Pathumwan Academic Journal, Vol. 12, No. 35, September - December 2022: 80 - 91

การกำจัดตะกั่วและทองแดงที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้วิธีตกตะกอนทางเคมีด้วยเปลือกหอย

Removal of Lead and Copper from contaminated water using shells chemical precipitation

ลักษณาทิตย์ พิงคารักษ์[1,*] สายฝน ทิศกองราช[2] เมธาวี ธรรมประเสริฐ[3] และ คีตกาญจน์ จันทร์ทอง[3]

[1]สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
272 ถนนสุราษฎร์-นาสาร ตำบลขุนทะเล อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

[2]ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
31 หมู่ 6 ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

[3]โรงเรียน มอ.วิทยานุสรณ์ สุราษฎร์ธานี
31 หมู่ 6 ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

E-mail: luckypruksa@gmail.com

Lucksanatid Pingcarak[1,*], Sayfon Tidkongrach[2], Metawee Thammaprasert[3] and Kitakarn Janthong[3]

[1] Department of Public Health Faculty of Science and Technology Surat Thani Rajabhat University
272 Surat-Nasan Road, Khun Thale Subdistrict, Mueang District, Surat Thani 84100

[2] Central Science Laboratory and Instrumentation Center Prince of Songkla University Surat Thani Campus
31 Moo 6, Makham Tia Subdistrict, Mueang District, Surat Thani 84000

[3] PSU Wittayanusorn Surat Thani School
31 Moo 6, Makham Tia Subdistrict, Mueang District, Surat Thani Province 84000

E-mail: luckypruksa@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้เปลือกหอย 4 ชนิด เป็นสารตกตะกอนทางเคมี คือ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยลาย โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก (ตะกั่ว และทองแดง) ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยที่เตรียมจากอุณหภูมิ 200 และ 900 ºC ผลการศึกษาพบว่าเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง 900 ºC สามารถกำจัดตะกั่วและทองแดงได้ดีกว่าเปลือกหอยที่อบด้วยอุณหภูมิ 200 ºC โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูงสุดได้ 100 % และพบว่าเปลือกหอยลายสามารถกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด คิดเป็น 50.07 % รองลงมา คือ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยแมลงภู่ คิดเป็น

Research Paper
***Corresponding author**

Received 25 November 2022
Revised 19 December 2022
Accepted 21 December 2022

49.15 %, 48.44 % และ 43.83 % ตามลำดับ นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการกำจัดโลหะตะกั่วและทองแดงที่ช่วง pH 5, 7, 9 และ 11 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดตะกั่วและทองแดงคือ pH 9 โดยทุกชนิดเปลือกหอย มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงที่สุดมีค่าระหว่าง 86 - 90 % และประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงสูงที่สุด เท่ากับ 90 %

คำสำคัญ: การตกตะกอนทางเคมี; โลหะหนัก; เปลือกหอย; การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

In this research, chemical precipitation was studied using 4 types of shells as chemical precipitants, as follows, oyster shells, Mussel shells, Cockle shell and striped shells. The efficiency of heavy metal removal (lead and copper) contaminated in synthetic wastewater was studied by shells prepared at 200 and 900 ºC temperatures. Better than shells baked at 200 ºC with a maximum efficiency of 100 % heavy metal removal. And it was found that striped shells removed the most lead. Accounted for 50.07 %, followed by cockle shells oyster shells and mussel shells accounted for 49.15 %, 48.44 % and 43.83 %, respectively. In addition, this study compared the removal effect of lead and copper at pH 5, 7, 9 and 11. It was found that the optimum condition for lead and copper removal was pH 9 by all kinds of shells the highest lead removal efficiency is between 86 - 90% and the highest copper removal efficiency is 90%.

