

ลักษณะทางตะกอนวิทยาและการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทย

Sedimentological Characteristics and Contamination of Mercury and Arsenic in Sediment of the Gulf of Thailand

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล* เบนจาวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ และ พิสุทธิ์ เทศสวัสดิ์

Penjai Sompongchaiyakul* Benjawan Sansittisakunlird and Pisut Tassawad

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

*Corresponding author's e-mail: spenjaj@hotmail.com

บทคัดย่อ: จากการศึกษาดินตะกอนระดับผิวจากอ่าวไทยจำนวน 45 ตัวอย่าง พบว่าท้องทะเลอ่าวไทยมีสภาพรีดิงซ์ ดินตะกอนค่อนข้างหยาบโดยเฉพาะบริเวณตอนบนของอ่าวไทยตอนกลางที่ต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนบนจะหยาบที่สุด มีลักษณะเป็นทรายปนโคลนจนถึงทราย ดินตะกอนในพื้นที่กลางอ่าวจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่าพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง ยกเว้นนอกชายฝั่ง จ.ระยอง และ จ.สงขลา มีสารอินทรีย์เฉลี่ยร้อยละ 1.62 ± 0.86 (0.56–3.95) โดยพบค่าสูงในแนวนอกชายฝั่ง จ.ชุมพร ถึง จ.สุราษฎร์ธานี และนอกชายฝั่ง จ.ระยอง ถึง จ.จันทบุรี สำหรับปรอทพบเฉลี่ย 33.7 ± 12.7 (7.3–64.5) นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และสารหนูพบเฉลี่ย 1.82 ± 1.26 (0.26–6.32) ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ปรอทและสารหนูในพื้นที่นอกชายฝั่ง จ.นครศรีธรรมราช และกลางอ่าวทางตอนล่างของพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่น ขณะที่พื้นที่นอกชายฝั่ง จ.ระยอง ถึง จ.จันทบุรี และพื้นที่บริเวณปากอ่าวไทยด้านล่างสุดของพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นเฉพาะปรอท ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ระดับปรอทในดินตะกอนอ่าวไทยมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการขุดเจาะและผลิตปิโตรเลียมในอ่าวไทย เมื่อเทียบกับ Sediment Quality Guidelines ระดับของปรอทและสารหนูในดินตะกอนในอ่าวไทยยังอยู่ในระดับที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

คำสำคัญ: ดินตะกอน สารอินทรีย์ ขนาดตะกอน ปรอท สารหนู

Abstract: Study of 45 surface sediment samples from the Gulf of Thailand revealed that the bottom of the Gulf of Thailand was in reducing condition. The sediments had coarse textures. The coarsest sediments as clayey sand to sand were found at the upper part of the central Gulf of Thailand where connecting to the upper gulf. High carbonate sediments were found in the middle of the gulf except the area off Rayong and Songkhla provinces. Average organic matter in sediments was at $1.62\% \pm 0.86\%$ (0.56–3.95). High organic matter in sediments was found offshore from Chumphon to Suratthani and from Rayong to Chanthaburi provinces. Mercury was found at the average of 33.7 ± 12.7 (7.3–64.5) ng/g dry weight. Average arsenic was found at 1.82 ± 1.26 (0.26–6.32) $\mu\text{g/g}$ dry weight. High mercury and arsenic sediments were found offshore Nakornsithammarat province and at the middle of the central gulf, whereas offshore Rayong to Chanthaburi provinces and the lowest part of the study area only mercury was high. Increasing of mercury level in the sediment was found in the past 10 years coincidentally with the increasing of petroleum activities in the Gulf of Thailand. With regard to Sediment Quality Guidelines, mercury and arsenic levels in the sediments of the Gulf of Thailand were considered as low as no toxic to biota.

Keywords: sediment, organic matter, grain size, mercury, arsenic

บทนำ

ปรอท (mercury; Hg) และสารหนู (arsenic; As) เป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง และปนเปื้อนอยู่ในแอ่งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันหลายแหล่ง (Olsen, 1998) ขณะที่ปรอทอินทรีย์เป็นรูปแบบที่มีความเป็นพิษสูง แต่รูปแบบอินทรีย์ของสารหนูเป็นรูปแบบที่มีความเป็นพิษต่ำ (Smedley and Kinniburgh, 2002) โลหะหนักที่ปนเปื้อนในมวลน้ำจะถูกกำจัดออกไปสะสม (sink) อยู่กับดินตะกอน (Chester, 1993) การที่ดินตะกอนเป็นแหล่งรองรับและสะสมโลหะหนัก ทำให้ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในดินตะกอนมีค่าสูงกว่าในมวลน้ำถึง 3-5 เท่า หรือมากกว่า (Bryan and Langston, 1992) อย่างไรก็ตาม โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินตะกอนอาจจะกลายเป็นแหล่งที่มา (source) ของมลพิษที่ปนเปื้อนกลับเข้าสู่มวลน้ำได้ เมื่อสมดุลเคมี ณ รอยต่อระหว่างดินตะกอนผิวหน้า (surface sediment) กับมวลน้ำเหนือผิวตะกอน (overlying water column) เปลี่ยนแปลงไป แหล่งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันในเอเชียมีกัมมันตรังสีปรอทปนเปื้อนสูงกว่าพื้นที่อื่นของโลก ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติและน้ำมันในอ่าวไทยก่อให้เกิดการปนเปื้อนของปรอท (Wilhelm et al., 2008) และสารหนู (Lothongkum, 2011) การปนเปื้อนของสารหนูและปรอทในอ่าวไทยและพื้นที่ชายฝั่ง จึงมีแหล่งที่มาจากทั้งจากกิจกรรมบนแผ่นดิน (land-based source) และการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541ก; 2541ข; Sirinawin and Sompongchaiyakul, 2004) ปริมาณปรอทและสารหนูที่พบในพื้นที่ชายฝั่งและอ่าวไทยที่เคยมี

