

การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดิน ใต้เดือนทะเลและหอยแครง ในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต

อุดมลักษณ์ คงสังข์¹ ธงชัย สุธีรศักดิ์^{2*}

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต อ.กะทู้ จ.ภูเก็ต 83120

และ เวียงชัย จงศิริรัตนกุล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

* Corresponding Author: thongchai.s@phuket.psu.ac.th

¹ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

³ นักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

ชื่อบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 12 มีนาคม 2561

แก้ไข : 25 ตุลาคม 2561

ตอบรับ : 1 พฤศจิกายน 2561

คำสำคัญ :

ตะกอนดิน / ใต้เดือนทะเล /

โลหะหนัก /

การปนเปื้อน / จังหวัดภูเก็ต

ปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตสามารถพบได้ทั่วไปในพื้นที่ชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะในระบบนิเวศปากแม่น้ำ เนื่องจากเป็นพื้นที่รองรับน้ำจากแผ่นดินซึ่งไหลผ่านพื้นที่ที่มีการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ในรูปแบบต่างๆ ทำให้น้ำจากแผ่นดินชะล้างเอาทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ลงมาสะสมยังระบบนิเวศดังกล่าว การศึกษานี้เป็นการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี) ในดินตะกอน ใต้เดือนทะเล และหอยแครง บริเวณปากคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560 ปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในตะกอนดินขนาดเล็กลงกว่า 63 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 20.6 ± 6.0 , 15.1 ± 4.2 และ 47.1 ± 5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ตะกอนดินขนาด 63-150 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีเท่ากับ 18.5 ± 7.1 , 11.3 ± 4.8 และ 48.4 ± 15.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในใต้เดือนทะเลเท่ากับ 6.5 ± 2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และในหอยแครงเท่ากับ 2.0 ± 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าที่พบในตะกอนดินเช่นเดียวกับความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงที่พบในใต้เดือนทะเล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.7 ± 1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และในหอยแครงเท่ากับ 4.5 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในใต้เดือนทะเลและหอยแครงพบว่าอยู่ในระดับที่สูงกว่าในดินตะกอน คือ 98.2 ± 5.6 และ 65.3 ± 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักจากค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Igeo) การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) และดัชนีวัดความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (RI) พบว่ามีเพียงบางตัวอย่างที่ระดับการปนเปื้อนในตะกอนดินอยู่ที่ระดับการปนเปื้อนเล็กน้อยส่วนการปนเปื้อนโลหะหนักในใต้เดือนทะเลและหอยแครงอยู่ในระดับต่ำและมีโอกาสส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในระดับที่ไม่น่าเป็นกังวล

Contamination of Heavy Metals in Sediment, Polychaetes and Cockles in the Bang Yai River Estuary, Phuket Province

Audomlak Khongsang¹, Thongchai Suteerasak^{2*}

Prince of Songkla University, Phuket Campus, Kathu, Phuket 83120

and Wiangchai Chongsrirattanakun³

Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Hat Yai, Songkhla 90110

* Corresponding Author: thongchai.s@phuket.psu.ac.th

¹ Lecturer, Faculty of Technology and Environment.

² Assistant Professor, Faculty of Technology and Environment.

³ Scientist, Scientific Equipment Center.

Article Info

Abstract

Article History:

Received: March 12, 2018

Revised: October 25, 2018

Accepted: November 1, 2018

Keywords:

Sediment /

Polychaetes Heavy Metal /

Contamination /

Phuket Province

Heavy metal contamination is a very important bioaccumulation issue for a coastal region, especially that within an estuarine ecosystem. Urban runoff is the major source of trace elements in water and sediments that can accumulate in the tissue of aquatic animals. In this study, concentrations of heavy metals (Pb, Cu and Zn) were measured in sediment as well as in the soft tissue of polychaetes and cockles from within the estuarine area where the Bang yai canal drains from Phuket town during May 2017. The mean concentrations in the sediment grain size of < 63 micrometer of Pb, Cu, and Zn were 20.6±6.0, 15.1±4.2 and 47.1±5.6 mg/kg, respectively. The mean concentrations in the sediment grain size of 63-150 micrometer of Pb, Cu, and Zn were 18.5±7.1, 11.3±4.8 and 48.4±15.7 mg/kg, respectively. The mean concentrations of Pb were 6.5±2.4 mg/kg in polychaetes and 2.0±0.2 mg/kg in cockles. The mean concentrations of Cu were 10.7±1.1 mg/kg in polychaetes and 4.5±0.1 mg/kg in cockles. Zn exhibited the highest mean concentrations of 98.2±5.6 mg/kg in polychaetes and 65.3±0.9 mg/kg in cockles; the values were higher than that in the sediments. The results confirmed the heavy metal contamination in the sediments, polychaetes and cockles in the area. However, the geo-accumulation index, enrichment factor, sediment pollution index and potential ecological risk index showed that the contamination levels were still not harmful to humans.

1. บทนำ

การปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเกิดได้จากหลายสาเหตุทั้งที่เกิดตามธรรมชาติหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม [1] การปนเปื้อนโลหะหนักที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำและพื้นที่ชายฝั่งทะเลสามารถส่งผ่านไปทางห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว รวมถึงสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่นิยมนำมาบริโภคผลที่ตามมาคือทำให้มนุษย์สามารถรับเอาโลหะหนักดังกล่าวเข้าไปสู่ร่างกายได้งานวิจัยที่มีการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ชายฝั่งอย่างจริงจังและต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ผ่านมามีอยู่มากมาย [2-7] พบว่าโลหะหนักสามารถถูกดูดซับได้โดยตะกอนดินขนาดเล็ก [8-10] ส่งผลให้พบโลหะหนักดังกล่าวสะสมอยู่ร่วมกับตะกอนดินขนาดเล็กได้ โดยการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลมักมีที่มาจากกระแสน้ำและปะปนมากับน้ำจากแผ่นดินซึ่งไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ชัดเจนทั้งนี้กิจกรรมของมนุษย์ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำล้วนมีผลต่อปริมาณโลหะหนักทั้งสิ้นการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยในน้ำและสะสมตัวในดินตะกอนท้องน้ำในบริเวณชายฝั่งดังกล่าว มีโอกาสส่งผ่านไปยังสัตว์น้ำได้โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่มีการกรองกินและฝังตัวอยู่ในดินตะกอนอย่างเช่น ไส้เดือนทะเล (Polychaete) ซึ่งจัดเป็นสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (Macro Benthos) อาศัยอยู่ระหว่างช่องว่างของดินตะกอน สามารถพบแพร่กระจายได้ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ท้องทะเลที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม [11] ไส้เดือนทะเลมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศทางทะเลในแง่ของการเป็นผู้หมุนเวียนอินทรียสาร รวมถึงเป็นอาหารสัตว์น้ำที่สำคัญในระบบนิเวศหาดเลน ป่าชายเลนและปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นระบบนิเวศที่มักมีการทับถมของอินทรียสารและแร่ธาตุที่มาจากแผ่นดินเป็นจำนวนมาก โดยสามารถพบการแพร่กระจายของไส้เดือนทะเลได้มากในพื้นที่ซึ่งมีตะกอนดินขนาดเล็กที่เป็นดินเลนหรือโคลนอยู่เป็นจำนวนมาก [12] นอกจากนี้ สัตว์ทะเลหน้าดินที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจจำพวกหอยสองฝา (Bivalve) ซึ่งมีรูปแบบการกินโดยกรองน้ำทะเลผ่านตัวทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในตัวได้เช่นกัน และเมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำเศรษฐกิจในกลุ่มนี้ก็มีโอกาสรับเอาโลหะหนักเข้ามาสะสมในร่างกายได้ โดยเฉพาะในพื้นที่อ่าวภูเก็ตพบว่าแหล่งการทำประมงหอยสองฝาที่สำคัญ ได้แก่ หอยแครง หอยตลับ และหอยหลอด

