

การสะสมของโลหะหนักและชีวปริมาณออกฤทธิ์ในดินตะกอน

จากอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND THEIR BIOAVAILABILITY IN SEDIMENTS FROM BANDON BAY, SURAT THANI PROVINCE

มาริสสา อินทวงศ์

Marisa Intawongse

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสะสมของโลหะหนักและชีวปริมาณออกฤทธิ์ในดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างจากบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เก็บตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากพื้นที่อ่าวบ้านดอนจำนวน 10 แห่ง เตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ นำไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุโดยเทคนิคอินดักทีฟลีตติ้งเปิดพลาสมา-ออปติคัลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี (ICP-OES) ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน พบว่ามีปริมาณจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $Zn > Pb > Cu > Cd$ โดยมีปริมาณเฉลี่ย 59.520, 8.163, 2.838 และ 0.216 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเล และเกณฑ์มาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พบในดินตะกอนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จึงสรุปได้ว่าดินตะกอนจากแหล่งดังกล่าวมีระดับการสะสมของโลหะหนักในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักในดินตะกอนใช้วิธี Sequential extraction เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่จะถูกชะออกจากดินตะกอนลงสู่แหล่งน้ำและถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่ามีระดับที่แตกต่างกันสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $Cd > Zn > Cu > Pb$ ซึ่งแคตเมียมส่วนใหญ่ (ร้อยละ 70.6-78.4) อยู่ในฟอรัมที่ละลายน้ำ แลกเปลี่ยนไอออนได้ ที่สร้างพันธะกับคาร์บอเนต สำหรับสังกะสีและทองแดงอยู่ในฟอรัมที่ละลายน้ำ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้/สร้างพันธะกับคาร์บอเนต ร้อยละ 33.6-50.4 และ 10.5-26.5 ตามลำดับ ส่วนตะกั่วในดินตะกอนมีส่วนที่อยู่ในฟอรัมที่พร้อมที่จะถูกชะออกมาสู่แหล่งน้ำได้ในปริมาณที่น้อยที่สุด (ร้อยละ 3.9-9.9)

คำสำคัญ: อ่าวบ้านดอน ชีวปริมาณออกฤทธิ์ ดินตะกอน โลหะหนัก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Muang, Surat Thani 84100

Corresponding author email: marisa@sru.ac.th

Received: 26 November 2023; Revised: 16 January 2024; Accepted: 30 January 2024

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2024.6>

Abstract

This research aimed to investigate the accumulation of heavy metals and their bioavailability in sediments collected from the Bandon Bay, Surat Thani Province. The samples were randomly collected from 10 sampling locations in coastal area of Bandon Bay. The samples were digested by a microwave system followed by elemental quantitation using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES). The total amounts found in the sediment, in descending order were: Zn > Pb > Cu > Cd with the mean concentrations of 59.520, 8.163, 2.838 and 0.216 mg/kg dry weight, respectively. When compared to the quality standards for coastal marine sediment and the standards set by the Environmental Protection Agency of the United States, it was found that the levels of all four heavy metals found in the sediment are below the specified standards. Therefore, it can be concluded that the sediment from the mentioned source has an environmentally safe level of heavy metal accumulation. In studying the bioavailability of heavy metals in sediment, the sequential extraction method is employed to assess the potential release of each type of heavy metal from the sediment into water sources and its uptake into the cells of aquatic organisms. It was found that the levels can be ranked in descending order as follows: Cd > Zn > Cu > Pb. Cadmium (mostly 70.6-78.4%) is predominantly in forms soluble in water/exchangeable ions/capable of forming complexes with carbonate. For zinc and copper, they are in forms soluble in water/exchangeable ions/capable of forming complexes with carbonate, with percentages of 33.6-50.4 and 10.5-26.5, respectively. Meanwhile, lead fraction in the sediment is mostly in forms ready to be released into the water in the smallest quantity (3.9-9.9%).

Keywords: Bandon Bay, bioavailability, sediment, heavy metals

บทนำ

การปนเปื้อนของมลสารในดินตะกอนเป็นประเด็นที่เป็นที่สนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ดินตะกอนเป็นแหล่งรองรับสารประกอบต่าง ๆ หลายชนิด ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมรวมทั้งโลหะหนัก ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (total metal concentration) มีประโยชน์ในการประเมินระดับการปนเปื้อนหรือระดับความรุนแรงของภาวะมลพิษจากสารโลหะหนักในแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตาม หากมีข้อมูลการจำแนกรูปฟอร์มของโลหะหนักที่

เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น เช่น การประเมินแนวโน้มของการนำแร่ธาตุในดินที่เป็นสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช การประเมินชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักที่เป็นพิษในดินเพื่อประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ เป็นต้น

ชีวปริมาณออกฤทธิ์ (bioavailability) หมายถึง ปริมาณเพียงส่วนหนึ่งของสารมลพิษชนิดนั้น ๆ ที่มีอยู่ทั้งหมดในสิ่งแวดล้อม เช่น อาหาร ดิน ดินตะกอน สัตว์น้ำ ที่สามารถถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ สำหรับในดินหรือดินตะกอน โลหะหนักแพร่กระจายอยู่ได้หลากหลายรูปแบบ และมีความพร้อมที่จะถูกชะออกจากดินหรือดินตะกอนมาสู่น้ำและถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิต (ชีวปริมาณออกฤทธิ์) ในระดับที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปสามารถแบ่งรูปแบบของโลหะหนักในดินออกเป็น 4 องค์ประกอบหลัก โดยเรียงลำดับความสามารถในการเคลื่อนย้าย (mobility) ออกสู่สิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อย ได้แก่ โลหะหนักที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (Exchangeable metals) โลหะหนักที่สร้างพันธะกับคาร์บอเนต (Carbonate bound species) โลหะหนักที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส (Iron-Manganese oxide bound species) และโลหะหนักที่สร้างพันธะกับสารอินทรีย์ (Organic matter bound species) (Tessier et al., 1979)

