

การกระจายเชิงพื้นที่ของอัตราทับถมของตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนบน

* ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์¹ อภิชาติ ชาติภูวภัทร² อินทิรา พงษ์เภา³ บุญสม พรเทพเกษมสันต์¹ วุฒิชัย จันทโรทัย¹
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 ม.7 ต.ทรายมูล อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

โทรศัพท์ 037 392901-6 โทรสาร 037 392913 E-mail: kanitha@tint.or.th

² คณะทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา 199 ถ.สุขุมวิท ศรีราชา ชลบุรี 20230

โทรศัพท์ 0 3835-4580-4 โทรสาร 0 3835-4587 E-mail: srcsk@ku.ac.th

³ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1 ม.6 ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาอัตราทับถมของตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสี ของตะกั่ว-210 ในแท่งตะกอน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอัตราทับถมในเชิงพื้นที่พบว่าแท่งตะกอนบริเวณน้ำขึ้น-น้ำลงหรือบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำซึ่งน้ำลึกไม่เกิน 10 เมตร ตะกอนจะมีการผสมผสานมาก แท่งตะกอนเหล่านี้ไม่สามารถใช้ประเมินอัตราทับถมของตะกอนได้ อัตราทับถมของตะกอนสูงสุดมีค่า 490 กรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี พบที่กึ่งกลางของอ่าวก่อนไปทางฝั่งตะวันตก ระบบไหลวนของน้ำในอ่าวมีผลต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของอัตราทับถมของตะกอน อัตราทับถมของตะกอนฝั่งตะวันตกมีแนวโน้มสูงกว่าทางฝั่งตะวันออก เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราทับถมของตะกอนตามระยะเวลา พบว่าตะกอนทางฝั่งตะวันตกของอ่าวมีอัตราทับถมของตะกอนแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนตะกอนทางฝั่งตะวันออกมีอัตราทับถมของตะกอนแนวโน้มคงที่ ได้อธิบายเหตุของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราทับถมของตะกอน ค่าเฉลี่ยของอัตราทับถมของตะกอน และ inventories $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ของตะกอนดินในอ่าวไทยตอนบนมีค่าสอดคล้องกับค่าที่ได้เคยศึกษาไว้

คำสำคัญ : อ่าวไทยตอนบน อัตราทับถมของตะกอน ตะกั่ว-210

Spatial Distribution of Sediment Accumulation Rate in Upper Gulf of Thailand

* Kanitha Srisuksawad¹, Apichart Chartpuwapat¹, Intira Pongpao², Boonsom Porntepkasemsan¹,
Wuthichai Chantrachote¹

¹ Thailand Institute of Nuclear Technology 9/9 Mu 7, Sai Mun, Ongkharak, Nakhon Nayok 26120

Phone: 037 392901-6, Fax: 037 392913, E-mail: kanitha@tint.or.th

² Faculty of Resources and Environment, Kasetsart University (Si Racha)

Phone: 0 3835-4580-4 Fax: 0 3835-4587 E-mail: srcsk@ku.ac.th

³ Faculty of Science and Art, Kasetsart University (Kmphang Saen)

Abstract

Accumulation rate of sediment of the upper gulf of Thailand were estimated using $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ sediment depth profile. Spatial distribution of the accumulation rate revealed cores from the intertidal zone near the river delta, with a water depth less than 10 m, exhibited sediment mixing throughout the cores. These cores were not suitable for determination of sediment accumulation rate. The highest accumulation rate, $490 \text{ g/cm}^2/\text{yr}$, was found at the station near the mid-west of the gulf. The water flow system affected the spatial distribution of sediment accumulation rates. The accumulation rates were higher in the western half than those in the eastern half. Temporal variation of sediment accumulation rate revealed cores in the western half of the gulf have sedimentation rates increasing with time. For cores remaining in the eastern half of the gulf, their sedimentation rates were tended to be constant. Factors causing of the increasing and decreasing of the sedimentation rate were described. The average sediment accumulation rates as well as the inventories of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in the sediment cores were in concordance with the corresponding values reported before.

