

การใช้ขนาดเม็ดตะกอนและปริมาณตะกั่วและสังกะสีเพื่อระบุชั้น
ตะกอนดินที่มาจากเหตุการณ์สึนามิปี พ.ศ. 2547 (ค.ศ. 2004)
จังหวัดภูเก็ต ในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ อ่าวภูเก็ต
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

ธงชัย สุธีรศักดิ์* และเพ็ญศิริ เอกจิตต์

คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

ถนนวิชิตสงคราม ตำบลกะทู้ อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต 83120

Thongchai Suteerasak* and Pensiri Akkajit

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

Vichitsongkram Road, Kathu, Phuket 83120

บทคัดย่อ

แห่งตะกอนดิน 2 แห่ง ที่นำมาศึกษาในเบื้องต้น จากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ อ่าวภูเก็ต ที่เก็บมาตรวจวัดปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสี เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับหาชั้นตะกอนในช่วงเกิดเหตุการณ์สึนามิในปี พ.ศ. 2547 โดยอาศัยข้อมูลสัดส่วนการสะสมตัวของตะกอนขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และเล็กกว่า 150 ไมครอน รวมกับปริมาณโลหะหนักทั้งสองที่มีอยู่ในปี พ.ศ. 2546 มาเป็นตัวช่วยบ่งชี้ถึงชั้นตะกอนดินที่ถูกรบกวนการสะสมตัวโดยคลื่นสึนามิ ในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ ผลที่ได้พบการสะสมตัวของชั้นตะกอนดินที่ถูกรบกวนการสะสมตัวโดยคลื่นสึนามิ ที่ตำแหน่งความลึกของแห่งตะกอนประมาณ 24-26 เซนติเมตร ของแห่งตะกอน A ส่วนตำแหน่งที่พบสัญญาณการเกิดการฝังกลบ และเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกครั้งในแห่งตะกอน B ที่ความลึกประมาณ 34-35 เซนติเมตร โดยอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินภายหลังเหตุการณ์สึนามิในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแห่งตะกอน A และ B มีค่าประมาณ 2.17 และ 2.87 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ สุดท้ายตำแหน่งที่พบชั้นตะกอนดินที่ถูกรบกวนการสะสมตัวโดยคลื่นสึนามิ สามารถบอกรูปแบบการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนของทรายขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และตะกอนขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน ที่เหมือนกันในช่วงความลึกตั้งแต่ความลึก 9 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแห่งตะกอน A และ 7.5 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแห่งตะกอน B

คำสำคัญ : โลหะหนัก; สึนามิ; การสะสมตัว; ตะกอนดิน

*ผู้รับผิดชอบบทความ : thongchai.s@phuket.psu.ac.th

Abstract

Two sediment cores for the introduction study collected from Bang-Yai estuary, Phuket bay, Phuket province, Thailand were used to assess the levels of metal pollution (Pb and Zn) in sediment samples. Two grain-size fractions ($>150\ \mu\text{m}$ and $<150\ \mu\text{m}$) of the sediment samples and heavy metal concentrations in 2003 were used to identify the layer of sediment during the Tsunami in 2547 B.E. (2004 C.E.). The results showed that the sediment layers in Core A are disturbed by the tsunami deposition at 24-26 cm depth, whereas the redistribution of the sediment was detected at a depth of 34-35 cm in Core B. In addition, it was found that the sedimentation rate after the tsunami event in Core A and B are 2.17 and $2.87\ \text{cm yr}^{-1}$, respectively. In this study, the disturbed layers of the sediment samples by Tsunami deposition were attributed to the uniform trend of vertical sediment texture composition (grain-size $>150\ \mu\text{m}$ and $<150\ \mu\text{m}$) from a depth of 9 cm. toward the end of Core A and from 7.5 cm. toward the end of Core B, respectively.

Keywords: heavy metal; Tsunami; accumulation; sediment

1. บทนำ

งานวิจัยหลายชิ้นที่มีการศึกษาถึงเหตุการณ์หรือสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอดีตต่างก็อธิบายผลโดยอาศัยเวลาหรือช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์นั้น ๆ ขึ้นมา ซึ่งการหาอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินก็ต้องอาศัยปัจจัยในเรื่องของเวลาการเกิดขึ้นตะกอนดินดังกล่าวมาเป็นตัวบ่งชี้ด้วยเช่นกัน การบอกถึงเวลาของสิ่งที่เคยเกิดขึ้นในอดีตจวบจนถึงปัจจุบันนั้นจะอาศัยการหาอายุของสิ่งของเหล่านั้น โดยวิธีการหาอายุมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีแต่ที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด คือ การหาอายุด้วยวิธีทางรังสีวิทยา ซึ่งในทางโบราณคดีวิธีการที่ใช้กันบ่อย คือ การหาอายุจากการปลดปล่อยรังสีจากธาตุคาร์บอน 14 (radiocarbon ^{14}C dating) [1-3] อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดในการหาอายุวิธีดังกล่าวทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายและการแปลความทำให้วิธีการดังกล่าวไม่ได้นำมาใช้กับงานวิจัยอย่างแพร่หลายในประเทศไทยมากนัก ทั้งนี้ในหลายงานวิจัยได้อาศัยความเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์สำคัญ ๆ ที่ได้ทราบถึงช่วงเวลาของการเกิดที่ถูกบันทึกไว้ ตัวอย่าง เช่น ยุครุ่งเรืองของ

อาณาจักรโรมันในช่วง 500 B.C ถึง 300 A.D. ที่สะท้อนออกมาในรูปของการปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่วที่พบในตะกอนดินของทะเลบอลติก [1,3,4] และที่พบปะปนอยู่ในชั้นน้ำแข็งของกรีนแลนด์ [5] นอกจากนี้วิธีการหาอายุด้วยรังสีวิทยาดังที่กล่าวมาแล้วยังมีอีกวิธีที่สามารถใช้หาอายุของตะกอนดินได้ นั่นคือ การหาอายุจากสนามแม่เหล็กบรรพกาล (paleomagnetic dating) ซึ่งวิธีการดังกล่าวโดยมากจะเป็นวิธีการที่ใช้ควบคู่กับวิธีการทางรังสีวิทยา เพื่อช่วยในการบ่งบอกถึงเวลาหรือช่วงเวลาของการเกิดตะกอนดินที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น [1-3] อย่างไรก็ตาม การหาอายุด้วยวิธีการทางสนามแม่เหล็กบรรพกาลยังไม่สามารถนำมาใช้ได้กับตะกอนดินที่มีอายุน้อยกว่า 150 ปี เนื่องจากยังไม่มี การจัดทำเส้นมาตรฐานของสนามแม่เหล็กบรรพกาล (PSV master curve) ที่ใช้เทียบหาอายุของดินตะกอนที่เกิดในช่วงเวลาตั้งแต่ 150 ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันนำมาเทียบเคียงได้ [6] ดังนั้นแนวทางที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในงานวิจัยในพื้นที่นี้จึงเป็นการหาเหตุการณ์มาอ้างอิงเวลาของการเกิดตะกอนดิน

ดังกล่าว เหตุการณ์สำคัญที่ทราบถึงเวลาของการเกิดที่สามารถนำมาใช้ได้กับพื้นที่ชายฝั่งอันดามัน คือ การเกิดคลื่นสึนามิในมหาสมุทรอินเดียเมื่อปี พ.ศ. 2547 ที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งเกาะภูเก็ต โดยการเกิดสึนามิในครั้งนั้นส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังส่งผลให้สภาพพื้นที่ชายฝั่งบางแห่งเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากทุกครั้งที่เกิดคลื่นสึนามิพัดเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งมวลน้ำของคลื่นมักจะหอบเอาตะกอนดินพื้นผิวชายฝั่งเข้าไปฝังในแผ่นดินรวมถึงการพัดพาเอาสิ่งต่าง ๆ บนพื้นผิวแผ่นดินให้มาถมทับพื้นที่ชายฝั่งทะเล [7-9] รวมถึงการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพท้องน้ำของชายทะเลจากการตกตะกอนขึ้นมาใหม่หลังจากคลื่นสึนามิสงบตัวลง [10]

