

## การใช้ประโยชน์เปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาเป็นสารตกตะกอน เพื่อกำจัดโลหะหนักจากสารละลาย

### Beneficial Use of Chicken Shell Residue and Burned Chicken Shell Residue as Coagulants for Heavy Metals Removal from Solution

อรทัย แม่นทอง (Orathai Maenthong)\* คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ (Kanita Tungkananuruk)<sup>1\*\*</sup>

ดร.วัชรพงษ์ วาระรัมย์ (Dr.Watcharapong Wararam)\*\*\*

(Received: May 17, 2021; Revised: July 13, 2021; Accepted: July 13, 2021)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาเป็นระยะเวลา 1-4 ชม. เพื่อตกตะกอน Pb (II), Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) ในสารละลาย โดยทำการทดลองแบบแบทช์ (Batch) พบว่าเปลือกไข่ไก่ 1 กรัมมี  $\text{CaCO}_3$  ร้อยละ  $96.02 \pm 0.39$  สามารถกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดได้ในสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดเข้มข้น 25.0 มิลลิกรัม/ลิตร ของสารละลายที่ pH เท่ากับ 7 และระยะเวลาตกตะกอน 30 นาที สามารถกำจัดได้ร้อยละ  $98.30 \pm 0.17$ ,  $99.96 \pm 0.01$ ,  $99.98 \pm 0.05$  และ  $99.97 \pm 0.02$  ตามลำดับ ในสภาวะเดียวกันเปลือกไข่ไก่เผา 1 ชม. ปริมาณ 0.5 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก 4 ชนิดใกล้เคียงกับเปลือกไข่ไก่ เนื่องจากเปลือกไข่ไก่เผา 1 ชม. มีแคลเซียมออกไซด์สูงสามารถเกิดสารประกอบไฮดรอกไซด์กับโลหะหนักแต่ละชนิดได้และละลายได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ในสารละลายโลหะหนักผสม 4 ชนิดเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผา 1 ชม. สามารถกำจัดโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับการกำจัดโลหะหนักในสารละลายแต่ละชนิด ดังนั้นการใช้เปลือกไข่ไก่เผามีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมากกว่าเปลือกไข่ไก่ และสามารถใช้เป็นสารตกตะกอนที่มีต้นทุนต่ำสำหรับกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

#### ABSTRACT

This research was conducted to investigate the optimum condition of chicken eggshell residue (CES) and burned CES at 1-4 hr. for precipitation of Pb (II), Cd (II), Cu (II), and Zn (II) in solution using the Batch method. It was found that CES 1 g. with  $96.02 \pm 0.39$  %  $\text{CaCO}_3$  could remove four heavy metals in 25.0 mg/ L of each solution with pH 7 and precipitation time of 30 min at %removal ( $98.30 \pm 0.17$ ,  $99.96 \pm 0.01$ ,  $99.98 \pm 0.05$ , and  $99.97 \pm 0.02$ ), respectively while, 1 hr. burned CES CES1 only 0.5 g. gave the close removal efficiency of four heavy metals at the same condition. Because CES1 had higher calcium oxide. Which is easier dissolved and from hydroxide compound with each heavy metal. Moreover, in mixed four heavy metals solution, CES and CES1 were still removal at the same removal efficiency in each heavy metal solution. Therefore, chicken eggshell residue is more suitable for heavy metal precipitation than chicken egg shells. and can be utilized as a low-cost coagulant for the removal of four heavy metals.