ดังนั้นการวิเคราะห์การปนเปื้อนในสัตว์น้ำจึงต้องมีการเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนชายฝั่งและในสิ่งมีชีวิตลำดับสูงสุดของห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำ เพื่อประโยชน์ในการศึกษามลพิษที่เกิดจากโลหะในพื้นที่การศึกษารวมถึงโอกาสที่มนุษย์จะได้รับเอาโลหะหนักดังกล่าวเข้าไปด้วย ดังนั้นการศึกษาการคงอยู่และเคลื่อนที่ของโลหะหนักจึงมีความสำคัญในการคาดการณ์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและทางด้านนิเวศวิทยา

ปัจจุบันการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพในระบบนิเวศโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่ (Bioindicators) มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การวัดการเปลี่ยนแปลงประชากรองค์ประกอบชนิดของสิ่งมีชีวิต การสะสมทางชีวภาพของสารพิษ หรือการทดสอบความเป็นพิษทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม [13] เนื่องจากสัตว์หน้าดินจะไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้เล็กน้อยทำให้สามารถวิเคราะห์มลพิษได้แบบรู้แหล่งกำเนิดแน่นอน นอกจากนี้ก็มีช่วงชีวิตที่ยาวนานเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นๆ สัตว์ทะเลหน้าดินมีความหลากหลายของชนิดที่เฉพาะเจาะจงในการตอบสนองต่อมลพิษที่ต่างกัน โดยการศึกษาของ Pangubol และ Salaenoi [14] พบว่าแคดเมียมคลอไรด์มีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์และทำให้เกิดการตายในไส้เดือนทะเล *Perineris nuntia* ตัวเต็มวัยมากกว่าซิงค์ซัลเฟตและคอปเปอร์ซัลเฟต สอดคล้องกับผลจากงานวิจัยของ Bat และ Raffaelli [15] ที่ศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันแบบ Sediment Toxicity ของทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ต่ออัตราการตายของ *Lugworms* ที่ระยะเวลา 10 วัน นอกจากนี้ ไส้เดือนทะเลบางชนิดยังมีตอบสนองต่อการสัมผัสพิษจากโลหะหนักโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาอีกด้วย [16]

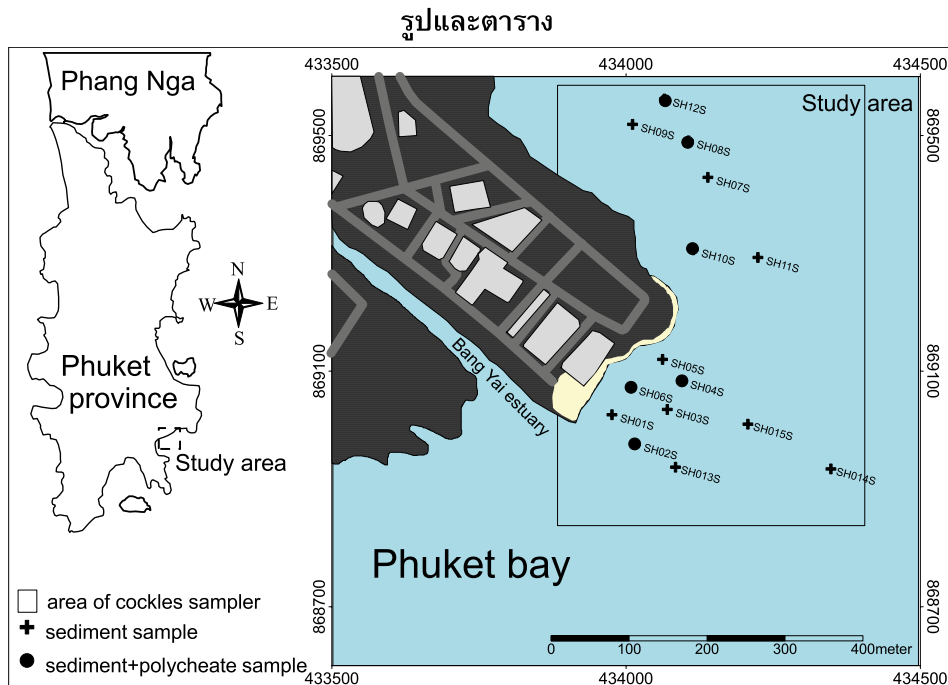
ในส่วนของคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งในจากคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต จากงานวิจัยที่ทำไว้ก่อนหน้านี้ [17] พบว่ามีโลหะหนักบางชนิดที่มาจากแหล่งธรรมชาติ รวมทั้งอาจจะมีปะปนมากับน้ำเสียที่ถูกปล่อยลงมากลางบางใหญ่จากกิจกรรมทำเหมืองแร่ดีบุก โรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือน โดยโลหะหนักที่พบการปนเปื้อนอยู่ในคลองบางใหญ่คือ Pb และ Zn สอดคล้องกับงานของ Suteerasak และ Bhongsuwan [4] ที่พบโลหะหนักบางชนิดมาจากกิจการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตปะปนอยู่กับดินตะกอนท้องน้ำในคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งในจากคลองบางใหญ่ในงานวิจัยนี้เป็นการ

ตรวจหาปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ที่สะสมอยู่ในตะกอนดินและในสัตว์ทะเลหน้าดิน ได้แก่ ไส้เดือนทะเลและหอยแครง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กันของผลที่พบและประเมินถึงโอกาสที่สัตว์น้ำขนาดใหญ่จะได้รับเอาปริมาณโลหะหนักดังกล่าวเข้าไป โดยผลที่ได้จะนำไปพิจารณาในลักษณะของการกระจายตัวเชิงพื้นที่ และความเกี่ยวพันกันของปริมาณโลหะหนักที่พบในตะกอนดินไส้เดือนทะเลและหอยแครง

2. พื้นที่ศึกษา

คลองบางใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากน้ำตกกะตุ้ อำเภอกะตุ้ จังหวัดภูเก็ต ไหลผ่านเขตชุมชนในอำเภอกะตุ้ตลอดมาจนถึงอำเภอมะปริงและเปิดออกสู่ทะเลบริเวณอ่าวภูเก็ต ซึ่งตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะภูเก็ต โดยตลอดเส้นทางของคลองบางใหญ่เป็นที่ตั้งของบ้านเรือน ร้านค้า โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม เต่าเผาขยะ ซึ่งมีการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ในหลากหลายรูปแบบ ด้วยระบบการจัดการพื้นที่ที่มี

ประสิทธิภาพไม่เพียงพอทำให้สามารถพบเห็นการปล่อยทิ้งน้ำจากแหล่งชุมชนลงสู่คลองบางใหญ่ได้ตลอดทั้งเส้นทางการไหลผ่านของน้ำ รวมถึงการชะล้างตะกอนบนแผ่นดินของน้ำฝนทำให้คลองบางใหญ่กลายเป็นพื้นที่รองรับน้ำทิ้งที่สำคัญของเขตอำเภอกะตุ้และอำเภอมะปริง โดยบริเวณปากคลองบางใหญ่ที่เปิดออกสู่ทะเลมีลักษณะเป็นหาดเลนที่ราบลุ่มชายฝั่งและมีป่าชายเลนอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของปากคลองบางใหญ่ ตะกอนบริเวณนี้ประกอบด้วยดินเลนขนาดเล็กผสมทราย ซึ่งมาจากการพัดพามาตามกระแสน้ำและสะสมตัวอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว ตะกอนดินที่พบในพื้นที่นี้โดยมากเป็นวัสดุธรรมชาติ หุติยภูมิที่มาจากดินเหนียวและดินโคลนที่เกิดจากการพังทลายตามธรรมชาติของหินโคลนและหินชุดภูเก็ทที่เกิดในยุคควอเทอร์นารี [18] สำหรับพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างตะกอนดินในงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่ชายทะเลส่วนนอกที่อยู่ติดกับกับปากคลองบางใหญ่ กินพื้นที่ตลอดแนวชายฝั่งทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่เรียกว่าบริเวณปลายแหลมสะพานหิน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ตและจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินท้องน้ำ 15 ตัวอย่าง และไส้เดือนทะเล 6 ตัวอย่างรวมถึงขอบเขตพื้นที่เก็บตัวอย่างหอยแครง