วิธีการศึกษาปริมาณชีวปริมาณออกฤทธิ์ของดินตะกอนจากแต่ละแหล่งสามารถทำได้โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ตัวทำละลายแต่ละชนิดที่บ่งชี้ถึงปริมาณการชะออกมาของโลหะหนักที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน ในดินตะกอน รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ต่างกัน วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันคือวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential extraction) โดยหลักการของวิธีการสกัดนี้คือโลหะหนักส่วนที่สามารถถูกสกัดด้วยสารละลายออกมาเป็นลำดับแรก (Exchangeable metals) จะมี Bioavailability มากที่สุด และส่วนที่ถูกสกัดได้ในลำดับต่อๆ มา จะมีระดับของ Bioavailability ลดน้อยลงตามลำดับ วิธีการสกัดตามลำดับขั้นนี้จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยหน่วยงาน Bureau Communication of Reference (BCR) ของสหภาพยุโรป (Guevara-Riba, 2004; Tai et al., 2013) ซึ่งได้นำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษา Bioavailability ของโลหะหนักในดินตะกอนทั้งตะกอนน้ำจืดและตะกอนน้ำเค็ม รวมทั้งภาคตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (Hlavay & Polyak, 1998; Mossop & Davidson, 2003; Baig et al., 2009; Nemati et al., 2009; Nemati et al., 2011; Hao et al., 2021; Chen et al., 2023)

มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับระดับของชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักในดินตะกอนจากแม่น้ำหรือปากแม่น้ำในหลายประเทศ คณะนักวิจัยของประเทศจีนได้ประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนจากปากแม่น้ำแยงซีและบริเวณที่อยู่ติดกับแม่น้ำ เพื่อนำไปใช้ประเมินความเสี่ยงเชิงนิเวศ (Ecological risk assessment) โดยใช้ทั้งข้อมูลปริมาณโลหะหนักทั้งหมด ดัชนีการปนเปื้อนของโลหะหนัก และข้อมูลการกระจายตัวของโลหะหนักในรูปแบบต่าง ๆ (fractionation/distribution) (Yang et al., 2012) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษากการกระจายตัวของโลหะหนักและการประเมินความเสี่ยงของโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอน และปลา จากแม่น้ำจินเจียง เมืองเฉิงตู ประเทศจีน โดยใช้

วิธีการสกัดตามลำดับขั้นในการศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนัก 15 ชนิด ในดินตะกอน (Liu et al., 2018) ในประเทศสเปน ได้มีการรายงานผลการประเมินความสามารถในการเคลื่อนย้าย (mobility) ของโลหะหนักในดินตะกอนจากอ่าวบาร์เซโลนา มีการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลักของดินตะกอน (Al, Ca, Fe, Mn, Si, Ti, Mg, K และ Na) ปริมาณ C N และ S ทั้งหมด ปริมาณสารอินทรีย์และน้ำ และใช้วิธีการสกัดตามลำดับขั้นในการศึกษาความสามารถในการถูกเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Guevara-Riba et al., 2004) และในประเทศอิตาลี ได้มีการรายงานผลการประเมินคุณภาพดินตะกอนในแถบชายฝั่งของทะเลสาบในเมือง Ravenna ในการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ใช้วิธีการสกัดตามลำดับขั้น และวิธีการสกัดที่เรียกว่า Simultaneously Extracted Metals-Acid Volatile Sulfides (SEM-AVS) และมีการประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนโดยใช้ค่า Enrichment Factor (Pignotti et al., 2018)

พื้นที่อ่าวบ้านดอนของจังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นแหล่งทรัพยากรที่อุดมสมบูรณ์ซึ่งรวมความหลากหลายของระบบนิเวศ เช่น ป่าชายเลน ภูเขาทะเล ปะการัง และสัตว์น้ำนานาชนิด ลักษณะอ่าวเป็นท้องกระทะ และเป็นอ่าวที่ใหญ่ที่สุดในภาคใต้ เป็นแหล่งรับน้ำที่ระบายมาจากแม่น้ำตลอดทั้งปี แม่น้ำสายหลักคือแม่น้ำตาปีและแม่น้ำพุมดวง นอกจากนี้ยังรับน้ำที่ระบายมาจากชุมชนซึ่งมีประชากรอยู่อาศัยหนาแน่นจากการขยายตัวของเมือง มีการทำการเกษตรและใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (Jarempomnipat et al., 2003) รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรตามแนวชายฝั่งมากขึ้นในทั้งในด้านการท่องเที่ยว การประมง การใช้สันทนาการเพียง การทำเหมืองแร่ กิจกรรมเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำโดยเฉพะการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อเป็นการติดตามภาวะการปนเปื้อนของสารมลพิษในอ่าวบ้านดอน ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักและประเมินชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักในดินตะกอนในบริเวณอ่าวบ้านดอน

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ และสารเคมี

เตรียมตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องไมโครเวฟ ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น TITAN MPS ประเทศสหรัฐอเมริกา วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (Zn, Cu, Pb และ Cd) โดยใช้เครื่องอินดักทีฟลิคิเบิลเพลทาสมา-ออปติคัลอิมิตชันสเปกโทรเมตรี (ICP-OES, ยี่ห้อ Jobin Yvon Horiba รุ่น JY238 Ultratrace – Ultima2 ประเทศฝรั่งเศส) และใช้เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน Milli-Q™ Millipore Water Purification ประเทศฝรั่งเศส สารเคมีที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดวิเคราะห์ ได้แก่ กรดไนตริก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดอะซิติก แอมโมเนียมอะซิเตต และไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน สารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก ผลิตโดยบริษัท AccuStandard ประเทศสหรัฐอเมริกา แก๊สอาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 ผลิตโดยบริษัท Praxair ประเทศไทย

การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

พื้นที่ศึกษาคือบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดอยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 1.5 กิโลเมตร เก็บตัวอย่างดินตะกอนโดยวิธีการสุ่มจำนวน 10 พื้นที่ ครอบคลุม 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอไชยา (S1 และ S2) อำเภอท่ากลาง (S3 และ S4) อำเภอเมือง (S5, S6 และ S7) และอำเภอกาญจนดิษฐ์ (S8, S9 และ S10) แผนที่เก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1) รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างและพิกัดภูมิศาสตร์แสดงดังในตารางที่ 1 (Table 1) ใช้พลังสแตนเลสตัดดินตะกอนใส่ในถุงพลาสติก นำตัวอย่างดินตะกอนมาล้างให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงนำไปใส่ถาดสแตนเลสเพื่ออบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากอบแห้งจนได้น้ำหนักคงที่แล้วจึงนำไปบดด้วยโกรนบดจนละเอียด แล้วร่อนด้วยตะแกรงร่อนสแตนเลส (Seive, ขนาด 0.25 mm) บรรจุใส่ถุงซิปล็อกเก็บไว้ในแชลิกเคเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป



Figure 1 Map of sampling locations (S1-S10)

Table 1 Sampling locations and their geographical coordinates

Sampling locations	Geographical coordinates	District
S1	9°22'50.7"N 99°17'28.6"E	Chaïya
S2	9°21'50.6"N 99°16'56.8"E	Chaïya
S3	9°19'12.1"N 99°14'05.9"E	Tha Chang
S4	9°17'40.9"N 99°14'42.4"E	Tha Chang
S5	9°15'54.6"N 99°16'11.0"E	Muang
S6	9°16'11.6"N 99°17'24.4"E	Muang
S7	9°16'32.9"N 99°18'34.7"E	Muang
S8	9°14'00.7"N 99°24'38.0"E	Kanchanadit
S9	9°14'20.8"N 99°25'58.9"E	Kanchanadit
S10	9°13'48.3"N 99°27'40.2"E	Kanchanadit

การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการย่อยด้วยไมโครเวฟ

ในการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการย่อยด้วยไมโครเวฟใช้วิธีมาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา วิธี EPA 3051A (US EPA, 2007) โดยการชั่งสารตัวอย่างดินตะกอน ปริมาณ 0.5 กรัม (ต่อการย่อย 1 ซ้ำ) ใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่าง เติม HNO_3 (65%) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วจึงปิดฝาภาชนะให้สนิท นำไปย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ โดยใช้โปรแกรมการให้ความร้อนดังตารางที่ 2 (Table 2) เมื่อย่อยเสร็จแล้วนำสารตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 ใส่ในขวดวัดปริมาตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ 25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงนำสารละลายตัวอย่างที่ได้นี้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Cu, Zn, Cd และ Pb โดยเทคนิค ICP-OES

Table 2. Microwave heating program

Step	Temp (°C)	Pressure (bar)	Ramp (min)	Hold (min)	Power (%)
1	175	30	5	5	90
2	50	30	1	10	0
3	50	0	0	0	0

การวิเคราะห์ชีวปริมาณออกฤทธิ์

ในการวิเคราะห์ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักในดินตะกอนใช้วิธี Sequential extraction (Guevara-Riba et al., 2004) ซึ่งเป็นการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบต่อเนื่องตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งสารตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดโพลีเอทิลีน ขนาด 50 mL เติม 0.11 M กรดอะซิติก (CH_3COOH) ปริมาตร 40 mL เขย่าด้วยเครื่อง End-over-end rotator (30 ± 10 rpm) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

2) นำสารละลายไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเซ็นทริฟิวจ์ ที่ 3,000 g เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงเปิดสารละลายตัวอย่างส่วนที่ใสปริมาตร 5 mL ใส่ในหลอดเก็บตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค ICP-OES (Fraction 1, F1)

3) ล้างกากที่เหลือในข้อ 2) ด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 20 mL และเขย่าเป็นเวลา 15 นาที นำไปหมุนเหวี่ยง เทสารละลายส่วนที่ใสทิ้งไป

4) เติม 0.5 M ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) ปริมาตร 40 mL ลงในกากตะกอนที่ได้ นำไปเขย่าด้วยเครื่อง End-over-end rotator (30 ± 10 rpm) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เสร็จแล้วจึงทำเหมือนขั้นตอนในข้อ 2) และข้อ 3) ต่อไป (Fraction 2, F2)

5) เติม 8.8 M ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ปริมาตร 10 mL โดยเติมทีละน้อยลงในกากตะกอนที่ได้ นำไปย่อยที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 ± 2 °C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และระเหยเพื่อให้มีปริมาตรลดลงจนเหลือประมาณ 2-3 mL

6) เติม 8.8 M ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ปริมาตร 10 mL อีกครั้ง และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และระเหยเพื่อให้มีปริมาตรลดลงจนเหลือประมาณ 2-3 mL

7) เติมสารละลาย 1 M แอมโมเนียมอะซิเตต ($NH_4C_2H_3O_2$) (ปรับให้มีค่า pH = 2 โดยใช้ HNO_3) ปริมาตร 50 mL และเขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เสร็จแล้วจึงทำเหมือนขั้นตอนในข้อ 2) และข้อ 3) ต่อไป (Fraction 3, F3)

