

การประเมินการปนเปื้อนของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดิน คลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต

Assessment Contamination of Copper, Lead and Zinc in Sediment at Bang Yai Canal, Phuket Province

ธงชัย สุธีรศักดิ์^{1*}, เพ็ญศิริ เอกจิตต์¹, ณัฐรดี ชิดเขียว¹, กนกวรรณ พงษ์กัณจน์ธินา¹ และ เวียงชัย จงศรีรัตนกุล²

Thongchai Suteerasak^{1*}, Pensiri Akkajit¹, Nattaradee Chitchiew¹, Kanogwan Ponggannicha¹
and Wiangchai Chongsrirattanakun²

¹คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

²ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

¹Faculty of Technology and Environment, Prince of Songkla University, Phuket Campus

²Scientist, Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University, Hatyai Campus

Received : 28 December 2018

Revised : 22 February 2019

Accepted : 1 March 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในตะกอนดินท้องน้ำคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต โดยเก็บตัวอย่างตะกอนด้วยเครื่องเก็บตะกอนพื้นผิวแบบ Petersen Grab จำนวน 14 จุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวคลอง ตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บมาถูกเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการทางธรณีเคมี และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งสามด้วยเครื่อง ICP-OES ผลที่ได้ พบว่า หลายจุดเก็บตัวอย่างมีความเข้มข้นโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสีที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (SQGs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ตอนกลางและท้ายคลองบางใหญ่ เมื่อประเมินการปนเปื้อนด้วยค่า Igeo กลับไม่พบการปนเปื้อนของทองแดงในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ รวมถึงพบการปนเปื้อนระดับน้อยของสังกะสีและตะกั่วในตะกอนดินบางตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตามพบการปนเปื้อนในระดับปานกลางของตะกั่วในตะกอนดินบางจุดเก็บตัวอย่างช่วงกลางจนถึงท้ายคลองบางใหญ่ ผลที่ได้สะท้อนให้เห็นถึงการปนเปื้อนของตะกั่วและสังกะสีที่มีอิทธิพลมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยต้นกำเนิดของโลหะหนักดังกล่าวมาจากการทำกิจการเหมืองแร่ในอดีต และมาจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ แต่ยังเป็นการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: การปนเปื้อน, ดินตะกอน, โลหะหนัก, คลองบางใหญ่

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

Abstract

The objective of this research is to evaluate the contamination level of copper (Cu), lead (Pb) and zinc (Zn) in the sediments collected from Bang Yai Canal, Phuket province. Surface sediment samples were collected with Petersen Grab from 14 sampling points, prepared by geochemical methods, and then measured by using inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES). The results showed that Cu and Zn were exceeded the sediment quality standards (SQGs), especially from the sampling points in the middle and the end of Bang Yai Canal. The degree of pollution level in sediments assessed by Geo-accumulation index (Igeo) indicated either not contaminated Cu or moderately contaminated with Pb and Zn at some point in the middle to the end of the Bang Yai canal. This is consistent with the development of the tin mining industry of Phuket in the past and from human activities along Bang Yai Canal. However, the contamination level is still acceptable.

Keywords: contamination, sediment, heavy metal, Bang Yai canal

บทนำ

โลหะหนักเป็นสารมลพิษประเภทหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ ซึ่งโลหะหนักที่พบตามแหล่งต่างๆ ในปัจจุบันมีทั้งที่เกิดมาจากธรรมชาติและมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยโลหะหนักที่สร้างปัญหาทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยมากมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ทั้งสิ้น เช่น มาจากทำอุตสาหกรรมต่างๆ การทำเกษตรกรรมและกสิกรรม และจากของเสียที่เกิดจากการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ เป็นต้น ปัจจุบันผู้คนหันมาสนใจในปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มากจากการปนเปื้อนของโลหะหนักมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ การประเมินผลการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำโดยมากจะประเมินผลจากคุณภาพน้ำและตะกอนดิน เนื่องจากทั้งสองสิ่งเป็นทั้งตัวพัดพาและแหล่งพักสะสมตัวของโลหะหนักชนิดต่างๆผลให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศในพื้นที่ดังกล่าว ทั้งนี้มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดิน ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Kayembe *et al.* (2018) ที่วิเคราะห์โลหะหนักโครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในตะกอนดินของแม่น้ำสองสายในประเทศคองโก คือ แม่น้ำ Bumbu และ Kokolo โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวรวมกับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment Factor ; EF) และค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index ; Igeo) ซึ่งผลที่ได้พบว่าปริมาณโครเมียม ทองแดง สังกะสีแคดเมียม ตะกั่วและปรอทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบตะกั่วปนเปื้อนในปริมาณที่สูงและบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนที่รุนแรง รวมทั้งงานวิจัยของ Wang *et al.* (2017) ที่ศึกษาและตรวจวัดโลหะหนักอะลูมิเนียม โครเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี แคดเมียมและตะกั่ว ในพื้นที่ปากแม่น้ำกลันตัน ในประเทศมาเลเซีย ผลที่ได้พบว่าปริมาณโลหะหนักในตะกอนผิวดินของปากแม่น้ำมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงพบ

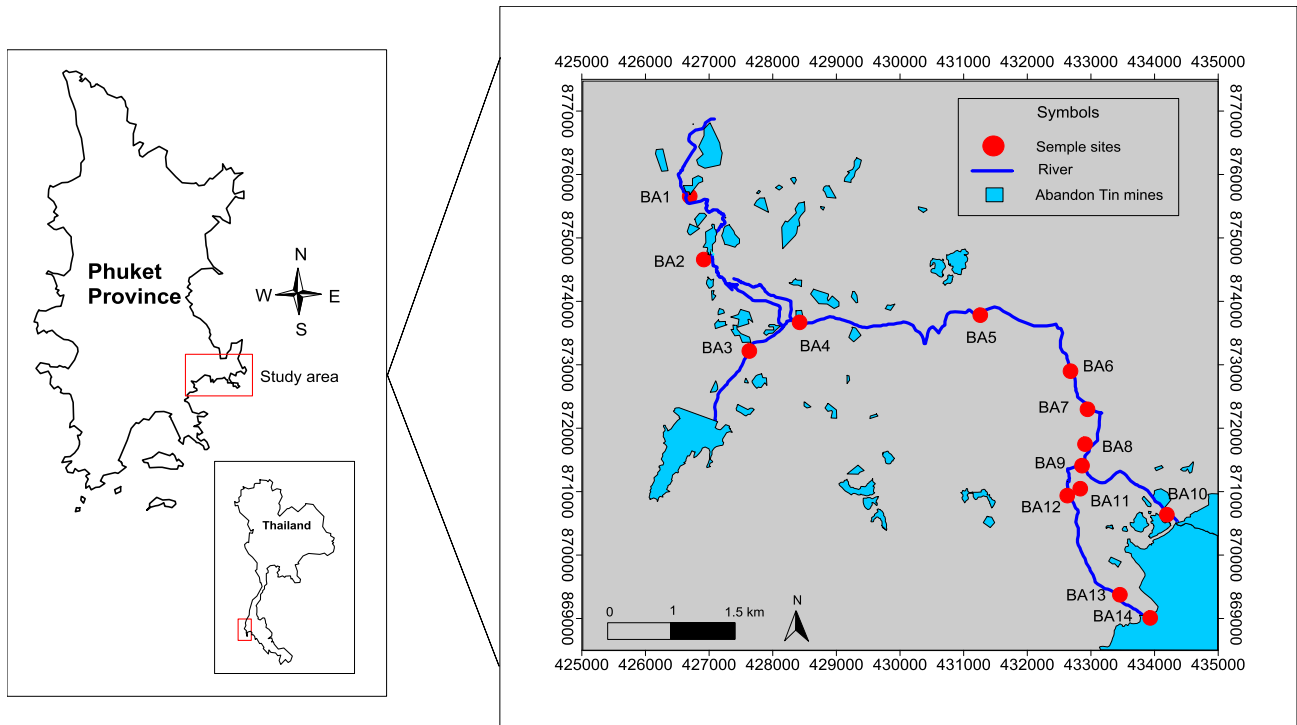
การปนเปื้อนของตะกั่วระดับปานกลางในตะกอนผิวดิน รวมถึงงานวิจัยของ Dahri *et al.* (2018) ที่วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล โครเมียม และสารหนูในตะกอนดินพื้นที่ลุ่มน้ำ Gabes ซึ่งตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของตูนิเซีย โดยผลที่ได้พบว่า สังกะสีมีความเข้มข้นสูงสุด คือ 384.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง แต่เป็นการปนเปื้อนระดับปานกลางไปถึงต่ำ แม้ว่าค่า SPI แสดงถึงระดับความเป็นพิษสูงในสองสถานีเก็บตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างงานวิจัยที่พบในประเทศไทยเช่นงานของ Watcharasing *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาในพื้นที่แม่น้ำท่าจีน มีความยาวทั้งสิ้นจากจังหวัดชัยนาทถึงปากแม่น้ำที่จังหวัดสมุทรปราการ โดยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู พรอทและนิกเกิล โดยผลที่ได้พบว่าไม่มีปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนที่เกินค่ามาตรฐานเกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน NOAA สำหรับในน้ำพบโลหะหนักที่มีปริมาณเกินค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน คือ สารหนู (As) เพียงชนิดเดียว

