

การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่าทอง อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Heavy metals contamination in the sediments of cockle culture area and Tha Thong estuary, Bandon Bay, Surat Thani province

เกวลิน รอดขวัญ¹, วชรี รวยรื่น^{2*} และนรนนท์ ขำมณี²
Kewalin Rodkwan¹, Watcharee Ruairuen^{2*}, and Naranun Khammanee²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงและบริเวณปากแม่น้ำท่าทองซึ่งไม่พบการเพาะเลี้ยงหอย ในอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วยเครื่องตักตะกอนดิน (Ekman grab) จำนวน 3 สถานี ในเดือนสิงหาคม 2563 ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักด้วย เทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดยใช้ตัวชี้วัด 4 อย่าง ได้แก่ ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) และดัชนีภาระมลพิษ (PLI) ประเมินการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า สังกะสีและทองแดงมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง ND-6.28 $\mu\text{g/g}$ และ 0.00-20.81 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ปริมาณตะกั่วอยู่ในระดับ ND ของทั้ง 3 สถานี ในขณะที่แคดเมียมมีปริมาณโลหะหนักอยู่ในช่วง 0.00-23.83 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเล เมื่อประเมินการปนเปื้อนตะกอนดินด้วยดัชนี I_{geo} พบว่า สังกะสีไม่พบการปนเปื้อนในตะกอนดิน ขณะที่ทองแดงและแคดเมียมพบการปนเปื้อนระดับต่ำจนถึงระดับสูง ดัชนีมลพิษของตะกอนดินมีค่าสูงสุดในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงหนาแน่น ดัชนีภาระมลพิษในพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง แสดงค่าการปนเปื้อนมากกว่าบริเวณปากแม่น้ำท่าทอง (PLI>1) และบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล

คำสำคัญ: การปนเปื้อนโลหะหนัก, ตะกอนดิน, ดัชนีการปนเปื้อน, พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง, อ่าวบ้านดอน

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

*Corresponding author, E-mail: watcharee.rua@sru.ac.th

Abstract

The objectives of this research aim to determine and evaluate the contamination level of heavy metals including zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd) and lead (Pb) in the sediments collected from cockle culture and non-culture areas at Tha Tong estuary, Surat Thani province. Surface sediment samples were collected with Ekman Grab from 3 stations in August, 2020. The concentration of heavy metals were determined by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) technique. The assessment contamination of heavy metal in the environment was assessed using four indicators, which include Geo-accumulation index (I_{geo}), Contamination factor (CF), Sediment Pollution Index (SPI), and Pollution load index (PLI). Results showed that the concentrations of Zn and Cu were in a range of non-detectable (ND) to 6.28 $\mu\text{g/g}$ and 0.00 to 20.81 $\mu\text{g/g}$, respectively. These concentration levels of Zn and Cu from all three stations were not exceeding the coastal sediment quality criteria, which was issued by Pollution Control Department of Thailand. Pb reported as ND for every stations. Whereas, the concentration of Cd (0.00 to 23.83 $\mu\text{g/g}$) was over than the standard criteria. The risk analysis of I_{geo} indicated that the heavy metal Zn was in a range of un-contamination to moderately level contamination in the sediment. While, the I_{geo} values of Cu and Cd showed moderately level to high contaminated in the sediment. The highest estimations of SPI was found in the cockle culture area. The PLI values of metals in the cockle culture sediments were more contaminated than Tha Thong estuary ($PLI > 1$), which the values was in the range indicating the degradation of the coastal ecosystem.

Keyword: heavy metal contamination, sediment, contamination index, cockle culture area, Ban don bay

บทนำ

โลหะหนัก (Heavy metals) เป็นกลุ่มธาตุที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 4 ซึ่งจัดเป็นโลหะที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตถ้าเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารมีอัตราการสลายตัวค่อนข้างช้าหรือไม่สามารถสลายตัวได้เนื่องจากมีความเสถียร (ไข่มุก ใจเหล็ก, 2561) โลหะหนักเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลที่มีอยู่ในน้ำและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ง่าย โลหะหนักสามารถกระจายอยู่ในน้ำได้ 4 ส่วน คือ สารละลาย สารแขวนลอย ในน้ำระหว่างเม็ดดินและในดินตะกอน (จากฤกษ์ น้อยจินดาและคณะ, 2560) โดยการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยบริเวณชายฝั่งทะเลการปนเปื้อนของโลหะหนักมักมีแหล่งกำเนิดมาจากการชะล้างและปะปนกับน้ำจากแผ่นดินซึ่งไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ชัดเจน โลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำในบริเวณชายฝั่ง มีโอกาสส่งผ่านไปยังสัตว์น้ำโดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่