Keywords: Keywords, upper gulf of Thailand, sediment accumulation rate, ^{210}Pb

1. บทนำ

การวิเคราะห์อัตราทับถมของตะกอนโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของ ตะกั่ว-210 (^{210}Pb) นับเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการประเมินความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของอัตราทับถมของตะกอนในช่วงระยะประมาณ 100 ปี $^{1-6}$ ^{210}Pb มีครึ่งชีวิต 22.3 ปี เกิดขึ้นในบรรยากาศจากการสลายของเรดอน-222 (^{222}Rn) และถูกขจัดออกจากชั้นบรรยากาศในรูปของฝุ่นกัมมันตรังสี (fallout) ในสภาพแวดล้อมทางทะเล ^{210}Pb จะจับกับพื้นผิวของอนุภาคแขวนลอย และผสมรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับตะกอนตกลงสู่ใต้ท้องทะเล

อ่าวไทยตอนบนนับเป็นแหล่งประมงและแหล่งทรัพยากรทางทะเลที่สำคัญยิ่งของประเทศไทย แต่ในปัจจุบันคุณภาพน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบนอยู่ในสภาพที่เสื่อมโทรมมากจนอาจกล่าวได้ว่าบริเวณนี้เป็นจุดวิกฤตด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม⁷⁻⁸ และด้วยเหตุที่ว่าตะกอนนอกจากเป็นสาเหตุสำคัญของการสิ้นเปลืองของแหล่งน้ำแล้วยังเป็นสาเหตุของภาวะมลพิษจากการดูดซับและการพัดพา (adsorb and carry) ศักยภาพของตะกอนในการสะสมมลสารประเภทโลหะและอินทรีย์สารเข้าไว้ในตัวทำให้ตะกอนถูกใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินระดับการปนเปื้อนของมลสารในน้ำ การถ่ายเทของเสียจากการกระทำของมนุษย์ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดลงสู่สภาพแวดล้อมทางน้ำล้วนมีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางธรณีเคมีของตะกอน การศึกษาอัตราทับถมของตะกอนจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาประวัติการปนเปื้อนของมลสาร ทำให้ทราบสาเหตุและผู้ก่อให้เกิดมลพิษ สามารถวางแผนป้องกันการเกิดและการเคลื่อนย้ายของมลสารในแหล่งน้ำนั้นๆ

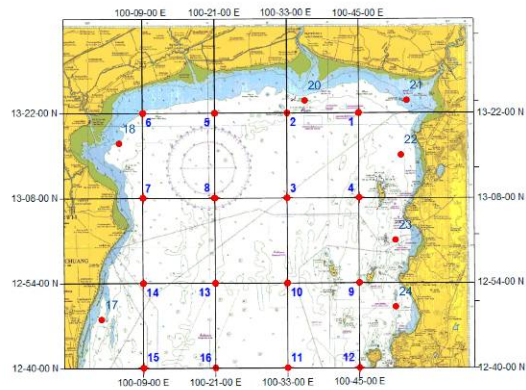
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราทับถมของตะกอนดินในบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb ทั้งนี้เพื่อความเข้าใจถึงลักษณะการแพร่กระจาย และเคลื่อนย้ายมวลสารต่าง ๆ ภายในพื้นที่ศึกษา เพื่อที่จะได้ดำเนินการควบคุมและลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของอ่าวไทยตอนบนกลับคืนมา