ในอดีตจังหวัดภูเก็ตมีความเจริญทางด้านเศรษฐกิจจากการทำกิจการเหมืองแร่ดีบุก ซึ่งในเวลาดังกล่าวความต้องการใช้แร่ดีบุกมีค่อนข้างมากส่งผลให้มีการทำเหมืองแร่เป็นจำนวนมากในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตและพื้นที่ระแวกใกล้เคียงกัน ในเวลาต่อมาราคาของแร่ดีบุกตกต่ำประกอบกับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเข้ามาแทนที่ส่งผลให้กิจการเหมืองแร่ต่างๆ หยุดกิจการลง (Burangae, 2014) อย่างไรก็ตามโลหะหนักต่างๆที่ตกค้างและหลงเหลือจากการทำกิจการเหมืองแร่ในอดีตยังคงกระจายตัวสะสมอยู่ในพื้นที่ที่เคยทำกิจการเหมืองแร่ รวมถึงคลองระบายน้ำจากเหมืองแร่ดังกล่าว (Suteerasak and Bhongsuwan, 2006, 2008) ทั้งนี้คลองบางใหญ่เป็นคลองสายหลักของพื้นที่ตอนล่างจังหวัดภูเก็ต ซึ่งคลองนี้ใช้ระบายน้ำเสียและน้ำทิ้งจากพื้นที่ต่างๆในอำเภอกะทู้และอำเภอเมืองลงสู่อ่าวภูเก็ต โดยบริเวณปลายน้ำคลองบางใหญ่เชื่อมต่อกับพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ที่เป็นพื้นที่มีสัตว์ทะเลหลายชนิดอาศัยอยู่ หากมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนอาจส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าว นอกจากนี้อาจส่งผลกระทบต่อมนุษย์เนื่องจากผู้คนที่ในพื้นที่ดังกล่าวมีการทำการประมงขนาดเล็ก รวมถึงชุดหาสัตว์ทะเลหน้าดินจำพวกหอยมาจำหน่ายให้กับร้านอาหารเป็นจำนวนมาก จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่วิกฤตของคลองบางใหญ่ในอำเภอกะทู้และอำเภอเมืองโดย Regional Environmental Office 15. (2017) ที่เก็บและตรวจวัดคุณภาพน้ำ 8 ครั้งในปี พ.ศ.2560 และนำเสนอผลด้วยค่าดัชนีคุณภาพน้ำ (Water Quality Index : WQI) ผลที่ได้พบว่า ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้ง 4 สถานีให้ผลที่เหมือนกันคือ น้ำในคลองบางใหญ่มีคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมมาก (Regional Environmental Office 15, 2017) จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับโลหะหนักในคลองบางใหญ่ในก่อนหน้านี้อยู่ Suteerasak and Bhongsuwan (2008) พบว่า มีการการปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิดจากโลหะหนักที่ศึกษา 10 ชนิดในตะกอนดินคลองบางใหญ่ที่เก็บในปี พ.ศ.2546 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเป้าไปที่การศึกษาสถานการณ์การปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ที่คงค้างอยู่ในตะกอนดินคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต เพื่อประเมินการเพิ่มหรือลดลงของโลหะหนักดังกล่าวเป็นเป้าหมายหลัก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

คลองบางใหญ่มีความยาวประมาณ 8 กิโลเมตร ตั้งอยู่บริเวณตอนล่างของจังหวัดภูเก็ตในเขตพื้นที่อำเภอกะทู้จรดเขตอำเภอเมือง สิ้นสุดที่ทะเลบริเวณอ่าวภูเก็ต ต้นน้ำของคลองบางใหญ่มาจากสองเส้นทางน้ำในพื้นที่อำเภอกะทู้ได้แก่ เส้นทางน้ำคลองบางใหญ่ตอนบนที่เป็นแหล่งรวมน้ำจากน้ำตกกะทู้ซึ่งมีตาน้ำตั้งอยู่บนภูเขาไม้เท้าสิบสอง และเส้นทางน้ำคลองบางวาดที่ระบายน้ำจากเขื่อนบางวาดที่ตั้งอยู่ในอำเภอกะทู้ ในส่วนน้ำในของคลองบางใหญ่ตอนกลางและตอนท้ายคลองมีที่มาจากน้ำที่จังกบ้านเรือนและชุมชนเมืองขนาดเล็กและใหญ่ที่อาศัยอยู่กระจายใกล้กับพื้นที่ที่คลองบางใหญ่ โดยท้ายสุดคลองบางใหญ่แยกออกเป็นสองเส้นทางระบายน้ำลงสู่อ่าวภูเก็ตซึ่งเส้นทางแรกลำคลองทอดยาว ไปสิ้นสุดที่พื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่ (สะพานหิน) ส่วนเส้นทางที่สองเป็นแขนงลำคลองที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของคลองบางใหญ่เส้นหลักก่อนไหลลงสู่ตอนบนของอ่าวภูเก็ต ดังแสดงในภาพที่ 1 (Suteerasak and Bhongsuwan, 2008)



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ตและจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินท้องน้ำ 14 ตัวอย่าง

2. วิธีการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

การศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนักทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต เริ่มจากการเก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วยเครื่องเก็บตะกอนดินแบบ Petersen Grap Sample (Suteerasak, 2017) โดยเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2561 และเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 (บางตำแหน่ง) ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2561 ซึ่งในแต่ละจุดเก็บ

ตัวอย่างมีการบันทึกพิกัดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วยเครื่องวัดพิกัดดาวเทียม GPS (Garmin รุ่น etrex) โดยในงานวิจัยนี้เก็บตะกอนดินทั้งสิ้น 14 จุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดในภาพที่ 1 ทั้งนี้ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีการเก็บตัวอย่างขึ้นมา 3 ครั้ง ที่พื้นผิวจนถึงความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นนำตะกอนดินที่เก็บมาจากในพื้นที่ศึกษา มาอบด้วยความร้อนและไล่ความชื้นด้วยอุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำตัวอย่างดินมาคัดแยกขนาดด้วยตระแกรงร่อนแยกขนาด 150 ไมครอนและ 63 ไมครอน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะตะกอนดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอนและขนาด 63-150 ไมครอน

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีการทางธรณีเคมี เริ่มจากการนำตะกอนดินขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ตัวอย่างละ 200 มิลลิกรัมมาย่อยเป็นสารละลายด้วยกรดด้วยวิธีการ aqua regia โดยเติมสาร HNO_3 1 มิลลิตร และ HCl 3 มิลลิตร ที่ความเข้มข้นแบบไม่เจือจาง (Potts, 1992) และเติมกรด HF 40 % 5 มิลลิตร จากนั้นนำตัวอย่างสารละลายทั้งหมดคนให้เข้ากันและบรรจุลงใน MARSX press Plus ทั้งนี้กระบวนการย่อยตะกอนเป็นสารละลายต้องอาศัยความร้อนช่วยในการย่อยโดยเครื่องมือที่ให้ความร้อนในที่นี้ใช้เครื่องไมโครเวฟ (Microwave) สำหรับงานย่อยตะกอนดิน โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทั้งนี้สุดท้ายสารละลายที่ได้ต้องใส ไม่มีตะกอน และเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างสารละลายของตะกอนดินไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของแดง ตะกั่วและสังกะสี ด้วยเครื่อง ICP-OES (Perkin Elmer Optima 4300 DV) โดยได้มีการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการย่อยตะกอนด้วยตัวอย่างมาตรฐาน MESS-4 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents) ที่เป็นตะกอนดินจากทะเลสาบในประเทศแคนาดา (National Research Council Canada, 2014) เพื่อนำค่ามาหาเปอร์เซ็นต์การแยกรวม (% recovery) จากนั้นนำมาประเมินผลเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นมาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (Sediment Quality Guidelines: SQGs) ที่ Pollution Control Department. (2012) ได้กำหนดไว้ กล่าวคือความเข้มข้นอยู่ในระดับ Threshold Effects Concentration (TEC) ซึ่งเป็นระดับที่คาดว่าจะไม่กระทบต่อสัตว์น้ำดินเมื่อมีความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน ซึ่งมีค่าความเข้มข้นทองแดงไม่เกิน 31.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตะกั่วไม่เกิน 35.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และสังกะสีไม่เกิน 121 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

3. การประเมินผลการปนเปื้อนของโลหะหนัก

การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในสภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้อาศัยการตรวจสอบโดยใช้ตัวชี้วัด 3 ชนิด ได้แก่ ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index ; Igeo) ค่าดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment Factor ; EF) และค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

3.1 ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Igeo)

ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index : Igeo) ดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดินมากที่สุด (ตัวอย่างเช่น Xia *et al.*, 2018 ; Zhuang *et al.*, 2018) โดยค่าดังกล่าวสะท้อนถึงการ

สะสมตัวของโลหะหนักทั่วไปที่มีการเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณกับปริมาณธาตุโลหะหนักดังกล่าวในวัสดุธรรมชาติของท้องถิ่น หรือวัสดุธรรมชาติหรือเป็นวัสดุพื้นฐานทางธรณีวิทยาของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) (Müller, 1981)

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n}\right) \tag{1}$$

โดย C_n คือ ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างไม่ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ B_n คือ ปริมาณโลหะหนักในวัสดุธรรมชาติ โดยค่าความเข้มข้นโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในหินตะกอนที่เป็นหินท้องถิ่นต้นกำเนิดตะกอนดินมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Garson *et al.*, 1975) และมีช่วงชั้นค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีสามารถแบ่งเป็นระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงชั้นค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีและระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน (Ho *et al.*, 2010)

| ระดับค่า Igeo | ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| Igeo < 0 | ระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน |
| 0 ≤ Igeo < 1 | ระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง |
| 1 ≤ Igeo < 2 | ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง |
| 2 ≤ Igeo < 3 | ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลางจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง |
| 3 ≤ Igeo < 4 | ระดับที่มีการปนเปื้อนสูง |
| 4 ≤ Igeo < 5 | ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก |
| Igeo > 5 | ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก |

3.2 ดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF)

ค่าดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment Factor : EF) ดังกล่าวเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพตะกอนดิน โดยการประเมินค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงอิทธิพลของกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการสะสมตัวของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) (Buat-Menard and Chesselet, 1979)

$$EF = \frac{(C_n/C_{norm})_{sample}}{(C_n/C_{norm})_{background}} \tag{2}$$

โดย C_n คือ ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างไม่ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ C_{norm} เป็น ปริมาณธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมีในพื้นที่นั้นใช้อะลูมิเนียม (Al) ซึ่งเป็นโลหะที่พบมากในธรรมชาติ $[C_n/C_{norm}]_{sample}$ คือปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างไม่

ตะกอนดินหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมี และ $[C_n/C_{norm}]$ background คือ ปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมี ทั้งนี้ Sutherland (2000) ได้แบ่งระดับของอิทธิพลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ช่วงค่า EF ที่สัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน

| ระดับค่า EF | ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน |
|-------------|------------------------------------------------|
| EF < 2 | ระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลน้อย |
| EF 2-5 | ระดับที่ได้รับอิทธิพลปานกลาง |
| EF 5-20 | ระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง |
| EF 20-40 | ระดับที่ได้รับอิทธิพลสูงมาก |
| EF > 40 | ระดับที่ได้รับอิทธิพลอย่างรุนแรง |

3.3 ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (Sediment Pollution Index : SPI) ดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดมลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดินเนื่องจากโลหะหนักว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับใด โดยคำนวณค่าได้จากจากปริมาณโลหะหนักหลายชนิด มีสมการการคำนวณดังสมการที่ (3) (Singh *et al.*, 2002 ; Liang *et al.*, 2015)

$$SPI = \frac{\left(\sum \left[\frac{C_n}{B_n}\right] \times W_m\right)}{\sum W_m} \quad (3)$$

