โลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในประเทศไทย: โทษ วิธีการการตรวจวัด ปริมาณที่ตรวจพบ และวิธีการกำจัด

Heavy Metals in Environment Water Sources and Wastewater in Thailand: Harm, Measurement Methods, Detected Levels, and Removal Techniques

รวิวรรณ วัฑฒนายน[1*], นิอัสมีฮาน นิเซ็ง[2], สุชาดา ศรีชัย[2], และ กูดานีลา ประกอบการคดี[2]
Rawiwan Wattanayon[1*], Niasmihan Niseng[2], Suchada Srichai[2] and Kudanila Prakobkankdee[2]

(Received: 1 August 2024; Revised: 21 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

บทคัดย่อ

โลหะหนักถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและการเกษตรในปัจจุบัน เป็นผลให้โลหะหนักสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งในมนุษย์และสัตว์ การที่มนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตได้รับโลหะหนักเป็นเวลานาน ถึงแม้จะอยู่ในระดับความเข้มข้นในปริมาณต่ำก็สามารถส่งผลเสียต่อสุขภาพ ความพิการ โรค หรืออันตรายถึงแก่ชีวิตได้ การศึกษาแหล่งที่มา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กระบวนการสลายตัว รูปแบบการสะสมของโลหะหนัก และวิธีการกำจัดโลหะหนักจึงมีความสำคัญ เพื่อที่จะเข้าใจและหาวิธีการควบคุมปัญหาดังกล่าว โดยวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักจำเป็นต้องใช้เทคนิคขั้นสูง เนื่องจากปริมาณโลหะที่อยู่ในระดับต่ำ อีกทั้งยังต้องมีความแม่นยำและถูกต้องของวิธีในทุกขั้นตอน ตั้งแต่วิธีการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การกำจัดสิ่งรบกวน ตลอดจนวิธีการตรวจวัด โดยเทคนิคแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน งบประมาณ และความถนัดของผู้ควบคุม ซึ่งจะต้องใช้ในการพิจารณาในการเลือกวิธีการกำจัด จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักหลายพื้นที่ในประเทศไทย ท่าเทียบเรือกรุงเทพ ท่าเทียบเรือแหลมฉบัง ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำท่าตะเภา ปากแม่น้ำท่าจีน น้ำทิ้งและน้ำเสียจากโรงพยาบาลและอุตสาหกรรม อีกทั้งยังมีการตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในบริเวณชุมชนชาวประมง

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[1] Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University
[2] โรงเรียนมนร.วิทยานุสรณ์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
[2] PNU Wittayanusorn, Princess of Naradhiwas University
* Corresponding author, E-mail: rawiwan.w@pnu.ac.th

จังหวัดนราธิวาส โดยปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดในแหล่งน้ำอยู่ที่ระดับ mgL^{-1} และพบว่ามีหลายบริเวณมีปริมาณโลหะเกินค่ามาตรฐาน คือ ปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2554 พบแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลเกินมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดินเช่นเดียวกับบริเวณแม่น้ำท่าจีนและคลองสาขา (นครชัยถึงปากแม่น้ำท่าจีน) ในปี พ.ศ. 2556 พบสารหนูมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และบริเวณลำน้ำมูล ในปี พ.ศ. 2560 ตรวจพบสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

ในส่วนของวิธีการกำจัดโลหะหนักและการพัฒนาวิธีการกำจัดที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีการศึกษาอย่างกว้างขวางทั่วโลก ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนทางเคมี กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี การดูดซับ การออสโมซิสย้อนกลับ การสกัดตัวทำละลาย และการกรองด้วยเมมเบรน ทั้งนี้ เนื่องจากรายงานวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยยังมีน้อย จึงเห็นว่าควรที่จะมีการสนับสนุนให้มีการทำวิจัยและตีพิมพ์ให้มากกว่านี้

