

การใช้ขนาดเม็ดตะกอนและปริมาณตะกั่วและสังกะสีเพื่อระบุชั้น ตะกอนดินที่มาจากการเกิดเหตุการณ์สึนามิปี พ.ศ. 2547 (ค.ศ. 2004) จังหวัดภูเก็ต ในพื้นที่ร่องรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ 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* และเพญศิริ เอกจิตต์
คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
ถนนวิชิตสิงaravel 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 จากพื้นที่ร่องรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ อ่าวภูเก็ต ที่เก็บมา ตรวจวัดปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสี เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาชั้นตะกอนในช่วงเกิดเหตุการณ์สึนามิปี พ.ศ. 2547 โดยอาศัยข้อมูลสัดส่วนการสะสมตัวของตะกอนขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และเล็กกว่า 150 ไมครอน รวมกับปริมาณโลหะหนักทั้งสองที่มีอยู่ในปี พ.ศ. 2546 มาเป็นตัวช่วยบ่งชี้ถึงชั้นตะกอนดินที่ถูกกระบวนการสะสมตัวโดยคลื่นสึนามิ ในพื้นที่ร่องรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ ผลที่ได้พบการสะสมตัวของชั้นตะกอนดินที่ถูกกระบวนการสะสมตัวโดยคลื่นสึนามิ ที่ตำแหน่งความลึกของแห่งตะกอนประมาณ 24-26 เซนติเมตร ของแห่งตะกอน A ส่วนตำแหน่งที่พบสัญญาณการเกิดการฝังกลบ และเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกรั้งในแห่งตะกอน B ที่ความลึกประมาณ 34-35 เซนติเมตร โดยอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินภายหลังเหตุการณ์สึนามิในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง แห่งตะกอน A และ B มีค่าประมาณ 2.17 และ 2.87 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ สุดท้ายตำแหน่งที่พบชั้นตะกอนดินที่ถูกกระบวนการสะสมตัวโดยคลื่นสึนามิ สามารถบอกถึงรูปแบบการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนของรายขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 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

doi: 10.14456/tstj.2018.40

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 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

งานวิจัยหลักขึ้นที่มีการศึกษาถึงเหตุการณ์ หรือสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอดีตต่างก็อธิบายผลโดย อาศัยเวลาหรือช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์นั้น ๆ ขึ้นมา ซึ่งการหาอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินก็ต้องอาศัย ปัจจัยในเรื่องของเวลาการเกิดชั้นตะกอนดินดังกล่าว มาเป็นตัวบ่งชี้ด้วยเช่นกัน การบอกถึงเวลาของสิ่งที่เคย เกิดขึ้นในอดีตจะบนถึงปัจจุบันนั้นจะอาศัยการหา อายุของสิ่งของเหล่านั้น โดยวิธีการหาอายุเมื่อยุคด้วยกัน หล่ายวิธีแต่ที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด คือ การหาอายุด้วย วิธีทางรังสีวิทยา ซึ่งในทางโบราณคดีวิธีการที่ใช้กัน ปัจจุบัน คือ การหาอายุจากการปลดปล่อยรังสีจากธาตุ คาร์บอน 14 (radiocarbon ^{14}C dating) [1-3] อย่างไร ก็ตาม ด้วยข้อจำกัดในการหาอายุวิธีดังกล่าวทั้งในเรื่อง ของค่าใช้จ่ายและการเปลี่ยนความทำให้วิธีการดังกล่าว ไม่ได้นำมาใช้กับงานวิจัยอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มากนัก ทั้งนี้ในหลายงานวิจัยได้อาศัยความ เกี่ยวพันกับเหตุการณ์สำคัญ ๆ ที่ได้ทราบถึงช่วงเวลา ของการเกิดที่ถูกบันทึกไว้ ตัวอย่าง เช่น ยุครุ่งเรืองของ

อาณาจักรโรมันในช่วง 500 B.C ถึง 300 A.D. ที่ สะท้อนออกมานิรูปของการปนเปื้อนของโลหะหนัก ตะกั่วที่พบในตะกอนดินของทะเลอลิติก [1,3,4] และ ที่พบบนอยุ่ในชั้นน้ำแข็งของกรีนแลนด์ [5] นอกจาก วิธีการหาอายุด้วยรังสีวิทยาดังที่กล่าวมาแล้วยังมีอีกวิธี ที่สามารถใช้หาอายุของตะกอนดินได้ นั่นคือ การหา อายุจากสนามแม่เหล็กบรรพกาล (paleomagnetic dating) ซึ่งวิธีการดังกล่าวโดยมากจะเป็นวิธีการที่ใช้ ควบคู่กับวิธีการทางรังสีวิทยา เพื่อช่วยในการบ่งบอก ถึงเวลาหรือช่วงเวลาของการเกิดตะกอนดินที่ถูกต้อง มากยิ่งขึ้น [1-3] อย่างไรก็ตาม การหาอายุด้วยวิธีการ ทางสนามแม่เหล็กบรรพกาลยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ กับตะกอนดินที่มีอายุน้อยกว่า 150 ปี เนื่องจากยังไม่มี การจัดทำสำนมาตรฐานของสนาม แม่เหล็กบรรพกาล (PSV master curve) ที่ใช้เทียบทหารายของดินตะกอน ที่เกิดในช่วงเวลาตั้งแต่ 150 ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน นำมาเทียบเคียงได้ [6] ดังนั้นแนวทางที่จะสามารถ นำมาประยุกต์ใช้ได้ในงานวิจัยในพื้นที่นี้จึงเป็นการหา เหตุการณ์มาอ้างอิงเวลาของการเกิดตะกอนดิน

ดังกล่าว เหตุการณ์สำคัญที่ทราบถึงเวลาของการเกิดที่สามารถนำมาใช้ได้กับพื้นที่ชายฝั่งอันดามัน คือ การเกิดคลื่นสึนามิในมหาสมุทร印度洋 เมื่อปี พ.ศ. 2547 ที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งภาคภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ โดยการเกิดสึนามิในครั้งนั้นส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังส่งผลให้สภาพพื้นที่ชายฝั่งบางแห่งเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากทุกครั้งที่เกิดคลื่นสึนามิพัดเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งมวลน้ำของคลื่นมักจะขอบอาตากอนดินพื้นผิวยานฝั่งเข้าไปเป็นแผ่นดินรวมถึงการพัดพาเอาสิ่งต่าง ๆ บนพื้นผิวแผ่นดินให้มาหมุนทับพื้นที่ชายฝั่งทะเล [7-9] รวมถึงการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพท้องน้ำของชายทะเลจากการตกตะกอนขึ้นมาใหม่หลังจากคลื่นสึนามิสงบตัวลง [10]