รายงานไว้ก่อนหน้านี้ แสดงไว้ในตารางที่ 1 จากการประเมินการปนเปื้อนของปรอทในดินตะกอนพบว่าไม่แตกต่างกันมากระหว่างพื้นที่ ยกเว้นในทะเลน้อยที่เป็นพрудน้ำจืดและดินตะกอนมีสารอินทรีย์สูงจึงทำให้มีปรอทสะสมอยู่สูง แม้ว่าพื้นที่นี้จะมีความเป็นธรรมชาติมากกว่าพื้นที่อื่น (Sompongchaiyakul and Sirinawin, 2006) สำหรับสารหนู กรมควบคุมมลพิษรายงานไว้ว่าพบสารหนูในดินตะกอนและปากแม่น้ำปัตตานี จังหวัดปัตตานี 56.4 และ 42.9 µg/g dry weight ในปี 2541 และ 80.0 และ 47.0 µg/g dry weight ในปี 2544 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546ก) ซึ่งมีค่าสูงเป็น 10 เท่า เมื่อเทียบกับงานของ ธัญชนก จันทรงค์ (2551) ที่วิเคราะห์ดินตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนในนอกปากทะเลสาบสงขลาและอ่าวปากพนัง และงานของ Sompongchaiyakul and Sirinawin (2006) ที่วิเคราะห์ดินตะกอนทะเลน้อยและทะเลสาบสงขลา สำหรับการปนเปื้อนของสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทยทั้งอ่าวยังไม่เคยมีรายงาน

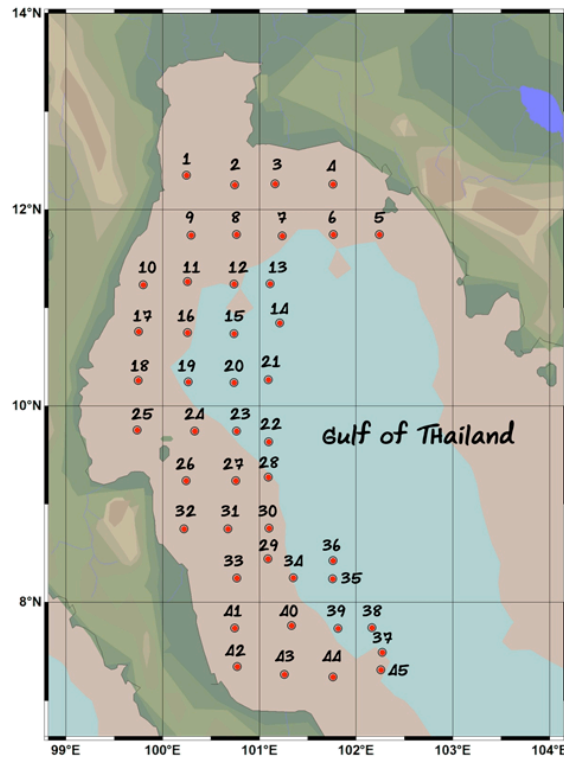
วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าจาก 45 สถานี ในการสำรวจโดยเรือ M.V. SEAFDEC เมื่อวันที่ 14 มีนาคม ถึง 12 เมษายน พ.ศ. 2556 ระหว่างละติจูดที่ 7°20' ถึง 12°30' เหนือ และลองจิจูดที่ 99°40' ถึง 102°20' ตะวันออก (รูปที่ 1) โดยใช้บ็อกซ์คอเรอร์ (box corer) ใช้ชั้นพลาสติกตัดตัวอย่างดินตะกอนระดับผิว (0-10 ซม.) บรรจุตัวอย่างลงในถุงซิปล็อค (zip lock bag) ริดอากาศออก ปิดผนึกให้แน่น และสวมทับด้วยถุงพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง เก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็ง (Loring and Rantala, 1992) ทำตัวอย่างดินตะกอนให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งเยือกแข็ง (freeze dry) เลือกเศษไม้เศษเปลือกหอยขนาดใหญ่ออก แบ่งดินตะกอนเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำมาวิเคราะห์ทางตะกอนวิทยาโดยหาลงศ์ประกอบขนาดด้วยวิธีร่อนเปียกและเปิด (wet sieving/pipette method) (Sompongchaiyakul, 1989) อีกส่วนสำหรับใช้วิเคราะห์ทางเคมี นำมาบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกรงอะเกต (agate mortar) ก่อนนำไปวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุโดยวิธีวอล์คกี้-แบล็ค (Walkley-Black method) (Loring and Rantala, 1992) และแคลเซียมคาร์บอเนตโดยวิธีไทเตรตรกรด-เบส (acid-base titration) (Sompongchaiyakul, 1989)