Keywords: Chemical precipitation; Heavy mental; Shells; Wastewater Treatment

1. บทนำ

ปัจจุบันพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีการเติบโตของอุตสาหกรรมประกอบกับกิจกรรมจากมนุษย์ เช่นจากอุตสาหกรรมชุบเคลือบ, อุตสาหกรรมแบตเตอรี่, อุตสาหกรรมเหมืองแร่, อุตสาหกรรมสิ่งทอ, อุตสาหกรรมกระดาษ, อุตสาหกรรมปิโตรเคมี หรือมีการใช้ปุ๋ย และยาฆ่าแมลง เป็นต้น โดยโลหะหนักมักจะเกิดการปนเปื้อนมากับน้ำแล้วเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศ โลหะหนักเป็นกลุ่มธาตุที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และไม่สลายตัว ดังนั้นจึงพบการปนเปื้อนของโลหะในน้ำ [1] โลหะหนักที่พบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในระดับปานกลางถึงสูงได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิเกิล แมงกานีส สารหนู ปรอท เป็นต้น [2] โลหะหนักที่อยู่ในแหล่งน้ำจะไปสะสมอยู่ในลักษณะฟิล์มที่บริเวณผิวหน้าน้ำหรือถูกดูด

ซับไว้กับสารแขวนลอยแล้วค่อยๆ ตกตะกอนไปสู่เบื้องล่าง ซึ่งการสะสมของตะกอนโลหะหนักอาจมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย และอาจทำให้มนุษย์มีโอกาสได้รับโลหะหนักปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายผ่านทางสัตว์น้ำและพืชน้ำ [3] พิษจากโลหะหนัก (Heavy metal poisoning) มักจะทำให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อสุขภาพ หากได้รับการสะสมโลหะหนักมากเกินกว่ามาตรฐานที่สามารถรับได้ จะทำลายเนื้อเยื่อ และยังเกิดความผิดปกติต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ระบบเลือด ปอด ไต และอวัยวะสำคัญอื่นๆ ซึ่งพบได้ทั้งชนิดเฉียบพลัน และเรื้อรัง พิษจากโลหะหนักที่พบเป็นส่วนใหญ่นั้น ได้แก่ โรคพิษตะกั่ว (Lead poisoning) โรคพิษสารหนู (Arsenic poisoning) โรคพิษแคดเมียม (Cadmium poisoning) ไข้ไอโลหะ (Metal fume fever) เป็นต้น [4] จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับแหล่งน้ำ ทั้งนี้มีวิธีการกำจัดโลหะหนักได้หลากหลายวิธี ได้แก่ การปรับพีเอช (pH Adjustment) การออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) การรีดักชันทางเคมี (Chemical Reduction) การปรับค่า pH (pH Adjustment) การแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) การสร้างรวมตะกอน (Coagulation - Flocculation) และการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) ซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพคือการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) วิธีนี้อาศัยการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย เพื่อทำปฏิกิริยากับสารมลพิษที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย (soluble form) เปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble form) เกิดเป็นตะกอนซึ่งจมตัวได้ สำหรับสารเคมีที่เติมเพื่อช่วยในการตกตะกอนที่นิยมใช้มีทั้งหมด 4 ประเภท คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ การตกตะกอนซัลไฟด์ การตกตะกอนคาร์บอเนต และการตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดร์ [5] การตกตะกอนด้วยสารประกอบคาร์บอเนตเหมาะสมสำหรับการตกตะกอนโลหะ แคดเมียม นิเกิล และตะกั่ว ส่วนการตกตะกอนด้วยสารประกอบไฮดรอกไซด์เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนโลหะ แคดเมียม โครเมียม (III) ทองแดง และนิเกิล [6] ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง (pH) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย การตกตะกอนทางเคมีจึงจำเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วงที่ทำให้โลหะหนักนั้นสามารถละลายน้ำได้น้อยที่สุด [3]

ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยคำนึงถึงต้นทุนต่ำ ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักที่ดี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นักวิจัยหลายท่านได้สนใจศึกษากำจัดโลหะหนักด้วยเปลือกหอยด้วยวิธีการดูดซับ ซึ่งได้ผลดีเป็นที่ยอมรับได้ [3] [7] [8] [9] ในส่วนของงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดโลหะหนัก (ตะกั่วและทองแดง) โดยใช้เปลือกหอยเป็นสารตกตะกอนทางเคมี ทั้งนี้เพื่อความหลากหลายของวิธีการกำจัดโลหะหนัก อีกทั้งเปลือกหอยยังเป็นวัสดุในท้องถิ่นที่มีปริมาณมาก โดยเฉพาะเปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยลาย เป็นต้น การศึกษาทำโดยเตรียมเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 200 และ 900 องศาเซลเซียส (°C) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเปลือกหอย [10] พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยความเป็นกรดด่าง (pH) ของการตกตะกอนโลหะหนัก