งานวิจัยที่ศึกษาโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวในก่อนหน้านี้ [11] ผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักที่สะสมตัวในพื้นที่ร่องรับน้ำทึ้งคลองบางใหญ่ทั้งหมดต่างถูกพัดพามาตามกระแสน้ำของคลองบางใหญ่ เช่น ซิงโลหะหนักที่พบการปนเปื้อนค่อนข้างชัดเจน (แต่ไม่จัดอยู่ในระดับการปนเปื้อนที่รุนแรง คือ มีค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี $I_{geo} < 4$) ในคลองบางใหญ่ คือ ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) และดีบุก (Sn) อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินของพื้นที่ร่องรับน้ำทึ้งคลองบางใหญ่ ณ เวลานั้น พบปริมาณโลหะหนักดังกล่าวเพียงแค่ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ของที่พบร่องรับน้ำทึ้งคลองบางใหญ่เท่านั้น ซึ่งจาก การวิเคราะห์ถึงต้นกำเนิดของโลหะหนักดังกล่าวพบว่า ทั้งหมดล้วนมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น โลหะหนักที่ปะปนมากับน้ำเสียของชุมชน และโลหะหนักที่คงค้างและกระจัดกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ ทางธรรมชาติและที่เคยมีการทำกิจกรรมเหมืองแร่ในอดีต อย่างไรก็ตาม หลังจากการตรวจหาโลหะหนักในปี พ.ศ. 2546 และเหตุการณ์สึนามิที่เกิดเมื่อปี พ.ศ.

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

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ปริมาณของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่สะสมตัวอยู่ในตะกอนดินร่วมกับการสะสมตัวของเม็ดดินที่มีความเกี่ยวพันกับเหตุการณ์สึนามิที่เกิดเมื่อปี พ.ศ. 2547 นำมาประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนดิน บนสมมติฐานที่ว่า ปัจจัยที่รับภาระตกตะกอนและการสะสมตัวมีเพียงแค่ปัจจัยในเรื่องของฤดูกาลและเหตุการณ์สึนามิที่เกิดเมื่อปี พ.ศ. 2547 นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลปริมาณโลหะหนักทั้งสองชนิดที่ตรวจจัดได้ในปี พ.ศ. 2546 มาเป็นตัวช่วยบ่งชี้ถึงตัวตนของตะกอนดินที่ถูกรบกวนการสะสมตัวโดยสึนามิมาเป็นตัวช่วยสนับสนุนการประมาณอัตราการสะสมตัวในพื้นที่ร่องรับน้ำทึ้งคลองบางใหญ่ ด้วยวิธีทางหนึ่ง

2. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ร่องรับน้ำทึ้งคลองบางใหญ่ตั้งอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะภูเก็ตและมีพื้นที่เชื่อมต่อกับอ่าวภูเก็ต ทั้งนี้คลองบางใหญ่เป็นแหล่งที่ร่องรับน้ำทึ้งในเขตพื้นที่อำเภอกะทู้จังหวัดเชตฯ อำเภอเมือง ที่มีต้นกำเนิดของน้ำมาจากต้นน้ำในอำเภอกะทู้รวมถึงน้ำเสียต่าง ๆ ที่มาจากการรีไซเคิลและชุมชนขนาดเล็กที่远离อยู่ใกล้ๆ จัดการรายได้กับพื้นที่ดังกล่าว พื้นที่ร่องรับน้ำทึ้งคลองบางใหญ่ โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำตัดแบ่งพื้นที่ซึ่งเป็นหาดทรายผสมกับที่ราบลุ่ม

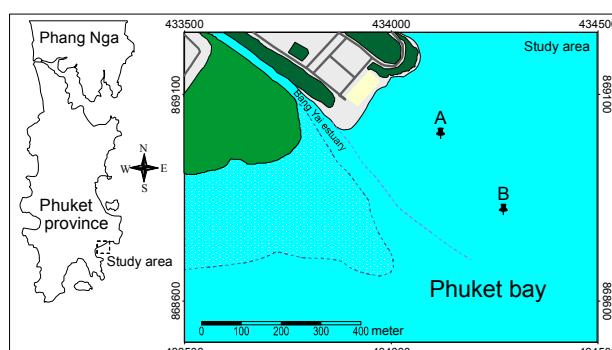
ชายฝั่ง และพื้นที่ซึ่งเป็นป่าชายเลนหรือป่าโกကang ที่มีน้ำท่วมถึงทอตยาวอกไปจนถึงอ่าวภูเก็ตในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้ในพื้นที่ชายฝั่งดังกล่าวโดยมากประกอบไปด้วยตะกอนดินขนาดเล็กที่พัดพาตามกระแสน้ำจากผืนแผ่นดินปะปนกับทรายที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ชายทะเล โดยต้นกำเนิดของตะกอนดินมาจากการเคลื่อนเนินและตินโคลนที่เกิดจากการผุพังของหินโคลนและหินชุดภูเก็ตตั้งแต่ยุคควาเทอร์โนนารี [12] พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่ชายทะเลส่วนนอกที่ตั้งอยู่ใกล้กับปากแม่น้ำที่อยู่ร่องรับน้ำทึบที่มาจากการคลองบางใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 1