วิเคราะห์ปรอททั้งหมด โดยย่อยสกัดดินตะกอนด้วยกรด ออกซิไดซ์ปรอทอินทรีย์ทั้งหมดในสารละลายให้อยู่ในรูปปรอทอนินทรีย์ รีดิวซ์ปรอททุกรูปให้เป็นไอปรอท (Hg⁰) (Bloom and Crecelius, 1987; US-EPA, 2001) วัดปริมาณไอปรอทโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโกปีแบบไอเย็น (Cold Vapor Atomic Absorption Spectroscopy; CVAAS) ด้วยเครื่องระบบวิเคราะห์ปรอท Perkin Elmer รุ่น FIMS-400

ตารางที่ 1 ปริมาณปรอทและสารหนูที่พบในพื้นที่ชายฝั่งและอ่าวไทย

พื้นที่	ปรอท (ng/g dry wt.)		สารหนู (µg/g dry wt.)		อ้างอิง
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	
ทะเลสาบสงขลาตอนใน	ฤดูแล้ง	51 ± 36	3.2 ± 0.7	5.2 ± 2.4	ธัญชนก จันทรงค์ (2551)
	ฤดูฝน	47 ± 26	5.2 ± 2.4		
นอกปากทะเลสาบสงขลา	ฤดูแล้ง	33 ± 22	6.9 ± 3.8	8.3 ± 3.4	
	ฤดูฝน	26 ± 15	8.3 ± 3.4		
อ่าวปากพนัง	ฤดูแล้ง	26 ± 13	8.9 ± 3.5	6.0 ± 1.9	
	ฤดูฝน	23 ± 10	6.0 ± 1.9		
ทะเลน้อย	63 - 113	89 ± 15	5.7 - 10.8	8.2 ± 1.7	Sompongchaiyakul and
ทะเลสาบสงขลาตอนใน&ตอนกลาง	24 - 68	38 ± 11	3.7 - 10.8	5.9 ± 1.5	Sirinawin (2006)
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก	27 - 110	49 ± 15	5.1 - 25.7	10.7 ± 5.5	
ชายฝั่งสมุทรปราการ	54 - 188				กรมควบคุมมลพิษ (2545)
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง	1 - 293				
ปากคลองกระแจะ	ปี 2541			56.4	กรมควบคุมมลพิษ (2546ก)
	จ.สุราษฎร์ธานี	ปี 2544		80.0	
	ปากแม่น้ำปัตตานี	ปี 2541		42.9	
	จ.ปัตตานี	ปี 2544		47.0	
อ่าวไทยตอนบน	< 2 - 92	34 ± 27			Buakaew (2008)
อ่าวไทยตอนกลางและตอนล่าง	7 - 50	24 ± 9			
อ่าวไทยตอนบน	7 - 94	27 ± 21			เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ
อ่าวไทยตอนกลาง	11 - 105	44 ± 23			และคณะ (2557)
อ่าวไทยตอนล่าง	8 - 78	23 ± 10			