คำสำคัญ: โลหะหนัก สิ่งแวดล้อม การปนเปื้อน

Abstract

Heavy metals are widely used in industry and agriculture today. As a result, heavy metals can enter the food chain of living organisms, including humans and animals. Long-term exposure to heavy metals, even at low concentration levels, can adversely affect health, lead to disabilities, diseases, or even life-threatening conditions. Therefore, studying the sources, chemical transformations, degradation processes, accumulation patterns of heavy metals, and methods for their removal is crucial to understanding and finding ways to control these issues. The techniques used to measure the concentrations of heavy metals must employ advanced methods due to the low levels of these metals present. Additionally, the accuracy and precision of the methods must be ensured at every stage, from sampling, sample preparation, contamination removal, to the measurement methods. Each technique has its own strengths and weaknesses, depending on the application, budget, and expertise of the operator, which must be considered when selecting a removal method. Recent research has indicated that heavy metal concentrations have been measured in various locations in Thailand, including the Port of Bangkok, Laem Chabang Port, the upper Gulf of Thailand coastline, the Chao Phraya river, Tha Thapao estuary, the Tha Chin estuary, and wastewater from hospitals and industries.

Heavy metal contamination has also been detected in fishing communities in Narathiwat province, with measured levels in water sources reaching mgL^{-1}, and several areas exceeding standard limits. For instance, at the mouth of the Tha Thapao estuary in Chumphon province in 2011, cadmium, copper, lead, and nickel were found to exceed surface water standards. Similarly, in the Tha Chin estuary and its branches (from Nakhon Chai to the Tha Chin estuary) in 2013, arsenic levels exceeded surface water quality standards, and in the Mun River area in 2017, zinc, lead, cadmium, and copper were also found to exceed standard limits.

Regarding methods for removing heavy metals and developing effective and environmentally friendly removal techniques, extensive studies have been conducted worldwide, including ion exchange, chemical precipitation, electrochemical processes, adsorption, reverse osmosis, solvent extraction, and membrane filtration. Given that research reports on heavy metal contamination in the environment in Thailand are still limited, it should have more encouragement for research and publication.

Keywords: Heavy metal, Environment, Contamination

บทนำ

การขยายตัวของอุตสาหกรรมและการเกษตรในปัจจุบันส่งผลต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์และถือเป็นปัญหาระดับโลกที่สำคัญในปัจจุบัน การศึกษาแหล่งที่มา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กระบวนการสลายตัว รูปแบบการสะสมของโลหะหนัก และวิธีการกำจัดโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะเข้าใจและหาวิธีการควบคุมปัญหาดังกล่าว (Zou et al., 2016) โลหะหนักถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจักร และสิ่งประดิษฐ์ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนในแอปพลิเคชันเทคโนโลยีขั้นสูง เป็นผลให้โลหะหนักสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งในมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนจากการผุกร่อนตามธรรมชาติของดินและหิน แหล่งปนเปื้อนหลักได้แก่ ของเสียจากการทำเหมือง ตะกอนจากหลุมฝังกลบ น้ำเสียจากเทศบาล น้ำทิ้ง และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Tjandraatmadja et al., 2008; Taseidifar et al., 2017) การที่มนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตได้รับโลหะหนักเป็นเวลานาน ถึงแม้จะอยู่ในระดับความเข้มข้นในปริมาณต่ำก็สามารถส่งผลเสียต่อสุขภาพ ความพิการ โรค หรืออันตรายถึงแก่ชีวิตได้ น้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนักเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศทุกประเภท รวมถึงสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต แม้ว่าโลหะหนักบางชนิดจะจำเป็นต่อร่างกายและทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์เอนไซม์ ธาตุอาหารรอง

ตัวควบคุมความดันออสโมซิส และสารคงตัวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต แต่โลหะหนักส่วนใหญ่ไม่มีหน้าที่ทางชีวภาพที่ทราบแน่ชัด และอาจเป็นพิษได้หากมีมากเกินไป นอกจากนี้ โลหะหนักบางชนิด เช่น แคดเมียมและตะกั่ว แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็มีความเสี่ยงอย่างมากต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อันตรายต่อมนุษย์และปริมาณสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม (Lace & John, 2021)