3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอนดินที่สะสมตัวในพื้นที่ร่องรับน้ำทึบคลองบางใหญ่ 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 จานวนแบ่งตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละแท่งตามลำดับชั้นโดยความหนาของชั้นตะกอนประมาณ 2-3 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างตะกอนดินไว้ในถุงใส่ตัวอย่างก่อนนำมาเก็บไว้ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้งนี้แห่งตะกอนดิน 2 แท่ง ถูกแบ่งเป็นจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 24 ชั้นตัวอย่าง สำหรับแท่งตะกอนดิน A และ 22 ชั้นตัวอย่าง สำหรับแท่งตะกอนดิน B หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ตะกอนดิน โดยเริ่มจากการนำตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละชั้นตะกอนดินของทั้งสองแท่งมาซึ่งน้ำหนักเปียกก่อนนำไปอบໄล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งผลจากการซึ่งน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งจะนำไปหารือเข็นต้น้ำที่อยู่ในรูปrun ของตะกอนที่คำนวนจากปริมาตรซึ่งกว้าง (น้ำที่อยู่ในรูปrun) และน้ำหนักตะกอนเดิมที่อยู่ในสภาพอิ่มน้ำ จากนั้นไปซึ่งน้ำหนักแห้งก่อนนำไปคัดขนาดเม็ดตะกอนด้วยตะกรงร่อนแยกขนาดที่ทำด้วยเหล็กไร์สัน (Humboldt, USA) 2 ขนาด ตะกรงร่อนแยกเม็ดตะกอน คือ ขนาดเม็ดตะกอนดินที่ใหญ่กว่า 150 ไมครอน และเล็กกว่า 150 ไมครอน และท้ายที่สุดนำตัวอย่างตะกอนดินที่คัดขนาดแล้วไปเตรียมตัวอย่างเป็นสารละลายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุในลำดับถัดไป



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างแห่งตะกอนดิน ในพื้นที่ร่องรับน้ำทึบคลองบางใหญ่ อ่าวภูเก็ต

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในงานวิจัยนี้เลือกใช้เฉพาะตะกอนดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน ซึ่งการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจะอาศัยเทคนิคการเตรียมตัวอย่างเป็นสารละลายโดยการย่อยด้วยกรดตามวิธีการของ USEPA 3052 [13] เช่นเดียวกับที่ใช้ในทลายงานวิจัย [3,11,14] โดยเริ่มจากการย่อยตัวอย่างดินที่เตรียมไว้จากนั้นย่อยตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents) ที่เป็นตะกอนดินที่แยกจากประเทศแคนาดา [15] เพื่อนำมาตรวจสอบวิธีการย่อยตัวอย่างดินเป็นสารละลายด้วยกรดและนำไปใช้ในการหาค่าเบอร์เช็นต์การแยกรวม (% recovery) ในการย่อยตะกอนดินตัวอย่างเป็นสารละลายด้วยกรดเริ่มต้นด้วยการตัวอย่างดินที่อบไ流水ความชื้นแล้วประมาณ 1 กรัม ใส่ในบิกเกอร์ขนาด 250 มล.ลิตร เติมกรด aqua regia [16] 15 ml ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) ตามวิธีมาตรฐาน US-EPA 3052 [13] บน hot plate เพื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120-180 องศาเซลเซียส เติม HNO_3 หากตัวอย่างตะกอนดินเริ่มแห้ง จนกว่าตะกอนดินเป็นผุ่นแป้ง เป็นเวลา 8-9 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman[®] No.4 พร้อมเจือจางด้วยน้ำกลั่น ใน volumetric flask ปริมาตร 50 ml จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ย่อยด้วยกรดที่อยู่ในรูปของสารละลายแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES (Perkin Elmer รุ่น 4300DV) เพื่อตรวจหาปริมาณโลหะหนักต่ำและสังกะสี และคำนวนหาเบอร์เช็นต์การแยกรวมจากผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักทั้งสองในตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 นำมาเปรียบเทียบหาผลต่างกับความแม่นยำขั้นโลหะหนักอ้างอิงในปรับร่องสารตัวอย่างมาตรฐาน [14,17]

3.3 การวิเคราะห์การสะสมตัว

งานวิจัยนี้มีการนำข้อมูลการกระจายตัวของโลหะหนักต่ำและสังกะสีที่มาจากการตะกอนดินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 106 ไมครอน จากงานวิจัยของธงชัย และไตรภพ [11] และจัดทำเป็นแผนที่เส้นชี้ข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรมในการสร้างภาพพื้นผิว Surface Mapping System version 9.0 ที่พัฒนาโดยบริษัท Golden Software Inc. [18] ส่วนการสะสมตัวของตะกอนดินและปริมาณโลหะหนักเป็นการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลตามความลึก ร่วมกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวพันกับการสะสมตัวของตะกอน เช่น ปริมาณทรัยขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ปริมาณตะกอนขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน และเบอร์เช็นต์น้ำที่อยู่ในรูปrunของตะกอน รวมถึงปริมาณโลหะหนักต่ำและสังกะสีที่มีความเกี่ยวพันกับการดูดซับโดยตะกอนขนาดเล็ก [19,20] ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ทางสถิติ และการวิเคราะห์ลำดับสุดท้ายเป็นการทำหอตราชารากการสะสมตัวโดยอาศัยข้อมูลความลึกของชั้นตะกอนและข้อมูลช่วงเวลาที่คิดจากอัตราการดูดซับปัจจุบัน โดยอาศัยการอ้างอิงตำแหน่งตะกอนที่เกิด ณ เวลาเกิดเหตุการณ์สึนามิและตำแหน่งโลหะหนักในชั้นตะกอนดินที่สอดคล้องกับข้อมูลโลหะหนักในปี พ.ศ. 2546 ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการทำหอยตะกอนด้วยการอ้างอิงเหตุการณ์ [3,5]

4. ผลและการวิเคราะห์

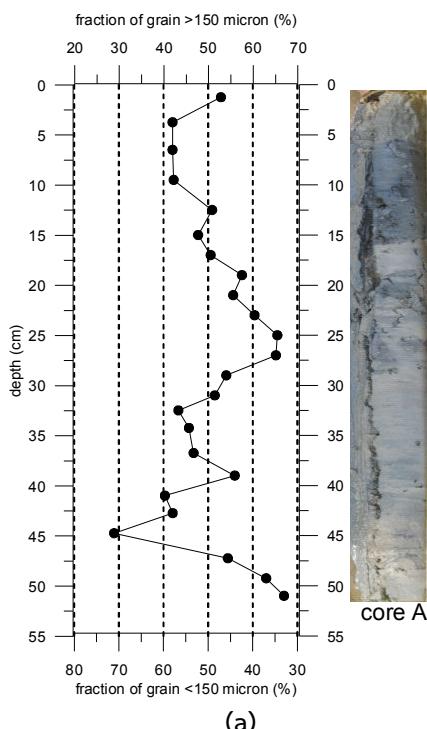
4.1 ลำดับส่วนของเม็ดตะกอนดินและลำดับชั้นตะกอนดิน

ขนาดของตะกอนดินที่แบ่งออกมากจากชั้นตะกอนดินแต่ละชั้นถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แยกตามขนาดเม็ดตะกอน ส่วนแรก คือ ขนาดตะกอนดินเม็ดใหญ่ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน เป็น