งานวิจัยที่ศึกษาโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวในก่อนหน้านี [11] ผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักที่สะสมตัวในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ทั้งหมดต่างถูกพัดพามาตามกระแสน้ำของคลองบางใหญ่ ซึ่งโลหะหนักที่พบการปนเปื้อนค่อนข้างชัดเจน (แต่ไม่จัดอยู่ในระดับการปนเปื้อนที่รุนแรง) คือ มีค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี Igeo <4) ในคลองบางใหญ่ คือ ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) และดีบุก (Sn) อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินของพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ ณ เวลานั้น พบปริมาณโลหะหนักดังกล่าวเพียงแค่ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ของที่พบในคลองบางใหญ่เท่านั้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ถึงต้นกำเนิดของโลหะหนักดังกล่าวพบว่าทั้งหมดล้วนมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น โลหะหนักที่ปะปนมากับน้ำเสียของชุมชน และโลหะหนักที่คั่งค้างและกระจุกกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ ทางธรรมชาติและที่เคยมีการทำกิจการเหมืองแร่ในอดีต อย่างไรก็ตาม หลังจากการตรวจหาโลหะหนักในปี พ.ศ. 2546 และเหตุการณ์สึนามิที่เกิดเมื่อปี พ.ศ.

2547 จนถึงปัจจุบันไม่มีการศึกษาใด ๆ เกี่ยวกับการสะสมตัวของตะกอนดินในพื้นที่ดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าเกิดการสะสมตัวของตะกอนดินและโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด ดังนั้นด้วยวิธีการศึกษาการสะสมตัวของตะกอนดินด้วยการอ้างอิงเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ที่มีในลักษณะการวิเคราะห์คล้ายกับงานวิจัย [3,5] น่าจะเหมาะนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาในพื้นที่ดังกล่าว

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ปริมาณของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่สะสมตัวอยู่ในตะกอนดินร่วมกับการสะสมตัวของเม็ดดินที่มีความเกี่ยวพันกับเหตุการณ์สึนามิที่เกิดเมื่อปี พ.ศ. 2547 นำมาประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนดิน บนสมมติฐานที่ว่าปัจจัยที่รบกวนการตกตะกอนและการสะสมตัวมีเพียงแค่ปัจจัยในเรื่องของฤดูกาลและเหตุการณ์สึนามิที่เกิดเมื่อปี พ.ศ. 2547 นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลปริมาณโลหะหนักทั้งสองชนิดที่ตรวจวัดได้ในปี พ.ศ. 2546 มาเป็นตัวช่วยบ่งชี้ถึงชั้นตะกอนดินที่ถูกรบกวนการสะสมตัวโดยสึนามิมาเป็นตัวช่วยสนับสนุนการประมาณอัตราการสะสมตัวในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ด้วยอีกทางหนึ่ง

2. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ตั้งอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะภูเก็ตและมีพื้นที่เชื่อมต่อกับอ่าวภูเก็ต ทั้งนี้คลองบางใหญ่เป็นแหล่งที่รองรับน้ำทิ้งในเขตพื้นที่อำเภอกะทู้จรดเขตอำเภอเมือง ที่มีต้นกำเนิดของน้ำมาจากต้นน้ำในอำเภอกะทู้รวมถึงน้ำเสียต่าง ๆ ที่มาจากบ้านเรือนและชุมชนขนาดเล็กที่อาศัยอยู่กระจุกกระจายใกล้กับพื้นที่ดังกล่าว พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำตัดแบ่งพื้นที่ซึ่งเป็นหาดทรายผสมกับที่ราบลุ่ม

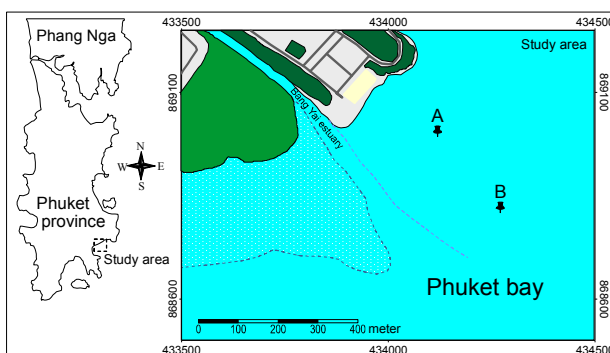
ชายฝั่ง และพื้นที่ซึ่งเป็นป่าชายเลนหรือป่าโกงกางที่มีน้ำท่วมถึงทอดยาวออกไปจนถึงอ่าวภูเก็ตในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้ในพื้นที่ชายฝั่งดังกล่าวโดยมากประกอบไปด้วยตะกอนดินขนาดเล็กที่พัดพามาตามกระแสน้ำจากผืนแผ่นดินปะปนกับทรายที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ชายทะเล โดยต้นกำเนิดของตะกอนดินมาจากพวกดินเหนียวและดินโคลนที่เกิดจากการผุพังของหินโคลนและหินชุดภูเก็ตตั้งแต่ยุคควอเทอร์นารี [12] พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่ชายทะเลส่วนนอกที่ตั้งอยู่ใกล้กับปากแม่น้ำที่คอยรองรับน้ำทิ้งที่มาจากคลองบางใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 1

3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอนดินที่สะสมตัวในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต เก็บในช่วงต้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 โดยอาศัยเครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนดินแบบแท่ง Russian corer ที่มีความยาว 52 เซนติเมตร ซึ่งในงานวิจัยนี้เก็บแท่งตะกอนดินจำนวน 2 แท่ง พร้อมกับเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ตั้งของจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกยี่ห้อ Garmin รุ่น eTrex Venture GPS โดยตำแหน่งเก็บตัวอย่าง A และ B อยู่ห่างจากฝั่งประมาณ 200 เมตร และ 400 เมตร ตามลำดับ ดังแสดงตำแหน่ง

จุดเก็บตัวอย่างในรูปที่ 1 จากนั้นแบ่งตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละแท่งตามลำดับชั้นโดยความหนาของชั้นตะกอนประมาณ 2-3 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างตะกอนดินไว้ในถุงใส่ตัวอย่างก่อนนำมาเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้งนี้แท่งตะกอนดิน 2 แท่ง ถูกแบ่งเป็นจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 24 ชิ้นตัวอย่าง สำหรับแท่งตะกอนดิน A และ 22 ชิ้นตัวอย่าง สำหรับแท่งตะกอนดิน B หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ตะกอนดิน โดยเริ่มจากการนำตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละชั้นตะกอนดินของทั้งสองแท่งมาชั่งน้ำหนักเปียกก่อนนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งผลจากการชั่งน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งจะนำไปหาเปอร์เซ็นต์น้ำที่อยู่ในรูปพรุนของตะกอนที่คำนวณจากปริมาตรช่องว่าง (น้ำที่อยู่ในรูปพรุน) และน้ำหนักตะกอนเดิมที่อยู่ในสภาวะอิ่มน้ำ จากนั้นไปชั่งน้ำหนักแห้งก่อนนำไปคัดขนาดเม็ดตะกอนด้วยตะแกรงร่อนแยกขนาดที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิม (Humboldt, USA) 2 ขนาด ตะแกรงร่อนแยกเม็ดตะกอน คือ ขนาดเม็ดตะกอนดินที่ใหญ่กว่า 150 ไมครอน และเล็กกว่า 150 ไมครอน และท้ายที่สุดนำตัวอย่างตะกอนดินที่คัดขนาดแล้วไปเตรียมตัวอย่างเป็นสารละลายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุในลำดับถัดไป



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดิน ในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ อ่าวภูเก็ต