8) นำกากตะกอนที่ได้ไปย่อยด้วยสารละลาย Aqua regia (15.8 M HNO_3 : 12 M HCl , 1 : 3) ปริมาตร 10 mL โดยใช้ระบบไมโครเวฟ หลังจากย่อยเสร็จ กรองสารละลายแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 mL นำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค ICP-OES (Fraction 4, F4)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยเทคนิค ICP-OES

นำตัวอย่างดินตะกอนที่ได้จากการย่อย ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Cu, Zn, Cd และ Pb ด้วยเครื่อง ICP-OES โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3 (Table 3)

Table 3 Instrumental operating conditions for ICP-OES

Parameters (Unit)	Value
RF Power (W)	1200
Plasma gas flow (Lmin ⁻¹)	12
Auxiliary gas flow (Lmin ⁻¹)	0.2
Nebulizer gas flow (psi)	45.0
Sample flow (mLmin ⁻¹)	1.0
Drain flow (mLmin ⁻¹)	4.0
Rinse delay (s)	30
Number of replicates	3
Wavelengths (nm)	
Cu / Zn / Cd / Pb	324.754 / 213.856 / 228.802 / 220.353
Concentration range of calibration curve	
Cu / Zn / Pb	0 – 10 ppm
Cd	0 – 2.5 ppm

ผลการวิจัย

ปริมาณของโลหะหนักในดินตะกอน

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนจากบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้วิธี External calibration method ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างดินตะกอนจากแหล่งต่าง ๆ ทั้ง 10 แหล่ง เรียงลำดับตามปริมาณที่พบจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ คือ $Zn > Pb > Cu > Cd$ ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ย 59.520, 8.163, 2.838 และ 0.216 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 (Table 4) โดยที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 23.149-84.324, 5.842-10.064, 0.168-7.343 และ 0.173-0.257 mg/kg ตามลำดับ

Table 4 Concentrations (mg/kg dry weight) of Cu, Zn, Cd and Pb in sediments

Sampling locations	Mean \pm SD (n=3)			
	Cu	Zn	Cd	Pb
S1	6.545 \pm 0.527	79.227 \pm 5.741	0.213 \pm 0.010	9.022 \pm 0.645
S2	6.922 \pm 0.420	76.831 \pm 4.177	0.200 \pm 0.013	9.134 \pm 0.851
S3	3.047 \pm 0.267	50.494 \pm 4.331	0.205 \pm 0.010	7.394 \pm 0.430
S4	6.178 \pm 0.329	71.882 \pm 5.250	0.229 \pm 0.013	9.360 \pm 0.555
S5	0.844 \pm 0.094	48.807 \pm 3.042	0.237 \pm 0.018	8.028 \pm 0.342
S6	0.431 \pm 0.038	49.667 \pm 3.060	0.221 \pm 0.020	8.082 \pm 0.415
S7	0.185 \pm 0.019	24.963 \pm 1.915	0.232 \pm 0.019	6.164 \pm 0.379
S8	0.896 \pm 0.060	56.180 \pm 3.011	0.202 \pm 0.019	7.589 \pm 0.372
S9	0.601 \pm 0.057	73.588 \pm 3.466	0.191 \pm 0.016	8.827 \pm 0.683
S10	2.731 \pm 0.208	63.557 \pm 3.819	0.226 \pm 0.019	8.030 \pm 0.413
Min	0.168	23.149	0.173	5.842
Max	7.343	84.324	0.257	10.064
Mean	2.838 \pm 2.646	59.520 \pm 16.578	0.216 \pm 0.020	8.163 \pm 1.038
Standard *	25	102	2	52
Standard **	28	68	1	21

Remark * Pollution Control Department, 2015 ** USEPA, 1999

ชีวปริมาณออกฤทธิ์ (bioavailability) ของโลหะหนักในดินตะกอน

ผลการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างดินตะกอน เป็นดังนี้

1. ทองแดง

การกระจายตัวของทองแดงเทียบกับปริมาณทองแดงทั้งหมดในดินตะกอน พบว่าปริมาณทองแดงทั้งหมดที่มีในดินตะกอนจากทุกแหล่ง มีการกระจายตัวในรูปแบบต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน (F1-F3) และมีปริมาณหนึ่งที่ไม่สามารถถูกชะออกจากดินตะกอนได้ (F4) แสดงให้เห็นว่าปริมาณทองแดงทั้งหมดที่มีในดินตะกอนไม่ใช่ปริมาณทั้งหมดที่สามารถบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงของภาวะมลพิษจากสารโลหะหนักชนิดนี้ เมื่อคิดเป็นร้อยละการกระจายตัวของทองแดงเทียบกับปริมาณทองแดงทั้งหมดในดินตะกอน พบว่า ลำดับการกระจายตัวของทองแดงในดินตะกอนจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $F2 > F3 > F1 > F4$ ดังภาพที่ 2 (Figure 2) โดยปริมาณของทองแดงส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส (ร้อยละ 31.2-52.2) รองลงมาอยู่ในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับสารประกอบอินทรีย์ (ร้อยละ 10.5-25.4) ทองแดงที่ละลายน้ำ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และที่สร้างพันธะกับคาร์บอเนต (ร้อยละ 10.5-26.5) และส่วนที่ไม่สามารถถูกชะออกมาได้มีปริมาณน้อยที่สุด (ร้อยละ 10.4-25.9)