2. วิธีการศึกษา

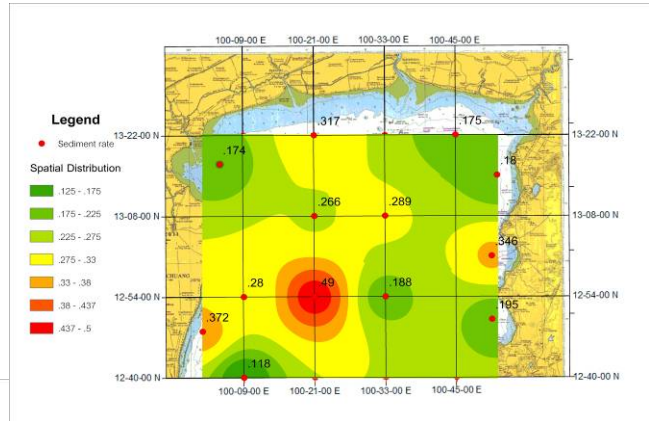
เก็บตัวอย่างตะกอนจาก 20 จุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนบนเริ่มจากเส้นรุ้งที่ $12^{\circ} 30'$ เหนือ จนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา เขตพื้นที่ตัว “ก” (Fig. 1(a), Table 1) ด้วยเครื่องมือเก็บแท่งตะกอนแบบถ่วงน้ำหนัก (gravity corer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเก็บตัวอย่างประมาณ 8.8 ซม. สูงประมาณ 60 ซม. ใช้อุปกรณ์ตัดดิน (cut plate) ตัดแบ่งตัวอย่างตะกอนแต่ละแท่งให้มีความหนา ชั้นละ 3 ซม. ที่ระยะ 15 ซม. แรก ชั้นละ 5 ซม. ที่ระยะ 15-30 ซม. และ ชั้นละ 10 ซม. ที่ระยะจาก 30 ซม. เป็นต้นไป วิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb โดยผ่านการวัดกัมมันตภาพรังสีของไอโซโทปลูก คือ ^{210}Po ในเครื่องวัดรังสีชนิด alpha spectrometry⁹⁻¹¹ กัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ หาได้จากค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ต่ำสุดของแท่งตะกอนแต่ละแท่ง¹¹ สำหรับ แท่งตะกอนที่กัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb ต่ำสุด ยังไม่ถึงค่ากัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ ใช้ค่าเฉลี่ยของ $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ จากแท่งตะกอนที่มีค่า $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ สูงสุดและต่ำสุดเป็นค่ากัมมันตรังสี $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ ของแท่งตะกอนนั้นๆ¹²⁻¹³ การวิเคราะห์อัตราทับถมของตะกอนกระทำโดยใช้ทั้งรูปแบบจำลองแบบ CIC (constant initial concentration) และ CRS (constant rate of supply) ผสมผสานกัน ข้อจำกัดและรายละเอียดการใช้แบบจำลองทั้งสองกล่าวไว้โดยละเอียดใน Krochner (14) กล่าวคือในแท่งตะกอนที่มี $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ depth profile เบี่ยงเบนจาก “ideal” (กัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ลดลงด้วยอัตรา exponential กับความลึก) มากเกินกว่าข้อจำกัดของแบบจำลองแบบ CIC ($r^2 > 0.75$) ก็จะใช้แบบจำลอง CRS ในการวิเคราะห์อัตราทับถมของตะกอนในแท่งตะกอนที่สามารถกระทำได้