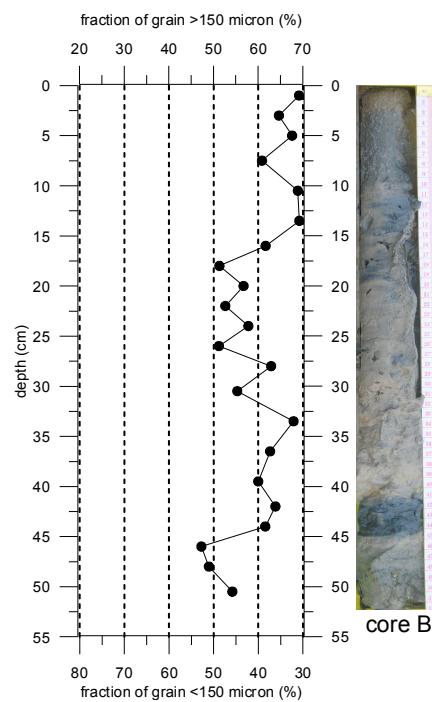
ตะกอนดินขนาดใหญ่กว่าทรายละเอียด (fine sand) ซึ่งสามารถพัดพาได้ด้วยกระแสน้ำที่มีความแรงของการพัดพาเทียบเท่ากับการพัดพาที่เกิดในแม่น้ำ [21] และการพัดพาขณะเกิดน้ำท่วม [22] ส่วนที่สองเป็นตะกอนขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน คือ เม็ดตะกอนที่เล็กกว่าทรายละเอียด ได้แก่ วัสดุธรรมชาติจำพวกทรายละเอียดมาก โคลนและดินเหนียว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

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และสัดส่วนของตะกอน

ดินอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน ในแท่งตะกอนดิน 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 ในตะกอนดินระดับดินในขณะที่การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของทรายอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน และตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน



(a)



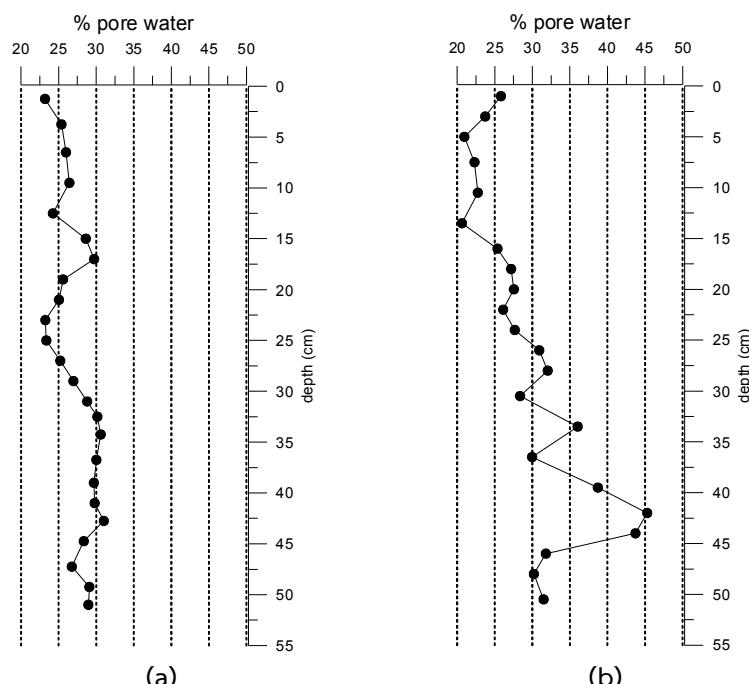
(b)

รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของทรายขนาดอนุภาค >150 ไมครอน และตะกอนขนาด <150 ไมครอน ตามความลึกของแท่งตะกอนดิน A (a) และแท่งตะกอนดิน B (b)

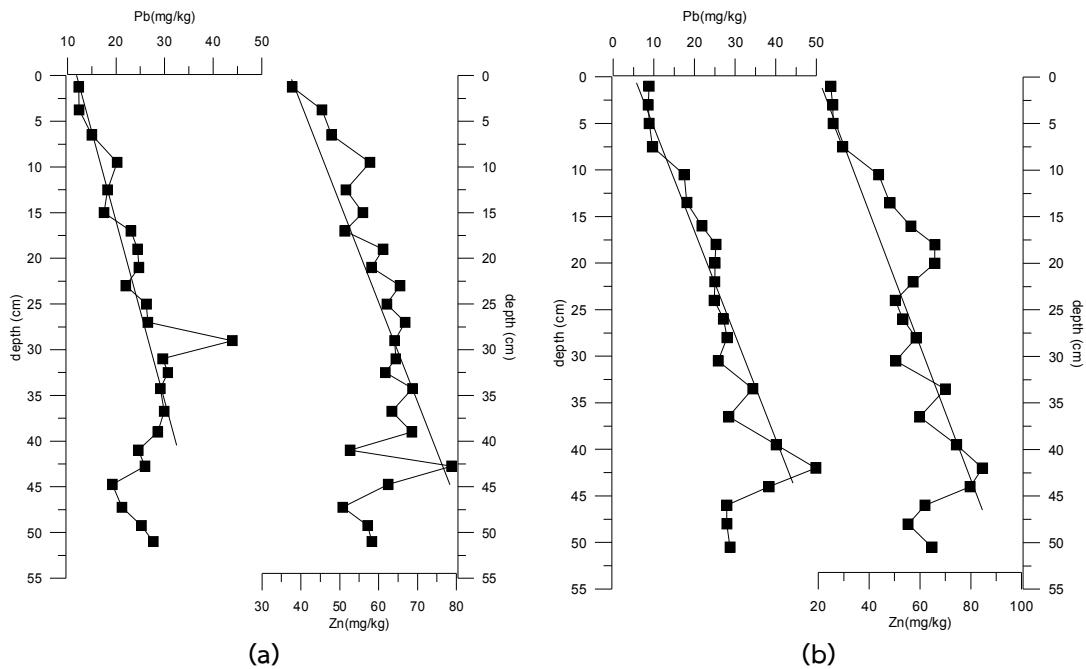
ไมครอน ในแท่งตะกอนดิน B นั้มแตกต่างกันกับแท่ง A อย่างสิ้นเชิง โดยในแท่งตะกอนดิน B จะมีสัดส่วนของทรัยอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน อยู่ในช่วง 47-70 เปอร์เซ็นต์ และพบสัดส่วนของทรัยอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ที่ความลึกของชั้นตะกอนดิน 33 เซนติเมตร จากนั้นจะมีการลดสัดส่วนลงแบบพื้นเลื่อย ไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการเพิ่มสัดส่วนของทรัยอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน กลับมาสู่จุดที่มีสัดส่วนสูงสุดอีกรั้งที่ระดับความลึก 17 เซนติเมตร (รูปที่ 2b)