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

งานวิจัยนี้ได้ใช้เปลือกหอย 4 ชนิด เป็นสารตกตะกอนทางเคมี คือ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยลาย ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก (ตะกั่ว และทองแดง) ในน้ำเสียสังเคราะห์ เปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด มาบดแล้วนำไปอบที่ 200 ºC และเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC ก่อนนำไปเป็นสารตกตะกอนทางเคมี และศึกษาปัจจัยความเป็นกรดด่างที่มีผลต่อการตกตะกอนโลหะหนักโดยทำการทดลองในช่วง pH 5 – 11

สารเคมีที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นสารเคมีเกรดวิเคราะห์ ตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมมาตรฐานเป็นน้ำที่ปราศจากไอออน และกรดไนตริก (Nitric acid:,HNO_3) สำหรับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานโลหะหนักที่ความเข้มข้น 1,000 ppm นั้นได้ใช้สารมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัท เมอร์ค ประเทศเยอรมนี คือ เลด(II) ไนเตรต(Lead(II) nitrate:),$Pb(NO_3)_2$) และ คอปเปอร์(II)ซัลเฟต(เพนตะไฮเดรต) (Copper(II) sulphate (pentahydrate):),$CuSO_4.5H_2O$) การศึกษาผลความเป็นกรดด่างใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) สำหรับปรับค่าความเป็นกรดด่างให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสม

2.2 เครื่องมือ

งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer: AAS) จากบริษัท GBC Scientific Equipment Ltd. รุ่น 932 Plus ใช้หลอดไฟ P409 Pb lamp สำหรับ Photon application และใช้เปลวไฟไนตรัสออกไซด์-อะเซทิลีน

2.3 การเตรียมเปลือกหอยเพื่อเป็นสารตกตะกอนทางเคมี

นำเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยลาย มาล้างทำความสะอาดด้วยสารละลายผงซักฟอก และล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด จากนั้นนำไปตากแห้ง แล้วนำเปลือกหอยที่แห้งมาบดหยาบๆ ชั่งน้ำหนัก ถ้วยละ 0.25 กรัม นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 200 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำส่วนหนึ่งไปเผาต่อเนื่องด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC เป็นเวลา 5 ชั่วโมง การเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิสูงถึง 900 ºC ทำให้โครงสร้างเปลือกหอยเปลี่ยนจาก $CaCO_3$ กลายเป็น CaO ดังสมการ (1) เมื่อเผาครบเวลาแล้วทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมากรองด้วยตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร พร้อมเก็บตัวอย่างในโถดูดความชื้น [10] [11]

$$CaCO_3 \cdot 0.4H_2O \xrightarrow[\text{Evaporation of } H_2O]{450^\circ C} CaCO_3 \xrightarrow[\text{Evaporation of } H_2O]{700\text{-}1000^\circ C} CaO \quad (1)$$

2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของตะกั่วและทองแดง 1,000 ppm

สารละลายมาตรฐานตะกั่วจาก $Pb(NO_3)_2$ เตรียมโดยชั่ง $Pb(NO_3)_2$ 1.6146 กรัม และสารละลายมาตรฐานทองแดงจาก $CuSO_4.5H_2O$ เตรียมโดยชั่ง $CuSO_4.5H_2O$ 3.93 กรัม แล้วนำมาละลายและปรับปริมาตรด้วย กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรจนถึงขีดวัดปริมาตร [10]

เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution (1,000 ppm) สำหรับศึกษาการกำจัดตะกั่วและทองแดงและชนิดของเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 200 และ 900 ˚C ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 ppm โดยปิเปตจาก stock solution 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และนำสารละลายทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) [3]

เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution (1,000 ppm) สำหรับศึกษาการกำจัดตะกั่วและทองแดงที่ pH 5-11 โดยใช้เถ้าเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 ˚C ที่ความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 ppm โดยปิเปตจาก stock solution 12.5, 25.0, 37.5 และ 50.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และนำสารละลายทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) [3]

2.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและทองแดง โดยใช้เปลือกหอยจากการเตรียมที่อุณหภูมิ 200 และ 900 ºC