3. ผลการวิเคราะห์

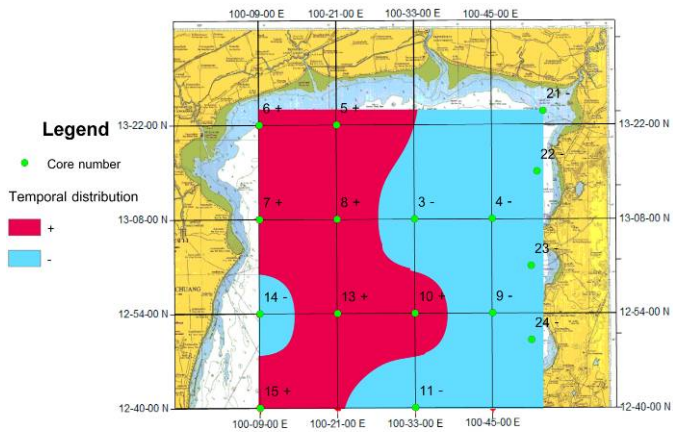
ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง ความลึกของแท่งตะกอน ความลึกของน้ำ ขนาดของ surface mixing layer (SML) ตำแหน่งลึกสุดในแท่งตะกอนที่พบกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ อัตราทับถมของตะกอนที่วิเคราะห์โดยรูปแบบจำลอง CIC และ CRS ตลอดจน $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ inventories แสดงไว้ใน Table 1 ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง การกระจายตัวเชิงพื้นที่และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราทับถมของตะกอน และ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ inventories แสดงไว้ใน Fig.1 (a-d)



(a)



(b)



(c)

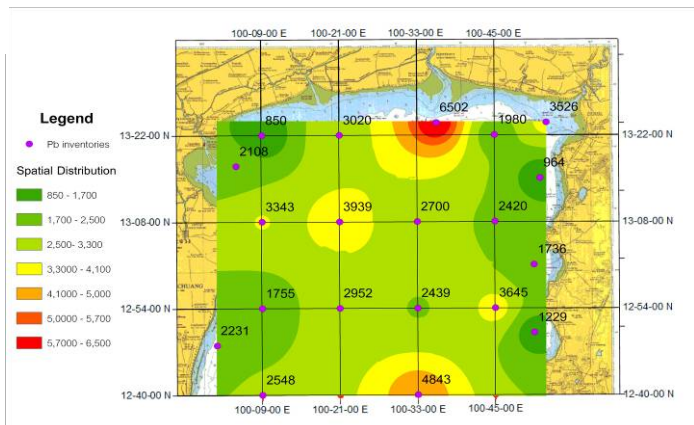


Fig.1 Map of the study area with (a) core number and locations marked (b) spatial distribution of sedimentation rate, and (c) temporal distribution of sedimentation rate, and (d) spatial distribution of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ inventories

Table 1 ²¹⁰Pb data for 20 sediment cores of the upper Gulf of Thailand

Core number	Coordinate		Length of core (cm)	Water depth (m)	²¹⁰ Pb _{ex} SML depth(cm)	Sedimentation rate by CIC and (CRS) (g/cm ² .yr)	²¹⁰ Pb inventory (Bq/m ²)	²¹⁰ Pb _{ex} max depth (cm)	²¹⁰ Pb _{ex} inventory/global average atmospheric ratio
Group 1	Longitude	latitude							
4	100-45-00E	13-08-00N	50	26.2	na	na(0.542)	2420	25	0.47
6	100-09-00E	13-22-00N	50	8.7	na	na(0.560)	850	50	0.16
7	100-09-00E	13-08-00N	40	17.6	na	na(na)	>3343	>40	0.65
9	100-45-00E	12-54-00N	50	na	na	na(na)	>3645	>50	0.70
11	100-33-00E	12-40-00N	25	26.5	na	na(na)	>4843	>25	0.93
20	100-36-00E	13-24-00N	50	10.6	na	na(na)	>6502	>50	1.25
21	100-53-00E	13-24-00N	30	8.7	na	na(na)	>3526	>30	0.68
Group 2									
3	100-33-00E	13-08-00N	45	17.1	15	0.289(0.392)	2700	25	0.52
5	100-21-00E	13-22-00N	40	10.4	9	0.317(na)	3020	20	0.58
18	100-05-00E	13-17-00N	50	10.3	15	0.174(0.239)	2108	40	0.41
Group3									
1	100-45-00E	13-22-00N	50	17.7	3	0.175(0.276)	1980	20	0.38
					20	0.168(0.276)	1980	40	
8	100-21-00E	13-08-00N	50	20.7	3	0.266(0.425)	3939	40	0.76
10	100-33-00E	12-54-00N	50	24.9	3	0.188(0.381)	2439	15	0.47
13	100-21-00E	12-54-00N	50	27.1	3	0.490(0.433)	2952	25	0.57
14	100-09-00E	12-54-00N	40	14.6	0	0.280(0.270)	1755	20	0.34
15	100-09-00E	12-40-00N	50	22.6	3	0.118(0.245)	2548	20	0.49
17	100-02-00E	12-48-00N	40	9.5	0	0.372(0.310)	2231	25	0.43
22	100-52-00E	13-15-00N	50	12.5	0	0.180(0.211)	964	30	0.19
23	100-51-00E	13-01-00N	50	15.6	3	0.346(0.409)	1736	40	0.34
24	100-51-00E	12-50-00N	20	14.0	0	0.195(0.114)	1229	12	0.24