**คำสำคัญ:** เปลือกไข่ไก่ สารตกตะกอน โลหะหนัก

**Keywords:** Chicken shell residue, Coagulant, Heavy metal

<sup>1</sup>Corresponding author: kkanita.kt@gmail.com

\*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\*\*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\*\*\*อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ และการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ส่งผลการปลดปล่อยสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ในปัจจุบันวิธีการกำจัดโลหะหนักมีหลายวิธี เช่น การกำจัดตั้งแต่แหล่งกำเนิดเพื่อลดการแพร่กระจาย และการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมซึ่งยากต่อการกำจัดอีกทั้งยังมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้เวลานาน ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาวัสดุเหลือใช้ที่พบได้ทั่วไป เช่น เปลือกไข่ไก่ซึ่งเป็นของเสียด้านอุตสาหกรรมและวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเปลือกไข่ไก่ (chicken egg shell : CES) ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) มากถึงร้อยละ 98.20 โดยน้ำหนักของเปลือกไข่ [1] ซึ่งเปลือกไข่ไก่อถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดิน อาหารสัตว์ การกำจัดมูลและแมลงในครัวเรือน [2] และยังถูกนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโครเมียม Cr (III) ของโรงงานฟอกหนัง [3] และการกำจัด Cu (II) และ Cd (II) ในน้ำเสีย [4] และเมื่อนำเปลือกไข่ไก่อไปเผาที่ความร้อนมากกว่า 700 องศาเซลเซียสจะได้แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 98.00 มีลักษณะพื้นผิวจำเพาะและขนาดอนุภาคเล็กระดับไมโครเมตร [5-6] และมีคุณสมบัติเป็นเบสซึ่งใกล้เคียงปูนขาวที่นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก และยังเป็นวัสดุธรรมชาติช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการเตรียมแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่อที่อุณหภูมิ ระยะเวลาการเผาที่เหมาะสม และนำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในสารละลายของเปลือกไข่ไก่อและเปลือกไข่ไก่อเผาด้วยวิธีการตกตะกอนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมเปลือกไข่ไก่อ เปลือกไข่ไก่อเผา

การเตรียมเปลือกไข่ไก่อเพื่อเป็นสารตกตะกอน โดยการนำเปลือกไข่ไก่อไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลา 24 ชั่วโมงพักให้เย็นและนำไปบดให้ละเอียด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดน้อยกว่า 500 ไมโครเมตร จากนั้นนำเปลือกไข่ไก่อที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ด้วยวิธีการไทเทรต [7] และนำเปลือกไข่ไก่อที่เตรียมได้ไปเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง จะได้เปลือกไข่ไก่อที่ผ่านการเผาจำนวน 4 ตัวอย่างคือ CES1, CES2, CES3 และ CES4

เตรียมกราฟมาตรฐานของโลหะหนักที่ทำการศึกษาได้แก่ ตะกั่ว (Pb (II)), แคดเมียม (Cd (II)), สังกะสี (Zn (II)) และทองแดง (Cu (II)) โดยเตรียมสารละลาย Pb (II) จาก  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  บริษัท Certipur ประเทศ German และเตรียมสารละลาย Cd (II), Zn (II) และ Cu (II) จาก  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  บริษัท PanReac ประเทศ Spain ที่ความเข้มข้นต่างกัน (ตารางที่ 1) ซึ่งเตรียมได้จากสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และนำไปตรวจหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Agilent 200 Series AA รุ่น 240FS โดยใช้เทคนิคเฟลมอะตอม

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนักที่ใช้เตรียมกราฟมาตรฐาน

| สารละลายโลหะหนัก   | ความเข้มข้น (mg/L)           |
|--------------------|------------------------------|
| ตะกั่ว (Pb (II))   | 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 10.0     |
| แคดเมียม (Cd (II)) | 0.1, 0.5, 0.6, 1.0, 1.5      |
| สังกะสี (Zn (II))  | 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 |
| ทองแดง (Cu (II))   | 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 |

ที่มา: ดัดแปลงมาจากคู่มือปฏิบัติงานดิน น้ำ และพืช ด้านสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2553 [8]

## 2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนของโลหะหนักโดยการทดลองแบบแบทช์ (Batch method)

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนของโลหะหนักโดยใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาที่เตรียมได้จากข้อ 1. นำมาใช้ในการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ค่า pH ระยะเวลาการตกตะกอน ปริมาณสารตกตะกอน และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในสารละลายโลหะหนักผสม โดยทำการทดลอง ดังนี้