เมื่อค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดินและ B_n เป็นปริมาณโลหะหนักในวัสดุธรรมชาติซึ่งในที่นี้เป็นค่าที่มาจากหินตะกอนในพื้นที่ และค่า W_m เป็นน้ำหนักความเป็นพิษ (toxicity weight) ซึ่งความเป็นพิษของสังกะสีใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 ทองแดงใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 2 ส่วนตะกั่วใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 5 (Singh *et al.*, 2002) โดยมีการจำแนกช่วงค่าของตัวชี้วัดดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ช่วงค่า SPI ที่สัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อน (Singh *et al.*, 2002)

| 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 |

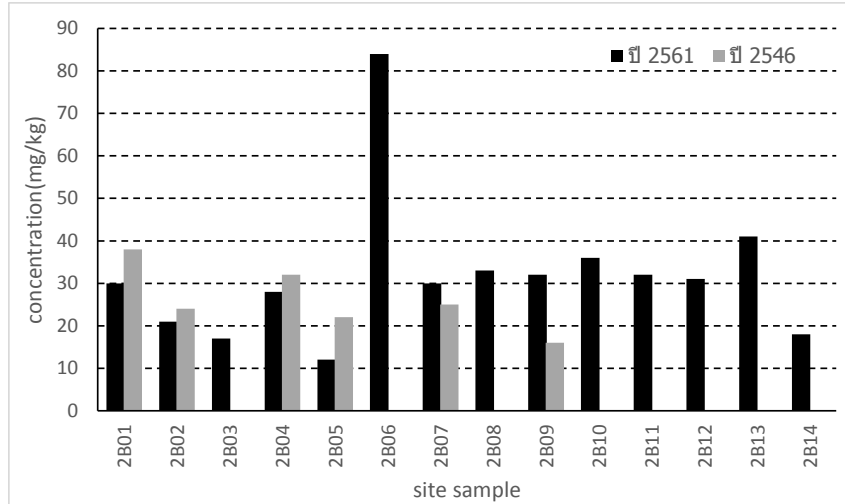
ผลการวิจัย

1. ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก

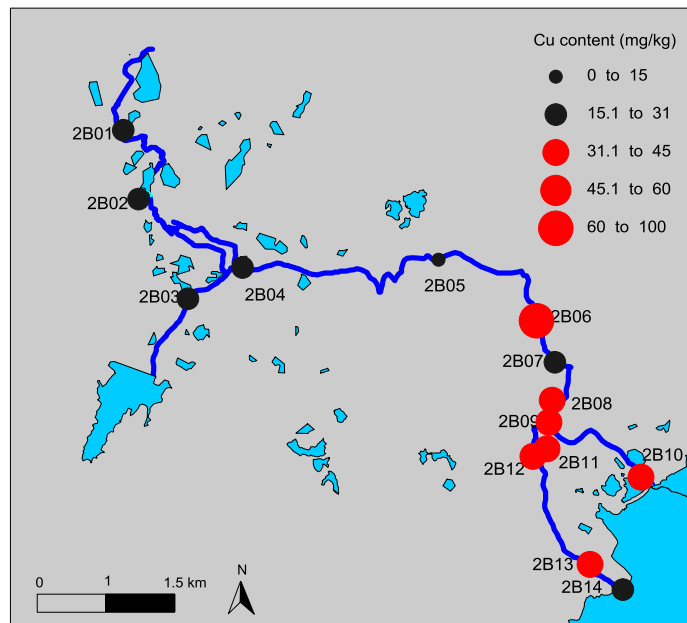
ผลจากการหาเปอร์เซ็นต์การแยกกรรม (% recovery) จากตัวอย่างมาตรฐาน MESS-4 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกกรรมของทองแดง คือ 88.9 เปอร์เซ็นต์ ตะกั่วคือ 56.3 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสีคือ 93.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาหาความเข้มข้นโลหะหนักทั้ง 3 ในตะกอนดิน ได้ผลดังนี้

1.1 ความเข้มข้นของทองแดง

ผลการตรวจวัดปริมาณทองแดง (Cu) ในตะกอนดินตามเส้นทางน้ำคลองบางใหญ่ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 12 ถึง 84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยตำแหน่งที่พบปริมาณทองแดงมากที่สุด 84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งที่ตำแหน่ง 2B06 (ภาพที่ 2ก) จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของทองแดงที่ตรวจวัดได้กับปริมาณทองแดงที่มาจากตะกอนดินซึ่งเก็บในปี พ.ศ.2546 (Suteerasak and Bhongsuwan, 2008) พบว่าปริมาณทองแดงในตะกอนดินพื้นที่ดินน้ำ (ตัวอย่าง 2B01-2B05) ของปี พ.ศ.2546 มากกว่าที่พบในปัจจุบัน ในส่วนที่เป็นพื้นที่ตอนกลางของคลองปริมาณความเข้มข้นทองแดงในปัจจุบันมีค่ามากกว่าปี พ.ศ.2546 ในส่วนพื้นที่ท้ายคลองหากพิจารณาจากการเปรียบเทียบกับปริมาณทองแดงในพื้นที่พื้นที่รองรับน้ำทั้งคลองบางใหญ่ที่เก็บในปี พ.ศ.2546 (2-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) กับทองแดงในพื้นที่ดังกล่าวในงานของ Khongsang *et al.* (2018) พบว่าปริมาณทองแดงในปัจจุบันมีช่วงค่าสูงกว่ามาก ดังนั้นสันนิษฐานได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่ทองแดงในตะกอนดินในช่วงท้ายคลองบางใหญ่ที่มีในปัจจุบันมีค่าสูงกว่าปี พ.ศ.2546

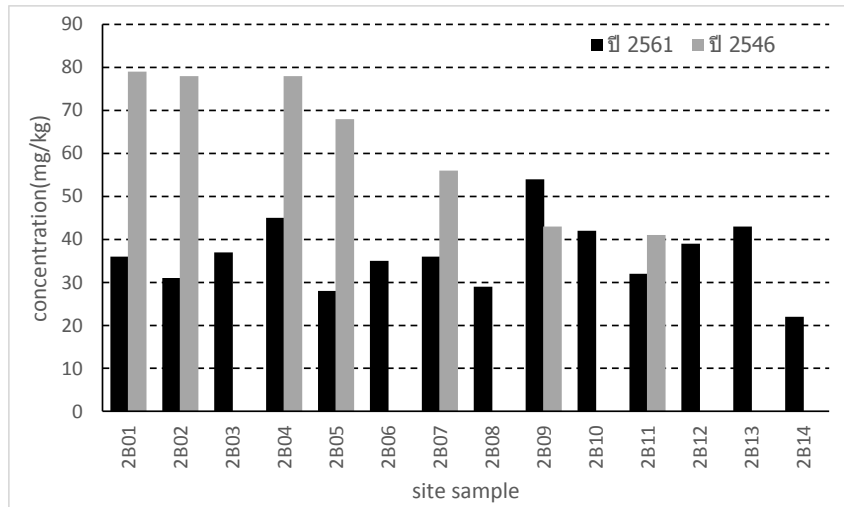


(ก)

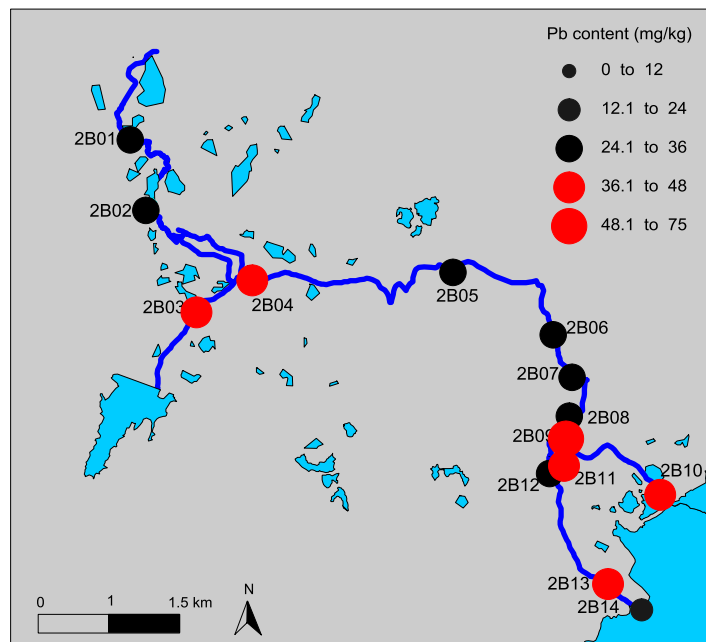


(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ปริมาณทองแดงในตะกอนดินคลองบางใหญ่ ที่วิเคราะห์ในปี พ.ศ.2546 เปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2561 และ (ข) ปริมาณทองแดงในจุดเก็บตะกอนดินต่างๆของคลองบางใหญ่จำแนกตามเกณฑ์ค่ามาตรฐาน