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในงานวิจัยนี้เลือกใช้เฉพาะตะกอนดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน ซึ่งการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจะอาศัยเทคนิคการเตรียมตัวอย่างเป็นสารละลายโดยการย่อยด้วยกรดตามวิธีการของ USEPA 3052 [13] เช่นเดียวกับที่ใช้ในหลายงานวิจัย [3,11,14] โดยเริ่มจากการย่อยตัวอย่างดินที่เตรียมไว้จากนั้นย่อยตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents) ที่เป็นตะกอนดินทะเลจากประเทศแคนาดา [15] เพื่อนำมาตรวจสอบวิธีการย่อยตัวอย่างดินเป็นสารละลายด้วยกรดและนำไปใช้ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวม (% recovery) ในการย่อยตะกอนดินตัวอย่างเป็นสารละลายด้วยกรดเริ่มต้นด้วยการตัวอย่างดินที่อบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรด aqua regia [16] 15 ml (HNO₃ + HCl) ตามวิธีมาตรฐาน US-EPA 3052 [13] บน hot plate เพื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120-180 องศาเซลเซียส เติม HNO₃ หากตัวอย่างตะกอนดินเริ่มแห้ง จนกว่าตะกอนดินเป็นฝุ่นแป้ง เป็นเวลา 8-9 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman[®] No.4 พร้อมเจือจางด้วยน้ำกลั่น ใน volumetric flask ปริมาตร 50 ml จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ย่อยด้วยกรดที่อยู่ในรูปของสารละลายแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES (Perkin Elmer รุ่น 4300DV) เพื่อตรวจหาปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสี และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแยกรวมจากผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักทั้งสองในตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างกับความเข้มข้นโลหะหนักอ้างอิงในใบรับรองสารตัวอย่างมาตรฐาน [14,17]

3.3 การวิเคราะห์การสะสมตัว

งานวิจัยนี้มีการนำข้อมูลการกระจายตัวของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่มาจากตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 106 ไมครอน จากงานวิจัยของ ธงชัย และไตรภพ [11] และจัดทำเป็นแผนที่เส้นชั้นข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรมในการสร้างภาพพื้นผิว Surface Mapping System version 9.0 ที่พัฒนาโดยบริษัท Golden Software Inc. [18] ส่วนการสะสมตัวของตะกอนดินและปริมาณโลหะหนักเป็นการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลตามความลึก ร่วมกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของตะกอน เช่น ปริมาณทรายขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ปริมาณตะกอนขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน และเปอร์เซ็นต์น้ำที่อยู่ในรูพรุนของตะกอน รวมถึงปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่มีความเกี่ยวข้องกับการดูดซับโดยตะกอนขนาดเล็ก [19,20] ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ทางสถิติ และการวิเคราะห์ลำดับสุดท้ายเป็นการหาอัตราการสะสมตัวโดยอาศัยข้อมูลความลึกของชั้นตะกอนและข้อมูลช่วงเวลาที่เกิดจากอดีตกลับมาสู่ปัจจุบัน โดยอาศัยการอ้างอิงตำแหน่งตะกอนที่เกิด ณ เวลาเกิดเหตุการณ์สึนามิและตำแหน่งโลหะหนักในชั้นตะกอนดินที่สอดคล้องกับข้อมูลโลหะหนักในปี พ.ศ. 2546 ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการหาอายุตะกอนด้วยการอ้างอิงเหตุการณ์ [3,5]

4. ผลและการวิเคราะห์

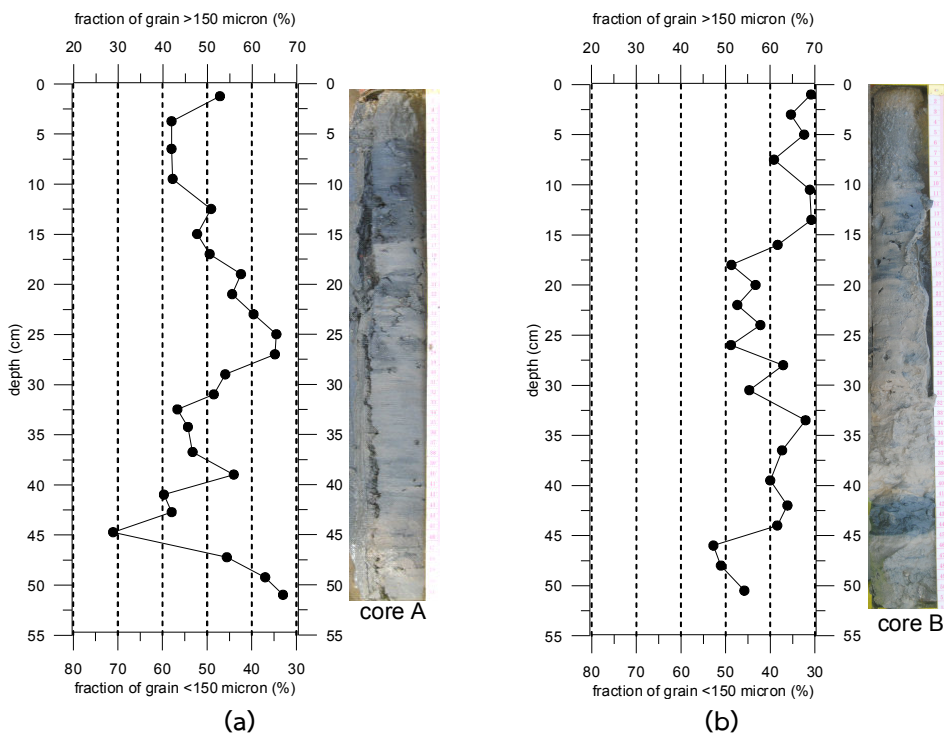
4.1 สัดส่วนของเม็ดตะกอนดินและลำดับชั้นตะกอนดิน

ขนาดของตะกอนดินที่แบ่งออกมาจากชั้นตะกอนดินแต่ละชั้นถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แยกตามขนาดเม็ดตะกอน ส่วนแรก คือ ขนาดตะกอนดินเม็ดใหญ่ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน เป็น

ตะกอนดินขนาดใหญ่กว่าทรายละเอียด (fine sand) ซึ่งสามารถพัดพาได้ด้วยกระแสน้ำที่มีความแรงของการพัดพาเทียบเท่ากับการพัดพาที่เกิดในแม่น้ำ [21] และการพัดพาขณะเกิดน้ำท่วม [22] ส่วนที่สองเป็นตะกอนขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน คือ เม็ดตะกอนที่เล็กกว่าทรายละเอียด ได้แก่ วัสดุธรรมชาติจำพวกทรายละเอียดมาก โคลนและดินเหนียว เป็นต้น ซึ่งสามารถพัดพาได้ง่ายโดยคลื่นทะเล [23] โดยแห่งตะกอนดิน 2 แห่ง ที่เก็บมาจากในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่จะมีสัดส่วนของตะกอนอนุภาคใหญ่กว่าทรายละเอียด และตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่าทรายละเอียด ในแต่ละชั้นที่มีสัดส่วนของแต่ละชนิดแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และสัดส่วนของตะกอน

ดินอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน ในแห่งตะกอนดิน A (รูปที่ 2a) พบว่าสัดส่วนของอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 27-70 เปอร์เซ็นต์ ที่ความลึกของชั้นตะกอนดิน 45 เซนติเมตร มีสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ต่ำสุดประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ (ตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน 73 เปอร์เซ็นต์) และมีการเพิ่มขึ้นของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน จนถึงค่าสูงสุด 68 เปอร์เซ็นต์ (ตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน 32 เปอร์เซ็นต์) ที่ความลึกของชั้นตะกอนดิน 25-28 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม หลังจากนั้นสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ลดลงอยู่ในช่วงค่าปานกลาง 41-54 เปอร์เซ็นต์ ในตะกอนดินระดับตื้นในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน

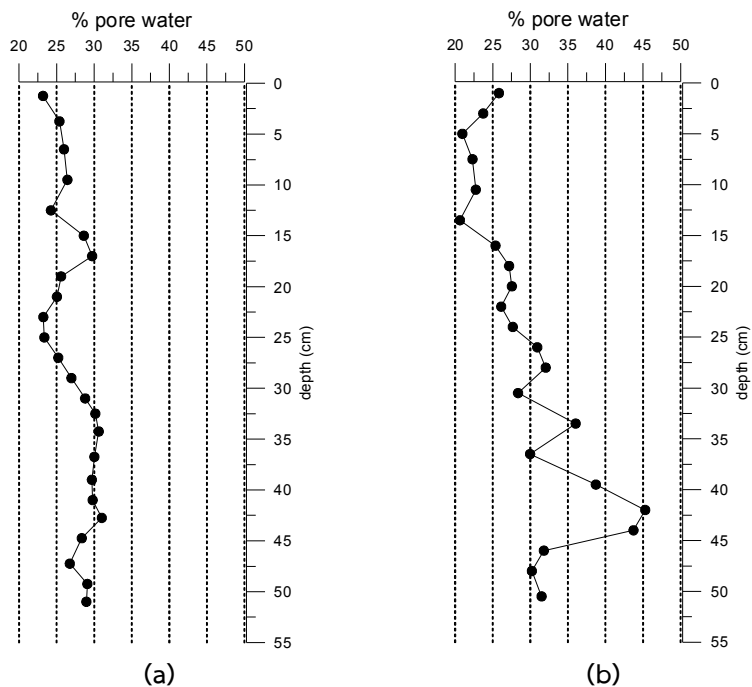


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของทรายขนาดอนุภาค >150 ไมครอน และตะกอนขนาด <150 ไมครอน ตามความลึกของแห่งตะกอนดิน A (a) และแห่งตะกอนดิน B (b)

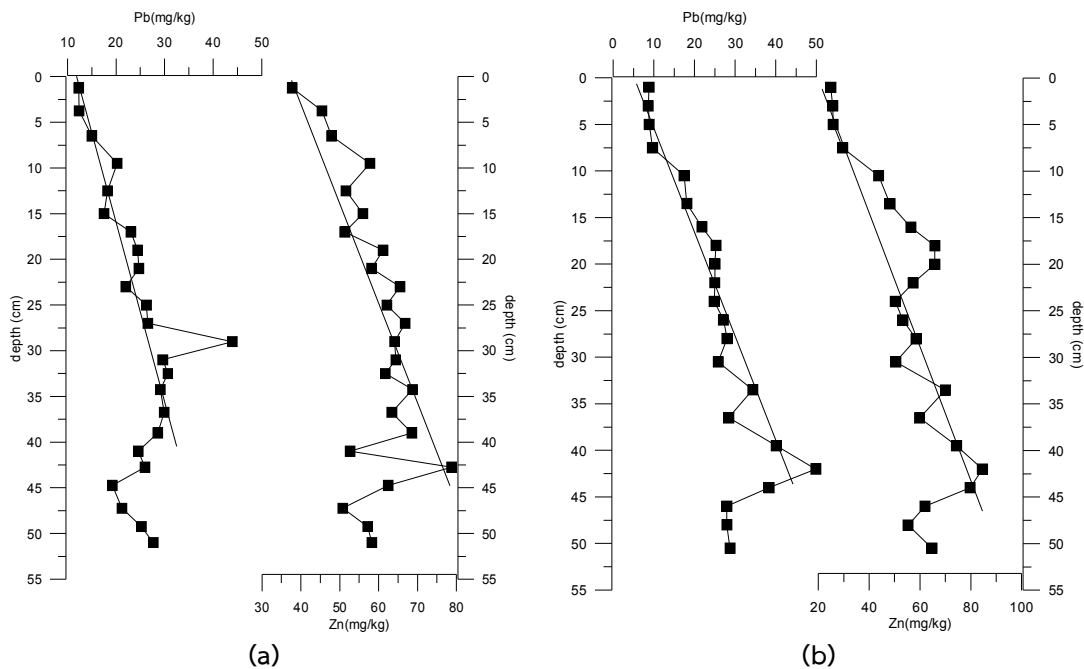
ไมครอน ในแห่งตะกอนดิน B นั้นแตกต่างกันกับแห่ง A อย่างสิ้นเชิง โดยในแห่งตะกอนดิน B จะมีสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน อยู่ในช่วง 47-70 เปอร์เซ็นต์ และพบสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ที่ความลึกของชั้นตะกอนดิน 33 เซนติเมตร จากนั้นจะมีการลดสัดส่วนลงแบบฟันเลื่อย ไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการเพิ่มสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน กลับมาสู่จุดที่มีสัดส่วนสูงสุดอีกครั้งที่ระดับความลึก 17 เซนติเมตร (รูปที่ 2b)

พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินทั้ง 2 แห่ง (รูปที่ 3) พบว่าแห่งตะกอนดิน A มีน้ำที่อยู่ในรูพรุนอยู่ในช่วง 23-30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินมีค่าสูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความลึกของตะกอนดิน 17 เซนติเมตรและพบน้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินที่สะสมตัวอยู่อย่างต่อเนื่องระหว่างความลึก 36-46 เซนติเมตร ซึ่งต่อมา

น้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินมีค่าลดลงต่ำสุดก่อนจะปรับสัดส่วนที่สูงขึ้นอีกครั้งจนมีค่าอยู่ในระดับเดิมที่ความลึกของตะกอนดิน 17 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงมีการปรับสัดส่วนของช่องว่างในดินตะกอนที่เพิ่มขึ้นและลดลงอีกครั้งจนถึงปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 3a ส่วนแห่งตะกอนดิน B มีน้ำที่อยู่ในรูพรุนของตะกอนดินอยู่ในช่วง 20-46 เปอร์เซ็นต์ โดยพบเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่อยู่ในรูพรุนสูงในตะกอนดินระดับลึกที่ความลึกของตะกอนดิน 43 เซนติเมตร (มีน้ำที่อยู่ในรูพรุนสูงสุด 46 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นมีแนวโน้มของน้ำที่อยู่ในรูพรุนที่ลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความลึก 14 เซนติเมตร และมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงแคบ ๆ อีกครั้งในเวลาต่อมา ก่อนที่จะแสดงแนวโน้มของน้ำที่อยู่ในรูพรุนที่เพิ่มขึ้นจนถึงปัจจุบันในชั้นตะกอนดินระดับตื้นดังแสดงในรูปที่ 3b



รูปที่ 3 น้ำที่อยู่ในรูพรุนของชั้นตะกอนดินตามความลึกของแห่งตะกอนดิน A (a) และแห่งตะกอนดิน B (b) ที่เปรียบเทียบกับภาพของตะกอนดินที่สะสมตัว



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินตามความลึกของแท่งตะกอนดิน A (a) และแท่งตะกอนดิน B (b)

4.2 ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดิน

ผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวม ดังแสดงใน

ตาราง 1 ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมของโลหะหนักตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 73.25 เปอร์เซ็นต์ และค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมของโลหะหนักสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 86.98 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

ตาราง 1 ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีจากค่าที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 และค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวม

Metal	Certificated reference MESS-4		% recovery
	Concentration (mg/kg)	Certificate value (mg/kg)	
Pb	15.75	21.50	73.25
Zn	127.87	147.00	86.98

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในแท่งตะกอนดิน A พบว่ามีความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินอยู่

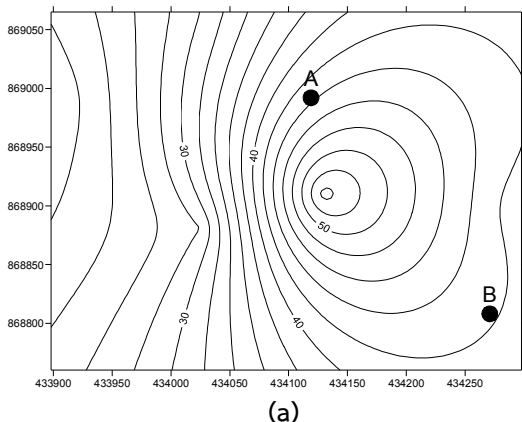
ในช่วงระหว่าง 12.3-43.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 37.7-78.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พิจารณาแนวโน้มการสะสมตัวของโลหะหนักทั้งสอง พบว่าทั้ง