พิจารณาค่าเบอร์เซ็นต์น้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินทั้ง 2 แท่ง (รูปที่ 3) พบว่าแท่งตะกอนดิน A มีน้ำที่อยู่ในรูพรุนอยู่ในช่วง 23-30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินมีค่าสูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความลึกของตะกอนดิน 17 เซนติเมตร และพบน้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินที่สะสมตัวอยู่อย่างต่อเนื่องระหว่างความลึก 36-46 เซนติเมตร ซึ่งต่อมา

น้ำที่อยู่ในรูพรุนในตะกอนดินมีค่าลดลงตามลำดับก่อนจะปรับสัดส่วนที่สูงขึ้นอีกรั้งจนมีค่าอยู่ในระดับเดิมที่ความลึกของตะกอนดิน 17 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงมีการปรับสัดส่วนของช่องว่างในดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น และลดลงอีกรั้งจนถึงปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 3a ส่วนแท่งตะกอนดิน B มีน้ำที่อยู่ในรูพรุนของตะกอนดินอยู่ในช่วง 20-46 เปอร์เซ็นต์ โดยพบเบอร์เซ็นต์ของน้ำที่อยู่ในรูพรุนสูงในตะกอนดินระดับลึกที่ความลึกของตะกอนดิน 43 เซนติเมตร (มีน้ำที่อยู่ในรูพรุนสูงสุด 46 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นมีแนวโน้มของน้ำที่อยู่ในรูพรุนที่ลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความลึก 14 เซนติเมตร และมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงแคน ๆ อีกรั้งในเวลาต่อมา ก่อนที่จะแสดงแนวโน้มของน้ำที่อยู่ในรูพรุนที่เพิ่มขึ้นจนถึงปัจจุบันในชั้นตะกอนดินระดับตื้นดังแสดงในรูปที่ 3b



รูปที่ 3 น้ำที่อยู่ในรูพรุนของชั้นตะกอนดินตามความลึกของแท่งตะกอนดิน A (a) และแท่งตะกอนดิน B (b) ที่เปรียบเทียบกับภาพของตะกอนดินที่สะสมตัว



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตระกอนดินตามความลึกของแท่งตระกอนดิน A (a) และแท่งตระกอนดิน B (b)

4.2 ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตระกอนดิน

ผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 จะได้ค่าเบอร์เช็นต์การแยกรวม ดังแสดงใน

ตาราง 1 ค่าเบอร์เช็นต์การแยกรวมของโลหะหนักตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 73.25 เปอร์เซ็นต์ และค่าเบอร์เช็นต์การแยกรวมของโลหะหนักสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 86.98 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

ตาราง 1 ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีจากค่าที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 และค่าเบอร์เช็นต์การแยกรวม

Metal	Certified 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

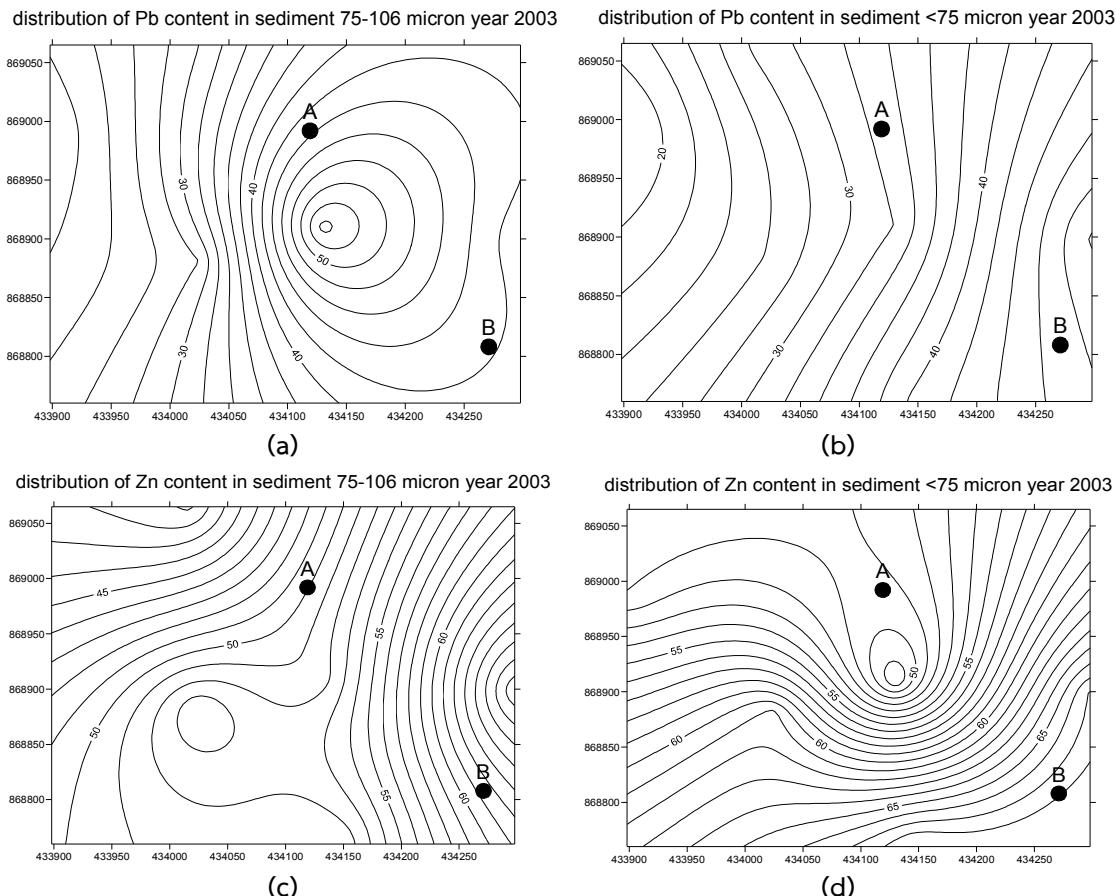
ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในแท่งตระกอนดิน A พบร่วมกันความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตระกอนดินอยู่