na= not applicable

แท่งตะกอนอาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะการกระจายตัวของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ตามความลึก ได้แก่ 1) แท่งตะกอนซึ่งไม่แสดงการลดลงของกัมมันตภาพรังสี $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ตามความลึก หรือแท่งตะกอนซึ่งเก็บได้ไม่ลึกพอ ทำให้ได้ข้อมูลของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ไม่มากพอที่จะคำนวณอัตราทับถมของตะกอนได้ 2) แท่งตะกอนซึ่งแสดง SML จนถึงระดับหนึ่งหลังจากนั้นกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ จึงแสดงแนวโน้มลดลงตามความลึก และ 3) แท่งตะกอนซึ่งไม่แสดงหรือแสดง SML ที่ระดับตื้นมากไม่เกิน 3 ซม. หลังจากนั้นกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ตัวอย่างลักษณะการกระจายตัวของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในแท่งตะกอนของแต่ละกลุ่มแสดงใน Fig. 1(b-d)

แท่งตะกอนจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 แสดงค่าความลาดเอียง (Slope) ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ profile เป็น 2 ช่วง กล่าวคือที่ความลึกของตะกอน 3-20 และ 20-40 ซม. เมื่อวิเคราะห์อัตราทับถมของตะกอนโดยรูปแบบจำลอง CIC พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.175 และ 0.168 กรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่พบอยู่ในช่วงประมาณ 60 ปีที่แล้ว ปรากฏการณ์นี้อาจเป็นไปได้ที่มีการเลื่อนเข้ามาซ้อนกันของตะกอนบริเวณข้างเคียงที่มีอัตราตกทับถมของตะกอนใกล้เคียงกัน¹⁵

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอัตราทับถมของตะกอนแสดงใน Fig. 1 (b) พบว่าตะกอนจากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำทั้งหมดไม่สามารถหาค่าอัตราทับถมได้ พบว่าบริเวณเหล่านี้มีความลึกของน้ำไม่เกิน 10 เมตร ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 21, 20 และ 6 อัตราทับถมของตะกอนสูงสุดพบที่บริเวณกึ่งกลางอ่าวก่อนไปทางตะวันตก คือจุดเก็บตัวอย่างที่ 13 (490 กรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี) ระบบไหลวนของน้ำในอ่าวมีผลต่อการเคลื่อนที่และการตกทับถมของอนุภาคแขวนลอย¹⁶ ดังนั้นจึงอาจมีบทบาทในการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอัตราทับถมของตะกอน แนวการตกทับถมของตะกอนบริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 3, 8 และ 14 แสดงถึงอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าว อัตราทับถมของตะกอนฝั่งตะวันตกมีแนวโน้มสูงกว่าฝั่งตะวันออก ทั้งนี้อาจเนื่องจากการระบายอนุภาคแขวนลอยจากแม่น้ำและแผ่นดินสู่อ่าวไทยทางฝั่งตะวันตกมีมากกว่าฝั่งตะวันออก นอกจากนี้ การ upwelling ของน้ำชั้นล่างที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันตก¹⁷ ทำให้น้ำในแม่น้ำซึ่งพัดพาตะกอนจำนวนมากไม่สามารถผ่านบริเวณนี้ไปได้อย่างง่าย¹⁸