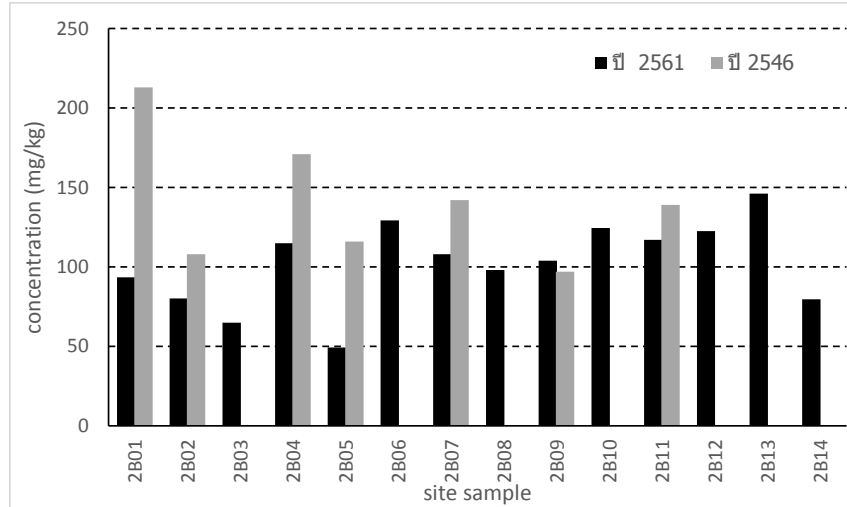


(ก)

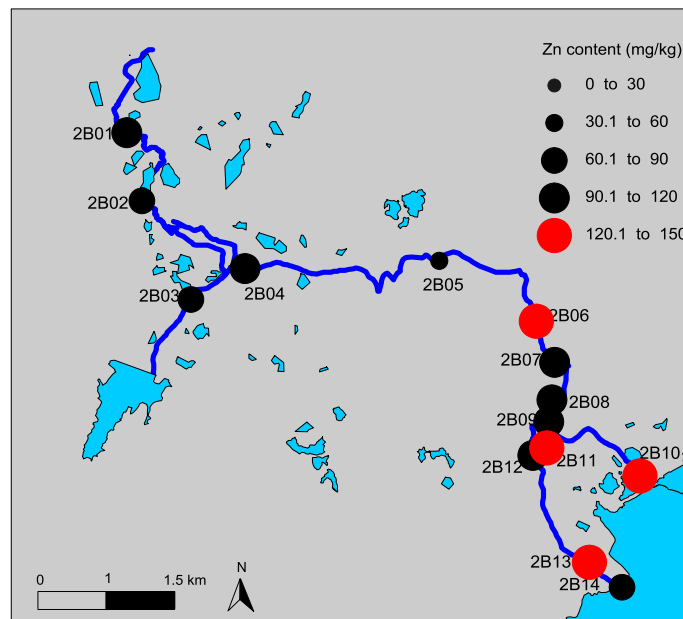


(ข)

ภาพที่ 3 (ก) ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินคลองบางใหญ่ ที่วิเคราะห์ในปี พ.ศ.2546 เปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2561 และ (ข) ปริมาณตะกั่วในจุดเก็บตะกอนดินต่างๆของคลองบางใหญ่จำแนกตามเกณฑ์ค่ามาตรฐาน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) ปริมาณสังกะสีในตะกอนดินคลองบางใหญ่ ที่วิเคราะห์ในปี พ.ศ.2546 เปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2561 และ (ข) ปริมาณสังกะสีในจุดเก็บตะกอนดินต่างๆของคลองบางใหญ่จำแนกตามเกณฑ์ค่ามาตรฐาน

1.2 ความเข้มข้นของตะกั่ว

ผลการตรวจวัดปริมาณตะกั่ว (Pb) ในตะกอนดินตามเส้นทางน้ำคลองบางใหญ่ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 22 ถึง 54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยตำแหน่งที่พบปริมาณตะกั่วมากที่สุดอยู่ในช่วงกลางคลองตอนล่าง (54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ที่ตำแหน่ง 2B09 (ภาพที่ 3ก) จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่ตรวจวัดได้กับปริมาณตะกั่วที่มาจากตะกอนดินซึ่งเก็บในปี พ.ศ.2546 (Suteerasak and Bhongsuwan, 2008) พบว่า ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินปี พ.ศ.2546 มีปริมาณมากกว่าที่พบในตะกอนดินปัจจุบันมาก (37-113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) โดยเฉพาะพื้นที่ต้นน้ำ (ตัวอย่าง 2B01-2B05) ที่มีตะกั่วสะสมอยู่ในตะกอนดินของอดีตเป็นจำนวนมาก ในส่วนของพื้นที่ตอนกลางไปจรดท้ายคลอง พบปริมาณตะกั่วที่มากขึ้นสลับกันไป ซึ่งตำแหน่งที่พบตะกั่วสูงสุดของปัจจุบัน (2B09) มีปริมาณตะกั่วที่มากกว่าที่พบในอดีต หากประมาณความเข้มข้นของตะกั่วช่วงท้ายคลองจากการเปรียบเทียบผลของตะกั่วในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งในงานของ Khongsang *et al.* (2018) กับ Suteerasak and Bhongsuwan (2008) พบว่า ตะกั่วในตะกอนดินปัจจุบันมีปริมาณที่น้อยกว่าเพียงเล็กน้อย นั่นหมายความว่ามีความเป็นไปได้ที่ปริมาณตะกั่วในช่วงท้ายคลองในอดีตและปัจจุบันอาจมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย

1.3 ความเข้มข้นของสังกะสี

ผลการตรวจวัดปริมาณสังกะสี (Zn) ในตะกอนดินตามเส้นทางน้ำคลองบางใหญ่ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 49 ถึง 146 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยตำแหน่งที่พบปริมาณสังกะสีมากที่สุดอยู่ในช่วงท้ายคลอง (146 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ที่ตำแหน่ง 2B13 (ภาพที่ 4ก) จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่ตรวจวัดได้กับปริมาณสังกะสีที่มาจากตะกอนดินซึ่งเก็บในปี พ.ศ. 2546 (Suteerasak and Bhongsuwan, 2008) พบว่า ตะกอนดินส่วนมากในปี พ.ศ.2546 มีปริมาณสังกะสีมากกว่าปัจจุบัน (82-242 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) เช่นเดียวกับที่พบในโลหะหนัก 2 ชนิดก่อนหน้าสังกะสีในพื้นที่ต้นน้ำ (ตัวอย่าง 2B01-2B05) มีมากกว่าที่พบในปัจจุบันมาก ในส่วนของพื้นที่ตอนกลางไปจรดท้ายคลองพบปริมาณสังกะสีที่มากขึ้นสลับกันไปเป็นช่วงๆ อย่างไรก็ตามปริมาณสังกะสีที่พบในปัจจุบันน้อยกว่าที่พบในอดีต หากประมาณความเข้มข้นของสังกะสีในช่วงท้ายคลองจากการเปรียบเทียบผลในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ในงานของ Khongsang *et al.* (2018) กับ Suteerasak and Bhongsuwan (2008) พบว่า สังกะสีในตะกอนดินปัจจุบันและอดีตมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นหมายความว่ามีความเป็นไปได้ที่ปริมาณสังกะสีในช่วงท้ายคลองในอดีตและปัจจุบันอาจมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย

1.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บในเดือนพฤษภาคมเป็นตัวแทนของตะกอนดินในช่วงฤดูร้อนและตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บในเดือนพฤศจิกายนเป็นตัวแทนของตะกอนดินในช่วงฤดูฝน โดยผลที่ได้จากการตรวจวัดความเข้มข้นโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในตะกอนดินของทั้ง 2 ฤดู แสดงในตารางที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดิน 2 ฤดูกาลพบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสามของ

สองฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน บางตำแหน่งมีปริมาณโลหะหนักที่ลดลงและบางตำแหน่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยทองแดงมีการเพิ่ม/ลดของความเข้มข้นอยู่ในช่วง 7-42 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตะกั่วมีการเพิ่ม/ลดของความเข้มข้นอยู่ในช่วง 7-100 เปอร์เซ็นต์ และ สังกะสีมีการเพิ่ม/ลดของความเข้มข้นอยู่ในช่วง 9-31 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นและลดลงของความเข้มข้นโลหะหนักดังกล่าวสันนิษฐานว่ามาจากการพัดพาตะกอนดินขนาดเล็กพร้อมกับโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในตะกอนดินดังกล่าว และอาจกล่าวได้ว่าการลดลงของโลหะหนักทั้ง 3 อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 จวบจนถึงปัจจุบันมาจากอิทธิพลของกระแสน้ำภายในคลองบางใหญ่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่รอบๆคลองบางใหญ่เป็นเวลานาน ดังที่พบได้จากแนวโน้มการลดลงของโลหะหนักในพื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในงานวิจัยของ Suteerasak and Akkajit (2018)

ตารางที่ 4 ผลความเข้มข้นโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ในตะกอนดินสองฤดูกาล

| จุดเก็บตัวอย่าง | ทองแดง | | ตะกั่ว | | สังกะสี | |
|-----------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| | พฤษภาคม | พฤศจิกายน | พฤษภาคม | พฤศจิกายน | พฤษภาคม | พฤศจิกายน |
| 2B01 | 30 | 20 | 36 | 23 | 93 | 76 |
| 2B02 | 21 | 21 | 31 | 62 | 80 | 73 |
| 2B04 | 28 | 30 | 45 | 49 | 115 | 115 |
| 2B05 | 12 | 17 | 28 | 30 | 49 | 49 |
| 2B07 | 30 | 25 | 36 | 25 | 108 | 75 |

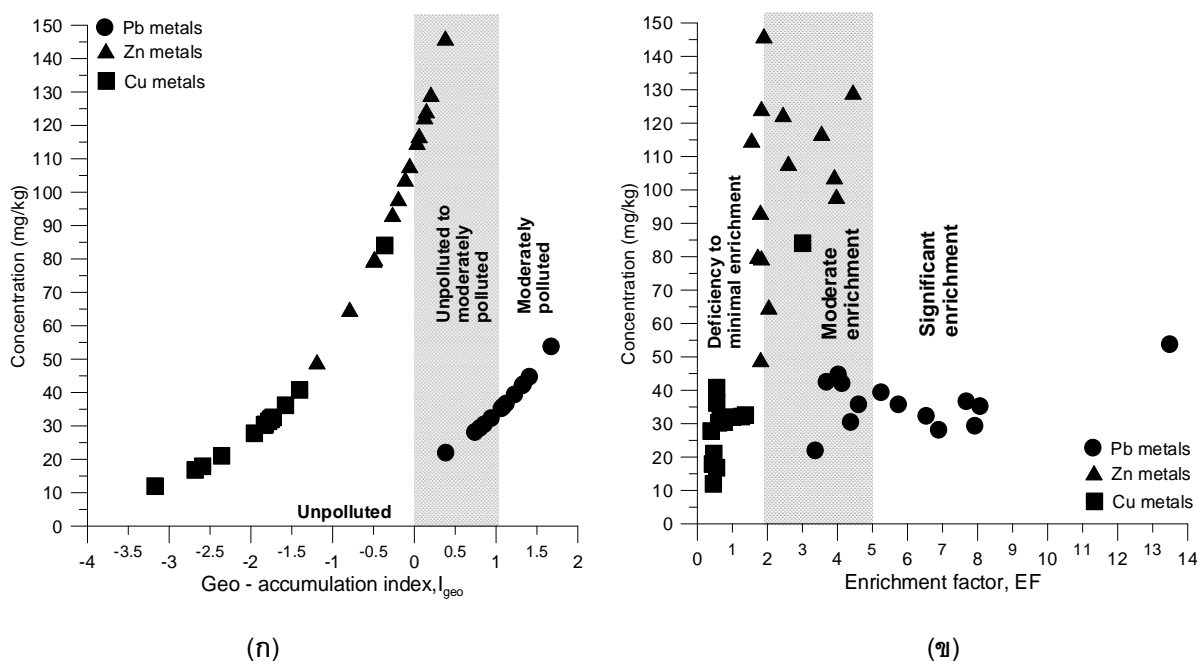
วิจารณ์ผลการวิจัย

1. การประเมินผลความเข้มข้นโลหะหนักเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในตะกอนดิน

พิจารณาผลความเข้มข้นโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสีเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นโลหะหนักทั้งสามในตะกอนตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินที่กำหนดไว้ใน Pollution Control Department. (2012) พบว่า มีจำนวน 7 จุดเก็บตัวอย่าง (2B06, 2B08, 2B09, 2B10, 2B11, 2B12 และ 2B13) ที่มีปริมาณทองแดงเกินเกณฑ์มาตรฐาน (ภาพที่ 2ข) โดยทั้ง 7 จุดนั้นตั้งอยู่ในพื้นที่ตอนกลางไปจนถึงท้ายคลอง ส่วนตำแหน่งที่พบทองแดงมากที่สุด (2B06) พบเกินค่ามาตรฐานมาก ในกรณีของตะกั่วผลที่ได้มี 6 จุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามมี 2 จุดที่พบในจุดที่ต่างกับปริมาณทองแดงในตะกอน (ภาพที่ 3ข) คือ จุดเก็บตัวอย่าง 2B03 และ 2B04

จากการเปรียบเทียบผลของสังกะสีในตะกอนดินที่กระจายตัวอยู่ในคลองบางใหญ่เทียบกับค่าสังกะสีตามเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า มีจำนวน 4 จุดเก็บตัวอย่าง (2B06, 2B10, 2B12 และ 2B13) ที่มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ภาพที่ 4ข) ทั้งนี้ 4 จุดเก็บตัวอย่างเป็นตำแหน่งเดียวกับที่พบปริมาณทองแดงเกินเกณฑ์มาตรฐาน รวมถึงมี 3 ตำแหน่งที่เป็นจุดเดียวกับที่พบตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสีดังกล่าวเป็นโลหะหนักที่คงค้างอยู่ในพื้นที่ตั้งแต่อดีต