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

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

4.3 การประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนดิน

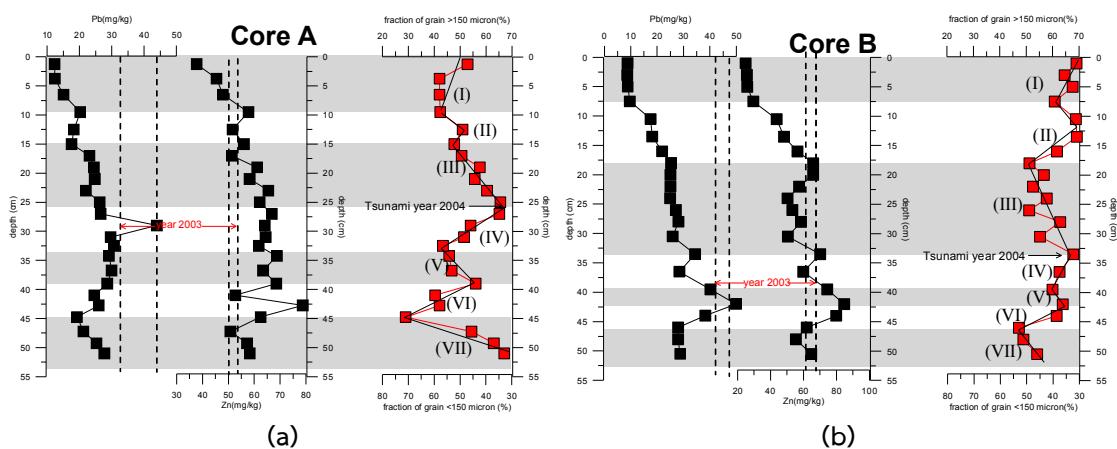
ข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินพื้นที่รองรับน้ำทึบคลองบางใหญ่ที่เก็บจากห้องน้ำความลึก 3-5 เซนติเมตร ในปี พ.ศ. 2546 และได้นำเสนอข้อมูลบางส่วนในงานวิจัยการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนัก Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe ในคลองบางใหญ่ [11] พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วในตะกอนดินจากพื้นที่รองรับน้ำทึบอยู่ในช่วง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



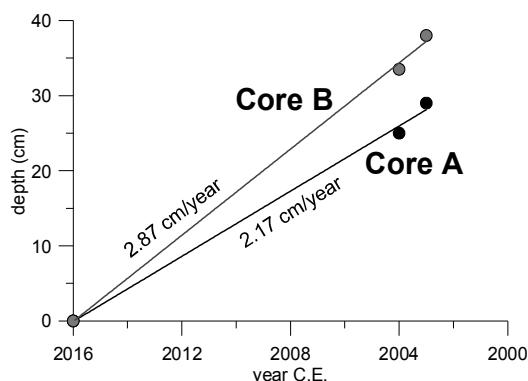
รูปที่ 5 ปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินที่ตรวจวัดค่าจากตะกอนดินสองขนาดเม็ดตะกอน (ตะกอนดินขนาดเม็ดตะกอน 75-106 ไมครอน และขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน) ในปี พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นข้อมูลที่แตกออกมายางานวิจัยของ Suteerasak และ Bhongsuwan [11]

ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของโลหะหนักตะกั่วในแห่งตะกอนดิน A ของปี พ.ศ. 2546 ที่พบร่องข้างชัดเจนที่ความลึกประมาณ 29 เซนติเมตร และตำแหน่งที่พบริมาณตะกอนขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน ในความลึกถัดขึ้นมา (26 เซนติเมตร) ณ ตำแหน่งดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นตะกอนดินที่เกิดจากทรัพย์ที่ถูกพัดพาฝังกลบตะกอนและเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกรังสีภายหลังการเกิดคลื่นสึนามิ [24,25] ในปี พ.ศ. 2547 อุญี่ปัตติตำแหน่งความลึกของแห่งตะกอนประมาณ 24-26 เซนติเมตร ขึ้นมาอย่างไร

ก็ตาม ช่วงค่าของข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักสังกะสีที่พบในปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณที่น้อยกว่าตำแหน่งที่พบร่องสัมตัวของโลหะหนักดังกล่าวที่ความลึกประมาณ 29 เซนติเมตร (รูปที่ 6a) ในส่วนของตำแหน่งที่ตั้งของโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในแห่งตะกอนดิน B ของปี พ.ศ. 2546 ที่พบร่องข้างชัดเจนกับตำแหน่งที่มีการสะสมตัวของสังกะสีที่ความลึกประมาณ 38 เซนติเมตร และตำแหน่งที่พบริมาณทรัพย์หลายมากในความลึกถัดขึ้นมา คือ 34 เซนติเมตร ทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่า ตะกอนดินที่เกิดจากการ



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสี และผลร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของตะกอนดินเม็ดใหญ่ (>150 ไมครอน) ในแท่งตะกอนดิน และการประมาณต่าแห่งที่พบริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินที่ตรวจวัดค่าจากตะกอนดินท้องน้ำในปี พ.ศ. 2546 ในแท่งตะกอนดิน A (a) และแท่งตะกอนดิน B (b) โดยแนวเส้นประแสดงถึงช่วงความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีของทั้งสองต่าแห่งในปี พ.ศ. 2546 ที่ได้จากรูปที่ 5



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

ผังกลบและเกิดการกลับมาตกตะกอนใหม่อีกครั้งภายในหลังการเกิดคลื่นสึนามิในปี พ.ศ. 2547 น่าจะอยู่ที่ตำแหน่งความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 34-35 เซนติเมตร ขึ้นมา อย่างไรก็ตาม ช่วงค่าของข้อมูลความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่วที่พบรอบปี พ.ศ. 2546 ยังมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่ระดับความลึกนั้น (รูปที่ 6b)