ฝังตัวอยู่ในดินตะกอน (อุดมลักษณ์ คงสังข์และคณะ, 2561) หากโลหะหนักมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำรวมถึงเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยมนุษย์ได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนโลหะหนัก อาจมีผลต่อสุขภาพในระยะยาวและความเสี่ยงจากโรคอื่น ๆ ตามมา โดยเฉพาะแคดเมียมและตะกั่วที่สามารถพบทั่วไปในสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ หากได้รับแคดเมียมจะส่งผลกระทบต่อไต ระบบหัวใจและหลอดเลือด ในขณะที่ตะกั่วมีผลต่อสมองและระบบประสาท ซึ่งโลหะหนักทั้งสองชนิดจัดเป็นสารก่อมะเร็ง

อ่าวบ้านดอนพื้นที่ชายฝั่งทะเลฝั่งอ่าวไทยมีลักษณะเป็นเว้าโค้งรูปพระจันทร์หงายครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ตั้งแต่อำเภอไชยา ท่าฉาง พุนพิน เมือง กาญจนดิษฐ์จนถึงอำเภอดอนสัก มีความยาวแนวชายฝั่งประมาณ 120 กิโลเมตรและมีพื้นที่ประมาณ 434,575 ไร่ รองรับน้ำจากลำคลองน้อยใหญ่จำนวนมากเกิดความอุดมสมบูรณ์จากการสะสมของตะกอนปากแม่น้ำกลายเป็นแหล่งอาหารสำคัญของสัตว์น้ำ (เพ็ญนภา สวนทอง และโอฬาร ถิ่นบางเตียว, 2562) อ่าวบ้านดอนเป็นศูนย์รวมของทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์เป็นแหล่งที่มีความหลากหลายในระบบนิเวศทางทะเล เป็นแหล่งทำการประมงที่สำคัญของประเทศ แหล่งอนุบาลสัตว์ทะเล และแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงหอยแครงเป็นจำนวนมาก ในอ่าวบ้านดอนมีรายงานว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีกำลังผลิตหอยแครงในปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 17,718 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 621 ล้านบาท ซึ่งนับเป็นแหล่งผลิตหอยแครงแหล่งใหญ่ระดับต้น ๆ ของประเทศไทย การเลี้ยงหอยแครงในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีมานานกว่า 30 ปี ซึ่งเป็นความนิยมของชาวบ้านเนื่องจากใช้เวลาในการเลี้ยงน้อยการจัดการทำได้ง่าย และสร้างรายได้ค่อนข้างดี มีการแสดงอาณาเขตในการเลี้ยงหอยแครงในพื้นที่อำเภอไชยา อำเภотаฉาง และอำเภอกาญจนดิษฐ์ หอยแครงเป็นสัตว์น้ำที่มีระบบการกินอาหารแบบกรองกินดินตะกอนและซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บริเวณพื้นที่ท้องน้ำขอบฝั่งตัวอยู่ตามผิวดินโคลนลึกประมาณ 1 ถึง 12 นิ้ว (ทองทิพย์ วงษ์ศิลป์ และคณะ, 2559)

ข้อมูลการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินพื้นที่อ่าวบ้านดอนได้มีการรายงานในการศึกษาของ Roekdee (2015) ซึ่งได้ระบุว่า ปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และโครเมียมเฉลี่ยในตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.92-2.49, 12.87-43.63, 4.23-19.41, 18.08-33.95 และ 31.85-77.32 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนใหญ่การสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินสูงสุดจะพบในบริเวณพื้นที่ปากน้ำกะแดะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนาม ข้อมูลหัตถภูมิและการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ถูกระบายลงสู่อ่าวบ้านดอนโลหะหนักในรูปของแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี มีการระบายลงสู่อ่าวโดยเฉลี่ยปริมาณ 10.4, 26.2, 47.1, 66, และ 423 ตันต่อปี ซึ่งมีแหล่งการปนเปื้อนหลักมาจากแหล่งที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (non-point source) โดยโลหะหนักที่มีความเสี่ยงสูงต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศบริเวณพื้นที่อ่าวบ้านดอนคือตะกั่ว และแคดเมียม (สมทิพย์ ด่านธีรวินิชย์ และคณะ, 2554) พื้นที่เชื่อมต่อกับอ่าวบ้านดอนเช่นบริเวณอ่าวไทยตอนใน ได้มีรายงานการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดิน (แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี) พบว่าปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในดินตะกอนมีค่า 9.8-27.1, 2.4-41.1 และ 5.5-91.2 ppm ตามลำดับ โดยทองแดงในบางสถานที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ โดยโลหะหนักส่วนใหญ่มีค่าสูงบริเวณชายฝั่งและมีแนวโน้มลดลงในระยะห่างฝั่งออกไป (ณัฐวร ชันธิกุล และคณะ, 2563)

นอกจากนี้การศึกษาของ ธงชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2563) ซึ่งได้ประเมินการปนเปื้อน