ทำการทดลองด้วยการนำผงเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 200 และ 900 ºC มาชั่งน้ำหนัก กำหนดให้น้ำหนักเท่ากันทุกชนิด 0.25 กรัม พร้อมทั้งเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วและทองแดงตามลำดับ ดังนี้ โดยปิเปตสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ จาก stock solution (1,000 ppm) มา 200 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จะได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้น 200 ppm และเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะทองแดงที่ความเข้มข้น 200 ppm เช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนเป็นปิเปตมาจากสารละลาย $CuSO_4.5H_2O$ จาก stock solution (1,000 ppm) 200 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เช่นกัน

จากนั้นใส่ผงเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดที่ชั่งเรียบร้อยแล้วลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วและทองแดง ปริมาตร 25 มิลลิลิตรเท่ากันทุกบีกเกอร์ [3] ปิดฝาด้วยฟอยด์ ใช้มือเขย่าเพื่อให้สารละลายกับตัวอย่างเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายมากรองเอาตะกอนเปลือกหอยออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย [9]

2.6 การศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วและทองแดง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและทองแดง โดยชั่งผงเปลือกหอยจากการเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC ทั้ง 4 ชนิด กำหนดให้น้ำหนักเท่ากันทุกชนิด 0.25 กรัม พร้อมทั้งเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่วและทองแดงตามลำดับ ดังนี้ สารละลาย 1000 ppm $Pb(NO_3)_2$ และ 1,000 ppm $CuSO_4.5H_2O$ ทำการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 5, 7, 9 และ 11 ตามลำดับ โดยปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นใส่ผงเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดที่ชั่งเรียบร้อยแล้วลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่วและทองแดงที่ปรับค่า pH แล้ว ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยฟอยด์ ใช้มือเขย่าเพื่อให้สารละลายกับตัวอย่างเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายมากรองเอาตะกอนเปลือกหอยออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย [3] [7]

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

3.1 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพของเปลือกหอย

เปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดเมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 ºC และไปเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC พบว่ามีลักษณะทางกายภาพและร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนไป ดังแสดงในตารางที่ 1 ผลการศึกษา พบว่าเปลือกหอยทุกชนิดมีน้ำหนักลดลงจากก่อนเผาอยู่ในช่วง 45-52 % โดยเปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยแครงมีน้ำหนักลดลงมากกว่าเปลือกหอยอีก 2 ชนิด โดยมีค่าเท่ากับ 52.58 และ 52.18 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเผาเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดที่อุณหภูมิสูง เปลือกหอยมีความอ่อนตัวมากสามารถบดละเอียดได้ง่าย และเถ้าเปลือกหอยมสีค่อนข้างขาว (ยกเว้นเถ้าเปลือกหอยนางรมที่มีสีขาวปนน้ำตาล และ เถ้าเปลือกหอยแมลงภู่ ที่มีสีขาวปนเทา) แสดงว่าเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากแคลเซียมออกไซด์ไปเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ สอดคล้องกับรายงานทางวิชาการที่ระบุว่า เปลือกหอยทุกชนิดจะพบองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมี ประมาณ 95-98 % แต่เมื่อให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 700-1,000 ºC จะเกิดการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ภายใต้การเผาที่อุณหภูมิสูงนี้ เป็นการสันดาปสมบูรณ์ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยพบว่ามีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ประมาณ 53-56 % ในขณะที่การเผาที่อุณหภูมิต่ำ 200 ºC เปลือกหอยทุกชนิดมีน้ำหนักลดลงเพียงเล็กน้อย เป็นไปได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำจะเป็นการสูญเสียน้ำหรือสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเปลือกหอยบางส่วนเท่านั้น [7] [8] [12]

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป

ชนิดของเปลือกหอย	อุณหภูมิห้อง		200 ºC			900 ºC		
	สี	ความอ่อนตัว	สี	ความอ่อนตัว	% Total Solids	สี	ความอ่อนตัว	% Total Solids
เปลือกหอยนางรม	ขาวปนเทา	แข็ง	ขาวปนเทา	แข็ง	15.34	ขาวปนน้ำตาล	เปราะบาง	52.18
เปลือกหอยแมลงภู่	ดำปนเขียว	แข็ง	ขาวปนดำ	เปราะบาง	2.45	ขาวปนเทา	เปราะบาง	47.69
เปลือกหอยแครง	ขาวปนดำ	แข็ง	ขาวปนน้ำตาล	แข็ง	3.27	ขาว	เปราะบาง	52.58
เปลือกหอยลาย	ขาวปนน้ำตาล	เปราะบาง	ขาวปนน้ำตาล	เปราะบาง	1.74	ขาว	เปราะบาง	45.04