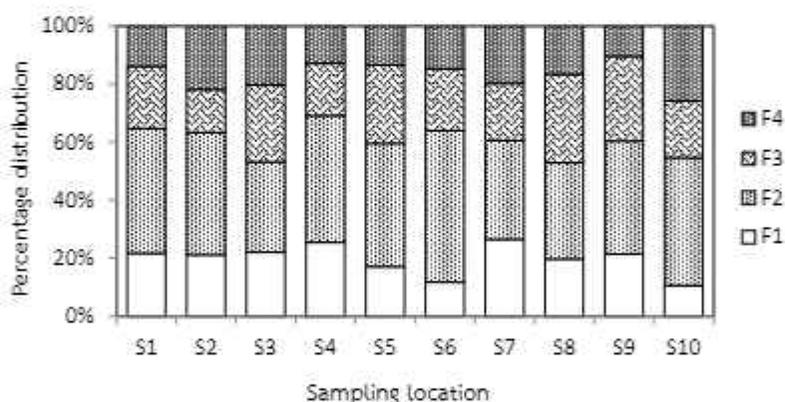


Figure 2 The percentage distribution of Cu compared to the total amount of Cu in the sediment.

2. สังกะสี

ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของทองแดง พบว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่มีในดินตะกอนจากทุกแหล่ง มีการกระจายตัวในรูปแบบต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน (F1-F3) และมีปริมาณหนึ่งที่ไม่สามารถถูกชะออกจากดินตะกอนได้ (F4) แสดงให้เห็นว่าปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่มีในดินตะกอนไม่ใช่ปริมาณทั้งหมดที่สามารถบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงของภาวะมลพิษจากสารโลหะหนักชนิดนี้ เมื่อคิดเป็นร้อยละการกระจายตัวของสังกะสีเทียบกับปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินตะกอน ดังภาพที่ 3 (Figure 3) พบว่า ลำดับการกระจายตัวของสังกะสีในดินตะกอนจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $F1 >$

F2 > F4 > F3 โดยปริมาณของสังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟอร์มที่ละลายน้ำ/สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้/สร้างพันธะกับคาร์บอนेट (ร้อยละ 33.6-50.4) รองลงมาอยู่ในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส (ร้อยละ 20.5-30.2) ส่วนที่ไม่สามารถถูกชะออกมาได้ (ร้อยละ 14.3- 24.3) และสังกะสีในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับสารประกอบอินทรีย์มีปริมาณน้อยที่สุด (ร้อยละ 7.6-18.1)

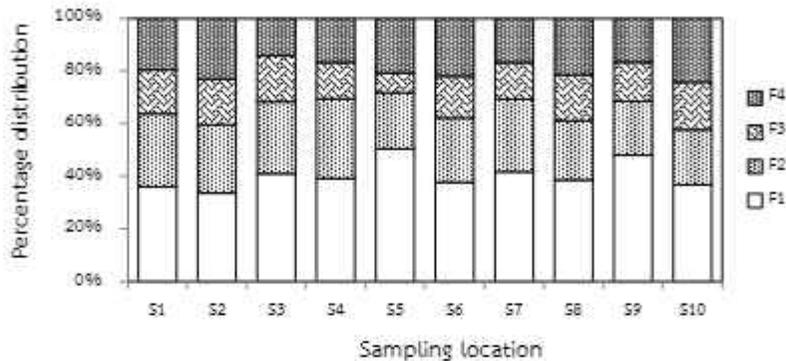


Figure 3 The percentage distribution of Zn compared to the total amount of Zn in the sediment

3. แคดเมียม

การกระจายตัวของแคดเมียมเทียบกับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินตะกอน พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่มีในดินตะกอนจากทุกแหล่ง มีการกระจายตัวในรูปฟอร์มในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ F1 และ F2 เมื่อคิดเป็นร้อยละการกระจายตัวของแคดเมียมเทียบกับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินตะกอน ดังภาพที่ 4 (Figure 4) พบว่า ลำดับการกระจายตัวของแคดเมียมในดินตะกอนจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ F1 > F2 สำหรับปริมาณของแคดเมียมในส่วนสกัด F3 และ F4 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ตรวจวิเคราะห์ได้ (Non-detectable) และปริมาณแคดเมียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟอร์มที่ละลายน้ำ/สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้/สร้างพันธะกับคาร์บอนेट (ร้อยละ 70.6-78.4) ส่วนที่อยู่ในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.6-29.4

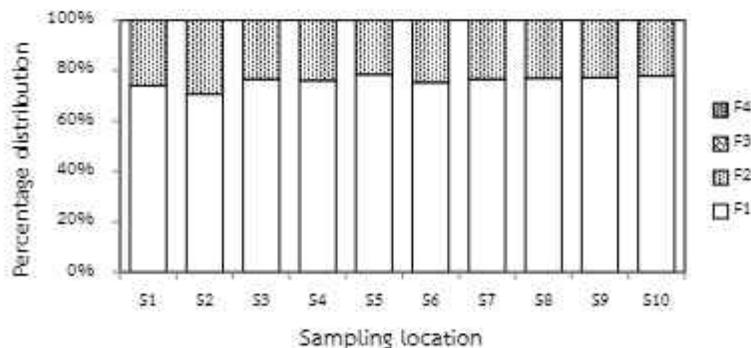


Figure 4 The percentage distribution of Cd compared to the total amount of Cd in the sediment