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

การศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดินและสัตว์ทะเลหน้าดิน ทำในพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ที่เป็นแหล่งหาและจับสัตว์น้ำขนาดเล็กของชาวบ้านในพื้นที่ โดยเริ่มจากการเก็บตะกอนดินท้องน้ำและสัตว์ทะเลหน้าดินในตำแหน่งเดียวกับที่เก็บตะกอนดิน ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560 ตะกอนดินท้องน้ำถูกเก็บด้วยเครื่องเก็บตะกอนดิน Petersen grab sampler จำนวนทั้งสิ้น 15 จุดตัวอย่าง ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างเก็บตะกอนดินขึ้นมา 3 ครั้ง ที่ความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยมีน้ำหนักปริมาณตะกอนดินเปียกที่คัดเศษขยะและเศษหินออกไปประมาณ 2 ถึง 3 กิโลกรัม ส่วนการเก็บสัตว์ทะเลหน้าดินประเภทไส้เดือนทะเลเก็บทั้งสิ้น 6 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างที่เก็บตะกอนดิน (รูปที่ 1) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง (Sampling method) ไส้เดือนทะเล โดยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างได้ทำการขุดดินเลนลึกประมาณ 15 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างไส้เดือนทะเลสดมาประมาณ 10-20 ตัวในรัศมีประมาณ 3 เมตรรอบจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินส่วนการเก็บสัตว์ทะเลหน้าดินจำพวกหอยแครงจะเก็บแบบรวบรวมกันในพื้นที่เนื่องจากมีการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถเก็บแบบเดียวกับไส้เดือนทะเล ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีเดินสุ่มหาและเก็บตัวอย่างโดยใช้พลั่วขนาดเล็กเป็นอุปกรณ์ช่วยในการขุดดิน ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างตะกอนดินและไส้เดือนทะเลได้มีการบันทึกพิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องวัดพิกัดดาวเทียม GPS (Garmin รุ่น etrex) ตัวอย่างตะกอนดินและไส้เดือนทะเล รวมถึงสัตว์ทะเลหน้าดินจำพวกหอยแครงที่เก็บได้ในพื้นที่ศึกษาถูกบรรจุลงในถุงน้ำแข็งก่อนนำไปเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ผลในลำดับถัดไป วิธีการเตรียมตัวอย่างไส้เดือนทะเลเริ่มจากนำตัวอย่างมาล้างทำความสะอาดดินเลนด้วยน้ำจืดในพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างไส้เดือนทะเลสดมา 20-40 กรัม เพื่อเตรียมเข้าอบในขั้นตอนต่อไป สำหรับวิธีการเตรียมตัวอย่างหอยแครงเริ่มจากล้างทำความสะอาดหอยด้วยน้ำสะอาดและคัดแยกเนื้อหอยออกมา ชั่งน้ำหนัก 100 กรัมหลังจากได้ตัวอย่างในพื้นที่ดังกล่าวแล้วนำตะกอนดินและสัตว์ทะเลหน้าดินทั้งหมดมาอบด้วยความร้อนเพื่อไล่ความชื้นด้วยอุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างตะกอนดินที่ปราศจาก

ความชื้นดังกล่าว 500 กรัมมาคัดแยกขนาดด้วยตระแกรงร้อนแยกขนาดที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิมที่มีขนาดช่อง 150 ไมครอน และ 63 ไมครอน ส่วนสัตว์ทะเลหน้าดินที่แห้งแล้วนำมาบดเป็นผงและนำไปตรวจวัดและวิเคราะห์ผลปริมาณโลหะหนักทางเคมีร่วมกับตะกอนดินมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินและสัตว์ทะเลหน้าดินอาศัยวิธีการเตรียมตัวอย่างเป็นสารละลายที่เหมือนกันเพื่อให้สามารถนำผลปริมาณโลหะหนักมาเปรียบเทียบกันได้[15] เริ่มจากนำตะกอนดินและสัตว์ทะเลหน้าดินที่อบและบดเป็นผงตัวอย่างละ 200 มิลลิกรัม [17] จากนั้นนำมาใส่ใน Vessel ขนาด 110 มิลลิลิตร ก่อนนำมาย่อยเป็นสารละลายด้วยการเติมสาร aqua regia (HNO₃ 69 % Suprapur®, Merch and HCl 30%, Suprapur®, Merch) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร [19] เขย่าให้เข้ากันและบรรจุลงใน MARSX press Plus ทั้งนี้การย่อยตะกอนดินและสัตว์ทะเลหน้าดินเป็นสารละลายอาศัยการให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟ (Microwave Digested) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เหมือนกันจนทลายที่สุดได้ตัวอย่างทั้งหมดในรูปของสารละลายนำมาทำให้เจือจางก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES (Perkin-Elmer, Avio 500 DV, USA) โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการย่อยตะกอน ด้วยการย่อยตัวอย่างมาตรฐาน MESS - 4 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents) ที่เป็นตะกอนดินทะเลสาบจากประเทศแคนาดา [20] เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การแยกกรรม (%recovery) ในลำดับถัดไป ในส่วนของสัตว์ทะเลหน้าดินเนื่องจากผู้วิจัยไม่มีตัวอย่างสัตว์ทะเลหน้าดินมาตรฐานทั้งสองชนิดจึงใช้ผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักโดยตรงซึ่งในการวิเคราะห์ได้มีการเปรียบเทียบผลกับสารละลายมาตรฐาน (CRM solution) ของ Perkin Elmer Inc.

3.3 การวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก

ตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่นำมาใช้วิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินนอกเหนือจากผลความเข้มข้นโลหะ

หนักเชิงปริมาณได้แก่ ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (Sediment Pollution Index, SPI) และดัชนีวัดความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (potential ecological risk index, RI) ในส่วนของตัวชี้วัดในทางชีวภาพที่นำมาพิจารณาประเมินผลการปนเปื้อนต่อสัตว์ทะเลหน้าดินคือ ปัจจัยการสะสมตัวทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor, BCF)

3.3.1 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo})

ค่าดังกล่าวใช้ตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดินที่ถูกนำมาใช้ในหลายงานวิจัย [17, 21, 22] อาศัยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักที่ต้องการศึกษากับปริมาณโลหะหนักดังกล่าวในวัสดุธรรมชาติของพื้นที่นั้นๆ โดยคำนวณได้จากสมการ

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

เมื่อค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดินและ B_n เป็นปริมาณโลหะหนักในวัสดุธรรมชาติซึ่งในที่นี้เป็นค่าที่มาจากหินตะกอนในพื้นที่ [18] โดยมีการจำแนกช่วงค่าของตัวชี้วัดดังกล่าวคือ I_{geo} น้อยกว่า 0 บ่งบอกถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน ค่า 0 ถึง 1 บ่งบอกถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนไปจนถึงการปนเปื้อนปานกลาง ค่า 1 ถึง 2 บ่งบอกถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง ค่า 2 ถึง 3 บ่งบอกถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลางไปจนถึงการปนเปื้อนรุนแรง ค่า 3 ถึง 4 บ่งบอกถึงระดับที่มีการปนเปื้อนรุนแรง ค่า 4 ถึง 5 บ่งบอกถึงระดับที่มีการปนเปื้อนรุนแรงไปจนถึงการปนเปื้อนรุนแรงมาก และค่ามากกว่า 5 แทนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนรุนแรงมาก

3.3.2 การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF)

ในส่วนของตัวชี้วัดที่ประเมินการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดินที่สะท้อนถึงระดับของอิทธิพลของการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดินที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ [23] ที่คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณโลหะหนักตกั่วในตะกอนดินตัวอย่างหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมีกับปริมาณ

โลหะหนักในวัสดุธรรมชาติในพื้นที่หลังจากปรับฐานทางธรณีเคมีตามสมการ

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{normaliz}} \right)_{sample}}{\left(\frac{C_n}{C_{normaliz}} \right)_{background}}$$