โลหะหนัก	อันตรายต่อมนุษย์	ค่าสูงสุดตาม Environmental Protection Agency (mgL^{-1})	ค่าสูงสุดตาม World Health Organization (mgL^{-1})
ตะกั่ว (Pb)	อาการเฉียบพลันและเรื้อรัง คือ ปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ประสาทหลอน ซึม ไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตกเป็นอัมพาต สลบและอาจเสียชีวิตได้ อวัยวะที่มักถูกทำลายได้แก่ กระดูก สมอง ไต และต่อมไทรอยด์ เด็กที่ได้สารตะกั่วจะมีระดับ IQ ต่ำกว่าเด็กทั่วไป	0.015	0.01
โครเมียม (Cr)	ผิวหนังเกิดการอักเสบ เยื่อบุของอวัยวะภายในต่าง ๆ เกิดการระคายเคือง และถูกทำลาย ไตตับ และปอดทำงานผิดปกติ และถูกทำลายระบบหายใจขัดข้อง และล้มเหลวได้ง่าย เสี่ยงต่อการเสียชีวิตกะทันหัน	0.1	0.05
แคดเมียม (Cd)	โรคไต กระดูกผุ ปวดบริเวณเอวและหลัง เป็นสารก่อมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งปอด มะเร็งต่อม ลูกหมากและไต พิษจากสารแคดเมียม ที่รู้จักกันดี คือ โรคอิไต อิไต	0.005	0.003
อาร์เซนิค (As)	ตับอักเสบ ทำลายตับ และทำลายระบบสมอง ไม่สามารถควบคุมการทรงตัวได้ ชาตามแขนขา แขนขาบิดเบี้ยวคล้ายคนพิการ ตาบอด กล้ามเนื้อสั่น หูตึง หลอดเลือดแข็ง	0.01	0.01

ตารางที่ 1 (ต่อ) อันตรายต่อมนุษย์และปริมาณสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม (Lace & John, 2021)

โลหะหนัก	อันตรายต่อมนุษย์	ค่าสูงสุดตาม Environmental Protection Agency (mgL^{-1})	ค่าสูงสุดตาม World Health Organization (mgL^{-1})
ปรอท (Hg)	เป็นอัมพาต และสามารถถ่ายทอดจากมารดาสู่บุตรได้ ทำให้เด็กที่เกิดมา มีอาการพิการทางสมอง พิษจากสารปรอท ที่รู้จักกันดี คือ โรคมินามิตะ	0.002	0.006
ทองแดง (Cu)	คลื่นไส้ อาเจียน อักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ เป็นโรคโลหิตจาง	1.3	2
นิกเกิล (Ni)	คลื่นไส้ปวดศีรษะ อาเจียน และเจ็บหน้าอก ร่างกายอ่อนเพลีย ซูบผอม ปอดอักเสบรุนแรง ชีพจรเต้นเร็วผิดปกติ เกิดภาวะความดันเลือดสูง เสี่ยงต่อเส้นเลือดในสมองแตกจนกลายเป็นอัมพฤกษ์อัมพาต เสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง	-	0.007
สังกะสี (Zn)	อ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ ท้องร่วง	5	3

การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในประเทศไทย

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักคือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว เหล็ก ทองแดง สังกะสี ปรอท นิกเกิล และอาร์เซนิค หลายพื้นที่ในประเทศไทยไม่ว่าจะเป็น ท่าเทียบเรือกรุงเทพ ท่าเทียบเรือแหลมฉบัง (จาฤก น้อยจินดา, 2560) ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน (สาโรจน์ เริ่มดำริห์ และคณะ, 2552) แม่น้ำเจ้าพระยา (สุภกร บุญยืน และคณะ, 2550) ปากแม่น้ำท่าตะเภา (Duangsawat, 2010) ปากแม่น้ำท่าจีน (ธัญชนก จินดาศรี และคณะ, 2560) น้ำทิ้งและน้ำเสียจากโรงพยาบาลและอุตสาหกรรม (อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวัลย์ วิลัย, 2563) อีกทั้งยังมีการตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในบริเวณชุมชนชาวประมง จังหวัดนราธิวาส โดยปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดในแหล่งน้ำอยู่ที่ระดับ mgL^{-1} ดังตารางที่ 2 และพบว่ามีหลายบริเวณมีปริมาณโลหะเกินค่ามาตรฐาน คือ ปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2554 พบแคดเมียม ทองแดง

ตะกั่ว และนิกเกิลเกินมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (Duangsawat, 2010) เช่นเดียวกับบริเวณแม่น้ำท่าจีนและคลองสาขา (นครชัยถึงปากแม่น้ำท่าจีน) ในปี พ.ศ. 2556 พบสารหนูมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (ธัญชนก จินดาศรี และคณะ, 2560) และบริเวณลำน้ำมูล ในปี พ.ศ. 2560 ตรวจพบสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน (ธวัดชัย ธานี และคณะ, 2561)

โดยวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักจำเป็นต้องใช้เทคนิคขั้นสูง เนื่องจากปริมาณโลหะที่อยู่ในระดับต่ำ (Trace Analysis) อีกทั้งยังต้องมีความแม่นยำและถูกต้องของวิธีในทุกขั้นตอน ตั้งแต่วิธีการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การกำจัดสิ่งรบกวน ตลอดจนวิธีการตรวจวัด โดยเทคนิคที่ใช้โดยทั่วไป คือ 1) Atomic-Absorption และ Emission Spectrometry (AAS และ AES) เป็นเทคนิคการวัดแสงที่อะตอมเกิดการดูดกลืน (AAS) และเทคนิคการวัดแสงที่อะตอมคายออกมา (AES) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันโดยอาศัยระดับชั้น พลังงานของอะตอมแต่ละธาตุที่มีความเฉพาะตัวของธาตุแต่ละธาตุนั้น ๆ 2) Inductively Coupled Plasma and mass-spectrometry และ Optical Emission Spectroscopy (ICP-MS และ ICP-OES) ใช้พลังงานจากพลาสมาที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 10,000 K ทำให้ธาตุที่วิเคราะห์เป็นอะตอมและไอออนในสถานะกระตุ้น (excited state) จากนั้นวัดแสงที่อะตอมคายออกมา 3) X-ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องสำหรับ วิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างโดยใช้หลักการ X-ray Fluorescence โดยไม่ทำลายตัวอย่างและ 4) Voltammetry เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ต้องให้ศักย์ที่คงที่เข้าไปในวงจรและวัดกระแสที่เกิดขึ้น ซึ่งแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน (Kumari et al., 2024) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจวัดในแหล่งน้ำ น้ำทิ้งและน้ำเสียในประเทศไทย

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่ตรวจพบ (mgL^{-1})	วิธีการตรวจวัด	สถานที่	ปีที่ตรวจวัด	อ้างอิง
Pb	0.050 – 0.123	AAS	บริเวณน้ำทิ้งจากการย้อมสีกระจูดที่ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง	2541	อานอบ คันฑะชาม, 2542
Cr	0.002 – 0.068				
Fe	0.80 – 1.08	ICP-OES	แม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดปทุมธานี	2550	สุภกร บุญยืนและคณะ, 2550
Ca	0.05 – 0.08				
Mg	5.00 – 9.00				
Mn	0.05 – 0.22				

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจวัดในแหล่งน้ำ น้ำทิ้งและน้ำเสียในประเทศไทย