4. ตะกั่ว

การกระจายตัวของตะกั่วเทียบกับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินตะกอน พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่มีในดินตะกอนจากทุกแหล่ง มีการกระจายตัวในรูปฟอร์มต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน (F1-F3) และมีปริมาณหนึ่งที่ไม่สามารถถูกชะออกจากดินตะกอนได้ (F4) แสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่มีในดินตะกอนไม่ใช่ปริมาณทั้งหมดที่สามารถบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงของภาวะมลพิษจากสารโลหะหนักชนิดนี้ เมื่อคิดเป็นร้อยละการกระจายตัวของตะกั่วเทียบกับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินตะกอน ดังภาพที่ 5 (Figure 5) พบว่า ลำดับการกระจายตัวของตะกั่วในดินตะกอนจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $F2 \gg F3 > F4 > F1$ ตะกั่วในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสมีปริมาณมากที่สุด (ร้อยละ 70.6-80.3) รองลงมาเป็นตะกั่วในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับสารประกอบอินทรีย์และซิลิเฟต (ร้อยละ 8.6-16.1) และรูปฟอร์มที่ไม่สามารถถูกชะออกจากดินตะกอนได้ (ร้อยละ 7.2-11.9) ส่วนที่อยู่ในรูปฟอร์มที่ละลายน้ำ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และโลหะหนักที่สร้างพันธะกับคาร์บอเนต มีปริมาณน้อยที่สุด (ร้อยละ 3.9-9.9)

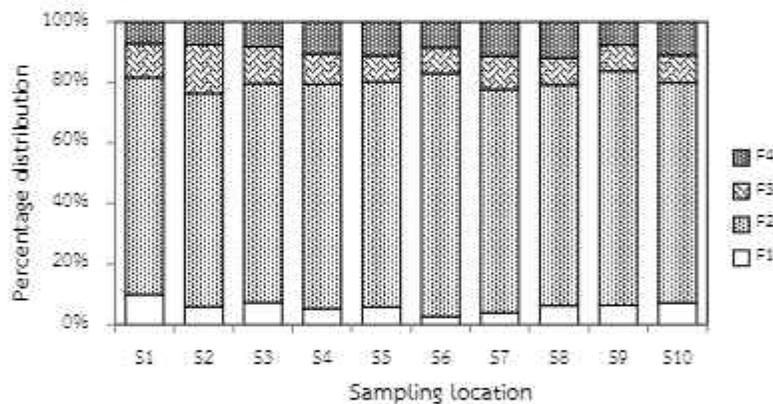


Figure 5 The percentage distribution of Pb compared to the total amount of Pb in the sediment

อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี กับเกณฑ์คุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเล (Pollution Control Department, 2015) และเกณฑ์มาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA, 1999) พบว่าปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่มีในดินตะกอนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ดังตารางที่ 3) จึงสรุปได้ว่าดินตะกอนจากแหล่งดังกล่าวมีระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่าปริมาณสังกะสีในดินตะกอนนี้ (23.149-84.324 mg/kg) มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนจากชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งมีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง 22.7-41.9 mg/kg (Marine and Coastal

Resources Research Center (Lower Gulf of Thailand), 2011) และพบว่าปริมาณสังกะสีที่พบในดินตะกอนนี้มีค่าใกล้เคียงกันกับที่พบในดินตะกอนที่ได้จากบริเวณปากแม่น้ำของแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 29.6-81.5 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.6 mg/kg (Wang, 2017) และมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างจากชายฝั่งตะวันออกของเกาะไห่หนาน ประเทศจีน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 37.8-114.3 mg/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.4 mg/kg (Xu et al., 2015) แต่ก็ยังพบว่ามีความแตกต่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากปากแม่น้ำโคชิน ประเทศอินเดีย ซึ่งมีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง 3.4-4655 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 386.08 mg/kg (Salas et al., 2017) เนื่องจากพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำดังกล่าวถูกทำให้เสื่อมสภาพอย่างต่อเนื่องโดยการเปลี่ยนแปลงของความเป็นเมือง (Urbanization) และอุตสาหกรรม (Industrialization) ทำให้มีความจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังในการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศ และพบว่าปริมาณสังกะสีในดินตะกอนจากงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากทะเลสาบในเมือง Gödöllő ประเทศฮังการี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 128-1640 mg/kg (Heltai et al., 2018) ซึ่งทะเลสาบนี้เคยเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียของเมืองนี้มาก่อน

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในดินตะกอนในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 5.842-10.064 mg/kg และมีค่าเฉลี่ย 8.163 mg/kg พบว่ามีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาปริมาณตะกั่วในดินตะกอนจากชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 13.7-23.0 mg/kg (Marine and Coastal Resources Research Center (Lower Gulf of Thailand), 2011) และพบว่าปริมาณต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่พบในดินตะกอนที่ได้จากบริเวณปากแม่น้ำของแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 3.2-34.2 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.3 mg/kg (Wang, 2017) รวมทั้งผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากชายฝั่งตะวันออกของเกาะไห่หนาน ประเทศจีน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 11.1-31.1 mg/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.2 mg/kg (Xu et al., 2015) ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากปากแม่น้ำโคชิน ประเทศอินเดีย ซึ่งมีตะกั่วอยู่ในช่วง 0.2-95.6 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.9 mg/kg (Salas et al., 2017) และผลการศึกษาในดินตะกอนจากอ่าว Málaga ทางตอนใต้ของประเทศสเปน พบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 7.92-37.1 mg/kg (Alonso Castillo et al., 2013) และมีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในดินตะกอนจากทะเลสาบในเมือง Gödöllő ประเทศฮังการี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 24.0-379 mg/kg (Heltai et al., 2018)

ปริมาณทองแดงในดินตะกอนจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.168-7.343 mg/kg และมีค่าเฉลี่ย 2.838 mg/kg พบว่ามีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ ผลการศึกษาปริมาณทองแดงในดินตะกอนจากชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.4-24.2 mg/kg (Marine and Coastal Resources Research Center (Lower Gulf of Thailand), 2011)