และมีที่มาจากการทำงานกิจกรรมเหมืองแร่ในอดีต (Suteerasak and Bhongsuwan, 2008) ส่วนสาเหตุที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักดังกล่าวมากตามจุดต่างๆช่วงใกล้ท้ายคลอง สันนิษฐานว่า เป็นผลมาจากโลหะหนักที่การกระจายตัวและสะสมในพื้นที่ต่างๆตลอดเส้นทางคลองบางใหญ่ก่อนหน้านั้นถูกพัดพาโดยกระแสน้ำไปและตกสะสมตัวในพื้นที่ตอนท้ายคลองบางใหญ่ อย่างไรก็ตามในกรณีของทองแดงที่พบมากผิดปกติในตำแหน่ง 2B06 อาจมีปัจจัยเสริมจากของเสียที่ถูกปล่อยจากร้านซ่อมรถในบริเวณดังกล่าวปะปนกับทองแดงที่ค้างมาตั้งแต่อดีต



ภาพที่ 5 (ก) ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) และ (ข) ค่าดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF)

2. การประเมินผลการปนเปื้อนของโลหะหนัก

2.1 ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index ; I_{geo})

ผลจากการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ ด้วยค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของโลหะหนักแต่ละชนิด (ภาพที่ 5ก) พบว่า ค่า I_{geo} ของทองแดงตกอยู่ในช่วงค่าที่น้อยกว่า 0 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการไม่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักดังกล่าว ส่วนผลของค่า I_{geo} ของสังกะสีนั้นมีค่าคาบเกี่ยวอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 0 ไปจนถึง 0.5 โดยตัวอย่างตะกอนดินที่ค่า I_{geo} อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5 เป็นตัวอย่างที่จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่พบการปนเปื้อน ซึ่งส่วนมากตัวอย่างดังกล่าวตั้งอยู่ในพื้นที่ช่วงกลางคลองไปจนถึงท้ายคลอง ส่วนผลการประเมินตะกั่วซึ่งเป็นโลหะหนักลำดับสุดท้าย พบว่า ค่า I_{geo} ของตะกั่วทั้งหมดมีค่ามากกว่า 0.5 แต่น้อยกว่า 1 ซึ่งสะท้อนภาพของการปนเปื้อนอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการประเมินด้วยค่า I_{geo} ของโลหะหนักทั้ง 3 ในงานวิจัยของ Suteerasak and Bhongsuwan (2008) ที่ประเมินผลการปนเปื้อนในตะกอนดินคลองบางใหญ่ปี พ.ศ.2546 พบว่า I_{geo} ของ

โลหะหนักทั้ง 3 ในปัจจุบันต่างก็ลดระดับการปนเปื้อนลงทั้งสิ้น หากเปรียบเทียบกับพื้นที่ลักษณะคล้ายกันงานวิจัยของ Kayembe *et al.* (2018) ที่ศึกษาการปนเปื้อนด้วยค่า Igeo ของตะกอนดินในแม่น้ำ Bumbu และ Kokolo ในประเทศคองโก พบว่าผลแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โดยในงานวิจัยดังกล่าวพบค่า Igeo ของ ตะกั่วมีค่ามากถึง 3.39 ถึง 3.83 ซึ่งบ่งชี้ถึงระดับที่ การปนเปื้อนสูง

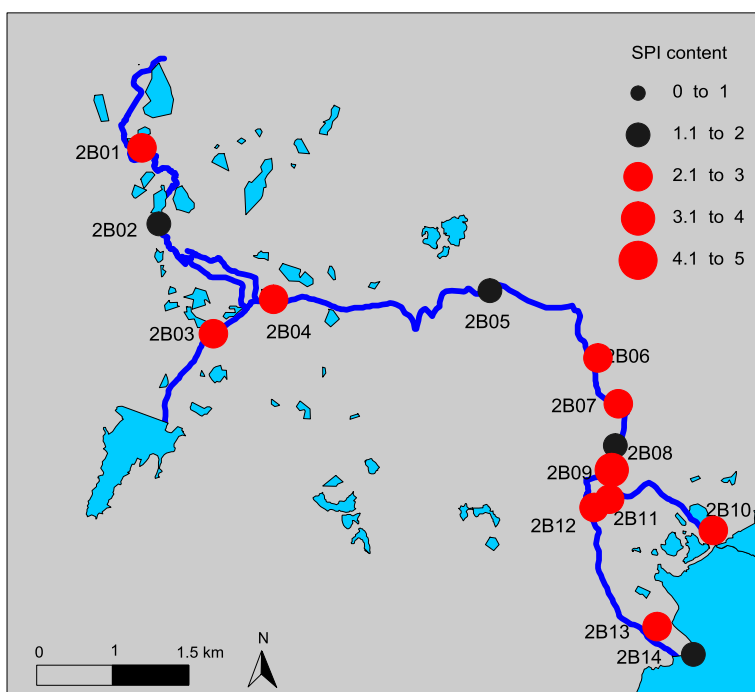
2.2 ดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment Factor ; EF)

ผลการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ด้วยค่าดัชนีการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งพบว่า ค่า EF ของทองแดงมีค่าต่ำกว่า 2 เกือบทุกตัวอย่าง ยกเว้น ตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บที่จุด 2B06 นั้นหมายความว่าทองแดงที่พบบางตัวอย่างเป็นผลมาจากธรรมชาติ (ไม่ได้รับอิทธิพลจาก กิจกรรมของมนุษย์) แต่บางตัวอย่างได้รับอิทธิพลน้อยกว่ากิจกรรมของมนุษย์ ส่วนหนึ่งตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเกินเกณฑ์ มาตรฐานและค่า EF สูงดังกล่าว (อยู่ในช่วง 2 ถึง 5) เป็นตัวอย่างที่ได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ในระดับปานกลาง ส่วนผลค่า EF ของสังกะสี พบว่า ส่วนมากอยู่ในช่วงค่า EF 2 ถึง 5 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการปนเปื้อนที่ได้รับอิทธิพลจาก กิจกรรมของมนุษย์ในระดับปานกลาง มีบางตัวอย่างอาจเป็นการปนเปื้อนที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ต่ำ (ค่า EF น้อยกว่า 2) และทั้งหมดเป็นตัวอย่างในพื้นที่ดินน้ำคลองบางใหญ่ สุดท้ายผลการประเมินค่า EF ของตะกั่ว (Pb) พบว่า ตะกั่ว เป็นโลหะหนักเพียงชนิดเดียวที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์สูง กล่าวคือตะกั่วทั้งหมดที่พบมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งสิ้น โดยมีตะกอนดินหลายตำแหน่งที่มีค่า EF อยู่ในระหว่าง 5 ถึง 20 ซึ่งไม่ได้เป็นตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงทั้งหมด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการประเมินการปนเปื้อนของตะกั่วในงานวิจัยของ Wang *et al.* (2017) ที่ศึกษาการสะสมตัวของ โลหะหนักในตะกอนดิน ปากแม่น้ำกัลันตัน ประเทศมาเลเซีย ผลจากการศึกษาพบว่า ค่า EF ของโลหะหนักตะกั่วในตะกอนดิน แม่น้ำดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการปนเปื้อนที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์เพียงแค่ ระดับปานกลาง