รูปที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่าง 45 สถานี ในอ่าวไทย

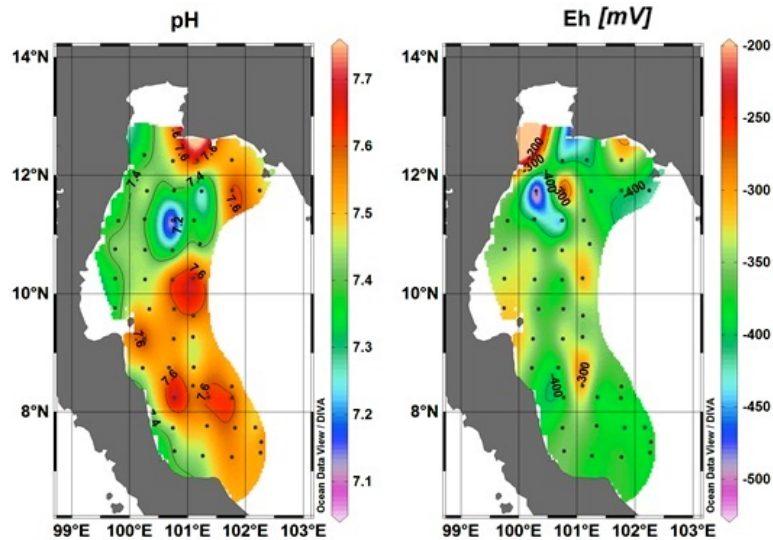
วิเคราะห์สารหนู โดยย่อยสกัดดินตะกอนด้วยวิธีการ EPA method 3050B (US-EPA, 1996) วัดปริมาณสารหนูในสารละลายโดยเทคนิคไฮดรเจนอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโคปี (Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy; HGAAS) ตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ในแต่ละตัวแปร โดยวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ ร้อยละ 10 ของตัวอย่างทั้งหมด และตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์เดกซ์โทรส (dextrose, C₆H₁₂O₆) สำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ และวิเคราะห์ดินตะกอนอ้างอิงมาตรฐานที่มีค่าอ้างอิง (Certified Reference Material; CRM) MESS-3 ของ National Research Council of Canada สำหรับการวิเคราะห์ปรอททั้งหมดและสารหนู ด้วยใช้วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาทางตะกอนวิทยาและทางเคมีของดินตะกอนจากอ่าวไทย สรุปไว้ในตารางที่ 2 รูปที่ 2 แสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของค่าพีเอช (pH) และศักย์ไฟฟ้า (Eh (mV)) ของดินตะกอนอ่าวไทย ท้องทะเลอ่าวไทยมีสภาพรีดิงซ์ ขนาดอนุภาคดินตะกอนค่อนข้างหยาบ ส่วนใหญ่จะมีอนุภาคขนาดทราย (sand; >63 ไมโครเมตร) ขนาดทรายแป้ง (silt; 2–63 ไมโครเมตร) และขนาดดินเหนียว (clay; <2 ไมโครเมตร) ในปริมาณพอๆ กัน จนถึงขนาดทรายแป้งปนโคลน (clayey silt) ดังรูปที่ 3 ดินตะกอนบริเวณตอนบนของอ่าวไทยตอนกลางที่ต่อเนื่องจากอ่าวไทยตอนบนจะหยาบที่สุด โดยมีลักษณะเป็นทรายปนโคลน (clayey sand) จนถึงทราย (sand)

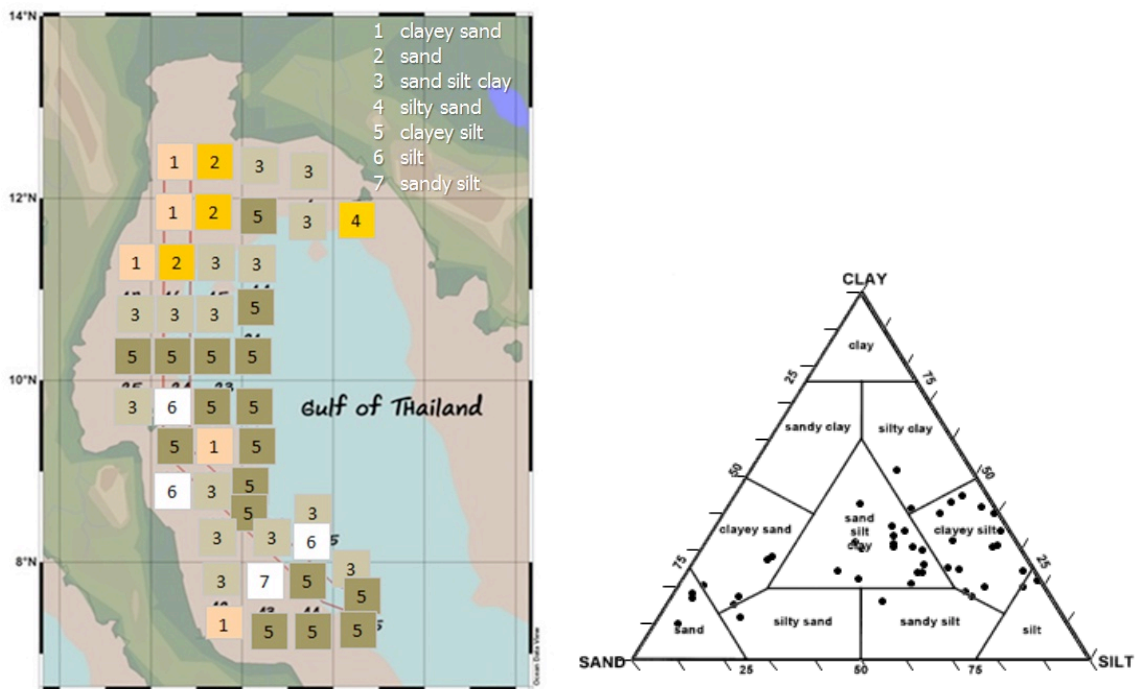
ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพเคมี ตะกอนวิทยาและการปนเปื้อนของปรอทโลหะสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทย ในช่วงมีนาคมถึงเมษายน พ.ศ. 2556