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่ตรวจพบ(mgL^{-1})	วิธีการตรวจวัด	สถานที่	ปีที่ตรวจวัด	อ้างอิง
Cu Zn Pb Cd	0.08 0.06 0.05 0.01	ICP-OES	ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน	2550	สาโรจน์ เริ่มดำริห์ และคณะ, 2552
Cd Cu Pb Ni	0.260 – 1.360 0.110 – 0.245 0.135 – 0.880 0.130 – 2.440	AAS	ปากแม่น้ำท่าตะเภาจังหวัดชุมพร	2554	Duangsawat, 2010
Pb Cd As Hg Ni	0 – 0.0020 0 0.0027 – 0.0130 0 – 0.0020 0 – 0.0047	ICP-OES	แม่น้ำท่าจีนและคลองสาขาตั้งแต่นครชัยศรีถึงปากแม่น้ำท่าจีน	2555	จินตนันท์ วัชรสิงห์ม และคณะ, 2557
Mn Fe Cu Zn	0.0503 – 0.6695 0.2739 – 2.9135 0.0012 – 0.0801 0.0066 – 0.2189	ICP-OES	น้ำบาดาลในบริเวณเขตอุตสาหกรรมสุรนารี	2557	Omking, 2014
Zn Cd Cu Pb Ni	0.112 – 0.298 0.001 – 0.016 0.006 – 0.021 0.001 – 0.019 0.001 – 0.018	AAS	บริเวณชุมชนประมงบาเละฮิเล จังหวัดนราธิวาส	2559	รอฮานา อาดาม, 2562

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจวัดในแหล่งน้ำ น้ำทิ้งและน้ำเสียในประเทศไทย

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่ตรวจพบ (mgL^{-1})	วิธีการตรวจวัด	สถานที่	ปีที่ตรวจวัด	อ้างอิง
Cd Pb Cu Zn	ND – 0.045 ND – 0.009 1.00 – 0.095 12.50 – 0.05	AAS	บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร	2560	ธัญชนก จินดาศรี และคณะ, 2560
Cd Cu Pb Zn	0.02 – 0.064 0.09 – 0.241 0.392 – 0.425 0.027 – 0.056	AAS	ท่าเทียบเรือกรุงเทพ	2560	จาฤก น้อย จินดา, 2560
Cd Cu Pb Zn	0.020 – 0.125 0.179 – 0.222 0.143 – 0.566 0.018 – 0.048	AAS	ท่าเทียบเรือแหลมฉบัง	2560	จาฤก น้อย จินดา, 2560
Zn Cu Cd Pb	0.010– 0.140 0.002 – 0.080 0.020 – 0.050 0.070 – 0.910	AAS	ลำน้ำมูล	2560	ธวัดชัย ธานี และคณะ, 2561
Cr Pb Zn Fe	0.021 0.086 0.816 1.606	AAS	น้ำเสียโรงพยาบาลสมเด็จ อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์	2562	อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวัลย์ วิลัย, 2563
Cr Pb Zn Fe	0.014 0.052 0.603 0.459	AAS	น้ำทิ้งโรงพยาบาลสมเด็จ อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์	2562	อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวัลย์ วิลัย, 2563

ND : Not detected

จากปริมาณของโลหะที่ถูกตรวจพบในสิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าประเทศไทยควรมีความตระหนักถึงการตรวจวัด การกำจัด และการควบคุมการใช้และการปล่อยโลหะหนักสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ได้ รวมทั้งรายงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังมีน้อย ควรที่จะมีการสนับสนุนให้มีการทำวิจัยและตีพิมพ์ให้มากกว่านี้

ตารางที่ 3 วิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก (Kumari et al., 2024)

เทคนิค	จุดเด่น
Atomic-Absorption และ Emission Spectrometry (AAS และ AES)	ขั้นตอนง่ายและความสะดวกในการใช้งานราคาไม่แพง
Inductively Coupled Plasma and mass-spectrometry และ Optical Emission Spectroscopy (ICP-MS และ ICP-OES)	ความไวสูงสามารถตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ความสามารถในการวิเคราะห์หลายองค์ประกอบ
X-ray Fluorescence (XRF)	เทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งได้โดยไม่ต้องเตรียมการอย่างละเอียด
Voltammetry	ความไวสูงสำหรับโลหะบางชนิด สามารถตรวจวิเคราะห์ได้พร้อมๆกันหลายชนิดของไอออนโลหะ

วิธีการกำจัดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

วิธีการกำจัดโลหะหนักและการพัฒนาวิธีการกำจัดที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนทางเคมี กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

การดูดซับ การออสโมซิสย้อนกลับ การสกัดตัวทำละลาย และการกรองด้วยเมมเบรน (Qasem et al., 2021) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยหลักการความแตกต่างของความชอบหรือถูกจับกันโดยสารแลกเปลี่ยนไอออนหรือเรซิน (Resin) ที่ไม่เท่ากันของไอออนแต่ละชนิด โดยแบ่งเป็น การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก แคดไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchange) ส่วนการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ เรียกว่า แอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchange) แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะกับ น้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง ๆ 2) การดูดซับ การดูดซับอาศัยหลักการที่องค์ประกอบของสารละลายแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกระจายที่ผิวและเกิดแรงดึงดูดกับวัสดุดูดซับได้ต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุดูดซับ การดูดซับเป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมในการกำจัดโลหะหนัก เนื่องจากขั้นตอนไม่ซับซ้อน ควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถนำวัสดุดูดซับ (Adsorbents) กลับมาใช้ใหม่ได้ 3) การตกตะกอน (Precipitation) เป็นการตกตะกอนโลหะหนักในสารละลายให้อยู่ในรูปของโลหะ ไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็ง เกิดการตกตะกอนลงด้านล่างของภาชนะที่ เรียกว่า กากตะกอน (Sludge) โดยสารที่นิยมเติมเพื่อให้เกิดตะกอนโดยทั่วไป คือ ปูนขาว (Lime) นิยมใช้ตกตะกอนแคดเมียม โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น 4) การสกัด (Extraction) เป็นการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายสารที่ต้องการแยกออกจากน้ำได้ดีในการแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เป็นต้น 5) การแยกด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Treatment) เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนในขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีการนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก และมีราคาค่าเครื่องมือสูง 6) กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน เป็นกระบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรนในการแยก กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงมาก รวมไปถึงการกำจัดโลหะหนักต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ชนิดของเมมเบรนที่สามารถใช้ในการกำจัดโลหะหนักคือ อัลตราฟิลเตรชั่น (Ultrafiltration, UF) นาโนฟิลเตรชั่น (Nanofiltration, NF) และรีเวิร์สออสโมสิส (Reverse osmosis, RO) แต่กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนไม่ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบสูง (Qasem et al., 2021)

จากวิธีการกำจัดโลหะข้างต้น จะเห็นว่าวิธีต่าง ๆ มีทั้งข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะงาน งบประมาณ และความถนัดของผู้ควบคุม ซึ่งจะต้องใช้ในการพิจารณาในการเลือกวิธีการกำจัด

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณของโลหะหนักในบริเวณอื่น ๆ ในประเทศไทย พร้อมทั้งประเมิน -

ความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

2. การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีประสิทธิภาพ

บทสรุป

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำหลายพื้นที่ในประเทศไทย ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดในแหล่งน้ำอยู่ที่ระดับ mgL^{-1} โดยหลายบริเวณพบว่าปริมาณโลหะหนักมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน ทุกคนจึงควรมีความตระหนักถึงการตรวจวัด การกำจัด และการควบคุมการใช้และการปล่อยโลหะหนักสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ได้ รายงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังมีน้อย ควรที่จะมีการสนับสนุนให้มีการทำวิจัยและตีพิมพ์ให้มากกว่านี้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ที่สนับสนุนในการเขียนบทความในครั้งนี้

อ้างอิง

จินตนันท์ วัชรสิงห์ม, วิทย์ ธารชลานุกิจ, เกษม จันทร์แก้ว และนฤชิต ดำปิน. (2557). ปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำท่าจีนและคลองสาขาตั้งแต่นครชัยศรีถึงปากแม่น้ำท่าจีน. *Naresuan University Journal: Science And Technology (NUJST), 21*(2), 1–13.