### 2.1 pH

pH ที่ทำการศึกษาคือ pH เริ่มต้นของสารละลายโลหะทั้ง 4 ชนิดและที่ปรับ pH เท่ากับ 4, 7 และ 9 โดยเตรียมสารละลายโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH เท่ากับ 4 โดยใช้สารละลาย 0.1 M. HCl และปรับ pH เท่ากับ 7 และ 9 โดยใช้สารละลาย 0.1 M. NaOH ทดลองกับเปลือกไข่ไก่ปริมาณ 1.0 กรัม เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 120 นาที กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปตรวจหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS และนำเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการเผาทั้ง 4 ตัวอย่างมาทำการทดลอง เช่นเดียวกับเปลือกไข่ไก่โดยแต่ละครั้งใช้เปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการเผา 0.5 กรัม คำนวณร้อยละการกำจัด (% removal) ของโลหะหนักแต่ละชนิดจากสมการ (1) จากนั้นเลือกเปลือกไข่ไก่เผาที่มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักได้ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้การทดลองขั้นต่อไป

$$\% \text{ removal} = \left( \frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $C_0$  คือความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายเริ่มต้นของสารละลาย และ  $C_e$  คือความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายที่ภาวะสมดุลของสารละลาย (มิลลิกรัม/กรัม)

### 2.2 ระยะเวลาการตกตะกอน

นำเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาที่ได้จากข้อ 1. ทำการทดลองกับสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดเข้มข้น 25.0 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH เท่ากับที่ศึกษาได้จากข้อ 2.1 โดยแปรผันระยะเวลาตกตะกอนเป็น 1, 5, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

### 2.3 ปริมาณสารตกตะกอนเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผา

ทำการทดลองโดยการชั่งเปลือกไข่ไก่ 0.1, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 กรัม และเปลือกไข่ไก่เผาที่ได้จากข้อ 1. 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ทำการทดลองกับสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดเข้มข้น 25.0 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH เท่ากับที่ศึกษาได้จากข้อ 2.1 และระยะเวลาในการตกตะกอนที่ศึกษาได้จากข้อ 2.2

### 3. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในสารละลายโลหะหนักผสม

เตรียมสารละลายโลหะหนักผสมที่มี Pb (II), Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) แต่ละชนิดเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ที่เตรียมได้จากสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH เท่ากับที่ศึกษาได้จากข้อ 2.1 ระยะเวลาตกตะกอนที่ศึกษาได้จากข้อ 2.2 และปริมาณเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาที่ศึกษาได้จากข้อ 2.3 เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบ/นาที และกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปตรวจหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

## ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 1. ผลการศึกษาเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผา

เปลือกไข่ไก่ (CES) ที่เตรียมได้เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ด้วยวิธีการไทเทรต พบว่ามีปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  เป็นองค์ประกอบร้อยละ  $96.20 \pm 0.39$  โดยโครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 700 – 1,000 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 600 – 770 องศาเซลเซียสจะเกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ [9] จากการทบทวนงานวิจัยของ ทิปรุท พบว่าเปลือกไข่ไก่ (CES) ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบปริมาณแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 97.9, 98.0, 97.9 และ 97.9 ตามลำดับซึ่งเป็นแคลเซียมออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง และยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  เป็นต้น [10-11] ดังนั้นจากองค์ประกอบของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษาการกำจัดโลหะหนักวิธีการตกตะกอน