ตัวแปรสิ่งแวดล้อม	ค่าต่ำสุด – ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่ามัธยฐาน
pH	7.10 – 7.72	7.49 ± 0.12	7.48
Eh (mV)	(-527) – (-211)	(-361) ± 48	(-368)
% Sand	0.6 – 85.0	29.1 ± 23.9	23.4
% Silt	3.9 – 77.7	42.9 ± 19.9	46.6
% Clay	9.7 – 51.6	28.0 ± 9.6	27.4
% Calcium carbonate	8.9 – 53.2	18.2 ± 6.0	18.0
% Oxidizable organic matter	0.56 – 3.95	1.62 ± 0.86	1.42
Mercury (ng/g dry weight)	7.3 – 64.5	33.7 ± 12.7	32.7
Arsenic (µg/g dry weight)	0.26 – 6.32	1.82 ± 1.26	1.52



รูปที่ 2 การกระจายเชิงพื้นที่ของพีเอช (pH) และศักย์ไฟฟ้า (Eh; mV) ของดินตะกอนอ่าวไทย

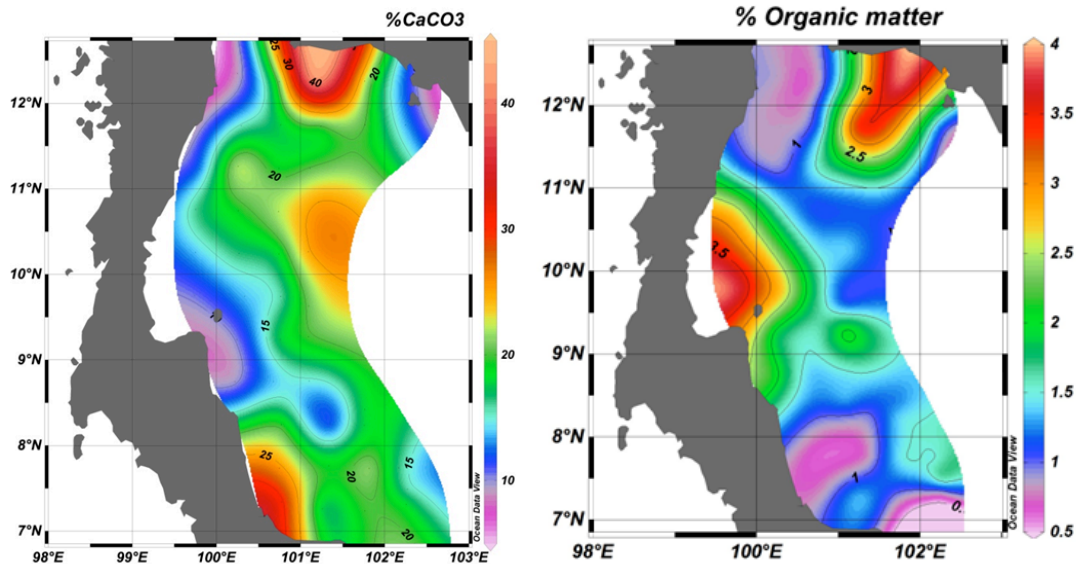
การกระจายเชิงพื้นที่ของแคลเซียมคาร์บอเนต (%CaCO₃) และสารอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ง่าย (%OM) ในดินตะกอน แสดงในรูปที่ 4 ส่วนมากดินตะกอนในพื้นที่กลางอ่าวจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่สูงกว่าพื้นที่ที่ใกล้ชายฝั่ง ยกเว้นบริเวณนอกชายฝั่ง จ.ระยอง และ จ.สงขลา ส่วนสารอินทรีย์มีมากในแถบนอกชายฝั่ง จ.ชุมพร ถึง จ.สุราษฎร์ธานี และนอกชายฝั่ง จ.ระยอง ถึง จ.จันทบุรี



รูปที่ 3 การกระจายขนาดอนุภาคทราย (>63 ไมโครเมตร) ทรายแป้ง (2-63 ไมโครเมตร) และดินเหนียว (<2 ไมโครเมตร) ในดินตะกอนอ่าวไทย และชื่อดินตะกอนตาม Shepard (1954)

การปนเปื้อนเชิงพื้นที่ของปรอท (Hg ในหน่วย ng/g dry weight) และสารหนู (As ในหน่วย μg dry weight) ในดินตะกอน แสดงในรูปที่ 5 จากรูปจะเห็นว่าพื้นที่นอกชายฝั่ง จ.นครศรีธรรมราช และกลางอ่าวทางตอนล่างของพื้นที่ศึกษามีปรอทและสารหนูสูงกว่าพื้นที่อื่น ขณะที่บริเวณที่ดินตะกอนมีปรอทสูงกว่าที่อื่นแต่สารหนูไม่สูง ได้แก่ พื้นที่นอกชายฝั่ง จ.ระยอง ถึง จ.จันทบุรี และพื้นที่บริเวณปากอ่าวไทย ด้านล่างสุดของพื้นที่ศึกษา