ผลการศึกษาในดินตะกอนที่ได้จากบริเวณปากแม่น้ำของแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 1.2-47.2 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.8 mg/kg (Wang, 2017) ผลการวิเคราะห์ในดินตะกอนจากชายฝั่งตะวันออกของเกาะไห่หนาน ประเทศจีน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 13.7-45.0 mg/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 mg/kg (Xu et al., 2015) ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากปากแม่น้ำโคชิน ประเทศอินเดีย ซึ่งมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง 1.35-146.6 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.74 mg/kg (Salas et al., 2017) และผลการศึกษาในดินตะกอนจากอ่าว Malaga ทางตอนใต้ของประเทศสเปน พบว่ามีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง 6.57-21.2 mg/kg (Alonso Castillo et al., 2013) และมีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณทองแดงที่พบในดินตะกอนจากทะเลสาบในเมือง Gödöllő ประเทศฮังการี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 30.3-230 mg/kg (Heltai et al., 2018)

สำหรับปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนจากผลการศึกษานี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.173-0.257 mg/kg และมีค่าเฉลี่ย 0.216 mg/kg ซึ่งพบว่ามีความใกล้เคียงกันกับผลการวิเคราะห์ในดินตะกอนจากชายฝั่งตะวันออกของเกาะไห่หนาน ประเทศจีน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.35 mg/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 mg/kg (Xu et al., 2015) รวมทั้งผลการศึกษาในดินตะกอนจากอ่าว Malaga ทางตอนใต้ของประเทศสเปน พบว่ามีปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.021-0.283 mg/kg (Alonso Castillo et al., 2013) แต่มีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากการศึกษาในดินตะกอนที่ได้จากบริเวณปากแม่น้ำของแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.20 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 mg/kg (Wang, 2017) แต่มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนจากชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.17-0.66 mg/kg (Marine and Coastal Resources Research Center (Lower Gulf of Thailand), 2011) และมีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากปากแม่น้ำโคชิน ประเทศอินเดีย ซึ่งมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง 0.06-64.4 mg/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.07 mg/kg (Salas et al., 2017) และปริมาณแคดเมียมที่พบในดินตะกอนจากทะเลสาบในเมือง Gödöllő ประเทศฮังการี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.77-40.4 mg/kg (Heltai et al., 2018)

ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่มีอยู่ในดินตะกอนในทุกรูปฟอร์ม หรือ Total metal concentration เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงการประเมินระดับการปนเปื้อนหรือระดับความรุนแรงของภาวะมลพิษจากสารโลหะหนักนั้นๆ แต่ข้อมูลนี้ยังไม่เพียงพอสำหรับการประเมินแนวโน้มของความรุนแรงที่ชัดเจนของแต่ละพื้นที่ เนื่องจากความเป็นไปได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่จะถูกชะออกจากดินตะกอนลงสู่แหล่งน้ำและถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตนั้นมีระดับที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปฟอร์ม ของโลหะหนัก ซึ่งดินตะกอนจากแต่ละแหล่งมีการสะสมของโลหะหนักในระยะเวลาที่แตกต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงรูปฟอร์มของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ต่างกัน ส่งผลต่อระดับของชีวปริมาณออกฤทธิ์ ของโลหะหนักในดินตะกอน ดังนั้นในการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักในดินตะกอนจะทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับรูปฟอร์มที่แตกต่างกันของโลหะหนักที่มีอยู่ในดินตะกอนซึ่งมีแนวโน้มที่จะถูกชะออกมาได้

แตกต่างกัน เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ รูปฟอร์มที่ละลายน้ำ/แลกเปลี่ยนไอออนได้/ที่สร้างพันธะกับคาร์บอนเนต รูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับสารประกอบอินทรีย์และซิลิเฟต จากผลการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในดินตะกอนที่ได้จากบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยพิจารณาความเป็นไปได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่จะถูกชะออกจากดินตะกอนลงสู่แหล่งน้ำและถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่ามีระดับที่แตกต่างกันสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ $Cd > Zn > Cu > Pb$ ซึ่งแคดเมียมส่วนใหญ่อยู่รูปฟอร์มที่ละลายน้ำ/แลกเปลี่ยนไอออนได้/ที่สร้างพันธะกับคาร์บอนเนต (ร้อยละ 70.6-78.4) และมีส่วนที่อยู่ในรูปฟอร์มที่สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.6-29.4 ซึ่งสอดคล้องกับที่รายงานโดย You et al. (2023) ส่วนตะกั่วในดินตะกอนมีส่วนที่อยู่ในรูปฟอร์มที่พร้อมที่จะถูกชะออกมาสู่แหล่งน้ำได้ในปริมาณที่น้อยที่สุด (ร้อยละ 3.9-9.9) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนักในดินตะกอนจากแม่น้ำจีนเจียง เมืองเฉิงตู ประเทศจีนซึ่งพบว่าแคดเมียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟอร์มที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ สำหรับทองแดงและตะกั่วจะพบอยู่ในส่วนที่เป็นรูปฟอร์มที่ถูกตรึงไว้ (Liu et al., 2018)