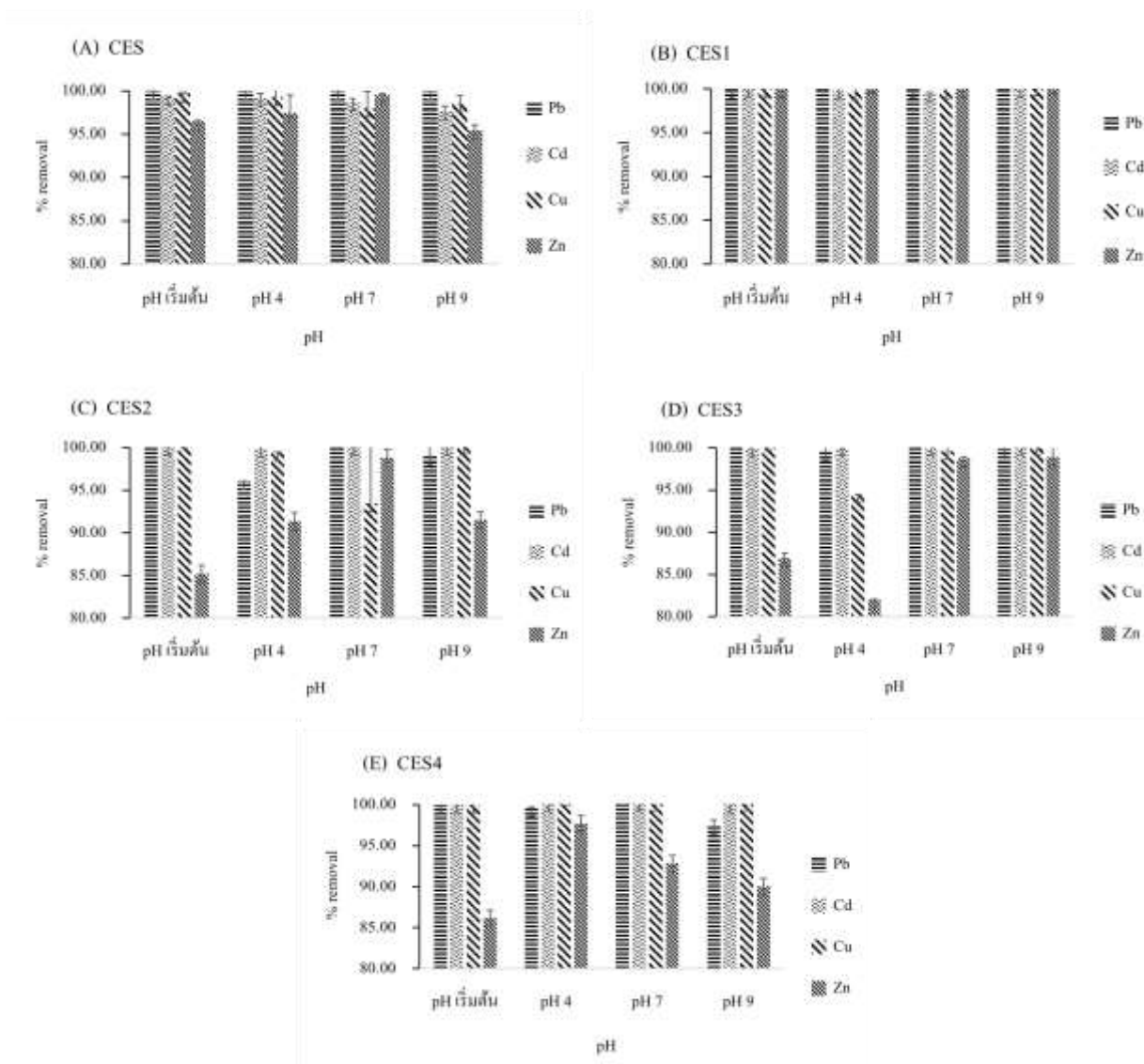
### 2. ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนักด้วยสารตกตะกอนจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผา

การศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่ (CES) และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1, CES2, CES3 และ CES4) ในการกำจัดโลหะหนักโดยการแปรผัน pH ของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณสารตกตะกอน และระยะเวลาการตกตะกอน และศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในสารละลายโลหะหนักผสมได้ผลการทดลอง ดังนี้