ทั้งนี้ในกรณีผลปริมาณโลหะหนักทั้งสองที่พบรอบปี พ.ศ. 2546 มีผลที่แตกต่างปริมาณโลหะหนักในชั้นตะกอนที่คาดการณ์ว่าเป็นตะกอนในปีเดียวกันเนื่องจากตะกอนที่นำมาใช้ตรวจวัดนี้มีขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ซึ่งมีสัดส่วนของตะกอนขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน มาเสริมหรือลดอิทธิพลการดูดซับโลหะหนักจากตะกอนขนาดเล็กกว่า 106 ไมครอน และสามารถใช้ตำแหน่งที่มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าหรือมากกว่าปริมาณโลหะหนักทั้งสองที่พบรอบปี พ.ศ. 2546 มาเป็นจุดเปรียบเทียบ ซึ่งกรณีของแท่งตะกอนดิน A ตะกอนขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน เป็นตัวเสริมปริมาณโลหะหนัก แต่กรณีของแท่งตะกอนดิน B ตะกอนขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน เป็นตัวลดthonปริมาณโลหะหนัก อย่างไรก็ตาม ปัจจัยเรื่องการดูดซับในแต่ละขนาดอนุภาคก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาวิจัยในลำดับถัดไป จากผลเบื้องต้นของตำแหน่งความลึกชั้นตะกอนดินที่พบรอบปี พ.ศ. 2546 โลหะหนักทั้งสองที่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโลหะหนัก

สะสมตัวอยู่ในตะกอนดินปี พ.ศ. 2546 และตำแหน่งชั้นตะกอนดินที่สันนิษฐานว่าการเกิดการฝังกลบของตะกอนดินเนื่องจากคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ทำให้สามารถประมาณการสะสมตัวของตะกอนดินในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแท่งตะกอน A และ B ได้โดยมีค่าอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินทั้งสองตำแหน่งประมาณ 2.17 และ 2.87 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7

4.4 พฤติกรรมการสะสมตัวของตะกอนดิน

ตำแหน่งที่สันนิษฐานว่าเกิดการฝังกลบของทรายและเกิดการแตกตะกอนเนื่องจากคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ทั้งสองแท่งตะกอนดิน เมื่อพิจารณาลักษณะการสะสมตัวของตะกอนดินจากข้อมูลสัดส่วนของตะกอนดินทั้งสองขนาดอนุภาคของ

เม็ดตะกอน พบร่วมในช่วงความลึกตั้งแต่ความลึก 9 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน A และ 7.5 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน B ต่างกันไม่นมีการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนของตะกอนทรายทรายมากและตะกอนละเอียดที่เหมือนกัน หากจำแนกตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของตะกอนดินในภาพรวมร่วมกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและสัดส่วนปริมาณตะกอนดินขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 150 ไมครอน ในแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงสามารถจำแนกชั้นตะกอนได้เป็น 7 ชั้นชั้นตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงชั้นตะกอนด้วยวิธีการทางสถิติดังความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองที่แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของทรายขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอนต่อเซนติเมตร (y) กับความลึกของชั้นตะกอน (x) และค่า R² ที่นำมาจากวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่แบ่งออกเป็น 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) มาสู่ปัจจุบัน (ส่วนบนของแท่งตะกอน) นั่นคือ ช่วงชั้นตะกอน (I) เป็นช่วงชั้นที่มีการปรับเพิ่มสัดส่วนทรัพยาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน (สัดส่วนของตะกอนเล็กกว่า 150 ไมครอน ลดลง) ในช่วงชั้น (I) (เพิ่มขึ้น 1.12 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 1 เซนติเมตร ของชั้นตะกอนที่เพิ่มขึ้น) และมีการปรับเพิ่ม-ลดสัดส่วนลง ในช่วงชั้น (II) โดยสิ่งที่เกิดขึ้นควบคู่กันในช่วงชั้น (II) คือ แนวโน้มการลดของปริมาณโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีโดยเฉพาะในแท่งตะกอน B ที่มีการลดลงของโลหะหนักทั้งสองอย่างชัดเจน สิ่งที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวน่าจะมาจากตะกอนดินขนาดเล็กมีการดูดซับโลหะหนักดังกล่าวไว้ [19,26] ซึ่งตะกอนขนาด <150 ไมครอน ที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยมวล) สามารถดูดซับตะกั่ว 0.46 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และสังกะสี 1.24 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ช่วงชั้นตะกอน (III) เป็นช่วงชั้นที่มีการลดลงของการสะสมตัวของทรัพยาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน กล่าวคือ ทุก 1 เซนติเมตร ที่สะสมตัวเพิ่มขึ้นของแท่งตะกอน A และ B มีการสะสมตัวของทรัพยาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน ที่ลดลง 1.66 และ 0.76 เปอร์เซ็นต์ แต่ตะกอนขนาด <150 ไมครอน เริ่มมีการสะสมตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่เกิดกับแท่งตะกอน A ปริมาณตะกอนดินขนาดเล็กเพิ่มขึ้นส่งผลให้ตะกอนขนาด <150 ไมครอน ที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยมวล) สามารถดูดซับตะกั่ว 0.35 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และสังกะสี 0.61 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม นอกจากนี้ภาพการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนทรัพยาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน ที่ชัดเจนในตำแหน่งของแท่งตะกอน B ที่มากกว่า A อาจมาจากการผันผวนของคลื่นสะเทือนที่เกิดในตำแหน่ง B ที่มีมากกว่าตำแหน่ง A ผลดังกล่าวอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งพื้นที่ดังกล่าวเนื่องจากคลื่นสึนามิ ช่วงชั้นตะกอน (IV) เป็นช่วงชั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของทรัพยาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน

ไปสู่ค่าสูงสุดของห้องสองแท่งตะกอน (มีอัตราการเพิ่มขึ้น 3.67 และ 1.32 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 1 เซนติเมตร ของชั้นตะกอนที่เพิ่มขึ้นของแท่งตะกอน A และ B ตามลำดับ) สันนิษฐานว่าการเพิ่มขึ้นของทรัพยาดังกล่าวมาจากการอิทธิพลการพัดพาและฝั่งกลบทะกอนดินของคลื่นสึนามิ ส่วนการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของทรัพยาดและตะกอนจะเป็นผลที่เกิดขึ้นในช่วงชั้นตะกอน (V) ถึงช่วงชั้นตะกอน (VII) นั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกับที่พบรการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่อยู่ในรูปรุนของตะกอนดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่งแท่งตะกอน B ที่มีแนวโน้มเหมือนกันอย่างชัดเจน (แท่ง B สามารถดูดซับตะกั่ว เพิ่มขึ้น 0.01 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ของช่วงชั้น (V); ลดลง 1.11 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ของช่วงชั้น (VI); เพิ่มขึ้น 0.12 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ของช่วงชั้น (VII) ต่อการเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยมวล) ส่วนแท่ง A นั้นมีเพียงตะกั่วเท่านั้นที่มีแนวโน้มเหมือนกับตะกอนทรัพยาดใหญ่กว่า 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) ส่วนกรณีของสังกะสีพบความสัมพันธ์ค่อนข้างชัดกับตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ของแท่งตะกอน B ($R^2 = 0.377$) แต่ในกรณีของแท่งตะกอน A นั้นมีลักษณะและแนวโน้มการสะสมตัวของสังกะสีในช่วงชั้น (V) ถึง (VII) ที่แตกต่างออกไปจากแนวโน้มของตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ($R^2 = 0.071$) และปริมาณน้ำในรูปรุน ($R^2 = 0.129$) ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลักที่ควบคุมแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของ Pb และ Zn น่าจะเกิดจากการดูดซับโลหะหนักดังกล่าว โดยตะกอนดินขนาดเล็กดังที่พบรูปในงานวิจัย [19,20] ที่พบรูป Pb และ Zn เป็นโลหะหนักที่ถูกดูดซับโดยตะกอนดิน