จาฤก น้อยจินดา, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2560). การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ ตามความลึกและในดินตะกอนที่ท่าเรือแหลมฉบังและท่าเรือกรุงเทพฯ ประเทศไทย. *วารสารวิศวกร สิ่งแวดล้อม*, *31*(2), 1–13.

ธวัดชัย ธานี, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ, รุ่งลาวัลย์ สุดมูล และอรุณรัตน์ ฉวีราช. (2561). การสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดินและปลา ในอ่างเก็บน้ำห้วยแกง อำเภอดอนจาน จังหวัดกาฬสินธุ์. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน*, *13*(1), 4–19.

ธัญชนก จินดาศรี, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, ณิศรา ถาวรโสตร์, อรอิงค์ เวชสิทธิ์ และพฤหัส จันทร์นวล. (2560). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55.* (น. 591-599). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

รอฮานา อาดาม. (2562). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำบริเวณชุมชนประมงบาเละฮิเล จังหวัดนราธิวาส. *Princess of Naradhiwas University journal*, *11*(3), 202–211.

สาโรจน์ เริ่มดำริห์, สาวิตรี แกเรียส และเกริก วงศ์สอนธรรม. (2552). การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. 221–228.

สุภกร บุญยืน, ศราวุธ ลันวงษา และศิริวิทย์ บัวเจริญ. (2552). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวรจังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. *17*(4), 14–22.

อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวัลย์ วิลัย. (2563). ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสมเด็จ อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี*. *4*(2), 45–57.

อานอบ คันทะชาม. (2542). การปนเปื้อนของตะกั่วและโครเมียมในน้ำทิ้ง จากการย้อมสีกระจูดที่ทะเลน้อย (รายงานผลการวิจัย), มหาวิทยาลัยทักษิณ.

Duangsawat, T. (2010). Heavy Metals Contamination in Water and Sediments from Thataphao River Mounth, Chum-phon Province. Master of Education in Chemistry Thesis, Songkhla: Thaksin University.

Kumari, P., Kachhwaha, V., & Mishra, P. (2024). A Comparative Study of Heavy Metal Toxicity in the Vegetables Using ICP-MS and AAS. *Oriental Journal of Chemistry*, *40*(2), 446–453.

Lace, A., & John, C. (2021). A Review of Microfluidic Detection Strategies for Heavy Metals in Water. *Chemosensors*, *9*(4), 60.

Omking, J. (2014). Pollutant Contamination in Groundwater near Industrial Zone and Landfill Site in Muang District Na-knonratchasima. Master of Engineering Thesis (Environmental Engineering). Na-khon Ratchasima: Suranaree University of Technology.

Qasem, N.A.A., Mohammed, R.H. & Lawal, D.U. (2021). Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *npj Clean Water,* 4, 1–15.

Taseidifar, M., Makavipour, F., Pashley, R. M. & Rahman, A. F. M. M. (2017). Removal of heavy metal ions from water using ion flotation. *Environmental Technology & Innovation,* 8, 182–190.

Tjandraatmadja, G., Diaper, C., Gozukara, Y., Burch, L., Sheedy, C., & Price, G. (2008). *Sources of priority contaminants in domestic wastewater: Contaminant loads from household products*. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship.

Zou, Y., Wang, X., Khan, A., Wang, P., Liu, Y., Alsaedi, A., Hayat, T., & Wang, X. (2016). Environmental remediation and application of nanoscale zero-valent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: A review. *Environmental Science & Technology, 50*(14), 7290–7304. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01897