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณการสะสมของโลหะหนักที่ศึกษาในตัวอย่างดินตะกอนจากบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทั้ง 10 แห่ง เรียงลำดับตามปริมาณที่พบจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $Zn > Pb > Cu > Cd$ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเล และเกณฑ์มาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดที่มีในดินตะกอนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จึงมีระดับการสะสมของโลหะหนักในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และผลการศึกษาชีวปริมาณออกฤทธิ์ของโลหะหนักในดินตะกอน โดยพิจารณาความเป็นไปได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่จะถูกชะออกจากดินตะกอนลงสู่แหล่งน้ำและถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่ามีระดับที่แตกต่างกันสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ $Cd > Zn > Cu > Pb$ ซึ่งแคดเมียมส่วนใหญ่อยู่รูปฟอร์มที่ละลายน้ำ/แลกเปลี่ยนไอออนได้/ที่สร้างพันธะกับคาร์บอนเนต ทำให้แคดเมียมมีแนวโน้มที่จะถูกชะออกจากดินตะกอนลงสู่แหล่งน้ำได้มากที่สุด ส่วนตะกั่วในดินตะกอนมีส่วนที่อยู่ในรูปฟอร์มที่พร้อมที่จะถูกชะออกมาสู่แหล่งน้ำได้ในปริมาณที่น้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Alonso Castillo MI, Sánchez Trujillo I, Vereda Alonso E, García de Torres A, Cano Pavón JM. Bioavailability of heavy metals in water and sediments from a typical Mediterranean Bay (Málaga Bay, Región of Andalucía, Southern Spain). *Marine Pollution Bulletin* 2013;76:427-434.
- Baig JA, Kazi TG, Arain MB, Shah AQ, Sarfraz RA, Afridi HI, Kandhro AQ, Jamali MK, Khan S. Arsenic fractionation in sediments of different origins using BCR sequential and single extraction methods. *Journal of Hazardous Materials* 2009;167:745-751.
- Chen C, Lim YC, Ju Y, Albarico FPJB, Chen C, Dong C. A novel pollution index to assess the metal bioavailability and ecological risks in sediments. *Marine Pollution Bulletin* 2023;191:114926.
- Guevara-Riba A, Sahuquillo A, Rubio R, Rauret G. Assessment of metal mobility in dredged harbour sediments from Barcelona, Spain. *Science of the Total Environment* 2004;321:241-255.
- Hao Y, Miao X, Liu H, Miao D. The variation of heavy metals bioavailability in sediments of Liujiang river basin, SW China associated to their speciations and environmental fluctuations, a field study in typical karstic river. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021;18:3986.
- Heltai G, Györi Z, Fekete I, Halász G, Kovács K, Takács A. Longterm study of transformation of potentially toxic element pollution in soil/water/sediment system by means of fractionation with sequential extraction procedures. *Microchemical Journal* 2018;136:85-93.
- Hlavay J, Polyak K. Chemical speciation of elements in sediment samples collected at Lake Balaton. *Microchemical Journal* 1998;58:281-290.
- Jarempornipat A, Pedersen O, Jensen KR, Boromthanasat S, Vongvisessomjai S, Choncheanchob P. Sustainable management of shellfish resources in Bandon Bay, Gulf of Thailand. *Journal of Coastal Conservation* 2003;9:135-146.
- Liu X, Jiang J, Yan Y, Dai Y, Deng B, Ding S, Su S, Sun W, Li Z, Gan Z. Distribution and risk assessment of metals in water, sediments, and wild fish from Jinjiang River in Chengdu, China. *Chemosphere* 2018;196:45-52.
- Marine and Coastal Resources Research Center (Lower Gulf of Thailand). Annual Report 2010-2011. <http://dmcrth.dmcr.go.th/lmcr/download/147/1/>. Accessed April, 17 2018.
- Mossop KF, Davidson CM. Comparison of original and modified BCR sequential extraction procedures for the fractionation of copper, iron, lead, manganese and zinc in soils and sediments. *Analytica Chimica Acta* 2003;478:111-118.
- Nemati K, Bakar NKA, Sobhanzadeh E, Abas MR. A modification of the BCR sequential extraction procedure to investigate the potential mobility of copper and zinc in shrimp aquaculture sludge. *Microchemical Journal* 2009;92:165-169.
- Nemati K, Bakar NKA, Abas MRA, Sobhanzadeh E. Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure in different depths of sediments from Sungai Buloh, Selangor, Malaysia. *Journal of Hazardous Materials* 2011;192:402-410.

- Pignotti E, Guerra R, Covelli S, Fabbri E, Dinelli E. Sediment quality assessment in a coastal lagoon (Ravenna, NE Italy) based on SEM-AVS and sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment* 2018;635:216-227.
- Pollution Control Department. Announcement of the Department of Pollution Control regarding the Criteria for Quality of Coastal Sediments; 2015.
- Salas PM, Sujatha CH, Ratheesh CS, Kumar R, Cheriyan E. Heavy metal distribution and contamination status in the sedimentary environment of Cochin estuary. *Marine Pollution Bulletin* 2017;119:191-203.
- Tai Y, McBride MB, Li Z. Evaluating specificity of sequential extraction for chemical forms of lead in artificially-contaminated and field-contaminated soils. *Talanta* 2013;107:183-188.
- Tessier A, Campbell PGC, Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry* 1979;51:844-851.
- US EPA. Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils; 2007.
- US EPA. Screening level ecological risk assessment protocol. In: Appendix E. Toxicology reference values. U.S. Environmental Protection Agency Region 6, Multimedia planning and permitting division, Washington, DC, USA; 1999.
- Wang Y, Ling M, Liu R, Yu P, Tang A, Luo X. Distribution and source identification of trace metals in the sediment of Yellow River Estuary and the adjacent Laizhou Bay. *Physics and Chemistry of the Earth* 2017;97:62-70.
- Xu F, Tian X, Yin X, Yan H, Yin F, Liu Z. Trace metals in the surface sediments of the eastern continental shelf of Hainan Island: Sources and contamination. *Marine Pollution Bulletin* 2015;99:276-283.
- Yang Y, Chen F, Zhang L, Liu J, Wu S, Kang M. Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf. *Marine Pollution Bulletin* 2012;64:1947-1955.
- You M, Hu Y, Meng Y. Chemical speciation and bioavailability of potentially toxic elements in surface sediment from the Huaihe River, Anhui Province, China. *Marine Pollution Bulletin* 2023;188:114616.