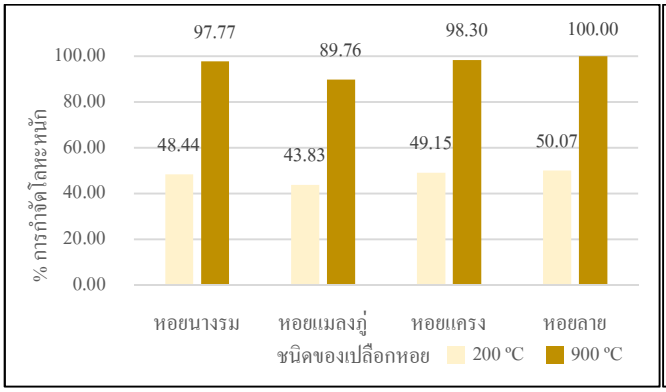
3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักตะกั่วและทองแดงโดยใช้เปลือกหอยเป็นสารตกตะกอนทางเคมี

การศึกษาการตกตะกอนทางเคมีในการกำจัดตะกั่วและทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 ppm ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงเปลือกหอย 4 ชนิดที่ได้มาจากการอบและเผาที่อุณหภูมิ 200 และ 900 ºC ตามลำดับ โดยใช้น้ำหนักของผงเปลือกหอยเท่ากันทั้ง 4 ชนิด (0.25 กรัม) ผลการศึกษาพบว่า ผงเปลือกหอยที่อบด้วยอุณหภูมิ 200 ºC สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีกว่าทองแดง และพบว่าผงเปลือกหอยลายสามารถกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 50.07 % รองลงมา คือ ผงเปลือกหอยแครง ผงเปลือกหอยนางรม และผงเปลือกหอยแมลงภู่ เท่ากับ 49.15, 48.44 และ 43.83 % ตามลำดับ ส่วนผงเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 ºC สามารถกำจัดทองแดงได้ดีกว่าตะกั่ว โดยผงเปลือกหอยทุกชนิดที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 ºC มีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้เป็น 100 % ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมผงเปลือกหอยที่อุณหภูมิต่างกัน มีผลทำให้โครงสร้างของเปลือกหอยเปลี่ยนแปลง คือ ผงเปลือกหอยที่อบด้วยอุณหภูมิ 200 ºC ยังคงมีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดิม ส่วนผงเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 ºC เปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมออกไซด์ [10] จึงทำให้ที่อุณหภูมิ 900 ºC ทองแดงสามารถตกตะกอนได้ดีกว่าตะกั่ว เพราะสารประกอบไฮดรอกไซด์ทำให้ทองแดง (Cu^{2+}) มีความสามารถในการละลายต่ำ เท่ากับ 0.022 มิลลิกรัมต่อลิตร [13] ต่างจากตะกั่ว (Pb^{2+}) เมื่อละลายในสารประกอบไฮดรอกไซด์จะทำให้ค่าการละลายสูง เท่ากับ 2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร [13] ดังนั้นทำให้ตะกั่ว (Pb^{2+}) ตกตะกอนได้น้อย และส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักมีค่าน้อยกว่าทองแดง (Cu^{2+}) เพราะตะกั่ว (Pb^{2+}) สามารถละลายในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่วได้ดีกว่าทองแดงนั่นเอง เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 200 ºC พบว่าตะกั่วสามารถตกตะกอนได้ดีกว่าทองแดง เพราะเมื่อสารประกอบคาร์บอเนตทำให้ตะกั่ว (Pb^{2+}) มีความสามารถในการละลายต่ำ เท่ากับ 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร

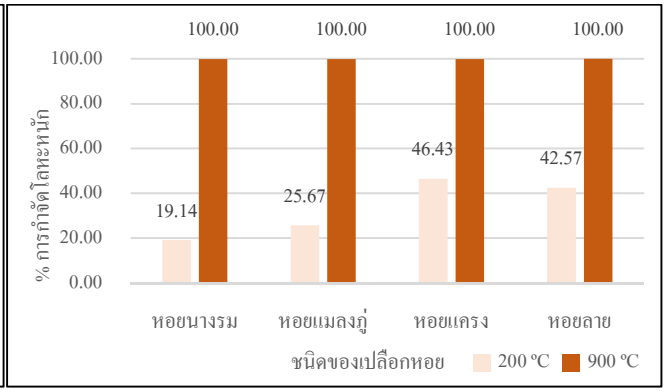
[12] จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วมีค่ามากกว่าทองแดง (Cu^{2+}) ดังแสดงในตารางที่ 2 และประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและทองแดงดังแสดงในที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและทองแดงของเปลือกหอยแต่ละชนิด

ชนิดของเปลือกหอย	ความเข้มข้น (ppm)	ตะกั่ว						ทองแดง					
		200 ºC			900 ºC			200 ºC			900 ºC		
	ครั้งที่	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
เปลือกหอยนางรม	200	102.28	102.76	104.34	4.19	3.89	5.30	161.43	160.79	162.94	0.00	0.00	0.01
เปลือกหอยแมลงภู่	200	113.68	112.79	110.56	20.24	21.02	20.19	149.43	147.79	148.77	0.00	0.20	0.00
เปลือกหอยแครง	200	100.43	102.71	101.95	3.41	3.11	3.67	109.88	104.99	106.55	0.00	0.00	0.00
เปลือกหอยลาย	200	98.72	101.23	99.64	0.00	0.00	0.01	114.89	113.64	116.04	0.00	0.00	0.00



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว ของเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 200 และ 900 ºC



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง ของเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 200 และ 900 ºC

3.3 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วและทองแดง

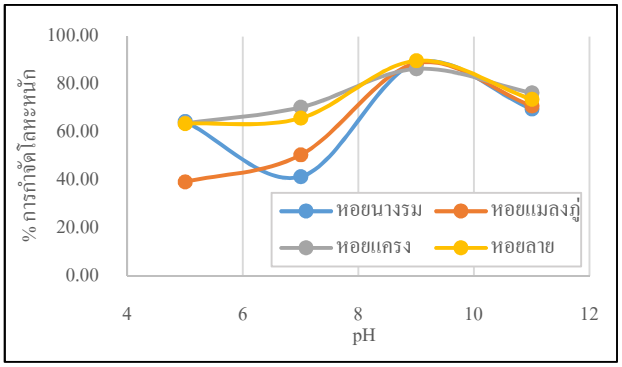
การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) จำเป็นต้องควบคุมค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วงที่ทำให้มลสารนั้นละลายน้ำได้น้อยที่สุดหรือตกตะกอนได้มากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำผงเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง 900 ºC ที่ถูกเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์หรือสารประกอบออกไซด์ไปแล้วนั้น [10] มาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนตะกั่วและทองแดงที่ pHต่างกัน คือ ที่ pH 5 pH 7 pH 9 และ pH 11 ทั้งนี้พบว่าน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารละลายโลหะหนักส่วนใหญ่จะมีสภาพเป็นกรด (มีค่า pH ต่ำกว่า 7) [14] การเกิดตะกอนผลึกที่ดีต้องพิจารณาค่า pH หลังเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและต้องมี pH สูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี สำหรับทองแดงจะตกตะกอนได้เป็น $Cu(OH)_2$ ที่ pH 9-10 และตะกั่วสามารถ

ตกตะกอนได้เป็น $Pb(OH)_2$ ที่ค่า pH 6-10 [15] เมื่อนำผงเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง 900 ºC เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์ และวัดค่า pH พบว่ามีความเป็นด่างสูง ค่า pH อยู่ระหว่าง 12-13 ดังแสดงในตารางที่ 2

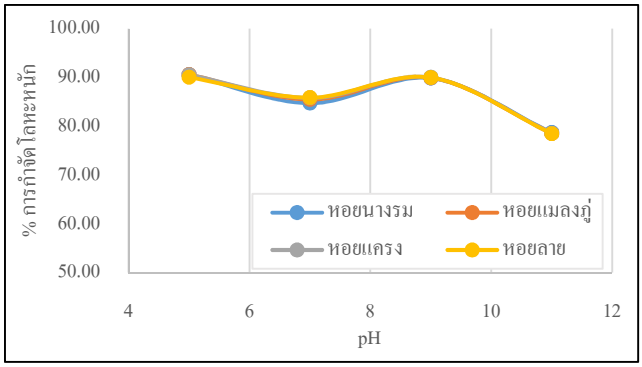
ตารางที่ 3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและทองแดงที่ pH 5-11 โดยใช้เถ้าเปลือกหอยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 ºC เป็นสารตกตะกอนทางเคมี