เมื่อค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลและค่า C_{normaliz} เป็นปริมาณธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมีซึ่งในที่นี้ใช้โลหะหนักอะลูมิเนียม โดยคำนวณจากอัตราส่วนของโลหะหนักที่มาจากตัวอย่างตะกอนดิน (sample) และอัตราส่วนของโลหะหนักที่มาจากวัสดุธรรมชาติในพื้นที่ (background) โดยมีการจำแนกช่วงค่าของตัวชี้วัดดังกล่าว คือ ค่า EF ที่น้อยกว่า 2.00 แทนถึงระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลน้อยจากกิจกรรมของมนุษย์ ค่า 2.00 – 5.00 แทนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ ปานกลาง ค่า 5.01 – 20.00 แทนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์สูง ค่า 20.01 – 40.00 แทนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์สูงมาก และสุดท้ายค่า EF ที่มากกว่า 40.00 แทนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์อย่างรุนแรง

3.3.3 ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

ค่าดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดมลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดินเนื่องจากโลหะหนักว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับใด โดยคำนวณค่าได้จากจากปริมาณโลหะหนักหลายชนิด [24]-[25] มีสมการการคำนวณดังนี้

$$SPI = \frac{\left(\sum \left[\frac{C_n}{B_n} \right] \times W_m \right)}{\sum W_m}$$

เมื่อค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดินและ B_n เป็นปริมาณโลหะหนักในวัสดุธรรมชาติซึ่งในที่นี้เป็นค่าที่มาจากหินตะกอนในพื้นที่ [18] และค่า W_m เป็นน้ำหนักความเป็นพิษ (toxicity weight) ซึ่งความเป็นพิษของสังกะสีใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 ทองแดงใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 2 ส่วนตะกั่ว

ใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 5 โดยมีการจำแนกช่วงค่าของตัวชี้วัดดังกล่าวคือ ค่า SPI ช่วง 0 ถึง 2 บ่งบอกถึงตะกอนดินที่มาจากธรรมชาติ ค่า SPI ช่วง 2 ถึง 5 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับต่ำในตะกอนดิน ค่า SPI ช่วง 5 ถึง 10 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางในตะกอนดิน ค่า SPI ช่วง 10 ถึง 20 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน และค่า SPI มากกว่า 20 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนรุนแรงในตะกอนดิน

3.3.4 ดัชนีวัดความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (RI)

ค่าดังกล่าวใช้ประเมินความเสี่ยงที่โลหะหนักต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่างๆ [26] โดยสามารถพิจารณา

แยกเป็นรายธาตุโลหะหนักได้จากค่า RI เดียวเป็นรายธาตุที่ (Er) [27] ซึ่งค่าดังกล่าวคำนวณได้จากสมการ

$$RI = \sum E_r = \sum \left[\frac{C_n}{B_n} \right] \times T_r$$

เมื่อค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดินและ B_n เป็นปริมาณโลหะหนักในวัสดุธรรมชาติซึ่งในที่นี้เป็นค่าที่มาจากหินตะกอนในพื้นที่ [18] และค่า T_r เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษ (toxicity coefficient) ซึ่งค่าความเป็นพิษของสังกะสีเท่ากับ 1 ทองแดงเท่ากับ 5 และตะกั่วเท่ากับ 5 โดยมีการจำแนกช่วงค่าของตัวชี้วัดเทียบกับระดับที่มีศักยภาพในการสร้างความเสี่ยงต่อระบบนิเวศแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_r ของแต่ละธาตุกับค่า RI และการจำแนกช่วงค่าของตัวชี้วัดเทียบกับระดับที่มีศักยภาพในการสร้างความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ [27]

ค่า E_r ของแต่ละธาตุ	ค่า RI	ระดับที่มีศักยภาพในการสร้างความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ
<40	<150	ระดับต่ำ
$40 \leq E_r < 80$	$150 \leq RI < 300$	ระดับปานกลาง
$80 \leq E_r < 160$	$300 \leq RI < 600$	ระดับที่ต้องพิจารณาเฝ้าระวัง
$160 \leq E_r < 320$	≤ 600	ระดับสูง
≤ 320		ระดับสูงมาก

3.3.5 ปัจจัยการสะสมตัวทางชีวภาพ (BCF)

ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเทียบกับปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินที่เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ซึ่งถูกนำมาประเมินผลในหลายงานวิจัย [28-30] สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$BCF = \frac{C_0}{C_s}$$

เมื่อค่า C_0 เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตและ C_s เป็นปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินที่สกัดออกมาจากพื้นที่หรือสภาพแวดล้อมสิ่งมีชีวิตดังกล่าวอาศัยอยู่ซึ่งด้วยตัวชี้วัด

ดังกล่าวดังกล่าวสะท้อนถึงความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในสภาพแวดล้อมที่มีการปนเปื้อน หากมีค่าน้อยอาจหมายถึงการดูดซับและสะสมตัวของโลหะหนักในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตมีอยู่น้อย ทั้งนี้อาจนำไปเปรียบเทียบผลกับตัวชี้วัดการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนเพื่อประเมินถึงสภาพที่มีการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตดังกล่าวได้เช่นกัน

4. ผลและวิจารณ์ผล

4.1 ความเข้มข้นโลหะหนักในตะกอนดิน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่ว ทองแดง

และสังกะสีในตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS – 4 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวม ดังแสดงในตารางที่ 2 กล่าวคือ ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมของโลหะหนักตะกั่วเท่ากับ 90.4

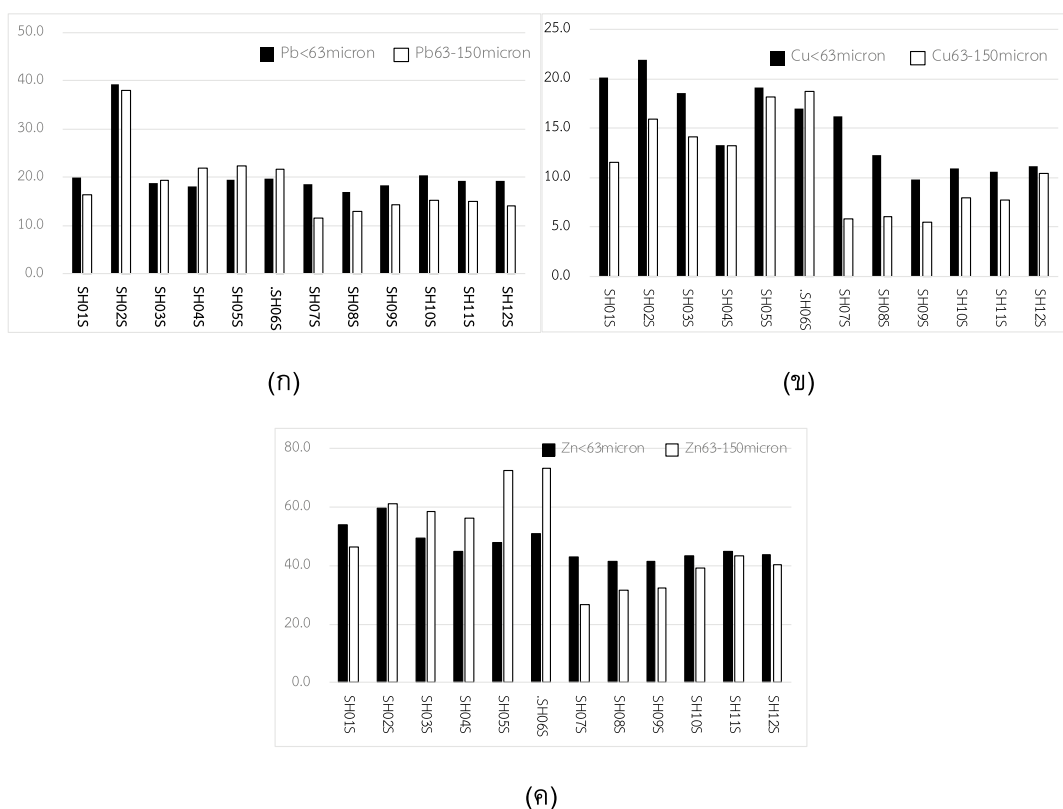
ตารางที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมของโลหะหนักตะกั่ว ทองแดงและสังกะสี