2.3 ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ ที่เป็นตัวชี้วัดสุดท้ายในที่นี้ คือ ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) โดยผลดังกล่าวเป็นการแสดงผลการปนเปื้อนในภาพรวมของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด และ นำเสนอผลเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 6 ทั้งนี้ผลของค่า SPI ในแต่ละตำแหน่งสะท้อนให้เห็นถึงภาพการ ปนเปื้อนหรือไม่ปนเปื้อนของโลหะหนักในแต่ละตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง โดยผลจากการคำนวณ พบว่า ค่า SPI ที่คำนวณจาก โลหะหนักทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ให้ผลลัพธ์ของค่า SPI ส่วน มากอยู่ในช่วง 2 ถึง 5 และมีบางจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่า SPI น้อยกว่า 2 (ตัวอย่าง 2B02, 2B05, 2B08 และ 2B14) ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวแสดงให้เห็นการพบโลหะหนักทั้ง 3 ในระดับที่พบได้ ในธรรมชาติ ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนดินส่วนมากที่เหลืออยู่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก แต่เป็นการปนเปื้อนระดับต่ำ ในตะกอนดิน เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Dahri *et al.* (2018) ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าดัชนีมลพิษของ ตะกอนดิน (SPI) ในลุ่มน้ำ Gabes ที่ตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศตูนิเซีย ที่มีสภาพพื้นที่คล้ายๆ กันกับ

คลองบางใหญ่ ผลจากการศึกษาดังกล่าวพบว่า ค่า SPI ของตะกอนดินในแม่น้ำดังกล่าวมีการปนเปื้อนที่รุนแรงในตะกอนดิน (มีค่ามากกว่า 20) มากกว่าที่พบในคลองบางใหญ่มาก เนื่องจากการทำกิจกรรมต่างๆของมนุษย์รอบๆพื้นที่ดังกล่าวแตกต่างจากคลองบางใหญ่ นอกจากนี้หากพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดในพื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่จากงานของ Khongsang *et al.* (2018) พบว่าการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในคลองบางใหญ่ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนในสัตว์ทะเลหน้าดินในพื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่น้อยมาก



ภาพที่ 6 ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณโลหะหนักทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในตะกอนดินของคลองบางใหญ่มีมากเกินค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในบางตำแหน่ง แต่เป็นความเข้มข้นโลหะหนักดังกล่าวที่น้อยกว่าที่พบในตะกอนดินที่วิเศษหีในปี พ.ศ. 2546 โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ในพื้นที่ต้นคลองบางใหญ่ นั้นหมายความว่าโลหะหนักที่คงค้างอยู่ในพื้นที่คลองบางใหญ่มีการลดลง ทั้งนี้ปัจจัยในเรื่องของฤดูกาลเพียง 1 ช่วงการเปลี่ยนฤดูกาลอาจสะท้อนภาพของการเพิ่มหรือลดของโลหะหนักทั้ง 3 ได้ไม่ชัดเจนเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายปี โดยมีปัจจัยในเรื่องของการพัดพาของกระแสน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นที่และฤดูกาลเป็นปัจจัยเสริมการเพิ่มหรือลดของโลหะหนักดังกล่าว

ไม่พบการปนเปื้อนของทองแดงในตะกอนดิน รวมถึงไม่พบการปนเปื้อนหรือมีการปนเปื้อนระดับน้อยของสังกะสีและตะกั่วในบางตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตามพบการปนเปื้อนในระดับปานกลางของตะกั่วในบางจุดเก็บตัวอย่างช่วงกลางจนถึงท้ายคลองบางใหญ่ โดยผลที่ได้สะท้อนให้เห็นถึงการปนเปื้อนของตะกั่วและสังกะสีที่มีอิทธิพลมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยต้นกำเนิดของโลหะหนักดังกล่าวมาจากการทำกิจการเหมืองแร่ในอดีต และมาจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ แต่ยังเป็นการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยของคณะให้กับโครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษาประวัติการปนเปื้อนของแร่โลหะในตะกอนดินท้องน้ำบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต” ขอขอบคุณหน่วยวิจัยธรณีฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สำหรับการให้ยืมเครื่องมือเก็บตะกอนท้องน้ำ และขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Buat-Menard, P. & Chesselet, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth. Planet. Sc. Lett.* ,42, 399-411.
- Burangae, S. (2014). *Physico-Chemical Water Quality of Old Mining Pit for Water Consumption (Master Thesis)*. Retrieved from <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9936>. (in Thai)
- Dahri, Atoui, Ellouze, & Abida. (2018). “Assessment of streambed sediment contamination by heavy metals : The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia.”, *African Earth Sciences*, 140 , 29-41.
- 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.
- Ho, H.H., Swennen, R. & Van Damme, A.. (2010). “Distribution and contamination status of heavy metals in estuarine sediments near Cau Ong harbor, Ha Long Bay, Vietnam.” *Geol. Belgica*, 13(1-2), 37-47.

- Kayembe, J.M., Periyasamy, S., Diz Salgado, C., Maliani, J., Ngelinkoto, P., Otamonga, J.-P., Mulaji, C.K., Mubedi, J.I., & et Pote-Wembonyama, J. (2018). Assessment of water quality and time accumulation of heavy metals in the sediments of tropical urban rivers: Case of Bumbu River and Kokolo Canal, Kinshasa City, Democratic Republic of the Congo: *Journal of African Earth Sciences*, 147, 536-543.
- Khongsang, A., Suteerasak, T. & Chongsrirattanakun, W. (2018). Contamination of Heavy Metals in Sediment, Polychaetes and Cockles in the Bang Yai River Estuary, Phuket Province. *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (4), 439-454. (in Thai)
- Liang, A., Wang, Y., Guo, H., Bo, L., Zhang, S. & 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, 16067–16076.
- Müller, G. (1981). The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary: A Stocktaking. *Chem. Ztg.* 105, 157-164.
- National Research Council Canada. (2014). *MESS-4: Marines Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents*. Retrieved 9 November 2018, from https://www.nrc-nrc.gc.ca/eng/solutions/advisory/crm/certificates/mess_4.html.
- Potts, P.J. (1992). *A handbook of silicate rock analysis*. Glasow, Blackie & Son Ltd. London.
- Pollution Control Department. (2012). *The study report: Determination of sediment quality standards in surface water source*. Bureau of Waste Management and Hazardous Substances, Pollution Control Department, Bangkok. (in Thai)
- Regional Environmental Office 15. (2017). *Surface water quality and land area (Phuket)*. Retrieved December, 10 2018, from http://www.reo15.go.th/news_download/?cid=2 (in Thai)
- Suteerasak, T. & 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 J. Sci. Technol.* ,28(3), 641-654. (in Thai)
- Suteerasak, T. & 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), 767-779. (in Thai)
- Suteerasak, T. (2017). *Applied Physics with Sediment Analysis*. Phuket Center print, Phuket. (in Thai)

- Suteerasak, T. & 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), 459-475. (in Thai)
- Sutherland, R.A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39, 611-627.
- Singh, M., Müller, G. & 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.
- Wang, A.J., Bong, C.W., Xu, Y.H., Hassan, M.H.A., Ye, X., Bakar, A.F.A., Li, Y.H., Lai, Z.K., Xu, J. & Loh, K.H. (2017). Assessment of heavy metal pollution in surficial sediments from a tropical river-estuary-shelf system: A case study of Kelantan River, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 125, 492-500.
- Watcharasing, J., Tarnchalanukit, W., Junkeaw, K. & Dumpin, N. (2013). The Quantity of Heavy metals in the Thachin River and its Inflow canals from Nakhon Chai Si to Estuary. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)*, 21(2), 1-13. (in Thai)
- Xia, F., Qu, L., Wang, T., Luo, L., Chen, H., Dahlgren, R.A., Zhang, M., Mei, K. & Huang, H. (2018). Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system. *Chemosphere*, 207, 218-228.
- Zhuang, Q., Li, G. & Liu, Z. (2018). Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China. *Catena*. 170, 386-396.