โลหะหนักตะกั่ว โครเมียม ทองแดง และสังกะสี ในตะกอนดินคลองปากบาง และพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง จังหวัดภูเก็ต พบ โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 2.2-18.1, 1.8-44.8, 0.8-20.5, 7.1-215.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณทองแดงและสังกะสีที่สะสมในตะกอนดินจากคลองปากบางในช่วงต้นและกลางคลองมีค่าเกินเกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน และดัชนีชี้วัดหลายตัวแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางของโลหะหนักทั้งสอง แต่ไม่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง ในขณะที่ จากฤกษ์ น้อยจินดาและคณะ (2560) ได้รายงานปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตะกอนดินที่ทำเรือแหลมฉบังและท่าเรือกรุงเทพฯ ใน 2 ฤดู พบว่า ดินตะกอนที่ทำเรือกรุงเทพฯ มีการปนเปื้อนสูงกว่าที่ทำเทียบเรือแหลมฉบัง โดยเฉพาะโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ทองแดง และเหล็ก อย่างไรก็ตามการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่อ่าวบ้านดอน จำเป็นต้องดำเนินการศึกษาอย่างจริงจัง เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาของเมือง มีการขยายตัวของชุมชน การเจริญเติบโตของแหล่งอุตสาหกรรมหลากหลาย ประกอบกับเป็นพื้นที่ทำการเกษตรและประมง รวมถึงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่สำคัญของประเทศ ทำให้มีการปล่อยของเสียเหลือทิ้งต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำปริมาณมากในแต่ละปี ส่งผลให้โลหะหนักหลายชนิดถูกปล่อยให้ปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมและไปสะสมในระบบนิเวศทะเลและชายฝั่ง ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และอาจจะส่งผลต่อเนื่องต่อกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตลอดจนมีการถ่ายทอดไปในห่วงโซ่อาหารของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาและประเมินสถานภาพของการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศทะเลชายฝั่งของพื้นที่อ่าวบ้านดอน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวบ้านดอนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงและพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง
2. ประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินด้วยตัวชี้วัดการปนเปื้อนสากล ได้แก่ ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) และดัชนีภาระมลพิษ (PLI)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

พื้นที่สำหรับเก็บตัวอย่างตะกอนดินในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง และพื้นที่ปากน้ำ จำนวนทั้งสิ้น 3 สถานี (ภาพที่ 1 และ ตารางที่ 1) โดยกำหนดให้สถานีที่ 1 ตั้งอยู่ตรงปากแม่น้ำท่าทอง (Station 1) ซึ่งเป็นจุดที่แม่น้ำไหลออกสู่อ่าวบ้านดอน เป็นพื้นที่ที่มีระดับความลึกของน้ำระหว่าง 0.9-1.5 เมตร สถานีที่ 2 เป็นสถานีในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทองเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร และพื้นที่ที่มีระดับความลึกของน้ำอยู่ระหว่าง 1-2 เมตร (Station 2) และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยง

หอยแครงซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (Station 3) โดยมีระดับความลึกของน้ำอยู่ระหว่าง 1-2 เมตร ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินตะกอนในช่วงเดือนสิงหาคม 2563



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดิน ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทองและพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงบริเวณอ่าวบ้านดอน อำเภอกาญจนาดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ที่มา: Google earth (2020)

ตารางที่ 1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

สถานีที่	พิกัด		บริเวณที่เก็บตัวอย่าง
	ละติจูด	ลองจิจูด	
1	9.22099	99.49773	ปากแม่น้ำท่าทอง (ไม่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง)
2	9.22714	99.48905	พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 1 กิโลเมตร
3	9.23097	99.49275	พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 2 กิโลเมตร

2. การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

เก็บตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีต่าง ๆ โดยใช้ Ekman grap เก็บตะกอนดินจำนวนประมาณ 500 กรัม และทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินสถานีละ 3 ซ้ำ มารวมกันและบรรจุใส่ถุงซิปลพลาสติก ปิดปากถุงให้สนิท แขน้ำแข็งจนกว่าถึงห้องปฏิบัติการ แล้วเก็บรักษาตัวอย่างในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

นำตัวอย่างตะกอนดินมาตากแดดจนแห้ง บดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช จากนั้นชั่งตัวอย่างตะกอนดิน จำนวน 0.3-0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร และเติมกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 1 มิลลิลิตร เพื่อทำการย่อยตัวอย่างสารละลายด้วย hotplate ที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส จนกว่าควันขาวหมด คือการย่อยสมบูรณ์ จากนั้นทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างตะกอนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนถึง 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในขวดโพลีเอธิลีน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินในบริเวณที่ทำการศึกษ ด้วยเครื่องมือ AAS โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นดังนี้ แคดเมียมเท่ากับ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 ppm สังกะสีเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.4, 0.5 ppm ทองแดง เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ppm และตะกั่วเท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.3 ppm แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้น ppm ของโลหะไอออนแต่ละชนิดเพื่อเทียบค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

4. การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนัก

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักงานวิจัยนี้ครั้งนี้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยใช้ดัชนีการปนเปื้อน ได้แก่ ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) และดัชนีการสะสมพิษ (PLI)

ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) เป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดิน โดยค่าดังกล่าวสะท้อนถึงการสะสมตัวของโลหะหนักทั่วไป ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$I_{(geo)} = \log \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (1)$$

โดย C_n คือ ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม B_n คือ ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักภูมิหลังในตะกอนดินของ Roekdee (2015) โดยค่าความเข้มข้นโลหะหนักสังกะสี แคดเมียมและทองแดงในดินตะกอนจากบริเวณอ่าวบ้านดอนมีค่าเท่ากับ 27.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 1.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 10.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีช่วงชั้นค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีสามารถแบ่งเป็นระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ช่วงชั้นค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีและระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน

ระดับค่า I_{geo}	ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน
$I_{geo} < 0$	ระดับที่ไม่มีมีการปนเปื้อน
$0 \leq I_{geo} < 1$	ระดับที่ไม่มีมีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง
$1 \leq I_{geo} < 2$	ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง
$2 \leq I_{geo} < 3$	ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลางจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง
$3 \leq I_{geo} < 4$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูง
$4 \leq I_{geo} < 5$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก
$I_{geo} > 5$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก

ที่มา: Ho et al. (2010)

ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (Sediment pollution index; SPI)

ตัวชี้วัดนี้สามารถสะท้อนถึงมลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดินเนื่องจากโลหะหนักว่ามีการปนเปื้อนในภาพรวมของโลหะหนักทั้งหมดทุกชนิดอยู่ในระดับใด การคำนวณผลลัพธ์มาจากการใช้ความเข้มข้นโลหะหนักทุกชนิดมาคิดรวมกัน (Singh et al., 2002) มีสมการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$SPI = \frac{\sum \left[\frac{C_n}{B_n} \right] \times w_m}{\sum w_m} \quad (2)$$

โดยค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน และ B_n คือ ปริมาณโลหะหนักพื้นหลังในตะกอนดิน (Roekdee, 2015) ส่วนค่า w_m เป็นค่าน้ำหนักความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิด ซึ่งความเป็นพิษของสังกะสีใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 ทองแดงใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 2 (Singh et al., 2002) และแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 30 (Kouchesfehiani and Azizi, 2019) โดยมีการจำแนกช่วงค่า SPI ที่สัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อน (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ช่วงค่า SPI ที่สัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อน

ระดับค่า SPI	ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน
ช่วง 0 ถึง 2	บ่งบอกถึงตะกอนดินที่มาจากธรรมชาติ
ช่วง 2 ถึง 5	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับต่ำในตะกอนดิน
ช่วง 5 ถึง 10	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางในตะกอนดิน
ช่วง 10 ถึง 20	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน
ค่ามากกว่า 20	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนรุนแรงในตะกอนดิน

ที่มา: Singh et al. (2002)

ปัจจัยการปนเปื้อน (Contamination factor; CF) เป็นตัวชี้วัดมลพิษทางตะกอนดินในสภาพแวดล้อมโดยใช้อัตราส่วนของ โลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักดังกล่าว เพื่อประเมินระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่างๆ (Kadhun et al. 2015) มีสมการในการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$CF = \frac{C_{m(sample)}}{C_{m(background)}} \quad (3)$$

โดยค่า $C_{m(sample)}$ เป็นความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในตะกอน และ $C_{m(background)}$ เป็นความเข้มข้นของโลหะหนักภูมิหลังในตะกอนดิน (Roekdee, 2015) ซึ่งมีค่าการปัจจัยการปนเปื้อน แบ่งออกเป็น 4 ระดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าระดับปัจจัยการปนเปื้อน

ระดับค่า (CF)	ระดับปัจจัยการปนเปื้อน
$CF < 1$	การปนเปื้อนต่ำ
$1 \leq CF < 3$	การปนเปื้อนในระดับปานกลาง
$3 \leq CF < 6$	การปนเปื้อนมาก
$CF > 6$	การปนเปื้อนที่สูงมาก

ที่มา: Hakanson (1980)

ดัชนีภาระมลพิษ (Pollution load index; PLI) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับประเมินการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากโลหะหนักในพื้นที่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศทางน้ำ โดยสามารถระบุแนวโน้มของการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศและระดับมลพิษของระบบนิเวศทางน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา (Tomlinson et al. 1980) มีสมการคำนวณดังแสดงในสมการที่ (4)

$$SPI = (CF_1 \times CF_2 \dots \dots \dots CF_n)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