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ppm)	น้ำหนักหอย (กรัม)	pH เริ่มต้น	% การกำจัดโลหะตะกั่ว				% การกำจัดโลหะทองแดง			
				pH 5	pH 7	pH 9	pH 11	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
เปลือกหอยนางรม	1,000	0.25	13.53	64.53	41.41	88.97	69.73	90.54	84.75	89.88	78.74
เปลือกหอยแมลงภู่	1,000	0.25	12.62	39.17	50.53	88.89	71.03	90.61	85.49	89.95	78.56
เปลือกหอยแครง	1,000	0.25	12.87	63.78	70.46	86.50	76.45	90.56	85.81	90.02	78.58
เปลือกหอยลาย	1,000	0.25	12.50	63.58	65.91	89.92	73.77	90.06	85.88	89.99	78.52

ค่า pH มีผลต่อการตกตะกอนทางเคมีในการกำจัดโลหะหนักของผลการศึกษาพบว่า เมื่อค่า pH ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าที่ pH 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกหอยทั้ง 4 ชนิด มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ pH อื่นๆ โดยเปลือกหอยลายมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด เท่ากับ 89.92 % รองลงมาคือ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยแมลงภู่ เท่ากับ 88.97, 88.89 และ 86.50 % ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานทางวิชาการที่ระบุว่า ช่วง pH 8.5 ถึง 9.0 เป็นช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนทางเคมีตะกั่วได้มากที่สุดและในช่วงค่า pH ระหว่าง 8.5 ถึง 12 ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปของตะกั่วออกไซด์ [16]



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วที่ pH 5-11 กับ เปลือกหอยที่อุณหภูมิ 900 ºC



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงที่ pH 5-11 กับ เปลือกหอยที่อุณหภูมิ 900 ºC

ผลการศึกษาค่า pH ที่มีต่อการตกตะกอนทางเคมีของทองแดงไอออน (Cu^{2+}) พบว่าที่ pH 5 และ pH 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงมีค่าสูงที่สุด (90 %) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 อย่างไรก็ตามอาจสรุปได้ว่าการศึกษานี้ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนทางเคมีของทองแดงคือ pH 9 เพราะสารประกอบไฮดรอกไซด์จะทำให้ทองแดงเริ่มตกตะกอนที่ pH 8 [16] และเมื่อ pH สูงขึ้นการตกตะกอนก็จะเพิ่มสูงขึ้น และเปลี่ยนรูปเป็นคิวปริกไฮดรอกไซด์ เมื่อมีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 9.0 – 10.3 [17]

4. สรุป

จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วและทองแดงที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้วิธีตกตะกอนทางเคมีด้วยเปลือกหอยเป็นสารตกตะกอนทางเคมี โดยใช้เปลือกหอย 4 ชนิด คือ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยลาย เปลือกหอยทั้ง 4 ชนิดถูกนำมาอบที่อุณหภูมิ 200 ºC และเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC นำผงเปลือกหอยแต่ละชนิด ปริมาณ 0.25 กรัมใส่ลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและทองแดงของผงเปลือกหอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC มีค่าสูงกว่าผงเปลือกหอยที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 ºC แสดงว่าที่อุณหภูมิ 900 ºC โครงสร้างของเปลือกหอยได้ถูกเปลี่ยนจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ จึงสามารถทำให้โลหะหนักละลายในน้ำได้น้อยหรือสามารถตกตะกอนโลหะหนักได้มากขึ้นนั่นเอง และผลการศึกษาพบว่าสำหรับผงเปลือกหอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 ºC ที่ pH 9 มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและทองแดงได้สูงที่สุด โดยประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว มีค่า 86 - 90 % และประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง มีค่า 90 %

5. ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาสารตกตะกอนทางเคมีและโลหะหนักชนิดอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักเพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายขึ้นด้วย

2. ควรวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยเพื่อตรวจสอบสารสำคัญจากการเตรียมสารตกตะกอนทางเคมี

เอกสารอ้างอิง

[1] N. A. Qasem, R.H. Mohammed and D.U. Lawal, " Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review," Nature Partner Journals, Vol. 4, No. 36, 2021, pp. 1-15.