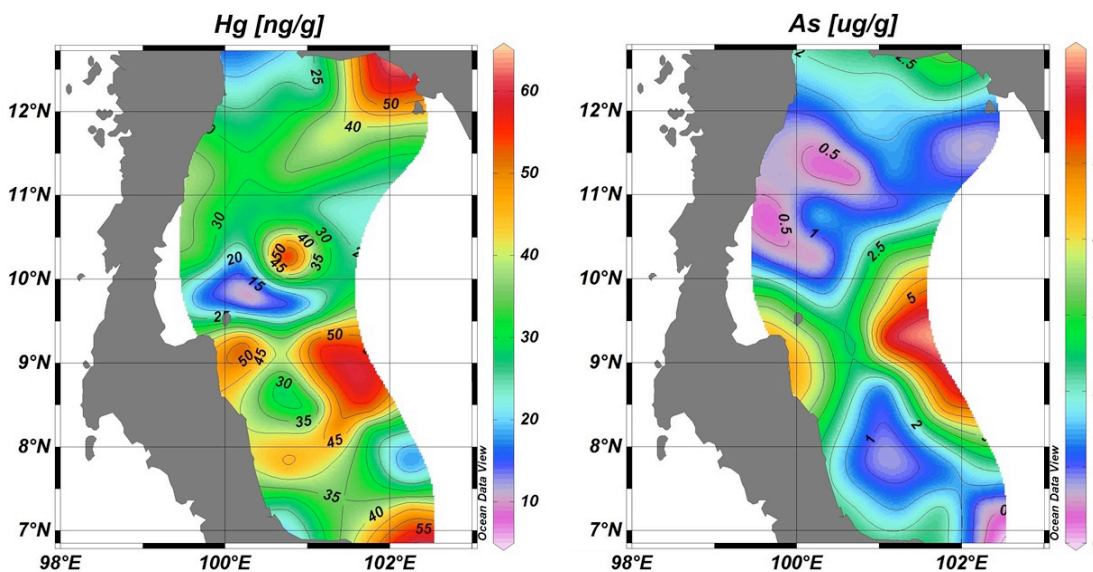
หากเปรียบเทียบการปนเปื้อนของปรอทในดินตะกอนในการศึกษาครั้งนี้ (พ.ศ. 2556) กับดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างใน พ.ศ. 2546 (ตารางที่ 1 และ 2) จะเห็นว่าดินตะกอนอ่าวไทยมีปรอทสูงขึ้นเล็กน้อย จากภาพเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ในรูปที่ 6 พบว่าพื้นที่ในวงกลมและวงรี ในรูปที่ 6 เป็นพื้นที่ที่มีค่าปรอทสูงกว่าพื้นที่อื่นในทั้งสองครั้งการศึกษา ขณะที่ในการศึกษาครั้งนี้มีพื้นที่ที่มีปรอทในดินตะกอนสูงขึ้นได้แก่พื้นที่ในกรอบสี่เหลี่ยมในรูปที่ 6



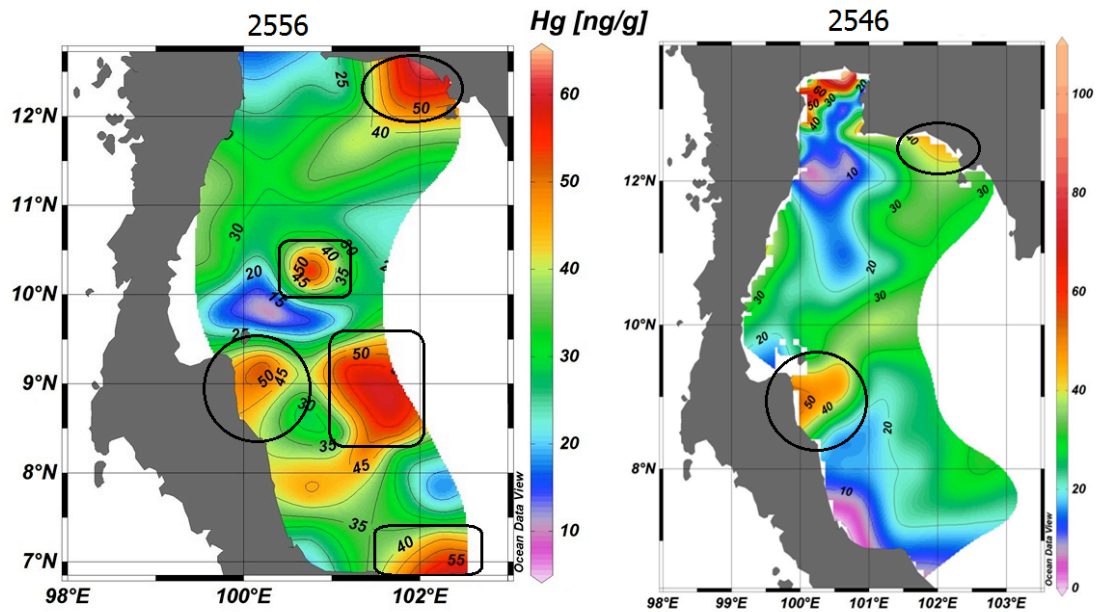
รูปที่ 4 การกระจายเชิงพื้นที่ของแคลเซียมคาร์บอเนต (%CaCO₃) และสารอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ง่าย (%OM) ในดินตะกอนอ่าวไทย