Metal	Certificated reference MESS-4		
	Concentration (mg/kg)	Certificate value (mg/kg)	% recovery
Pb	19.4±0.3	21.5±1.2	90.4
Cu	36.2±0.4	34.7±1.8	104.2
Zn	149.7±1.0	147.0±6.0	101.8

ผลการตรวจหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินท้องน้ำที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาดังกล่าว ได้ผลของแต่ละตัวอย่างเปรียบเทียบกับระหว่างสองขนาดอนุภาคตะกอนดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่า มีปริมาณตะกั่วในตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 16.8 ถึง 39.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 20.6±6.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) และอยู่ในช่วง 11.59 ถึง 37.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 18.5±7.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสองขนาดอนุภาคตะกอนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก (รูปที่ 2 ก) ส่วนปริมาณทองแดงในตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 9.8 ถึง 21.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 15.1±4.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) และอยู่ในช่วง 5.4 ถึง 18.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 11.3±4.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งโดยภาพรวมปริมาณทองแดงในตะกอนขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนมีค่ามากกว่า (รูปที่ 2 ข) และสุดท้ายปริมาณสังกะสีในตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด

63-150 ไมครอน มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 41.5 ถึง 59.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.1±5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) และอยู่ในช่วง 26.8 ถึง 73.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 48.4±15.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้โดยภาพรวมปริมาณสังกะสีในตะกอนสองขนาดอนุภาคมีค่าไม่ต่างกันมากมีเพียงสองตัวอย่าง (ตัวอย่างSH05S และ SH06S) ที่มีสังกะสีในตะกอนอนุภาคขนาด 63-150 ไมครอนมากกว่าขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอน (รูปที่ 2 ค)

พิจารณาการกระจายตัวของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในพื้นที่พบว่าลักษณะการกระจายตัวของโลหะหนักทั้งสามมีแนวโน้มที่ลดลงเหมือนกันระยะห่างจากปากคลองเพิ่มขึ้น และบริเวณพื้นที่ใกล้ปากคลองบางใหญ่พบปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดสะสมตัวอยู่จำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างไรก็ตามรูปแบบการลดลงของโลหะหนักทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกัน อาจขึ้นกับอิทธิพลของการพัดพาตะกอนดินขนาดเล็กโดยกระแสน้ำในพื้นที่ดังกล่าวที่ลดความแรงของการพัดพาที่ระยะห่างจากปากคลองเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ความเข้มข้นโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินสองขนาดอนุภาค (ก) ตะกั่ว (ข) ทองแดง และ (ค) สังกะสี

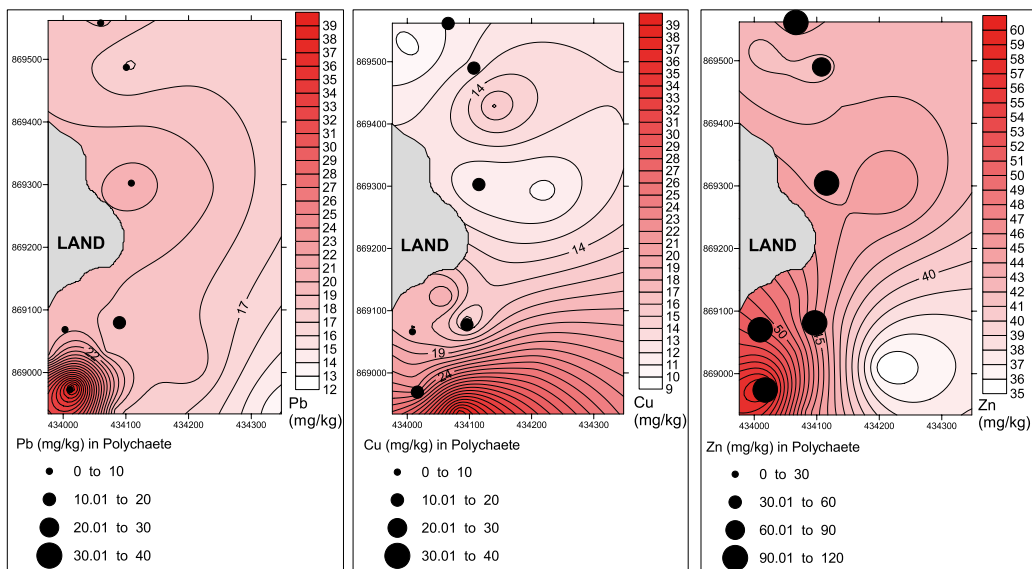
4.2 ความเข้มข้นโลหะหนักในสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ที่อาศัยอยู่ในบริเวณหน้าดินตะกอน

ผลการตรวจหาปริมาณโลหะหนักในไส้เดือนทะเลและหอยแครงบริเวณพื้นที่รองรับน้ำจากคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ในเดือนพฤษภาคม ได้ผลของแต่ละตัวอย่างไส้เดือนทะเลเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอน และปริมาณโลหะหนักโดยรวมในหอยแครงดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสามชนิดในไส้เดือนทะเลมีค่าสูงกว่าในหอยแครง โดยปริมาณตะกั่วในไส้เดือนทะเลมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 4.4 ถึง 10.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.5±2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) และในหอยแครงมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 2.0±0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณทองแดงในไส้เดือนทะเลมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 9.1

ถึง 12.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.7±1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) และในหอยแครงมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 4.5±0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งและปริมาณสังกะสีในไส้เดือนทะเลมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 89.0 ถึง 104.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 98.2±5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ส่วนในหอยแครงมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 65.3±0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นโลหะหนักทั้งสามชนิดในตะกอนดินขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอน พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วและทองแดงในไส้เดือนทะเลและหอยแครงต่ำกว่าในตัวอย่างตะกอนดินส่วนความเข้มข้นของสังกะสีพบว่าในไส้เดือนทะเลและหอยแครงมีค่าสูงกว่าในตัวอย่างตะกอนดิน พิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในไส้เดือนทะเลเปรียบเทียบกับการกระจายตัวของโลหะหนัก

ทั้ง 3 ชนิดในตะกอนดิน (รูปที่ 3) พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ในไส้เดือนทะเลไม่ได้มีการลดลงตามระยะห่างจากปากคลอง บางใหญ่เช่นเดียวกับที่พบการลดลงของโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดิน โดยปริมาณตะกั่วในไส้เดือนทะเลมีค่าต่ำกว่าตะกั่วในตะกอนดินที่พบไส้เดือนทะเล ส่วนปริมาณทองแดงในไส้เดือนทะเลมีค่าต่ำใกล้เคียงกันทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาและพบความเข้มข้นสังกะสีจำนวนมากในไส้เดือนทะเลซึ่งมีค่าสูงกว่าที่พบในตะกอนดินหากพิจารณาความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในตะกอนดินและในไส้เดือนทะเลด้วย

วิธีการทางสถิติจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กันระหว่างโลหะหนักในตัวแปรทั้งสอง พบว่า ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินและในไส้เดือนทะเลมีความสัมพันธ์น้อยมาก (R เท่ากับ 0.21) ในส่วนของทองแดงและสังกะสีมีความสัมพันธ์กันแบบผกผันด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทองแดงในตะกอนดินและในไส้เดือนทะเลเท่ากับ 0.46 และของสังกะสีในตะกอนดินและในไส้เดือนทะเลเท่ากับ 0.07 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสังกะสีในตะกอนดินและในไส้เดือนทะเลอาจกล่าวได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงปริมาณอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3 การกระจายตัวของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในตะกอนดินขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอนเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในไส้เดือนทะเลที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา

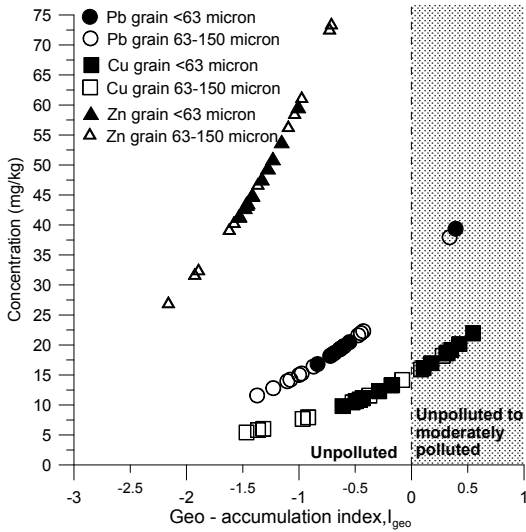
4.3 การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณหน้าดินตะกอน

4.3.1 ดัชนีการสะสมเชิงธรณี

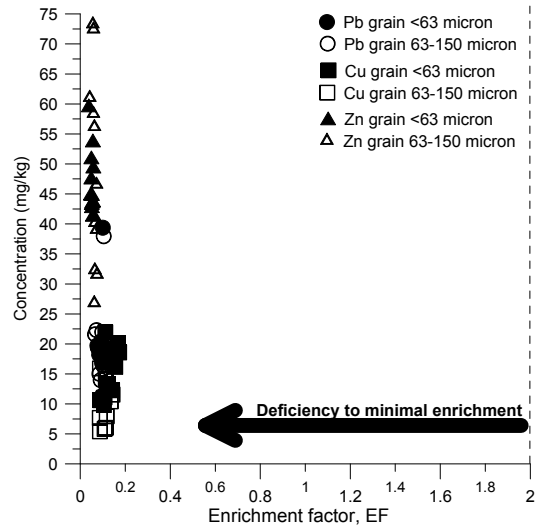
(Geo - accumulation index)

ผลการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่วทองแดงและสังกะสีในตะกอนดินทั้งสองขนาดอนุภาคโดยค่า Igeo ดังแสดงในรูปที่ 4 ก พบว่าค่า Igeo ของโลหะหนักตะกั่วทองแดงและสังกะสีที่มาจากตะกอนดินทั้งสองขนาดอนุภาคเกือบทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าศูนย์ มีเพียงค่า Igeo ของทองแดง

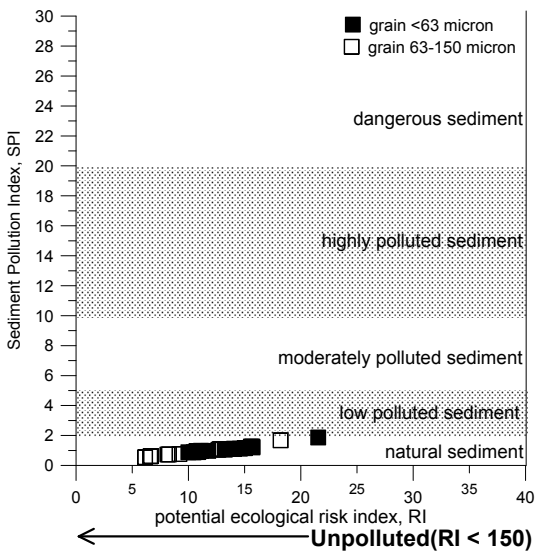
และตะกั่วบางตัวอย่างมีค่ามากกว่าศูนย์แต่มีค่าไม่เกิน 0.5 แต่หว่าค่าดังกล่าวมีค่าที่ไม่เกิน 1 ที่แสดงถึงระดับการปนเปื้อนในระดับปานกลาง (หากค่าเข้าใกล้ 1) ซึ่งกล่าวได้ว่าผลทั้งหมดนั้นสะท้อนให้เห็นถึงการไม่ปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินพื้นที่ดังกล่าว โดยบางตัวอย่างที่พบค่า Igeo ของทองแดงและตะกั่วที่มากกว่าศูนย์ดังกล่าวเป็นตัวอย่งที่เก็บจากพื้นที่ใกล้กับปากคลองบางใหญ่ แต่ด้วยผลที่พบข้างต้นมีค่าไม่เกิน 0.5 ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณโลหะหนักที่พบในตำแหน่งดังกล่าวยังไม่ปนเปื้อนในระดับที่ควรกังวล



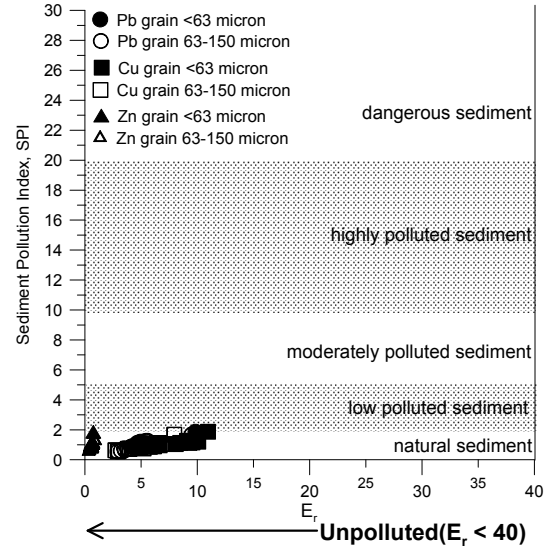
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4 การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในดินด้วย (ก) ดัชนีการสะสมเชิงธรณี และ (ข) การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดินที่นำเสนอร่วมกับความเข้มข้นโลหะหนัก และ ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน ที่นำเสนอร่วมกับดัชนีวัดความเสี่ยงที่จะส่งผลต่อระบบนิเวศแบบรายธาตุ (ค) และแบบผลโดยรวม (ง)

4.3.2 การสะสมตัวของโลหะหนัก ในตะกอนดิน (Enrichment factor)

ผลจากการประเมินการปนเปื้อนและการสะสมตัวของโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินด้วยค่า EF นั้นแสดงให้เห็นผลไปในทิศทางเดียวกัน คือค่า EF ที่น้อยกว่า 2 มาก (รูปที่ 4 ข) กล่าวคือ ปริมาณโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินอยู่ในระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลน้อยกว่ากิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งผลดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับผลของค่า Igeo ที่น้อยกว่าศูนย์ (และมีค่าน้อยกว่า 0.5) อย่างไรก็ตามจากที่ Suteerasak และ Bhongsuwan [17] ได้เคยประเมินถึงการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินจากคลองบางใหญ่และพบความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมจากมนุษย์ และการพบสัญญาณของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่ทับถมอยู่มากในตะกอนดินในอดีตจากงานของ Suteerasak และ Akkajit [31] สามารถกล่าวได้ว่าแหล่งที่มาของโลหะหนักดังกล่าวน่าจะมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์แต่อาจมีการปล่อยลงสู่คลองบางใหญ่ที่ลดลง

4.3.3 ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (Sediment Pollution Index)

ผลการคำนวณค่า SPI ของตะกอนดินในลักษณะของภาพรวมจากข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่ว ทองแดงและสังกะสีเพื่อตรวจหามลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดินจากโลหะหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4 ค และ 4 ง พบว่าค่า SPI อยู่ในช่วง 0.88-1.87 (ตะกอนขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอน) และช่วง 0.55-1.68 (ตะกอนขนาด 63-250 ไมครอน) ซึ่งทั้งสองช่วงค่ามีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 2 ซึ่งบ่งบอกถึงการปราศจากความ เป็นมลพิษ(หรือการปนเปื้อน) จากโลหะหนักเกิดขึ้นในตะกอนดิน โดยผลดังกล่าวอยู่ในระดับที่พบได้ในตะกอนดินธรรมชาติ

4.3.4 ดัชนีวัดความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อ ระบบนิเวศ (potential ecological risk index)

ผลการคำนวณค่าที่ใช้ประเมินความเสี่ยงที่โลหะหนักต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่างๆ ทั้งที่อยู่ในลักษณะภาพรวมที่หาผลลัพท์มาจากผลรวมของทุกธาตุ (RI) และค่าที่คิดแยกเป็นรายธาตุ (E_i) พบว่าผลที่ได้จากตะกอนดินขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอนและ 63-150 ไมครอนให้ค่า RI อยู่ในช่วง