โดยค่า n คือจำนวนชนิดของโลหะหนัก ผลคูณค่าปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ของโลหะหนักแต่ละตัว เมื่อ n เป็นจำนวนของโลหะหนักทั้งหมดที่ต้องการประเมิน ดัชนีภาระมลพิษแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 เกณฑ์ในการประเมินของค่า PLI

ระดับค่า PLI	เกณฑ์ในการประเมินของค่า PLI
ช่วง 0 ถึง 1	คุณภาพตะกอนดินที่มีสมบูรณ์
>1	เกิดการเสื่อมสภาพของพื้นที่หรือระบบนิเวศทางน้ำ

ที่มา: Tomlinson et al. (1980)

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักของตะกอนดิน ได้แก่ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งสกัดโลหะหนักจากตะกอนดินให้อยู่ในรูปสารละลาย นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน

สถานีที่	สังกะสี (Zn) (µg/g)	แคดเมียม (Cd) (µg/g)	ทองแดง (Cu) (µg/g)	ตะกั่ว (Pb) (µg/g)
1	ND	0.00-1.58	0.00-10.90	ND
2	0.00-6.28	0.00-13.20	1.30-20.81	ND
3	0.00-3.33	22.66-23.83	4.21-15.32	ND
ค่ามาตรฐาน*	102.2	2.0	25.0	52.0

หมายเหตุ: Non-detectable (ND) คือ มีค่าต่ำกว่าระดับที่วิธีสามารถตรวจวัด, *ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลโดยกรมควบคุมมลพิษ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) ในตะกอนดินพบว่า ปริมาณสังกะสีในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทองมีค่าการตรวจวัดอยู่ในช่วง ND (Non Detectable) คือ อยู่ในระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของสังกะสีได้ด้วยเทคนิคที่ใช้ สำหรับในสถานีที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-6.28 µg/g และสถานีที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะทางประมาณ 2 กิโลเมตร พบความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 0.00-3.33 µg/g (ตารางที่ 6) ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (102.2 µg/g)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) ในตะกอนดินพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-1.58 µg/g ในขณะที่

ที่ความเข้มข้นของสถานีที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร พบ ความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-13.20 $\mu\text{g/g}$ และสถานีที่ 3 พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร พบความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 22.66-23.83 $\mu\text{g/g}$ (ตารางที่ 6) ซึ่งทั้งสถานีที่ 2 และ 3 มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (2.0 $\mu\text{g/g}$)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) ในตะกอนดิน พบว่าปริมาณทองแดงในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง พบปริมาณทองแดง มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-10.90 $\mu\text{g/g}$ สำหรับสถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงอยู่ในช่วง 1.30-20.81 $\mu\text{g/g}$ และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร พบความเข้มข้นของทองแดงอยู่ในช่วง 4.21-15.32 $\mu\text{g/g}$ โดยทุกสถานีมีค่า Cu ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (25.0 $\mu\text{g/g}$)

ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดินจากการตรวจวัดของทุกสถานี มีค่าอยู่ในระดับ ND ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีค่าต่ำกว่าระดับที่เทคนิคและวิธีการตรวจวัดที่ใช้สามารถตรวจวัดได้ ในทุกสถานีที่ทำการศึกษาโดยปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักของแคดเมียมและทองแดงจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Roekdee (2015) เมื่อเปรียบเทียบกัน แต่ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีและตะกั่วในการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่า

ประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo})

ดัชนีการสะสมเชิงธรณี เป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดิน โดยค่าดังกล่าวสะท้อนถึงการสะสมตัวของโลหะหนักทั่วไป ผลการประเมินดัชนีการสะสมเชิงธรณีแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินดัชนีการสะสมเชิงธรณี

สถานีที่	ผลการประเมินดัชนีการสะสมทางธรณี		
	สังกะสี	แคดเมียม	ทองแดง
1	ND	0.16	0.16
2	0.03	1.19	0.24
3	0.02	3.56	0.21

จากตารางผลการประเมินค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี พบว่า สังกะสีในสถานีที่ 2 เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงที่ห่างจากบริเวณปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะประมาณ 1 กิโลเมตร และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.03 และ 0.02 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง นอกจากนี้การประเมินค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี

(I_{geo}) ของแคดเมียม พบว่า สถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าเท่ากับ 0.16 จัดอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงการปนเปื้อนปานกลาง สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 1.19 ซึ่งอยู่ในระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร พบดัชนีการสะสมเชิงธรณีสัณฐานมีค่าสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.56 ซึ่งสะท้อนภาพของการปนเปื้อนในระดับสูง ส่วนผลของค่า I_{geo} ของทองแดงนั้น มีค่าอยู่ในช่วง 0.16 ถึง 0.24 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่ไม่มีการปนเปื้อนไปจนถึงการปนเปื้อนปานกลาง (ตารางที่ 7)

ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน เป็นตัวชี้วัดมลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดิน การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยใช้ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน เป็นการแสดงผลการปนเปื้อนในภาพรวมของโลหะหนักในตะกอนดินของพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทั้ง 3 ชนิด โดยผลการประเมินค่า SPI พบว่า สถานีที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน มีค่าเท่ากับ 0.79 ซึ่งอยู่ในช่วง 0 ถึง 2 บ่งบอกถึงตะกอนดินมาจากธรรมชาติ ยังไม่พบการปนเปื้อน สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร ผลลัพธ์ของค่า SPI มีค่าเท่ากับ 5.49 ซึ่ง อยู่ในช่วง 5 ถึง 10 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางในตะกอนดิน และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่า SPI อยู่ในช่วง 10 ถึง 20 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน ($SPI = 16.19$) บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน จากการประเมินค่า SPI พบว่าในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงมีการปนเปื้อนในตะกอนดิน และจะพบการปนเปื้อนสูงสุดในสถานีที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่เลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างออกไปจากปากแม่น้ำประมาณ 2 กิโลเมตร

ตารางที่ 8 ผลการประเมินดัชนีมลพิษของตะกอนดิน

สถานี	ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน
1	0.79
2	5.49
3	16.19

การประเมินปัจจัยการปนเปื้อน (CF)

ปัจจัยการปนเปื้อน เป็นตัวชี้วัดมลพิษทางตะกอนดินในสภาพแวดล้อมโดยใช้อัตราส่วนของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักจากค่าพื้นหลัง เพื่อประเมินระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่างๆ ผลการประเมินปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ของสังกะสี พบว่า ปริมาณสังกะสีในสถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.15 และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.12 ซึ่งทั้ง 2 สถานี มีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ (ตารางที่ 9) และค่า CF ของแคดเมียม พบว่า ในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปาก

แม่น้ำท่าทอง มีค่าเท่ากับ 0.19 มีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 5.90 จัดอยู่ในระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมมาก และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 17.74 ซึ่งอยู่ในระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมที่สูงมาก นอกจากนี้ผลการประเมินค่า CF ของทองแดงพบว่า ปริมาณทองแดงในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าเท่ากับ 0.79 จัดอยู่ในช่วงการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ และในสถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 1.17 และ 1.06 ตามลำดับ โดยทั้ง 2 สถานีนี้จัดอยู่ในระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมปานกลาง (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลการประเมินปัจจัยการปนเปื้อน

สถานีที่	ปัจจัยการปนเปื้อน (CF)		
	สังกะสี	แคดเมียม	ทองแดง
1	ND	0.79	0.79
2	0.15	5.90	1.17
3	0.12	17.74	1.06

ดัชนีภาวะมลพิษ (PLI)

ดัชนีภาวะมลพิษเป็นตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับประเมินการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากโลหะหนักในพื้นที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศทางน้ำ โดยสามารถระบุแนวโน้มของการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศและระดับมลพิษของระบบนิเวศทางน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา ผลการประเมินค่า PLI พบว่า สถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าดัชนีภาวะมลพิษ มีค่าเท่ากับ 0.79 บ่งบอกถึงคุณภาพตะกอนดินสมบูรณ์ สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร เท่ากับ 1.01 และ 1.32 ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของพื้นที่หรือระบบนิเวศทางน้ำโดยภาพรวมระบบนิเวศในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อประเมินโดยใช้ค่า PLI พบว่ามีค่ามากกว่า 1 (สถานีที่ 2 และ 3) ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลการประเมินดัชนีภาวะมลพิษ

สถานีที่	ดัชนีภาวะมลพิษ (PLI)
1	0.79
2	1.01
3	1.32

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่าทอง อ่าวบ้านดอน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจาก 3 สถานี ได้แก่ พื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง และพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 และ 2 กิโลเมตร พบว่า ปริมาณของโลหะหนักในตะกอนดินที่ตรวจวัดได้ของแต่ละสถานีมีความเข้มข้นแตกต่างกันออกไป โดยความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) จากทั้ง 3 สถานีที่ทำการศึกษา มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลของกรมควบคุมมลพิษ (2558) เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง (สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3) ซึ่งปริมาณของแคดเมียมที่มีค่าเกินมาตรฐานอาจมีสาเหตุมาจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ซึ่งตั้งอยู่ในหลายพื้นที่ของอำเภอกาญจนดิษฐ์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยปัจจุบันยังคงมีการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่อยู่ในบางพื้นที่ของอำเภอกาญจนดิษฐ์ โดยกิจกรรมการทำเหมืองดังกล่าวสามารถส่งผลให้เกิดการชะล้างลงของโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้วไหลลงสู่อ่าวบ้านดอนที่ปากแม่น้ำท่าทอง ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนดินในบริเวณดังกล่าว ส่วนความเข้มข้นของทองแดง (Cu) พบว่า ทั้ง 3 สถานี มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเล ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ของทุกสถานีมีค่าอยู่ในระดับ ND จากการตรวจวัดด้วยด้วยเครื่อง AAS นอกจากนี้อิทธิพลของฤดูกาล ช่วงเวลา และปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ทั้งในเรื่องปริมาณน้ำฝน การพัดพาของกระแสน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นที่อาจจะเป็นปัจจัยในเรื่องการเพิ่มหรือลดของโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวได้

การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งด้วย ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) พบว่า ค่า I_{geo} ของสังกะสี (Zn) อยู่ในช่วงมากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 สะท้อนให้เห็นถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง ในขณะที่ค่า I_{geo} ของแคดเมียม (Cd) ในตะกอนดินอยู่ในช่วงมากกว่า 1 แต่น้อยกว่า 4 ซึ่งจัดอยู่ในระดับระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง ส่วนผลการประเมินทองแดง (Cu) พบว่าค่า I_{geo} ของทองแดงในดินตะกอนอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง โดยระดับที่มีการปนเปื้อนที่พบในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต จะพบว่าผลของค่า I_{geo} ของสังกะสีในการศึกษาดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ แต่ค่า I_{geo} ของทองแดงจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าในการศึกษาดังกล่าว (ธงชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ, 2562)

ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ของสังกะสี (Zn) ในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงมีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ แต่ค่า CF ของแคดเมียมในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง (สถานีที่ 2 และ 3) มีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมมาก ถึงระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมที่สูงมาก ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) สำหรับพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง ดินตะกอนยังอยู่ใน

สภาพตะกอนดินที่มาจากธรรมชาติ ในขณะที่พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง พบว่า ค่า SPI อยู่ในระดับการปนเปื้อนระดับปานกลางจนถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของธงชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2562) คลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ผลจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีค่า SPI ของตะกอนดินในบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงมีการปนเปื้อนสูงกว่าในตะกอนดินที่พบในคลองบางใหญ่ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์บนฝั่งและรอบๆ บริเวณอ่าวบ้านดอนแตกต่างจากคลองบางใหญ่ และเมื่อพิจารณาดัชนีการสะสมพิษ (PLI) ซึ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของพื้นที่และระบบนิเวศ พบว่า บริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง (สถานีที่ 2 และ 3) ซึ่งเป็นระบบนิเวศของพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่จากการประเมินโดยใช้ดัชนีการสะสมพิษ พบว่ามีค่ามากกว่า 1 ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล ในขณะที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง พบว่า คุณภาพตะกอนดินสมบูรณ์ ระบบนิเวศไม่มีการปนเปื้อน