สองจุดเก็บตัวอย่างมีการเพิ่มและลดของค่าความเข้มข้นโลหะหนักสลับไปมาด้วยแนวโน้มการสะสมตัวของโลหะหนักที่ลดลงด้วยอัตราการลดลงของตะกั่ว 0.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ($R^2 = 0.76$) และอัตราการลดลงของสังกะสี 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ($R^2 = 0.58$) ในแห่งตะกอน A ส่วนแห่งตะกอน B มีอัตราการลดลงของตะกั่ว 0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ($R^2 = 0.89$) และอัตราการลดลงของสังกะสี 1.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ($R^2 = 0.79$) โดยมีรูปแบบการลดลงของโลหะหนักทั้งสองที่คล้ายคลึงกันความสัมพันธ์เชิงเส้นตั้งแต่ระดับความลึกประมาณ 35-40 เซนติเมตร ขึ้นมาถึงชั้นตะกอนดินระดับตื้นดังแสดงในรูปที่ 4a ส่วนผลของโลหะหนักทั้งสองในแห่งตะกอนดิน B (รูปที่ 4b) พบว่ามีความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินอยู่ในช่วงระหว่าง 8.6-49.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 24.9-84.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มการสะสมตัวของโลหะหนักทั้งสองที่ลดลงใกล้เคียงกับความสัมพันธ์เชิงเส้นเหมือนกับที่พบในแห่งตะกอนดิน A โดยรูปแบบการลดลงของโลหะหนักตะกั่วของแห่งตะกอนดิน B ที่ความลึกประมาณ 35 เซนติเมตร ขึ้นมาจะเหมือนกับแห่งตะกอน A แต่มีความแตกต่างกันที่ค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ระดับความลึกประมาณ 29 เซนติเมตร ในแห่งตะกอน A จะมีค่าที่สูงมาก (มีค่าเท่ากับ 43.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในขณะที่แห่งตะกอน B ค่าสูงสุดไปปรากฏที่ความลึกประมาณ 42 เซนติเมตร (มีค่าเท่ากับ 49.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนความเข้มข้นของสังกะสีพบค่าสูงสุดที่ระดับความลึกเดียวกันประมาณ 42 เซนติเมตร (มีค่าเท่ากับ 78.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแห่งตะกอนดิน A และ 84.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแห่งตะกอนดิน B)

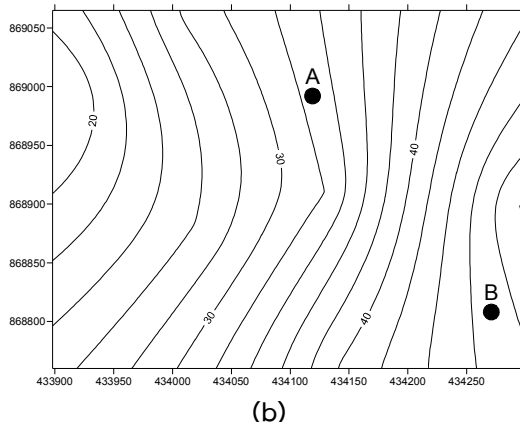
4.3 การประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนดิน

ข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ที่เก็บจากท้องน้ำความลึก 3-5 เซนติเมตร ในปี พ.ศ. 2546 และได้นำเสนอข้อมูลบางส่วนของงานวิจัยการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนัก Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe ในคลองบางใหญ่ [11] พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วในตะกอนดินจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 17 ถึง 55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าเฉลี่ย 37 ± 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักตะกั่วที่ปะปนอยู่ในตะกอนดินขนาดเม็ดตะกอน 75-106 ไมครอน และขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ที่มีการกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 5a และ 5b พบว่าในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแห่งตะกอนดิน A และ B มีปริมาณโลหะหนักตะกั่วในช่วง 33-44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 42-47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในส่วนของความเข้มข้นโลหะหนักสังกะสีในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 41 ถึง 69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าเฉลี่ย 55 ± 9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยมีการกระจายตัวของสังกะสีที่อยู่ในตะกอนดินสองช่วงเม็ดตะกอนแสดงผลในรูปที่ 5c และ 5d ซึ่งจากการพิจารณาปริมาณโลหะหนักสังกะสีในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแห่งตะกอนดิน A และ B พบว่าปริมาณโลหะหนักสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 50-52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 61-68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อนำช่วงค่าของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่สังเคราะห์ได้จากแผนที่การกระจายตัวของโลหะหนักทั้งสองในตะกอนดินที่เก็บมาจากปี พ.ศ. 2546 ไปแสดงผลช่วงค่าร่วมกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักทั้งสองตามความลึกของแห่งตะกอนดินทำให้สามารถทราบตำแหน่งความลึกที่มีการสะสมตัวของโลหะหนักทั้งสองในปี พ.ศ. 2546 ได้โดยประมาณดังแสดงในรูปที่ 6

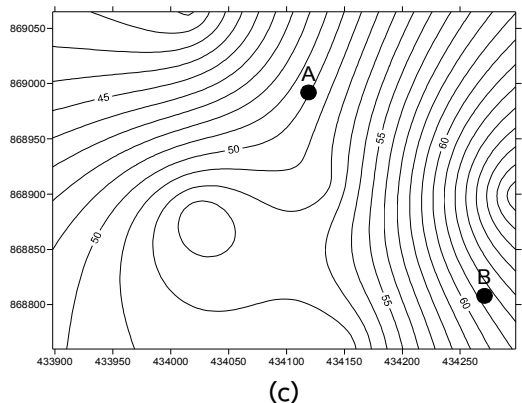
distribution of Pb content in sediment 75-106 micron year 2003



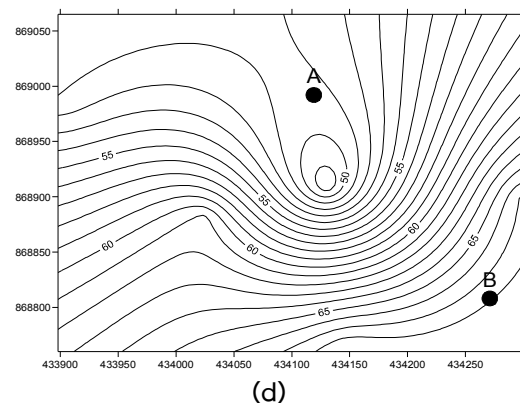
distribution of Pb content in sediment <75 micron year 2003



distribution of Zn content in sediment 75-106 micron year 2003



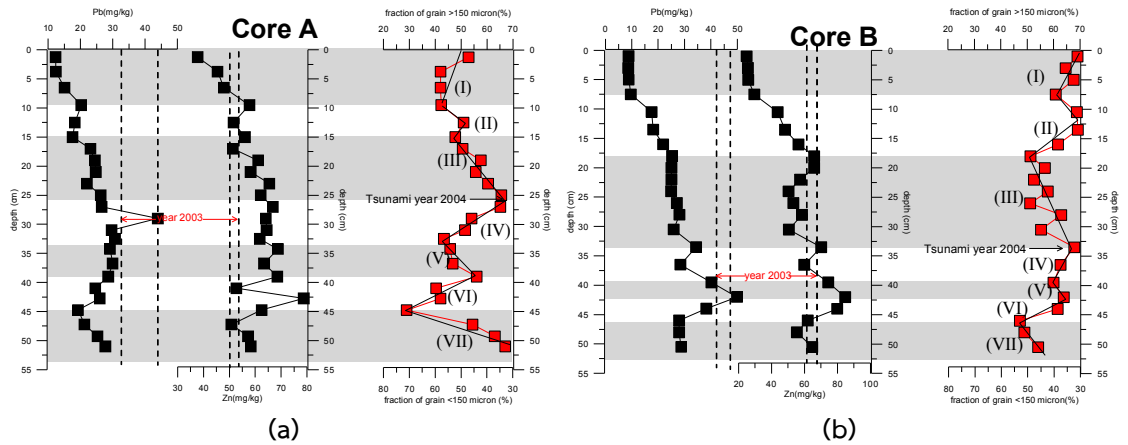
distribution of Zn content in sediment <75 micron year 2003