#### 2.1 ผลการศึกษา pH ต่อการตกตะกอนโลหะหนัก

ผลการศึกษา pH ของสารละลายโลหะหนักโดยปรับ pH ให้เท่ากับ 4, 7, 9 และ pH ที่เท่ากับ pH ของสารละลายโลหะหนักเริ่มต้นของ Pb (II), Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) คือ 2.00, 2.21, 2.20 และ 2.69 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าสารละลายโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่ปรับค่า pH เท่ากับ 7 เปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาทั้ง 4 ชนิดสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดี โดยเปลือกไข่ไก่สามารถกำจัด Pb (II) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยหลังจากเติมเปลือกไข่ไก่ไม่สามารถตรวจพบ Pb (II) ในสารละลายและสามารถกำจัด Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) ได้อย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ  $98.69 \pm 0.17$ ,  $98.00 \pm 0.09$  และ  $99.52 \pm 0.09$  ตามลำดับ และพบว่า pH ของสารละลายหลังจากการตกตะกอนโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดเท่ากับ 7.7, 7.9, 7.7 และ 8.0 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 (A) และจากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดของเปลือกไข่ไก่เผา 4 ชนิด พบว่า เปลือกไข่ไก่เผา CES1 ดังภาพที่ 1 (B) มีความสามารถในการกำจัด Cd (II) และ Cu (II) ได้ร้อยละ  $99.54 \pm 0.08$  และ  $99.89 \pm 0.89$  ตามลำดับ และไม่สามารถตรวจพบ Pb (II) และ Zn (II) ในสารละลายหลังการตกตะกอน และเปลือกไข่ไก่เผาที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่าความสามารถกำจัด Zn (II) ลดลง โดย pH ของสารละลายหลังการตกตะกอนของ CES2, CES3 และ CES4 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10-11 ซึ่งเมื่อ pH สูงขึ้นจะทำให้เกิดโลหะแอมโฟเทริก (amphoteric) ทำให้สามารถกลับมาละลายน้ำได้มากขึ้น [12] และค่า pH หลังการตกตะกอนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งเมื่อพิจารณาความเหมาะสมของสารตกตะกอนเปลือกไข่ไก่เผาทั้ง 4 ชนิดต่อการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอน

พบว่าความสามารถในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดของเปลือกไข่ไก่เผาทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นเปลือกไข่ไก่เผาชนิด CES1 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

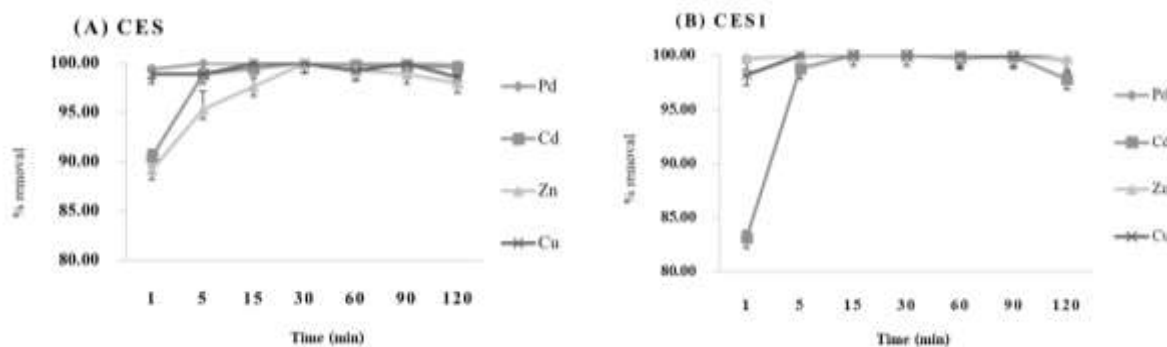


ภาพที่ 1 ร้อยละการกำจัดโลหะหนัก 4 ชนิด ด้วยเปลือกไข่ไก่ (CES) และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1, CES2, CES3 และ CES4) ในสารละลาย pH เริ่มต้นและปรับ pH เท่ากับ 4, 7 และ 9