น่าสังเกตว่า potential source ของปรอทและสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทย น่าจะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมซึ่งมีอยู่มากมายกลางอ่าวไทย นอกจากนี้บริเวณชายฝั่งตะวันออก (จ.ชลบุรี และ จ.ระยอง) ยังเป็นพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรมที่ใช้ปิโตรเลียมเป็นฐานโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่แถบชายฝั่ง จ.ระยอง เป็นที่ตั้งของโรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซธรรมชาติและอุตสาหกรรมปิโตรเคมี นอกชายฝั่ง จ.ระยอง ยังมีกิจกรรมการขนถ่ายน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ จึงมีโอกาสสูงที่จะเกิดการรั่วไหลหรืออุบัติเหตุขึ้น ค่าปรอทที่สูงขึ้นในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมามีสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการขุดเจาะและผลิตปิโตรเลียมในอ่าวไทย

แม้ว่าในภาพรวมที่ไม่เฉพาะเจาะจงแหล่ง พบว่าค่าปนเปื้อนสูงสุดของทั้งปรอทและสารหนูในดินตะกอน จากการศึกษาครั้งนี้และที่ผ่านมาจะไม่ได้สูงมากและยังอยู่ในระดับเดียวกับพื้นที่อื่นในโลกที่รายงานว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อน และเมื่อเทียบกับ Sediment Quality Guidelines ในตารางที่ 3 จะเห็นว่าระดับของปรอทและสารหนูในดินตะกอนในอ่าวไทยยังอยู่ในระดับที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ใดๆก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปรอทในดินตะกอนในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ดังที่เห็นในรูปที่ 6 จึงสมควรอย่างยิ่งที่รัฐจะพึงมีกระบวนการและมาตรการในการระวังและลดการรั่วไหลของปิโตรเลียม หรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมการประกอบการด้านสำรวจขุดเจาะ ผลิต และขนถ่ายปิโตรเลียม ตลอดจนรวมถึงการคมนาคมทางเรือในอ่าวไทย



รูปที่ 5 การปนเปื้อนเชิงพื้นที่ของปรอท (Hg ในหน่วย ng/g dry weight) และสารหนู (As ในหน่วย μ g dry weight) ในดินตะกอนอ่าวไทย



รูปที่ 6 ภาพเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ของปรอท (Hg ในหน่วย ng/g dry weight) ที่ปนเปื้อนในดินตะกอนอ่าวไทย พ.ศ. 2546 และ 2556 (วงกลมและวงรี - พื้นที่ที่มีค่าปรอทในดินตะกอนสูงกว่าพื้นที่อื่นในทั้งสองครั้งการศึกษา และสี่เหลี่ยม - พื้นที่ที่มีค่าปรอทสูงในการศึกษารั้งนี้)

ตารางที่ 3 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนสำหรับแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเล ($\mu\text{g/g}$ dry weight)

Guidelines	ปรอท (ng/g dry weight)	สารหนู ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	อ้างอิง
SQG-TEL [Florida DEP] ¹	130	7.24	MacDonald (1994)
SQG-PEL [Florida DEP] ²	700	41.6	
ISQG-low [Australia and New Zealand] ¹	150	20	ANZECC & ARMCANZ (2000)
ISQG-high [Australia and New Zealand] ²	1,000	70	
LCEL [Hong Kong] ³	500	12	ETWB TCW (2002)
UCEL [Hong Kong] ⁴	1,000	42	

- หมายเหตุ 1 = ค่าความเข้มข้นที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต
 2 = ค่าความเข้มข้นที่อาจจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต
 3 = ค่าความเข้มข้นที่สามารถทำการขุดลอกตะกอนดินได้
 4 = ค่าความเข้มข้นที่สามารถขุดลอกตะกอนดินได้ด้วยควมระมัดระวัง โดยต้องผ่านการศึกษผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- SQG = Sediment Quality Guideline
 ISQG = Interim Sediment Quality Guideline
 TEL = Threshold Effect Level
 PEL = Probable Effect Level
 LCEL = Lower Chemical Exceedance Level
 UCEL = Upper Chemical Exceedance Level

สรุปผลการศึกษา

แม้ว่าประเทศไทยจะยังไม่มีมาตรฐานคุณภาพดินตะกอน แต่เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ Sediment Quality Guidelines พบว่า ระดับปรอทและสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทยทุกสถานที่มีค่าต่ำ (ปรอทสูงสุด 64.5 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และสารหนูสูงสุด 6.32 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ก็ยังต่ำกว่าค่าเกณฑ์ที่ส่งผล (Effect Range) ที่กำหนดโดย US-EPA และค่า Interim Sediment Quality Values (ISQG) ที่ใช้ในออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์ และฮ่องกง (ตารางที่ 3) ดังนั้นดินตะกอนอ่าวไทยยังเหมาะสมในการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเล อย่างไรก็ตาม potential source ของปรอทและสารหนูในดินตะกอนอ่าวไทยน่าจะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียม เนื่องจากระดับของปรอทในดินตะกอนในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดที่พบ ซึ่งประจวบกับการเพิ่มขึ้นอย่างมากของกิจกรรมดังกล่าวในอ่าวไทย จึงควรมีการติดตามการปนเปื้อนปรอทและสารหนูในดินตะกอนผิวหน้าทั่วทั้งอ่าวไทยเป็นระยะๆ เพื่อกำกับดูแลการควบคุมขั้นตอนการผลิตและลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่าง