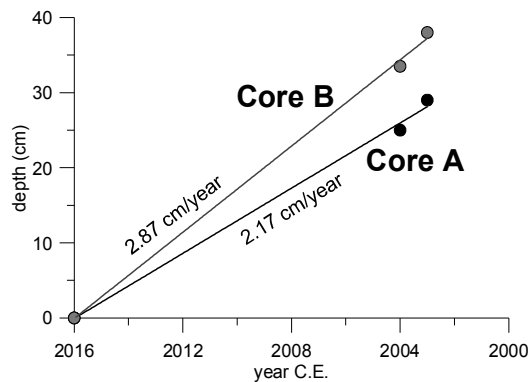
รูปที่ 5 ปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินที่ตรวจวัดค่าจากตะกอนดินสองขนาดเม็ดตะกอน (ตะกอนดินขนาดเม็ดตะกอน 75-106 ไมครอน และขนาดเล็กว่า 75 ไมครอน) ในปี พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นข้อมูลที่แตกออกมาจากงานวิจัยของ Suteerasak และ Bhongsuwan [11]

ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของโลหะหนักตะกั่วในแท่งตะกอนดิน A ของปี พ.ศ. 2546 ที่พบค่อนข้างชัดเจนที่ความลึกประมาณ 29 เซนติเมตร และตำแหน่งที่พบปริมาณตะกอนขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน ในความลึกถัดขึ้นมา (26 เซนติเมตร) ณ ตำแหน่งดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นตะกอนดินที่เกิดจากทรายที่ถูกพัดพามาฝังกลบตะกอนและเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกครั้งภายหลังการเกิดคลื่นสึนามิ [24,25] ในปี พ.ศ. 2547 อยู่ที่ตำแหน่งความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 24-26 เซนติเมตร ขึ้นมา อย่างไรก็ตาม

ก็ตาม ช่วงค่าของข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักสังกะสีที่พบในปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณที่น้อยกว่าตำแหน่งที่พบการสะสมตัวของโลหะหนักดังกล่าวที่ความลึกประมาณ 29 เซนติเมตร (รูปที่ 6a) ในส่วนของตำแหน่งที่ตั้งของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในแท่งตะกอนดิน B ของปี พ.ศ. 2546 ที่พบค่อนข้างชัดเจนกับตำแหน่งที่มีการสะสมตัวของสังกะสีที่ความลึกประมาณ 38 เซนติเมตร และตำแหน่งที่พบปริมาณทรายเป็นมาก ในความลึกถัดขึ้นมา คือ 34 เซนติเมตร ทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่า ตะกอนดินที่เกิดจากการ



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสี แสดงผลรวมกับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของตะกอนดินเม็ดหยาบ (>150 ไมครอน) ในแท่งตะกอนดิน และการประมาณตำแหน่งที่พบปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินที่ตรวจวัดค่าจากตะกอนดินท้องน้ำในปี พ.ศ. 2546 ในแท่งตะกอนดิน A (a) และแท่งตะกอนดิน B (b) โดยแนวเส้นประแสดงถึงช่วงความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีของทั้งสองตำแหน่งในปี พ.ศ. 2546 ที่ได้จากรูปที่ 5



รูปที่ 7 การประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนในช่วงหลังจากปี พ.ศ. 2546 (ค.ศ. 2003) จนถึงปัจจุบัน

ฝั่งกลบและเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกครั้ง ภายหลังจากเกิดคลื่นสึนามิในปี พ.ศ. 2547 น่าจะอยู่ที่ตำแหน่งความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 34-35 เซนติเมตร ขึ้นมา อย่างไรก็ตาม ช่วงค่าของข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วที่พบในปี พ.ศ. 2546 ยังมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่ระดับความลึกนั้น (รูปที่ 6b)

ทั้งนี้ในกรณีผลปริมาณโลหะหนักทั้งสองที่พบในปี พ.ศ. 2546 มีผลที่แตกต่างปริมาณโลหะหนักในชั้นตะกอนที่คาดการณ์ว่าเป็นตะกอนในปีเดียวกัน เนื่องจากตะกอนที่นำมาใช้ตรวจวัดนี้มีขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ซึ่งมีสัดส่วนของตะกอนขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน มาเสริมหรือลดอิทธิพลการดูดซับโลหะหนักจากตะกอนขนาดเล็กกว่า 106 ไมครอน และสามารถใช้ตำแหน่งที่มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าหรือมากกว่าปริมาณโลหะหนักทั้งสองที่พบในปี พ.ศ. 2546 มาเป็นจุดเปรียบเทียบ ซึ่งกรณีของแท่งตะกอนดิน A ตะกอนขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอนเป็นตัวเสริมปริมาณโลหะหนัก แต่กรณีของแท่งตะกอนดิน B ตะกอนขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน เป็นตัวลดทอนปริมาณโลหะหนัก อย่างไรก็ตาม ปัจจัยเรื่องการดูดซับในแต่ละขนาดอนุภาคก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาวิจัยในลำดับถัดไป จากผลเบื้องต้นของตำแหน่งความลึกชั้นตะกอนดินที่พบความเข้มข้นโลหะหนักทั้งสองที่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโลหะหนัก

สะสมตัวอยู่ในตะกอนดินปี พ.ศ. 2546 และตำแหน่งชั้นตะกอนดินที่สันนิษฐานว่าการเกิดการฝังกลบของตะกอนดินเนื่องจากคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ทำให้สามารถประมาณการสะสมตัวของตะกอนดินในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแท่งตะกอน A และ B ได้ โดยมีค่าอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินทั้งสองตำแหน่งประมาณ 2.17 และ 2.87 เซนติเมตรต่อปีตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7

4.4 พฤติกรรมการสะสมตัวของตะกอนดิน

ตำแหน่งที่สันนิษฐานว่าเกิดการฝังกลบของทรายและเกิดการตกตะกอนเนื่องจากคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ทั้งสองแท่งตะกอนดิน เมื่อพิจารณาลักษณะการสะสมตัวของตะกอนดินจากข้อมูลสัดส่วนของตะกอนดินทั้งสองขนาดอนุภาคของ

เม็ดตะกอน พบว่าในช่วงความลึกตั้งแต่ความลึก 9 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน A และ 7.5 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน B ต่างก็มีแนวโน้มการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนของตะกอนทรายหายมากและตะกอนละเอียดที่เหมือนกัน หากจำแนกตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของตะกอนดินในภาพรวมร่วมกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและสัดส่วนปริมาณตะกอนดินขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ในแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงสามารถจำแนกชั้นตะกอนได้เป็น 7 ช่วงชั้นตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงชั้นตะกอนด้วยวิธีการทางสถิติถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองที่แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอนต่อเซนติเมตร (y) กับความลึกของชั้นตะกอน (x) และค่า R² ที่หามาจากวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่แบ่งออกเป็น 7 ชั้นข้อมูลของแท่งตะกอน A และ B

Layer		Equation of relation between fraction of grain >150 micron and depth (cm)	R ²
I	Core A	$y = -1.1163x + 50.657$	0.54
	Core B	$y = -1.0486x + 69.863$	0.64
II	Core A	$y = 1.0574x + 33.934$	0.45
	Core B	$y = -0.8754x + 73.829$	0.25
III	Core A	$y = 1.6617x + 23.001$	0.92
	Core B	$y = 0.7605x + 37.751$	0.47
IV	Core A	$y = -3.6678x + 163.09$	0.95
	Core B	$y = -1.3199x + 111.68$	0.96
V	Core A	$y = 1.7781x - 15.407$	0.83
	Core B	$y = 0.9378x + 0.1127$	1.00
VI	Core A	$y = -4.221x + 218.58$	0.87
	Core B	$y = -4.149x + 240.11$	0.85
VII	Core A	$y = 6.072x - 238.49$	0.91
	Core B	$y = 1.565x - 25.249$	0.95