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอัตราทับถมของตะกอนตามช่วงเวลาแสดงไว้ใน Fig. 1(c) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ฝั่ง คือฝั่งตะวันตกมีอัตราตกทับถมของตะกอนแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 5, 8, 10, 13 และ 17 ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างที่ 14 ที่มีแนวโน้มคงที่ และฝั่งตะวันออก ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 3, 14, 22, 23 และ 24 อัตราทับถมของตะกอนมีแนวโน้มคงที่

อัตราทับถมของตะกอนที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.118-0.490 เฉลี่ย 0.260 ± 0.110 กรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี สอดคล้องกับผลการศึกษาที่กระทำไว้เมื่อ ค.ศ. 1996¹¹ ซึ่งพบว่าอัตราทับถมของตะกอนบริเวณกลางอ่าวไทยตอนบน มีค่าตั้งแต่ 0.270 – 0.490 กรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี ค่าเฉลี่ย 0.330 ± 0.100 กรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ค่าเฉลี่ยอัตราทับถมของ

ตะกอนกลางอ่าวไทยจากการศึกษาครั้งนี้นั้นอาจมีค่าสูงกว่าค่าจากการศึกษาครั้งนี้เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากเพราะตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ต่างกัน

Inventories ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก (global average)¹⁹ ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างที่ 20 และ 11 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่า global average ทั้งนี้ค่าที่สูงอาจเนื่องจากการผสมผสานของชั้นดินตะกอนและการประมาณค่า $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ ต่ำกว่าความเป็นจริง inventories ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ของจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 และ 22 มีค่าต่ำมาก (850 และ 964 เบคเคอเรล/ตารางเมตร) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พบเสมอในพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำซึ่งมักมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง²⁰ Kanitha et al (11) ศึกษาค่าเฉลี่ยของ inventories ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในอ่าวไทยตอนบน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 21 dpm/ตารางเซนติเมตร หรือ 3500 เบคเคอเรล/ตารางเมตร สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เหตุที่ inventories และรวมทั้ง fluxes ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ของตะกอนในอ่าวไทยมีค่าต่ำเนื่องจากปริมาณ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ที่เกิดจากการสลายของ ^{226}Ra มีน้อยในเขตนํ้าตื้น และประกอบกับปริมาณของฝุ่นกัมมันตรังสี ^{210}Pb ในเขต latitude ต่ำจะมีปริมาณน้อย เนื่องจากมีขนาดของพื้นที่ดินน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของมหาสมุทร¹

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลการปฏิบัติงานของนิสิตชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนและศรีราชา ภายใต้โครงการสหกิจศึกษา (สำนักงานอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ) งบประมาณที่ใช้ในการวิจัยได้รับการสนับสนุนจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน)

4. เอกสารอ้างอิง

1. Krishnaswami,S., Benninger, L.K. , Aller,R.C., von Damm,K.L. Atmospheric-derived radionuclides as a tracer of sediment mixing and accumulation in near-shore marine and lake sediment: evidence from ^7Be , ^{210}Pb and $^{239+240}\text{Pu}$. Earth and Planetary Science Letters.1980; 47:307-318.
2. Benninger, L.K., Suayah,I.B., Staley D.J. Mazola lagoon, Nile delta, Egypt: modern sediment accumulation based on radioactive tracers. Environmental Geology.1997; 34: 183-193.
3. Fuller, C.C., van Geen,A., Baskaran,M., Anima,R. Sediment chronology in San Francisco Bay, California, defined by ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs ,and $^{239+240}\text{Pu}$. Marine Chemistry. 1999; 64: 7-27.