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

ทั้งนี้การที่ความหนาของแต่ละช่วงชั้นตะกอนในแท่งตะกอน A และ B มีค่าที่ไม่เท่ากันนั้น น่าจะเป็นผลมาจากการปัจจัยรบกวนการสะสมตัวของตะกอนเชิงพื้นที่ ส่งผลให้อัตราการสะสมตัวของตะกอนมีความแตกต่างกัน ซึ่งสันนิษฐานว่ามาจากการปัจจัยแวดล้อมควบคุมการสะสมตัวเหล่านี้เดียวกัน นั่นคือ อิทธิพลของคลื่นทะเลที่ซัดเข้าสู่ฝั่ง [23,27] ซึ่งควบคุมโดยหลายปัจจัยในพื้นที่นี้ เช่น สภาพอากาศ ในแต่ละฤดูกาล [28] การพัดพาโดยคลื่นร่วมกับน้ำขึ้นน้ำลง [29] และความแรงของการแส้นภายในคลอง [11] รวมถึงปัจจัยการพัดพาเนื่องจากคลื่นสีนามิ [7-10] นอกจากนี้ระยะห่างจากชายฝั่งและปากคลองบางใหญ่ที่ต่างกันก็สามารถทำให้ได้รับอิทธิพลของปัจจัยที่ควบคุมการสะสมตัวที่ต่างกันส่งผลให้ทั้งสองตำแหน่งมีอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาข้างต้นพบประเด็นในเรื่องการดูดซับโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นตะกอน จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการวิจัยลำดับถัดไป เพื่อหาที่มาและปัจจัยที่ทำให้เกิดผลตั้งกล่าวกับตะกอนดินในพื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่ รวมถึงการประมาณการสะสมตัวของตะกอนในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะเหมือนกันและได้รับอิทธิพลจากคลื่นสีนามิในแบบเดียวกัน

5. สรุปผล

ทั้งสองจุดเก็บตัวอย่างมีการเพิ่มและลดของค่าความเข้มข้นโลหะหนักสลับไปมาด้วยแนวโน้มการ

สะสมตัวเฉลี่ยของโลหะหนักที่ลดลงด้วยอัตราการลดลงของตะกั่ว 0.52 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และสังกะสี 0.53 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ในแท่งตะกอน A ส่วนแท่งตะกอน B มีอัตราการลดลงของตะกั่ว 0.79 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และสังกะสี 1.20 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ต่อทุก 1 เซนติเมตร ที่เพิ่มขึ้นของตะกอน ตั้งแต่ระดับความลึกประมาณ 35-40 เซนติเมตร ขึ้นมาถึงชั้นตะกอนดินระดับตื้น โดยจุดที่พบตะกอนดินที่เกิดจากการฝังกลบและเกิดการกลับมาตกลงตะกอนใหม่อีกรังวายหลังการเกิดคลื่นสีนามิในปี พ.ศ. 2547 อยู่ที่ตำแหน่งความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 24-26 เซนติเมตร ของแท่งตะกอน A ส่วนตำแหน่งที่พบสัญญาณการเกิดการฝังกลบและเกิดการกลับมาตกลงตะกอนใหม่อีกรังวายในแท่งตะกอน B พอบอยู่ที่ความลึกของแท่งตะกอนประมาณ 34-35 เซนติเมตร สามารถประมาณอัตราการสะสมตัวของตะกอนดินภายหลังเหตุการณ์สีนามิที่เกิดปี พ.ศ. 2547 ในตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแท่งตะกอน A และ B โดยมีค่าประมาณ 2.17 และ 2.87 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ

ตำแหน่งที่สันนิษฐานว่าเกิดการฝังกลบของตะกอนดินเนื่องจากคลื่นสีนามิที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547 ของทั้งสองแท่งตะกอนดินแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเพิ่ม-ลดของสัดส่วนของทรัพยากรดใหญ่กว่า 150 ไมครอน และตะกอนขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน ที่เมื่อนับในช่วงความลึกตั้งแต่ความลึก 9 เซนติเมตร ถึงจุดสิ้นสุดของของแท่งตะกอน B ด้วยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของขนาดเม็ดตะกอนตั้งกล่าวที่จำแนกได้เป็น 7 ช่วงชั้นตะกอน ซึ่งสันนิษฐานว่ามาจากการปัจจัยควบคุมการสะสมตัวจากแหล่งเดียวกัน คือ อิทธิพลของคลื่นทะเลที่ซัดเข้าสู่ฝั่งที่ลูกควบคุมโดยปัจจัยแวดล้อมในพื้นที่นั้น เช่น สภาพ

อากาศในแต่ละฤดูกาล และความแรงของกระแสน้ำในคลอง รวมทั้งการพัดพาและการฝังกลบตะกอนดินเนื่องจากคลื่นสึนามิ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยของคณะให้กับโครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาประวัติการบ่นเบื้องของแร่โลหะในตะกอนดินท้องน้ำบริเวณพื้นที่ร่องรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย ขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการวิจัยฯ ขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อ่านวิเคราะห์ความดูดซึมน้ำและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณ นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก และนายธีรชัย สุขะปันส 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 14C reservoir age, *Quat. Sci. Rev.* 42: 43-58.
- [2] Lougheed, B.C., Filipsson, H.L. and Snowball, I., 2013, Large spatial variations in coastal ¹⁴C 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 ¹⁴C 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.nrccnrc.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] Prodgger, 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.