พิจารณาสิ่งที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชั้น ตะกอนดินจากอดีต (ส่วนล่างของแท่งตะกอน) มาสู่ ปัจจุบัน (ส่วนบนของแท่งตะกอน) นั่นคือ ช่วงชั้น ตะกอน (I) เป็นช่วงชั้นที่มีการปรับเพิ่มสัดส่วนทราย ขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน (สัดส่วนของตะกอนเล็ก กว่ากว่า 150 ไมครอน ลดลง) ในช่วงชั้น (I) (เพิ่มขึ้น 1.12 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 1 เซนติเมตร ของ ชั้นตะกอนที่เพิ่มขึ้น) และมีการปรับเพิ่ม-ลดสัดส่วนลง ในช่วงชั้น (II) โดยสิ่งที่เกิดขึ้นควบคู่กันในช่วงชั้น (II) คือ แนวโน้มการลดของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและ สังกะสีโดยเฉพาะในแท่งตะกอน B ที่มีการลดลงของ โลหะหนักทั้งสองอย่างชัดเจน สิ่งที่ทำให้เกิดผล ดังกล่าวน่าจะมาจากตะกอนดินขนาดเล็กมีการดูดซับ โลหะหนักดังกล่าวไว้ [19,26] ซึ่งตะกอนขนาด <150 ไมครอน ที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยมวล) สามารถดูด ซับตะกั่ว 0.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 1.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วงชั้นตะกอน (III) เป็นช่วงชั้นที่มี การลดลงของการสะสมตัวของทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน กล่าวคือ ทุก 1 เซนติเมตร ที่สะสมตัว เพิ่มขึ้นของแท่งตะกอน A และ B มีการสะสมตัวของ ทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน ที่ลดลง 1.66 และ 0.76 เปอร์เซ็นต์ แต่ตะกอนขนาด <150 ไมครอน เริ่ม มีการสะสมตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่เกิดกับแท่งตะกอน A ปริมาณตะกอนดินขนาดเล็กเพิ่มขึ้นส่งผลให้ตะกอน ขนาด <150 ไมครอน ที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดย มวล) สามารถดูดซับตะกั่ว 0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 0.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ภาพ การเพิ่ม-ลดของสัดส่วนทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน ที่ชัดเจนในตำแหน่งของแท่งตะกอน B ที่ มากกว่า A อาจมาจากความผันผวนของคลื่นทะเลที่ เกิดในตำแหน่ง B ที่มีมากกว่าตำแหน่ง A ผลดังกล่าว อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งพื้นที่ ดังกล่าวเนื่องจากคลื่นสึนามิ ช่วงชั้นตะกอน (IV) เป็น ช่วงชั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของทรายใหญ่กว่า 150 ไมครอน

ไปสู่ค่าสูงสุดของทั้งสองแท่งตะกอน (มีอัตราการ เพิ่มขึ้น 3.67 และ 1.32 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 1 เซนติเมตร ของชั้นตะกอนที่เพิ่มขึ้นของแท่งตะกอน A และ B ตามลำดับ) สันนิษฐานว่าการเพิ่มขึ้นของทรายเป็นผล มาจากอิทธิพลการพัดพาและฝังกลบตะกอนดินของ คลื่นสึนามิ ส่วนการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของทราย หยาบและตะกอนละเอียดที่เกิดขึ้นในช่วงชั้นตะกอน (V) ถึงช่วงชั้นตะกอน (VII) นั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกับที่ พบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะหนักตะกั่วและ สังกะสีและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่อยู่ในรู พูนของตะกอนดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่งแท่ง ตะกอน B ที่มีแนวโน้มเหมือนกันอย่างชัดเจน (แท่ง B สามารถดูดซับตะกั่ว เพิ่มขึ้น 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของช่วงชั้น (V); ลดลง 1.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของ ช่วงชั้น (VI); เพิ่มขึ้น 0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของ ช่วงชั้น (VII) ต่อการเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล) ส่วนแท่ง A นั้นมีเพียงตะกั่วเท่านั้นที่มีแนวโน้ม เหมือนกับตะกอนทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน (แท่ง A สามารถดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น 0.13 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ของช่วงชั้น (V) ลดลง 0.34 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ของช่วงชั้น (VI) และเพิ่มขึ้น 0.2 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ของช่วงชั้น (VII) ต่อการเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล) ส่วนกรณีของสังกะสีพบความสัมพันธ์ ค่อนข้างชัดกับตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ของแท่งตะกอน B ($R^2 = 0.377$) แต่ในกรณีของแท่ง ตะกอน A นั้นมีลักษณะและแนวโน้มการสะสมตัวของ สังกะสีในช่วงชั้น (V) ถึง (VII) ที่แตกต่างออกไปจาก แนวโน้มของตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ($R^2 = 0.071$) และปริมาณน้ำในรูพูน ($R^2 = 0.129$) ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลักที่ควบคุม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของ Pb และ Zn น่าจะเกิดจากการดูดซับโลหะหนักดังกล่าว โดย ตะกอนดินขนาดเล็กดังที่พบในงานวิจัย [19,20] ที่พบ Pb และ Zn เป็นโลหะหนักที่ถูกดูดซับโดยตะกอนดิน

มากที่สุด โดยสิ่งที่רבควนปริมาณสังกะสีที่สะสมในพื้นที่ดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือน ร้านค้า โรงกลึง และอู่ซ่อมรถ ที่ตั้งอยู่ในเมือง เป็นต้น) ที่มีการปล่อยสารที่มีองค์ประกอบของธาตุสังกะสีลงมากับน้ำในคลองบางใหญ่ที่มากกว่าปกติ

ทั้งนี้การที่ความหนาของตะกอนในแต่ละช่วงชั้นตะกอนในแท่งตะกอน A และ B มีค่าที่ไม่เท่ากันนั้น น่าจะเป็นผลมาจากปัจจัยรบกวนการสะสมตัวของตะกอนเชิงพื้นที่ ส่งผลให้อัตราการสะสมตัวของตะกอนมีความแตกต่างกัน ซึ่งสันนิษฐานว่ามาจากปัจจัยแวดล้อมควบคุมการสะสมตัวแหล่งเดียวกัน นั่นคือ อิทธิพลของคลื่นทะเลที่ซัดเข้าสู่ฝั่ง [23,27] ซึ่งควบคุมโดยหลายปัจจัยในพื้นที่นั้น เช่น สภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล [28] การพัดพาโดยคลื่นร่วมกับน้ำขึ้นน้ำลง [29] และความแรงของกระแสน้ำในคลอง [11] รวมถึงปัจจัยการพัดพาเนื่องจากคลื่นสึนามิ [7-10] นอกจากนี้ระยะห่างจากชายฝั่งและปากคลองบางใหญ่ที่ต่างกันก็สามารถทำให้ได้รับอิทธิพลของปัจจัยที่ควบคุมการสะสมตัวที่ต่างกันส่งผลให้ทั้งสองตำแหน่งมีอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินที่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาข้างต้นพบประเด็นในเรื่องการดูดซับโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นตะกอน จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการวิจัยลำดับถัดไป เพื่อหาที่มาและปัจจัยที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวกับตะกอนดินในพื้นที่รองรับน้ำทั้งคลองบางใหญ่ รวมถึงการประมาณการสะสมตัวของตะกอนในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะเหมือนกันและได้รับอิทธิพลจากคลื่นสึนามิในแบบเดียวกัน

5. สรุปผล

ทั้งสองจุดเก็บตัวอย่างมีการเพิ่มและลดของค่าความเข้มข้นโลหะหนักกลับไปมาด้วยแนวโน้มการ