## 2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนโลหะหนัก

ผลการศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการตกตะกอนโลหะหนัก การศึกษาเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาที่ระยะเวลา 1, 3, 5, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที ในสารละลายโลหะหนักที่มี pH เท่ากับ 7 พบว่าสามารถกำจัดได้ดีตั้งแต่ 1 นาทีแรกเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดก็เพิ่มขึ้นด้วยจนเข้าสู่จุดอิ่มตัวร้อยละการกำจัดจะเริ่มคงที่ ดังภาพที่ 2 พบว่าจุดอิ่มตัวที่ระยะเวลา 30 นาที โดยเปลือกไข่ไก่มีความสามารถในการกำจัด Zn (II) ร้อยละ  $99.95 \pm 0.13$  และสามารถกำจัด Pb (II), Cd (II) และ Cu (II) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่สามารถตรวจพบหลังการตกตะกอน ดังภาพที่ 2 (A) และเปลือกไข่ไก่เผาสามารถกำจัดโลหะหนัก Pb (II), Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดย

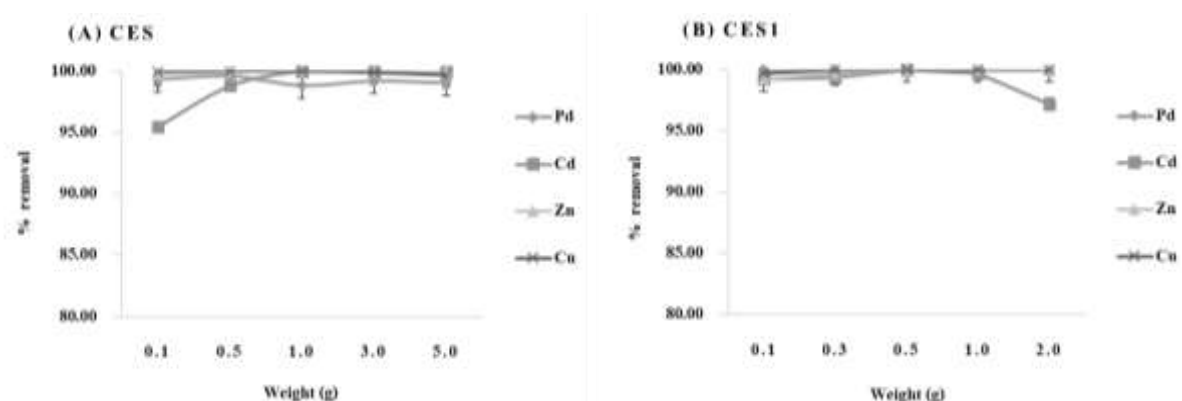
ไม่สามารถตรวจพบหลังการตกตะกอนดังภาพที่ 2 (B) ซึ่งหลังระยะเวลาที่ 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลง



ภาพที่ 2 ร้อยละการกำจัดโลหะหนัก 4 ชนิดด้วยเปลือกไข่ไก่ (CES) และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1) ตามระยะเวลาดตกตะกอนต่างกัน