9.9-21.5 และ 6.2-18.2 ตามลำดับ ซึ่งค่าจากตะกอนดินทั้งสองอนุภาคต่างก็น้อยกว่า 150 ซึ่งแสดงระดับที่มีศักยภาพในการสร้างความเสี่ยงต่อระบบนิเวศในระดับต่ำ หากพิจารณาเป็นรายธาตุจากค่า E_i ของแต่ละโลหะหนักในตะกอนดินทั้งสองขนาดอนุภาค พบว่าทุกโลหะหนักให้ผลของค่า E_i ในระดับต่ำมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 40 ที่แสดงศักยภาพในการสร้างความเสี่ยงต่อระบบนิเวศในระดับต่ำเช่นเดียวกับที่พบจากค่า RI

4.3.5 ปัจจัยการสะสมตัวทางชีวภาพ (Bioaccumulation factor)

ผลการคำนวณค่า BCF ของโลหะหนักทั้งสามชนิดที่เป็นตัวสะท้อนถึงการดูดซับโลหะหนักมากหรือน้อยในสัตว์ทะเลหน้าดินทั้งสองชนิด (ตารางที่ 4) พบว่าค่า BCF ในตัวอย่างไส้เดือนทะเลมีค่าที่มากกว่าค่า BFC ที่มาจากตัวอย่างหอยแครง ซึ่งสอดคล้องกับผลจากความเข้มข้นโลหะหนักทั้งสามในสัตว์ทะเลหน้าดินทั้งสองชนิด การสะสมของโลหะหนักในไส้เดือนทะเลสูงอาจเนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้อาศัยฝังตัวอยู่ในชั้นดินตะกอนโดยกินสารอินทรีย์สะสมอยู่ในดินตะกอนหรืออยู่บนพื้นท้องทะเลเป็นอาหาร ซึ่งสามารถทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อของไส้เดือนทะเลได้โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถส่งผ่านไปยังห่วงโซ่อาหารลำดับถัดไปได้ เนื่องจากไส้เดือนทะเลเป็นอาหารสัตว์น้ำที่สำคัญของปลาทะเลและนกทะเลหลายชนิด สำหรับในพื้นที่ที่มีการสะสมของโลหะหนักในปริมาณสูงและมีการสะสมเป็นเวลานานอาจส่งผลให้เกิดการตายของไส้เดือนทะเลในพื้นที่นั้นๆ ได้ [14]

หอยแครงจัดอยู่ในกลุ่มหอยสองฝา (Bivalvia) ซึ่งหอยในกลุ่มนี้พบว่ามีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อได้มากกว่าหอยในกลุ่มอื่นๆ [32, 33] เนื่องจากรูปแบบการดำรงชีวิตที่อยู่กับที่ฝังตัวอยู่ในชั้นดินตะกอน มีการหายใจและกินอาหารโดยการกรองน้ำผ่านเข้าออกร่างกายตลอดเวลา ทำให้มีการสะสมของโลหะหนักในร่างกายได้มากกว่าหอยชนิดอื่น

นอกจากนี้พบว่าค่า BCF จากโลหะหนักสังกะสีมากกว่าค่า BCF ของตะกั่วและทองแดงซึ่งสังกะสีมักถูกพบว่าเป็นโลหะหนักที่มีการสะสมอยู่ในสัตว์ทะเลหน้าดินได้สูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ โดยจากการศึกษาของ Takarina และ Adiwibowo [34] ในอ่าวจาร์การ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย พบการความเข้มข้น

ของสังกะสีสูงมากในกลุ่มของกุ้งและปู (crustacean) รองลงมาคือไส้เดือนทะเล (Polychaete) และกลุ่มหอย (Mollusk) เมื่อดูข้อมูลการปนเปื้อนของโลหะหนักในไส้เดือนทะเลจากพื้นที่ชายฝั่งทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอินเดีย [35] ก็พบว่าในไส้เดือนทะเลมีการสะสมของสังกะสีสูงที่สุดเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามจากการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินจากที่นำเสนอนี้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ แสดงผลที่ไม่พบการปนเปื้อน (หรือพบการปนเปื้อนระดับต่ำ) ดังนั้นผลจากค่า BCF ดังกล่าวจึงไม่น่าเป็นกังวลมากนัก

5. สรุป

ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่ว ทองแดงและสังกะสีในตะกอนดินสองขนาดอนุภาคมีค่าไม่ต่างกันมาก โดยตะกั่วในขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 16.8 ถึง 39.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 20.6±6.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) และอยู่ในช่วง 11.59 ถึง 37.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 18.5±7.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนทองแดงขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน มีค่าอยู่ในช่วง 9.8 ถึง 21.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 15.1±4.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) และอยู่ในช่วง 5.4 ถึง 18.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 11.3±4.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) และสุดท้ายสังกะสีในตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน มีค่าอยู่ในช่วง 41.5 ถึง 59.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 47.1±5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) และอยู่ในช่วง 26.8 ถึง 73.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 48.4±15.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับทั้งนี้ลักษณะการกระจายตัวของโลหะหนักทั้งสามมีแนวโน้มที่ลดลงเหมือนกันระยะห่างจากปากคลองเพิ่มขึ้น และพบปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดสะสมตัวอยู่จำนวนมากบริเวณพื้นที่ใกล้ปากคลองบางใหญ่

ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและทองแดงในไส้เดือนทะเลและหอยแครงพบอยู่ในระดับต่ำกว่าที่พบในตะกอนดิน โดย

ปริมาณตะกั่วในไส้เดือนทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 4.4 ถึง 10.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 6.5±2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ในหอยแครงมีตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 2.0±0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณทองแดงในไส้เดือนทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 9.1 ถึง 12.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 10.7±1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ในหอยแครงมีทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.5±0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามพบปริมาณโลหะหนักสังกะสีในสัตว์ทะเลหน้าดินมากกว่าที่พบในตะกอนดิน โดยในไส้เดือนทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 89.0 ถึง 104.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ย 98.2±5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) ส่วนในหอยแครงมีสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 65.3±0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในไส้เดือนทะเลไม่ได้มีความสัมพันธ์แบบมีนัยกับปริมาณโลหะหนักในตะกอนดิน

ปริมาณโลหะหนักตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีมีผลการประเมินระดับการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดินที่ไม่มากจนก่อให้เกิดมลพิษในตะกอนดิน เมื่อประเมินจากตัวชี้วัด ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Igeo) การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) และดัชนีวัดความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (RI) โดยส่วนมากไม่พบการปนเปื้อนในตะกอนดินมีเพียงบางตัวอย่างที่พบระดับการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยไม่อยู่ในระดับที่ควรเป็นกังวล ส่วนผลการปนเปื้อนในสัตว์หน้าดินจากผลของตัวชี้วัดในทางชีวภาพจากค่าปัจจัยการสะสมตัวทางชีวภาพ (BCF) แสดงผลที่ไม่พบการปนเปื้อน (หรือพบการปนเปื้อนระดับต่ำ) จึงไม่น่าเป็นกังวลว่าจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์มากนัก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยของคณะฯ ให้กับโครงการวิจัยเรื่อง การปนเปื้อนของแร่โลหะในไส้เดือนทะเลที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ตขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้อำนวยความสะดวกและการสนับสนุนในเรื่องของสารเคมี เครื่องมือ

และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณนางสาวสิริมา ยวนเกิด นางสาวดาราวรรณ ถึงเสียบญวน นายอรรถพล สุขะปิ่นทะ และนายกิตติศักดิ์ หนูชู สำหรับความช่วยเหลือในการออกเก็บตัวอย่างภาคสนามและการปฏิบัติในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

