4 21.7 18.7 และ 10.9 ตามลำดับ ในส่วนของตะกอนดินพบสารประกอบ SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 และ CaO มีสัดส่วนร้อยละ 52.80, 24.00 23.10 และ 3.00 ตามลำดับ

2. ผลของปัจจัยต่างที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ และการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกอนดินและเถ้าลอย

2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าลอยที่ pH 5-8 โดยร้อยละการดูดซับโลหะหนักของตะกั่วสูงสุดที่ pH 8 ร้อยละ 99.60% ร้อยละการดูดซับโลหะหนักของเหล็กสูงสุดที่ pH 8 ร้อยละ 97% และร้อยละการดูดซับโลหะหนักของสังกะสีสูงสุดที่ pH 7 และ 8 ร้อยละ 99.10% ซึ่ง pH ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยเถ้าลอย คือ pH 8 และตะกอนดินร้อยละการดูดซับโลหะหนักของตะกั่วสูงสุดที่ pH 7
ร้อยละ 98.90% ร้อยละการดูดซับโลหะหนักของเหล็กสูงสุดที่ pH 8 ร้อยละ 95.90% และร้อยละการดูดซับโลหะหนักของ

สังกะสีสูงสุดที่ pH 7 ร้อยละ 98.90% โดย pH ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยตะกอนดิน คือ pH 7 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของตะกั่ว เหล็กและสังกะสี จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับที่ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

2.2 ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก

จากการทดลองเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่ว เหล็กและสังกะสี เป็น 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักของตะกั่ว เหล็ก และสังกะสี ที่เหมาะสมของเถ้าลอยและตะกอนดินคือความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเป็นความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่เถ้าลอยและตะกอนดินสามารถดูดซับได้ดีที่สุด สำหรับเถ้าลอยประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว เหล็กและสังกะสี ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับร้อยละ 99.60, 97 และ 99.10 ตามลำดับ และตะกอนดินประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว เหล็กและสังกะสี ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับร้อยละ 98.90, 95.90 และ98.90 ตามลำดับ

2.3 ระยะเวลาสัมผัส

ผลการศึกษาที่ระยะเวลาสัมผัส 30 60 90 และ 120 นาที ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วของเถ้าลอยมีค่าร้อยละเท่ากับ 98.40, 99.50, 99.60 และ 99.50 ลดลงที่ระยะเวลาสัมผัสที่ 120 นาที และคงที่เท่ากับ 99.50 ตามลำดับ เหล็กร้อยละ 96.70, 97, 98.70 และ 98.60 ตามลำดับ โดยที่สังกะสีมีร้อยละของการดูดซับเท่ากับ 97.40, 99.10, 99.70 และ 99.60 ตามลำดับ และตะกอนดินมีร้อยละของการดูดซับโลหะหนักของเหล็กอยู่ที่ 93.40, 95.90, 95.10 และ 94.90 ที่ระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ร้อยละของการดูดซับโลหะหนักของตะกั่วและสังกะสีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยร้อยละการดูดซับโลหะของตะกั่วสูงสุดที่ระยะเวลาสัมผัสที่ 60 นาทีเท่ากับ 98.90 เช่นเดียวกันกับสังกะสี ดังนั้นร้อยละการดูดซับของโลหะแต่ละชนิดที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกันมีร้อยละการดูดซับที่ต่างกัน แสดงว่าระยะเวลาสัมผัสที่เพิ่มมากขึ้น ค่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของตะกอนดินและเถ้าลอยนั้นเพิ่มขึ้นด้วย

2.4 ปริมาณของตัวดูดซับ

จากปริมาณตะกอนดินและเถ้าลอยที่ทำการศึกษา ได้แก่ 5 10 15 และ 20 กรัม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนดินและเถ้าลอยร้อยละการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนดินและเถ้าลอยมีผลทำให้ร้อยละการดูดซับโลหะหนักเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณตะกอนดินและเถ้าลอยที่ดูดซับโลหะหนักได้ดีคือ 20 กรัม ซึ่งเถ้าลอยมีร้อยละการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว เหล็กและสังกะสี ร้อยละ 99.94, 99.30 และ 99.97 ตามลำดับ และตะกอนดินร้อยละ 99.50, 98.80 และ 99.94 ตามลำดับ

2.5 ไอโซเทอมการดูดซับ

จากการทดสอบโดยการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ในความเข้มข้นที่ 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อที่ 5.1 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์เติมตะกอนดินและเถ้าลอยในปริมาณ 10 กรัม กวนผสมในระยะเวลาสัมผัสที่ 60 นาที พบว่าเถ้าลอยและตะกอนดินนั้นทั้งสองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดิช ซึ่งพฤติกรรมการดูดซับของไอโซเทอมฟรุนดิช เป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพที่มีการซ้อนทับกันของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เป็นแบบหลายชั้นและมีพื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

3. ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกอนดินและเถ้าลอย

จากตารางที่ 3 การทำการศึกษาการดูดซับโดยใช้ตะกอนดินและเถ้าลอยซ้ำต่อเนื่อง 5 ครั้ง พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของเถ้าลอย มีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 99.95 เหล็กเท่ากับ 99.30 และ สังกะสีเท่ากับ 99.97 และประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของตะกอนดิน ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 99.48 เหล็กเท่ากับ 98.80 และสังกะสีเท่ากับ 99.92 แสดงให้เห็นว่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดของตะกอนดินและเถ้าลอยนั้นมีแนวโน้มลดลงลดลง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดูดซับโดยใช้ตะกอนดินและเถ้าลอยนั้นโดยมีโลหะหนักที่ถูกดูดซับมากที่สุดคือ สังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ตามลำดับ

บทสรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมฟอกย้อมด้วยตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยจากการผลิตโรงไฟฟ้าถ่านหิน ผลการศึกษาพบว่าเถ้าลอยและตะกอนดินมีสภาวะที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่แตกต่างกัน โดยเถ้าลอยมีการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว เหล็กและสังกะสีได้ดีที่ pH 8 ความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที โดยใช้ปริมาณเถ้าลอย 20 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่ดีที่สุด คือ สังกะสีร้อยละ 99.97 โดยตะกอนดิน pH

ที่เหมาะสม คือ pH 7 ความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที โดยใช้ปริมาณตะกอนดิน 20 กรัม และมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่ดีที่สุด คือ สังกะสีร้อยละ 99.92 สำหรับผลการศึกษาไอโซเทอม พบว่าเถ้าลอยและตะกอนดินนั้นทั้งสองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดิช โดยไอโซเทอมของฟรุนดิชของเถ้าลอยตะกั่ว เหล็ก และสังกะสี มีค่าเท่ากับ 0.9563, 0.9973 และ 0.9996 ตามลำดับ และไอโซเทอมของฟรุนดิชของตะกอนดินตะกั่ว เหล็ก และสังกะสี มีค่าเท่ากับ 0.9918, 0.9998 และ 0.9962 ตามลำดับ ซึ่งพฤติกรรมการดูดซับของไอโซเทอมฟรุนดิช เป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพที่มีการซ้อนทับกันของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เป็นแบบหลายชั้น และมีพื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จากการประเมินต้นทุนการผลิตตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและเถ้าลอยจากการผลิตโรงไฟฟ้าถ่านหิน พบว่าเถ้าลอยและตะกอนดินมีต้นทุนการผลิตที่เท่ากัน ซึ่งจากการทดลองความสามารถในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าแตกต่างกัน ซึ่งเถ้าลอยนั้นสามารถดูดซับโลหะหนักสังกะสีได้ดีที่สุด ร้อยละ 99.97 เช่นเดียวกับตะกอนดินที่ดูดซับโลหะหนักสังกะสีได้ดีที่สุด ร้อยละ 99.92 โดยเถ้าลอยนั้นจะมีการดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่า ดังนั้นการเลือกใช้ตัวดูดซับที่เป็นเถ้าลอยจะมีความคุ้มทุนมากกว่าจากการที่มีการดูดซับโลหะหนักได้มากกว่าตัวดูดซับที่เป็นตะกอนดิน

เถ้าลอยและตะกอนดินสามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับทางเลือก แทนการใช้วัสดุดูดซับที่มีราคาสูง ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมฟอกย้อมในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม ซึ่งเป็นการนำน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมในภาคอุตสาหกรรมมาทำการบำบัด โดยมีเถ้าลอยและตะกอนดินเป็นสารที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งยังเป็นการนำของที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตไฟฟ้าถ่านหิน และกระบวนผลิตน้ำประปา มาเพิ่มมูลค่าและใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการช่วยลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่ง

ข้อเสนอแนะหรือการนำไปใช้ประโยชน์

1) ศึกษาเพิ่มเติมถึงการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่น

2) ศึกษาปริมาณตัวดูดซับชนิดอื่น เช่น เถ้าลอยแกลบที่ได้จากการสีข้าว หรือเถ้าลอยชานอ้อยที่เป็นผลพลอยได้จากการนำชานอ้อยไปเผาเป็นเชื้อเพลิง

3) ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องของปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย และส่วนประกอบของน้ำเสียในแต่ละขั้นตอน เพื่อลดปริมาณตัวดูดซับและต้นทุนในการบำบัด

เอกสารอ้างอิง

กมลรัตน์ เกลียงประดิษฐ์. (2563). **การบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกโดยกระบวนการดูดซับด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พรพรรณ เยาวยอด, คณิตา ตังคณานุรักษ์, นพวรรณ เสมวิมล, & ดร.ฐิติมา รุ่งรัตนาอุบล. (2562). การประยุกต์ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้าประปาเพื่อการกาจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียอุตสาหกรรม. **วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 20**(1), 53-64.

Freundlich, H. M. F. (1906). Over the adsorption in solution. **The Journal of Physical Chemistry, 57,** 385-470.

Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society, 40,** 1361-1403.

Sahinkaya, S. (2013). COD and color removal from synthetic textile wastewater by ultrasound assisted electro-Fenton oxidation process. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19**(2), 601-605.

Visa, M., Andronic, L., & Duta, A. (2015). Fly ash-TiO2 nanocomposite material for multi- pollutants wastewater treatment. **Journal of Environmental Management, 150,** 336-343.

ตารางที่ 1 สารที่เคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสังเคราะห์

สารเคมี	ความเข้มข้น
แป้ง (Starch)	500 มก./ล.
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	200 มก./ล.

โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)	200 มก./ล.
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	300 มก./ล.
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	100 มก./ล.
กรดซัลฟิวริก (H_2CO_4)	60 มก./ล.
สีย้อมชนิด Reactive blue dye	100 มก./ล.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sahinkaya (2013)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของเถ้าลอยและตะกอนดิน

ลักษณะทางกายภาพ	เถ้าลอย	ตะกอนดิน	หน่วย
พื้นที่ผิว	5.493	5.959	ตร.ม./กรัม
ปริมาตรรูพรุน	3.235	1.583	ลบ.ซม./กรัม
ขนาดรูพรุน	9.734	5.217	นาโนเมตร