[2] สุรัมภา เจริญศิลป์ และ ชยากร ภูมาศ, "มลภาวะโลหะหนักในประเทศไทยและการใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นดัชนีทางชีวภาพ," วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, 2563, หน้า 396-407.

[3] อาภาภรณ์ หมีคุ้ม และ ปิยะดา วชิระวงศกร, "การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยเปลือกหอยแครง เปลือกหอยลาย และเปลือกหอยแมลงภู่," การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น, ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 2558, หน้า 255-262.

[4] ธีรนาศ สุวรรณเรือง, "โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพ," วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ, ปีที่ 13, ฉบับที่ 1, 2563, หน้า 76-82.

[5] Wanpen Wirojanagud, Chemical Wastewater Treatment Process [Online], Available: http://monre.myqnapcloud.com/2017/emsp/images/doc/9_appendix_305lecturenote_chemical%20wastewater%20treatment%20process.pdf [November 15, 2022].

[6] จินตนา แก้วบริสุทธิ์, "การเตรียมแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงเพื่อการผลิตผงไฮดรอกซีอะพาไทต์," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547, หน้า 3-12.

[7] C. Ramakrishna, T. Thenepalli, S.Y. Nam, C. Kim and W. Ahn, "Extraction of Precipitated Calcium Carbonate from Oyster Shell waste and Its Applications," Journal of Energy Engineering, Vol. 27, No. 1, 2018, pp.51-58.

[8] M. Malacas, M.C. Balberan, N.A.J. Bederi, C.J. Ramos, M. Rato, A.G. Salazar and E. Roque, " The removal of copper (II) and lead (II) from aqueous solution using Fuller's earth and Fuller's earth-immobilized nanoscale zero valent iron (FE-NZVI) by adsorption," MATEC Web of Conferences, Vol. 268, No. 05006, 2019, pp. 1-6.

[9] ชินวัฒน์ ศาสนนันทน์, "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้วัสดุธรรมชาติในชุมชน," วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 2554, หน้า 8-10.

[10] สุภกร บุญยืน, มณฑา มาลัยทอง, อภิสิทธิ์ โพธิ์แก้ว, เบญญา เชิดหิรัญกร และ อิสรพงษ์ เชื้อสันเทียะ, "การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย," Thai Journal of Science and Technology, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, 2558, หน้า 115-122.

[11] Z. Jannah1, H. Mubarok, F. Syamsiyah, A. A. H Putri and L. Rohmawati, "Preparation of Calcium Carbonate (from Shellfish)/Magnesium Oxide Composites as an Antibacterial Agent," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 367, No. 012005, 2018, pp.1-6.

[12] ธนธรณ์ ปวงแก้ว, "การเตรียมแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงเพื่อการผลิตผงไฮดรอกซีอะพาไทต์," วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555.

[13] A. Pohl, "Removal of Heavy Metal Ions from Water and Wastewaters by Sulfur-Containing Precipitation Agents," Water Air Soil Pollut, Vol.231, No. 503, 2020, pp. 1-17.

[14] P. Aliprandini, M. Correa, A. Santanilla, J. Tenorio and D. Espinosa, "Precipitation of metals from synthetic laterite nickel liquor by NaOH," Conference: 8th International Seminar on Process Hydrometallurgy, Santiago - Chile, 2016, pp. 1-8.

[15] มยุรี พรหมพุทธา และ สมศักดิ์ ทะระถา, "การกำจัดโลหะหนักและสภาพความเป็นกรดของน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการด้วยหินปูน," วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550, หน้า 10-31.

[16] M.M. Brbootl, B.A. AbiD and N.M. Al-Shuwaikl, "Removal of Heavy Metals Using Chemicals Precipitation," Eng&Tech Journal, Vol.29, No. 3, 2011, pp. 595-612

[17] Siamchemi, ทองแดง (Copper) ประโยชน์ และพิษทองแดง [Online], Available: https://www.siamchemi.com/%E0%B8%97%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87/, [November 15, 2022].