1. Alloway, B.J., 1995, *Heavy Metals in Soils*, 2nd ed., Blackie, Glasgow.
2. Hay, K.L., Dearing, J.A., Baban, S.M.J. and Loveland, P., 1997, "A Preliminary Attempt to Identify Atmospherically-Derived Pollution Particles in English Topsoils from Magnetic Susceptibility Measurements," *Physics and Chemistry of the Earth*, 22 (1-2), pp. 207-210.
3. Strzyszcz, Z. and Magtera, T., 1998, "Magnetic Susceptibility and Heavy Metals Contamination in Soils of Southern Poland," *Physics and Chemistry of the Earth*, 23 (9-10), pp. 1127-1131.
4. Suteerasak, T. and Bhongsuwan, T., 2006, "Concentration of Heavy Metal As, Pb, Mn, Ni, Sn, Zn, Cr, Fe and Radon Gas in Bottom Sediment from Abandoned Tin Mines in the Phuket Province," *Songklanakarin Journal Science and Technology*, 28 (3), pp. 641-654. (In Thai)
5. Lu, J., Li, A. and Huang, P., 2017, "Distribution, Sources and Contamination Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of the South Yellow Sea and Northern Part of the East China Sea," *Marine Pollution Bulletin*, 124 (1), pp. 470-479.
6. Bhuyan, M.S., Bakar, M.A., Akhtar, A., Hossain, M.B., Ali, M.M. and Islam, M.S., 2017, "Heavy Metal Contamination in Surface Water and Sediment of the Meghna River, Bangladesh," *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 8, pp. 273-279.
7. Xu, F., Hu, B., Yuan, S., Zhao, Y., Dou, Y., Jiang, Z. and Yin, X., 2018, "Heavy Metals in Surface Sediments of the Continental Shelf of the South Yellow Sea and East China Sea: Sources, Distribution and Contamination," *CATENA*, 160, pp. 194-200.
8. Jain, C.K. and Ram, D., 1997, "Adsorption of Lead and Zinc on Bed Sediments of the River Kali," *Water Research*, 31, pp. 154-162.
9. Lin, J.G. and Chen, S.Y., 1998, "The Relationship between Adsorption of Heavy Metal and Organic Matter in River Sediments," *Environment International*, 24 (3), pp. 345-352.
10. García, A., Sánchez, A., Alastuey, A. and Querol, X., 1999, "Heavy Metal Adsorption by Different Mineral: Application to the Polluted Soils," *The Science of the Total Environment*, 242, pp. 179-188.
11. Aryuthaka, C., 2001, *Introduction to Marine Benthic Community*, Kasetsart University. Bangkok. (In Thai)
12. Vongpanich, V., 2008, *Benthic Community in the Mangrove Plantation Areas at Phuket Bay*, Technical Paper no. 2/2008, Phuket Marine Biological Center, Department of Marine and Coastal Resources. (In Thai)
13. Thane, I., 2014, "Use of Benthic Macroinvertebrates for Biological Monitoring," *SDU Research Journal Science and Technology*, 7 (1), pp. 125-137. (In Thai)
14. Pangubol, J. and Salaenoi, J., 2014, "Acute Toxicity of Copper Sulfate, Zinc Sulfate and Cadmium Chloride to Sandworm," *Perinereis nuntia. Graduate Research Conference*, Khon Kaen University.
15. Bat, L. and Raffaelli, D., 1998, "Sediment Toxicity Testing: A Bioassay Approach using the Polychaete Arenicola Marina," *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 226, pp. 217-239.
16. Roberts, B.L. and Dorough, H. W., 1984, "Relative

Toxicities of Chemicals to the Earthworm *Eisenia foetida*,” *Environmental Toxicology and Chemistry*, 3, pp. 67-78.

17. Suteerasak, T. and Bhongsuwan, T., 2008, “Contamination of Heavy Metals Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn and Fe in Sediment from Bang-Yai River in Phuket Province,” *KMUTT Research and Development Journal*, 31 (4), pp. 767-779. (In Thai)

18. Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G. and Tait, B.A.R., 1975, *The Geology of the Tin Belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa*, Natural Environment Research Council, Institute of Geological Sciences, LONDON: HMSO.

19. Potts, P.J., 1992, *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, Blackie and Son Ltd., Bishop Briggs, Glasgow G642NZ, London.

20. National Research Council Canada, 2014, MESS-4: Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents [Online], Available: http://www.nrcnrc.gc.ca/eng/solutions/advisory/crm/certificates/mess_4.html. [18 November 2016]

21. Herr, C. and Gray, N.F., 1997, “Sampling Reverine Sediments Impacted by Acid Mine Drainage: Problems and Solution,” *Environmental Geology*, 29 (1/2), pp. 37-45.

22. Ghrefat, H. and Yusuf, N., 2006, “Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd Pollution in Bottom Sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan,” *Chemosphere*, 65, pp. 2114-2121.

23. Klos, A., Rajfur, M. and Waclawek, M., 2011, “Application of Enrichment factor (EF) to the Interpretation of Results from the Biomonitoring Studies,” *Ecological Chemistry and Engineering*, 18 (2), pp. 171-183.

24. Singh, M., Muller, G. and Singh, I.B., 2002, “Heavy Metals in Freshly Deposited Stream Sediments of Rivers Associated with Urbanisation of the Ganga

Plain, India,” *Water Air and Soil Pollution*, 141, pp. 35-54.

25. Liang, A., Wang, Y., Guo, H., Bo, L., Zhang, S. and Bai, Y., 2015, “Assessment of Pollution and Identification of Sources of Heavy Metals in the Sediments of Changshou Lake in a Branch of the Three Gorges Reservoir,” *Environmental Science and Pollution Research*, 22, pp. 16067-16076.

26. Hakanson, L., 1980, “An Ecology Risk Index for Aquatic Pollution Control: a Sediment Logical Approach,” *Water Research*, 14, pp. 975-1001.

27. Liu, X., Zhang, L. and Zhang, L., 2017, “Concentration, Risk Assessment, and Source Identification of Heavy Metals in Surface Sediments in Yinghai: A Shellfish Cultivation Zone in Jiaozhou Bay, China,” *Marine Pollution Bulletin*, 121, pp. 216-221.

28. Hendozko, E., Szefer, P., Warzocha, J., 2010, “Heavy Metals in Macoma Balthica and Extractable Metals in Sediments from the Southern Baltic Sea,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, pp. 152-163.

29. Nemr, A.E., El-Said, G.F., Ragab, S., Khaled, A. and El-Sikaily, A., 2016, “The Distribution, Contamination and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediment and Shellfish from the Red Sea Coast, Egypt,” *Chemosphere*, 165, pp. 369-380.

30. Gaete, H., Álvarez, M., Lobos, G., Soto, E. and Jara-Gutiérrez, C., 2017, “Assessment of Oxidative Stress and Bioaccumulation of the Metals Cu, Fe, Zn, Pb, Cd in the Polychaete *Perinereis Gualpensis* from Estuaries of Central Chile,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, pp. 653-658.

31. Suteerasak, T. and Akkajit, P., 2018, “Using the Grain Size and Concentration of Pb and Zn in Sediments to Identify the Layer of Sediment from Tsunami in 2547 B.E. (2004 C.E.) in the Bang Yai Estuary, Phuket Bay,” *Thammasart Science and Technology Journal*, 26 (3),

pp. 459-475. (In Thai)

32. Huang, H., Wu, J.Y. and Wu, J.H., 2007, "Heavy Metal Monitoring Using Bivalved Shellfish from Zhejiang Coastal waters, East China Sea," *Environmental Monitoring and Assessment*, 129, pp. 315-320.

33. Ponnusamy, K., Sivaperumal, P., Suresh, M., Arularasan, S., Munilkumar, S. and Pai, A.K., 2014, "Heavy Metal Concentration from Biologically Important Edible Species of Bivalves (*Perna viridis* and *Modiolus metcalfei*) from Vellar Estuary, South East Coast of India," *Journal of Aquaculture Research*

and Development, 5 (5), pp. 1-5.

34. Takarina, N.D. and Adiwibowo, A., 2010, "Content of Heavy Metals (Cr, Cu, Pb and Zn) in Macrozoobenthos at Jakarta Bay," *Journal of Coastal Development*, 10 (1), pp. 75-80.

35. Udayakumar, P., Chandran, A., Jean Jose, J., Prasanthan, V., Deepak, M.P. and Narendra Babu, K., 2011, "Heavy Metals in the Polychaete *Glycera longipinnis* from the Southwest of India," *Chemistry and Ecology*, 27 (4), pp. 327-336.