ดำเนินกิจกรรมดังกล่าว ตลอดจนรวมถึงการคมนาคมทางเรือในอ่าวไทย (ทั้งการขนส่งสินค้าและการประมง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ใกล้ฝั่งที่เป็นแหล่งประมงและแพร่พันธุ์ของสัตว์น้ำ

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. *โครงการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษและการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศทางทะเล*. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546ก. *สถานการณ์โลหะหนักในตะกอนดินและเนื้อเยื่อสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย*. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 38 หน้า
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546ข. *ทะเลไทยวันนี้*. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 180 หน้า.
- เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ และ เสวียผ่า สื่อ. 2557. *รูปแบบการปนเปื้อนเชิงพื้นที่ของปรอทในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย*. รายงานการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 13 วันที่ 26-28 มีนาคม 2557.
- ชัยชนก จันทร์คง เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล จิรรัตน์ เรียมเจริญ และ จงกล บุญครองชีพ. 2551. *การศึกษาเปรียบเทียบการแพร่กระจายของสารหนูและปรอทในตะกอนดินผิวหน้าของทะเลสาบสงขลาตอนในนอกปากทะเลสาบสงขลาและอ่าวปากพนัง*. การประชุมวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551, 25-27 สิงหาคม 2551 โรงแรมเมโทรโพล ภูเก็ต.
- ANZECC & ARMCANZ. 2000. *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC), Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ), Canberra, Australia.
- Bloom, N.S. and Crecelius, E.A. 1987. Distribution of silver, mercury, lead, copper and cadmium in central Puget Sound sediments. *Marine Chemistry* 21: 377-347.
- Bryan, G.W. and Langston, W. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediment with special reference to United Kingdom Estuaries : A Review. *Environ Pollut.* 76: 89-131.
- Buakaew, S. 2008. *Contamination of mercury in surface sediment in the Gulf of Thailand*. M.Sc. Thesis, Chula longkorn University.
- Chester, R. 1993. *Marine Geochemistry*. London : Chapman & Hall. 698 p.
- ETWB TCW. 2002. *Management of Dredged/Excavated Sediment*. Environment, Transport and Works Bureau Technical Circular (Works) No. 34/2002, 15 August 2002, Development Bureau, The Government of the Hong Kong Special Administration Region.
- Lothongkum, A.W., Suren, S., Chaturabul, S., Thamphipat, N. and Pancharoen, U. 2011. Simultaneous removal of arsenic and mercury from natural-gas-co-produced water from the Gulf of Thailand using synergistic extraction via HFSLM. *J. of Membrane Sc.* 369: 350-358.
- Loring, D.H. and Rantala, R.T.T. 1992. *Manual for the Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter*. Earth Science Review 32: 235-283.
- MacDonald, D.D. 1994. *Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters*. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines Vol.1 Report Prepared for the Florida Department of Environmental Protection. Tallahassee, Florida. USA.
- Olsen, S.D. 1998. Literature Study Concerning Mercury and Arsenic Distribution in Petroleum and Geothermal Systems. Report RF-98/032, *Rogaland Research*, 25 p.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology* 24: 151-158.
- Sirinawin, W. and Sompongchaiyakul, P. 2004. *Arsenic in Ron Phibun sub-district, Nakhon Si Thammarat: A review*. Proceedings of the LUCED International workshop on MARNURE (MANagement of Resources in urban areas and industries, focus on nutrient Recycling) and CHASE (Chemical ASsessment of the Environment), 15-16 June 2004, Suratthani, Thailand.
- Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.G. 2002. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17: 517 – 568.

- Sompongchaiyakul, P. 1989. *Analysis of Chemical Species for Trace Metals in Near-Shore Sediment by Sequential Leaching Method*. M.Sc. Thesis, Chulalongkorn University.
- Sompongchaiyakul, P. and Sirinawin, W. (2007) Arsenic, Chromium and Mercury in Surface Sediment of Songkhla Lake System, Thailand. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 4(1): 17-24.
- US-EPA. 1996. Method 3050B: *Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*. Revision 2, December 1996.
- US-EPA. 2001. Appendix to Method 1631: *Total Mercury in Tissue, Sludge, Sediment, and Soil by Acid Digestion and BrCl Oxidation*. Based on a standard operating procedure provided by Frontier Geosciences, Inc.
- Wilhelm, S.M., Isa, A.A.M. and Safri, S. 2008. *Mercury in SE Asia Produced Fluids - Holistic Approach to Managing Offshore Impacts*. Proceedings of the International Petroleum Technology Conference, 3-5 December, Kuala Lumpur, Malaysia.