4. Chague –Goff, C., Nichol,S.L., Jenkinson,A.V., Heijnis,H., 2000. Signatures of natural catastrophic events and anthropogenic impact in an estuarine environment, New Zealand. *Marine Geology*. 2000; 167: 285-301.
5. van den Bergh,G.D., Boer,W., De Hass,H., van Weering,Tj.C.E., Van Wijhe,R. Shallow marine tsunami deposits in Teluk Banten (NW Java, Indonesia), generated by the 1883 Krakatau eruption. *Marine Geology*. 2003: 197: 13-34.
6. Boer, W., van den Bergh,G.D., De Hass,H., de Stichter,H.C., Gieles,R., van Weering,Tj.C.E., 2006, Validation of accumulation rates in Teluk Banten (Indonesia) from commonly applied ^{210}Pb models, using the 1883 Krakatua tephra as a time marker. *Marine Geology*. 2006; 227: 263-277.
7. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย 2549. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2549
8. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2548. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ; 2548
9. Carpenter ,R., Bennett, J.T., Peterson,M.L. ^{210}Pb activities in and fluxes to sediments of the Washington continental shelf and slope. *Geochim. Cosmochim. Acta*.1981; 45:1155-1172.
10. Carpenter, R., Peterson,M.L, Bennett, J.T. ^{210}Pb -derived sediment accumulation and mixing rates for the Washington continental slope. *Mar. Geol.* 1982; 48:135-164.
11. Srisuksawad,K., Porntepkasemsan, B., Nouchpramool,P., Yamkate,P., Carpenter,R., Peterson,M.L., Hamilton,T. Radionuclide activities , geochemistry,and accumulation rates of sediments in the gulf of Thailand . *Cont. Shelf Res.* 1996; 17:925-965.
12. Pfitzner, J., Brunskill, G., Zagorskis, I. ^{137}Cs and excess ^{210}Pb deposition patterns in estuarine and marine sediment in the central region of the Great Barrier Reef Lagoon, north-eastern Australia. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2004; 76: 81-102.
13. van den Bergh G.D., Boer,W., Schaapveld, M.A.S., Duc, D.M., van Weering, Tj.C.E. Recent sedimentation and sediment accumulation rates of the Ba Lat prodelta (Red River, Vietnam). *Journal of Asian Earth Science*. 2007; 29: 545-557.
14. Kirchner G. ^{210}Pb as a tool for establishing sediment chronologies: examples of potentials and limitations of conventional dating models. *Journal of Environmental Radioactivity*.2011; 102: 490-494.

15. Heijnis, H. The principle of ^{210}Pb dating of sediment, Technical Workshop on Sediment Dating, Chulalongkorn University; lecture given 2003.
16. Kachel,N.B., Smith,J.D. Sediment transport and deposition on the Washington continental shelf. In: Landry, M.R., Hickey,B.M., editors. Coastal Oceanography of Washington and Oregon. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.; 1989.P 287-348.
17. อนุกุล บุรณะประทีปรัตน์. การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2551; 13(1):75-83.
18. Lu,X., and Matsumoto E. Recent sedimentation rates derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs methods in Ise Bay, Japan. Estuarine Coastal and Shelf Science.2005; 65: 83-93.
19. Saravana Kumar, U., Navada, S.V., Rao, S.M., Nachiappan, Rm.P., Bhishm Kumar, Krishnamoorthy, T.M., Jha, S.K., Shukla, V.K. Determination of recent sedimentation rates and pattern in Lake Naini,India by ^{210}Pb and ^{137}Cs dating techniques. Applied Radiation and Isotopes.1999; 51: 97-105.
20. Wan, G.J., Chen J.A., Wu,F.C., Xu,S.Q., Bai,Z.G., Wan, E.Y., Wang,C.S., Huang,R.G., Yeager,Y.M., Santschi,P.H. Coupling between ^{210}Pb and organic matter in sediments of a nutrient –rich lake : an example from Lake Chenghai, China. Chem.Geol. 2005; 224:223-236.