ข้อเสนอแนะและการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

สำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไปควรเพิ่มสถานีตัวอย่างในการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ในการเลี้ยงหอยบริเวณอ่าวบ้านดอน และควรปรับเปลี่ยนเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินบางตัวให้เหมาะสมและให้ค่าการตรวจวัดที่มีความละเอียดสูงเพื่อความสมบูรณ์ของการศึกษา และควรจัดทำแผนที่ความลึกของน้ำเพื่อดูการทับถมของตะกอนสำหรับการเลือกจุดในการประเมินที่เหมาะสม ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาความเข้มข้นของโลหะในตะกอนดินในช่วงหน้าฝนเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมข้อมูลของทั้งปีจึงควรมีการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินเพิ่มเติมในช่วงหน้าร้อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินของแต่ละฤดูกาล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณนางสาวปัทมา ทิพย์บรรพต นักวิชาการห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ไข่มุก ใจเหล็ก. (2561). การศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2016/12800/1/432184.pdf>
- จากฤกษ์ น้อยจินดา, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. (2560). การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ ตามความลึกและในดินตะกอนที่ทำเรือแหลมฉบังและท่าเรือกรุงเทพฯ ประเทศไทย. *วารสารวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม*, 31(2), 1-13.
- ชูไวยะห์ เลาะสนิง, สุปราณี ไกรรักษ์ และสุนีย์ ดาราพงศ์. (2549). การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในหอยแครงและหอยแมลงภู่ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). นครศรีธรรมราช. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- ณัฐวร ชันธิกุล, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, นิศรา ถาวรโสตร์, และสรารัฐ ศรีทองอุทัย. (2563). การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตามฤดูกาลและพื้นที่บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(10), 1739-1749. doi: 10.14456/tstj.2020.138
- ทองทิพย์ วงษ์ศิลป์, จินตนา สาและน้อย, กังสดาลย์ บุญปราบ, Takashi Yoshikawa, Yuki Okamoto, และ Satoshi Ishikawa. (2559). การสะสมโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในดินตะกอนบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง (*Anadara granosa*) ในอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(2), 309-319.
- ทิตา ดวงสวัสดิ์. (2554). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำ บริเวณปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). พัทลุง: มหาวิทยาลัยทักษิณ
- ธงชัย สุธีรศักดิ์, เพ็ญศิริ เอกจิตต์, กนกพร เมืองมูล, นุรฮัสมีนา สาและ และอนัญญา ละไม. (2563). การปนเปื้อนของตะกั่ว โครเมียม ทองแดงและสังกะสี ในตะกอดินคลองปากบาง และพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง ตำบลป่าตอง จังหวัดภูเก็ต. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(3), 1181-1197.
- ธงชัย สุธีรศักดิ์, เพ็ญศิริ เอกจิตต์, ณัฐรติ ชิดเขียว, กนกวรรณ พงษ์กัญจน์นิศา และเวียงชัย จงศรีรัตนกุล. (2562). การประเมินการปนเปื้อนของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดิน คลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต. *วารสาร วิทยาศาสตร์บูรพา*, 24(1), 340-358.
- นิภาพร รอดน้อย. (2537). การหาปริมาณโลหะหนักบางชนิดโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พจนลักษณ์ ตรีอุดม. (2559). ปริมาณสารหนูและตะกั่วในน้ำ ดินตะกอนและพืชน้ำบางชนิดบริเวณทะเลน้อย จังหวัด พัทลุง (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพิมล เชื้อดวงผุย และเสาวคนธ์ วัฒนจันทร์. (2555). ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดงและสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด บริเวณแหล่งการทำประมง อ่าวอละงู จังหวัดสตูล (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- พิไลพร ทองมาก. (2552). การเลี้ยงหอยแครง (*Anadara granosa*) โดยใช้ขนาดลูกหอยและอัตราการทำวนที่แตกต่างกัน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). ชุมพร: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เพ็ญภา สอนทอง และ โอฟาร ถิ่นบางเตียว. (2562). นิเวศวิทยาการเมืองของการจัดการทรัพยากร ชายฝั่ง ทะเลอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารเศรษฐศาสตร์การเมืองบูรพา*, 7(2), 101-132.
- ภัทรารุณ ไทยพิชิตบุรพา. (2561). การประเมินสภาวะคุณภาพน้ำและดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา
- รอรานา อาตาม. (2562). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำบริเวณชุมชนประมงบาละฮิเล จังหวัดนราธิวาส. *Princess of Naradhiwas University journal*, 11(3), 202-211.
- สมทิพย์ ด่านธีรวิชัย, สุวัฒน์ ธนานุภาพไพศาล, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์, และอัญชลี ฤกษ์ดี (2554). การประเมินผลกระทบประเด็นปัญหาโลหะหนักในระบบนิเวศของบริเวณพื้นที่อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และการใช้หอยนางรมเป็นตัวบ่งชี้ (รายงานวิจัย). สุราษฎร์ธานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.
- อุดมลักษณ์ คงสังข์, ธงชัย สุธีระศักดิ์ และเวียงชัย จงศรีรัตนกุล. (2561). การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดิน ใต้เดือน ทะเลและหอยแครงในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต. *วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 41(4), 439-454.
- Edresy, M. A., Wasel, S. O., & Hagibi, H. A. (2019). Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments between Al-Haymah and Al-Mokha, south red sea, Yemen. *International Journal of Hydrology*, 3(2), 159-173. doi: 10.15406/ijh.2019.03.00177
- Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., Tait, B.A.R., Bateson, J.H., Cogger, N., Johnson, R.L., Prewett, W.G., & Stephens, E.A. (1975). *The Geology of the Tin Belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa*, first ed. HMSO, London.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Resources Research*, 14, 975-1001.
- Ho, Swennen, R. & VanDamme, A. (2010). Distribution and contamination status of heavy metals in estuarine sediments near Cau Ong harbor, Ha Long Bay, Vietnam. *Geologica Belgica*, 13(1-2), 37-47.
- Kadhum, S.A., Ishak, M.Y., & Zulkifli, S.Z. (2015). Evaluation and assessment of baseline metal contamination in surface sediments from the Bernam River, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6312-6321.
- Keawtawee, T. & Songsangjinda, P. (2017). *Heavy metal contamination In the Green Mussel Perna viridis in the gulf of Thailand*. Department of Aquatic Scienc. Prince of Songkla University.

- Kouchesfehani, H. S., & Azizi, S. N. (2019). Heavy Metal Pollution Assessment in Sediment of Mussel Habitats Using Geochemical Indices. *Journal of Coastal Zone Management*, 22(2).
- Roekdee, U. (2015). *Assessment of Heavy metals Impact in the Ecosystem in Bondon Bay at Surat Thani Province and Using the Oyster as a Biological Index*. (Doctoral dissertation). Songkla: Prince of Songkla University
- Singh, M., Muller, G., & Singh, I.B. (2002). Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanization of the Gana Plain, India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 141, 35-54.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., & Jeffrey, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunters*, 33, 566-575.