สะสมตัวเฉลี่ยของโลหะหนักที่ลดลงด้วยอัตราการลดลงของตะกั่ว 0.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ในแท่งตะกอน A ส่วนแท่งตะกอน B มีอัตราการลดลงของตะกั่ว 0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 1.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ตั้งแต่ระดับความลึกประมาณ 35-40 เซนติเมตร ขึ้นมาถึงชั้นตะกอนดินระดับตื้น โดยจุดที่พบตะกอนดินที่เกิดจากการฝังกลบและเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกครั้งภายหลังการเกิดคลื่นสึนามิในปี พ.ศ. 2547 อยู่ที่ตำแหน่งความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 24-26 เซนติเมตร ของแท่งตะกอน A ส่วนตำแหน่งที่พบสัญญาณการเกิดการฝังกลบและเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกครั้งในแท่งตะกอน B พบอยู่ที่ความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 34-35 เซนติเมตร สามารถประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินภายหลังเหตุการณ์สึนามิที่เกิดปี พ.ศ. 2547 ในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแท่งตะกอน A และ B โดยมีค่าประมาณ 2.17 และ 2.87 เซนติเมตรต่อปีตามลำดับ

ตำแหน่งที่สันนิษฐานว่าเกิดการฝังกลบของตะกอนดินเนื่องจากคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ของทั้งสองแท่งตะกอนดินแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนของทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน และตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ที่เหมือนกันในช่วงความลึกตั้งแต่ความลึก 9 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน A และ 7.5 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน B ด้วยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของขนาดเม็ดตะกอนดังกล่าวที่จำแนกได้เป็น 7 ช่วงชั้นตะกอน ซึ่งสันนิษฐานว่ามาจากปัจจัยควบคุมการสะสมตัวจากแหล่งเดียวกัน คือ อิทธิพลของคลื่นทะเลที่ซัดเข้าสู่ฝั่งที่ถูกควบคุมโดยปัจจัยแวดล้อมในพื้นที่นั้น เช่น สภาพ

อากาศในแต่ละฤดูกาล และความแรงของกระแสน้ำในคลอง รวมทั้งการพัดพาและการฝังกลบตะกอนดิน เนื่องจากคลื่นสึนามิ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยของคณะให้กับโครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาประวัติการปนเปื้อนของแร่โลหะในตะกอนดินต่อน้ำบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการวิจัยฯ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก และนายธีรชัย สุขะปะณะ สำหรับความช่วยเหลือด้านการออกภาคสนามและปฏิบัติการวิจัย

7. รายการอ้างอิง

[1] Lougheed, B.C., Snowball, I., Moros, M., Kabel, K., Muscheler, R., Virtasalo, J.J. and Wacker, L., 2012, Using an independent geochronology based on palaeomagnetic secular variation (PSV) and atmospheric Pb deposition to date Baltic Sea sediments and infer ^{14}C reservoir age, *Quat. Sci. Rev.*

42: 43-58.

- [2] Lougheed, B.C., Filipsson, H.L. and Snowball, I., 2013, Large spatial variations in coastal ^{14}C reservoir age – a case study from the Baltic Sea, *Clim. Past.* 9: 1015-1028.
- [3] Suteerasak, T., Elming, S-A., Possnert, G., Ingri, J. and Widerlund, A., 2017, Deposition rates and ^{14}C apparent ages of Holocene sediments in the Bothnian Bay of the Gulf of Bothnia using paleomagnetic dating as a reference, *Marine Geol.* 383: 1-13.
- [4] Renberg, I., Persson, M.W. and Emteryd, O., 1994, Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments, *Nature* 368: 323-326.
- [5] Hong, S., Candelone, J.P., Patterson, C.C. and Boutron, C.F., 1994, Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millennia ago by Greek and Roman civilizations, *Science* 265: 1841-1843.
- [6] Snowball, I., Zillén, L., Ojala, A. Saarinen, T. and Sandgren, P., 2007, FENNOSTACK and FENNORPIS: Varve dated Holocene palaeomagnetic secular variation and relative palaeointensity stacks for Fennoscandia, *Earth Planet. Sci. Lett.* 255: 106-116.
- [7] Kastens, K.A. and Cita, M.B., 1981, Tsunami-induced sediment transport in the abyssal Mediterranean Sea, *Geol. Soc. Amer. Bull.* 92: 845-857.

- [8] Shi, S., Dawson, A.G. and Smith, D.E., 1995, Coastal Sedimentation Associated with the December 12th, 1992 Tsunami in Flores, Indonesia., *Tsunami: 1992-1994*, Birkhäuser Basel: 525-536.
- [9] Szczuciński, W., Chaimanee, N., Niedzielski, P., Rachlewicz, G., Saisuttichai, D., Tepsuwan, T., Lorenc, S. and Siepak, J. 2006, Environmental and Geological Impacts of the 26 December 2004 Tsunami in Coastal Zone of Thailand – Overview of Short and Long-Term Effects, *Polish J. of Environ. Stud.* 15: 793-810.
- [10] Sugawara, D., Goto, K. and Jaffe, B.E., 2014, Numerical models of tsunami sediment transport – Current understanding and future directions, *Marine Geol.* 352: 295-320.
- [11] 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 Res. Develop. J.* 31(4): 767-779. (In Thai)
- [12] 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.
- [13] EPA., 1996, Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices, Revision 0.
- [14] Bhongsuwan, T. and Bhongsuwan, D., 2002, Concentration of heavy metals, Mn, Fe, Ni, Pb, Cr and Cd in bottom sediment of the Outer Songkhla Lake deposited between the year B.E. 2520-2538, *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 24(1): 90-106. (In Thai)
- [15] National Research Council Canada, 2014, MESS-4: Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents. (Online), Available source: http://www.nrcnrc.gc.ca/eng/solutions/advisory/crm/certificates/mess_4.html, November 18, 2016.
- [16] Potts, P.J., 1992, *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, Blackie & Son Ltd., BishopBriggs, Glasow G642NZ, London, 622 p.
- [17] 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 J. Sci. Technol.* 28(3): 641-654. (In Thai)
- [18] Smith, D., Wall, W., Branes, R. Simons, B. and Chen, Z., 2010, *Surfer Version 9.9.785 Surface Mapping Systeme* (Computer program). Golden Software, Inc.
- [19] Jain, C.K. and Ram, D., 1997, Adsorption of lead and zinc on bed sediments of the River Kali, *Water Res.* 31: 154-162.
- [20] Lin, J.G. and Chen, S.Y., 1998, The relationship between adsorption of heavy

- metal and organic matter in river sediments, *Environ. Int.* 24: 345-352.
- [21] Balsinha, M., Fernandes, C., Oliveira, A., Rodrigues, A. and Taborda, R., 2014, Sediment transport patterns on the Estremadura Spur continental shelf: Insights from grain-size trend analysis, *J. Sea Res.* 93: 28-32.
- [22] Pan, B., Pang, H., Zhang, D., Guan, Q., Wang, L., Li, F., Guan, W., Cai, A. and Sun, X., 2015, Sediment grain-size characteristics and its source implication in the Ningxia-Inner Mongolia sections on the upper reaches of the Yellow River, *Geomorphology* 246: 255-262.
- [23] Heathershaw, A.D. and Thorne, P.D., 1985, Sea-bed noises reveal role of turbulent bursting phenomenon in sediment transport by tidal currents, *Nature* 316: 339-342.
- [24] Bagnold, R.A., 1962, Autosuspension of transported sediment; turbidity currents, *Proc. Royal Soc. London Ser. A* 265: 315-319.
- [25] Dawson, A.G. and Shi, S. 2000, Tsunami Deposits, *Pure Appl. Geophys.* 157: 875-897.
- [26] Potipat, J., Tangkrock-olan, N. and Helander, H.F., 2015, Distribution of Selected Heavy Metals in Sediment of the River Basin of Coastal Area of Chanthaburi Province, Gulf of Thailand, *Environ. Asia* 8: 133-143.
- [27] French, J., Spencer, T., Murray, A. and Arnold, N., 1995, Geostatistical analysis of sediment deposition in two small tidal wetlands, Norfolk, U.K., *J. Coastal Res.* 11: 308-321.
- [28] George, D.A. and Hill, P.S. 2008, Wave climate, sediment supply and the depth of the sand-mud transition: A global survey, *Marine Geol.* 254: 121-128.
- [29] Prodger, S., Russell, P., Davidson, M., Miles, J. and Scott, T., 2016, Understanding and predicting the temporal variability of sediment grain size characteristics on high-energy beaches, *Marine Geol.* 376: 109-117.