### 2.3 ผลการศึกษาของปริมาณสารตกตะกอนจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผา

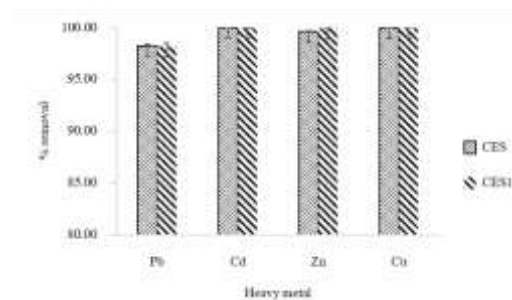
ผลการศึกษาปริมาณสารตกตะกอนจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาในสารละลายโลหะหนักที่ปรับ pH เท่ากับ 7 และระยะเวลาการกำจัด 30 นาที พบว่าเปลือกไข่ไก่ปริมาณ 1.0 กรัม มีความสามารถกำจัด Pb (II) ได้ร้อยละ  $98.82 \pm 0.19$  และไม่สามารถตรวจพบ Cu (II), Cd (II), และ Zn (II) หลังการตกตะกอน ดังภาพที่ 3 (A) และเปลือกไข่ไก่เผา ปริมาณ 0.5 กรัมสามารถกำจัด Pb (II), Cd (II), Zn (II) และ Cu (II) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยหลังการตกตะกอนไม่สามารถตรวจพบโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ดังภาพที่ 3 (B) แสดงให้เห็นว่าการตกตะกอนโลหะหนักเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นเบส ดังนั้นเมื่อเติมเปลือกไข่ไก่หรือเปลือกไข่ไก่เผาเพิ่มขึ้น จะทำให้สารละลายมีสภาวะเป็นเบสเพิ่มขึ้นร้อยละการตกตะกอนจึงเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมปริมาณมากเกินไปจะเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนที่ทำให้เกิดการตกตะกอนลดลง เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของปริมาณสารตกตะกอน ดังภาพที่ 3 พบว่าปริมาณสารตกตะกอนเปลือกไข่ไก่ที่เหมาะสมคือ 1.0 กรัม และปริมาณเปลือกไข่ไก่เผาที่เหมาะสมคือ 0.5 กรัม



ภาพที่ 3 ร้อยละการกำจัดโลหะหนัก 4 ชนิดด้วยเปลือกไข่ไก่ (CES) 0.1 – 5.0 กรัม และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1) 0.1 -2.0 กรัม

### 3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในสารละลายโลหะหนักผสม

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาในสารละลายโลหะหนักผสม 4 ชนิดได้แก่ Pb (II), Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) แต่ละชนิดเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับ pH เท่ากับ 7 โดยการทดลองใช้ปริมาณสารตกตะกอนจากเปลือกไข่ไก่ 1.0 กรัม และเปลือกไข่ไก่เผา 0.5 กรัม จากการศึกษาพบว่าเปลือกไข่ไก่ (CES) สามารถกำจัด Pb (II), Cd (II), Cu (II) และ Zn (II) ได้ร้อยละ 98.30±0.17, 99.96±0.01, 99.98±0.05 และ 99.97±0.02 ตามลำดับ และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1) สามารถกำจัดโลหะหนักได้ร้อยละ 98.20±0.33, 100.00±0.00, 100.00±0.04 และ 99.96±0.03 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4 พบว่าเปลือกไข่ไก่ (CES) และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1) มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูงใกล้เคียงกัน แต่ใช้ปริมาณเปลือกไข่ไก่อมากกว่าเปลือกไข่ไก่เผา 1 เท่า ดังนั้นเปลือกไข่ไก่เผาจึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนมากกว่าเปลือกไข่ไก่ เนื่องจากเปลือกไข่ไก่เผามีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์มากกว่าเปลือกไข่ไก่ เมื่อค่า pH สูงขึ้นจนเป็นเบสจะทำให้สารประกอบไฮดรอกไซด์ปฏิกิริยากับโลหะเกิดการตกตะกอนของโลหะในรูปไฮดรอกไซด์ [13] และสามารถละลายน้ำได้ง่ายกว่าเปลือกไข่ไก่



ภาพที่ 4 ร้อยละการกำจัดโลหะหนักในสารละลายโลหะหนักผสม 4 ชนิด ด้วยเปลือกไข่ไก่ (CES) และเปลือกไข่ไก่เผา (CES1)

### สรุปการวิจัย

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดด้วยสารตกตะกอนจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการเผาที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่าเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผา 1 ชั่วโมงมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับ pH เท่ากับ 7 ระยะเวลาการตกตะกอน 30 นาที โดยใช้ปริมาณเปลือกไข่ไก่ 1.0 กรัมและใช้เปลือกไข่ไก่เผาเพียง 0.5 กรัม ซึ่งสามารถกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักผสมในสารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการกำจัดโลหะหนักจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นเบสจึงควรนำไปใช้กับน้ำเสียที่มีค่า pH 4-7 และควรมีการนำเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาไปทดสอบประสิทธิภาพในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมหรือชุมชน รวมถึงศึกษาสภาวะการปลดปล่อย โลหะหนักของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่เผาเพื่อหาปริมาณสารโลหะหนักที่มีการปลดปล่อยหลังการบำบัดน้ำเสีย และหาแนวทางในการกำจัดกากของเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักเพื่อลดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น นำกากของเสียมาผสมกับวัสดุอัดประสาณ การทำให้เป็นก้อนหล่อแข็ง เป็นต้น ดังนั้นการใช้เปลือกไข่ไก่เผามีความเหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนมากกว่าเปลือกไข่ไก่ และเป็นวัสดุเหลือใช้ทางครัวเรือน อุตสาหกรรมที่มีต้นทุนต่ำ และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้



## เอกสารอ้างอิง

1. Hincke M, Gautron J, Rodriguez-Navarro AB, McKee MD. The eggshell: structure and protective function. Woodhead Publishing Limited; 2011
2. Teepakorn P, The use of leftover eggshells. Community Research Journal. Mahasarakham University 2017; 6: 24-28. Thai
3. Saliha E, Laila M, Fatima B, Marie NP, Jean PL, Naaila O. Removal of Cr (III) from chrome tanning wastewater by adsorption using two natural carbonaceous materials: Eggshell and powdered marble. Journal of Environmental Management. 2016; 166: 589-595
4. Ziad TAA, Mohammed AI, Huda MM. Eggshell Powder as An Adsorbent for Removal of Cu (II) and Cd (II) from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies, College of Engineering Journal. 2016; 91: 186-193.
5. Thongthai W. Characterization of calcium oxide derived from waste eggshell and its application as CO<sub>2</sub> sorbent. Ceramics International. 2011; 37: 3291-3298
6. Teepakorn P. Synthesis of High Specific Surface Area of Calcium Oxide (CaO) from Chicken Eggshell Waste. Master of Science. Environmental Technology. Mahasarakham University; 2018
7. Chatchawat P, Chutima S. Preparation of organic calcium from Eggshell for Dietary Supplements. [dissertation]. Mahidol University; 2010
8. Land Development Department. Preparation of heavy metal solution. [internet]. 2017. [cited 2020. Dec 31] Available from : <https://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-05.pdf>. Thai
9. Somchai L, Ajchara IP, Yuwadee C, Kanokwan S, Apipong P. Synthesis of High Surface Area of CaO from Industrial Eggshell Waste via Chemical Processes. The 13<sup>th</sup> Mahasarakham University Research Conference. 2560; 206-213.
10. Teepakorn P. Synthesis of High Specific Surface Area of Calcium Oxide (CaO) from Chicken Eggshell Waste. Master of Science. Environmental Technology. [dissertation]. Mahasarakham University; 2018.
11. Teepakorn P, Ajchara IP, Apipong P. Effect of Calcination Time on Physical and Chemical Properties of CaO-catalyst Derived from Industrial-eggshell. [internet]. 2017. [2020. Dec 31] Available from: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/JSMU/10985185.pdf>.
12. Wanpen W. Chemical Wastewater Treatment Process. [internet]. 2017. [2020. Dec 21] Available from : [http://monre.myqnapcloud.com/2017/emsp/images/doc/10\\_appendix\\_306\\_powerpoint\\_chemical\\_wastewater\\_treatment\\_process.pdf](http://monre.myqnapcloud.com/2017/emsp/images/doc/10_appendix_306_powerpoint_chemical_wastewater_treatment_process.pdf).
13. Anisa T, Monthon T, Unnop H. Treatment of heavy metal contaminated water by natural mixed shell (Krasa). National Symposium Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. Kasetsart University; 2012. Thai