

การจัดทำข้อมูลพื้นฐานของสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย : กรณีศึกษา จังหวัด ชุมพร

สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช

*นางสาวกานต์วิไล พังษา¹ รศ.ดร.สุพิชชา จันทระโยธา¹ และดร.ยuthana ตุ่มน้อย²

¹ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0 2218 6784 โทรสาร 0 2218 6780 E-mail: Karnwalee.p@gmail.com

² สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โทรศัพท์ 0 2579 5230 ต่อ 1423 E-mail: yutthana@oaep.go.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน โดยได้ทำการตรวจวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีบีตา/แอลฟา รวม พบว่า มีอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาที่สูงสุดอยู่ที่ อ. เมือง (บ้านดอน) จ.สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 0.050 ± 0.003 cps/cm² และอัตราการปลดปล่อยรังสีบีตาที่สูงสุดอยู่ที่ อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 0.091 ± 0.001 cps/g และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี เพื่อหาความเข้มข้นกัมมันตรังสีตามธรรมชาติของ ²²⁶Ra ²²⁸Ra ⁴⁰K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น คือ ¹³⁷Cs นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-MS และเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี เพื่อหาความเข้มข้นกัมมันตรังสีของ ²³⁸U ²³⁵U และ ²³²Th พบว่าค่าสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน คือ อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช ซึ่งมีค่าเท่ากับ 69.89±0.84 Bq/kg (²²⁶Ra) 116.73±1.96 Bq/g (²²⁸Ra) 1,176.89±21.28 Bq/kg (⁴⁰K) 4.04±0.63 Bq/kg (¹³⁷Cs) 59.42 ±0.96 Bq/kg (65.55±1.35 Bq/kg, แอลฟาสเปกโตรเมตรี) (²³⁸U) 2.23±0.04 Bq/kg (2.98±0.06 Bq/kg, แอลฟาสเปกโตรเมตรี) (²³⁵U) และ 118.13±0.35 Bq/kg (126.40±0.87 Bq/kg, แอลฟาสเปกโตรเมตรี) (²³²Th) สำหรับการศึกษาดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดิน โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients, K_d) ของ ¹³⁷Cs ในที่นี้ได้ทดลองหาชนิดของตะกอนที่มีผลต่อการการดูดซับสารรังสีของตะกอน 3 ชนิด คือ ทรายหยาบ ทรายละเอียด และดินเหนียว พบว่า การดูดซับความเข้มข้นของสารรังสีในตะกอนขนาดเล็ก (< 0.002 มิลลิเมตร) มีการดูดซับได้มากกว่าตะกอนขนาดใหญ่ (> 2 มิลลิเมตร)

คำสำคัญ : แกมมาสเปกโตรเมตรี อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/บีตา รวม การดูดซับสารรังสี

Based Line Data of Natural and Artificial Radionuclides in Long Shore Sediments of the Gulf of Thailand: Case study Chumphon, Surat Thani and Nakhon Si Thammarat Provinces

Karnwalee Pangza¹, Supitcha Chanyota¹, Yutthana Tomnoi²

¹ Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phone: 0 2218 6784, Fax: 0 2218 6780, E-mail: Karnwalee.p@gmail.com

²Office of Atoms for Peace Ministry of Science and Technology

Phone: 0 2579 5230-1423 E-mail: yutthana@oaep.go.th

Abstract

The aim of this research was to measure natural and artificial radionuclides in long shore sediments of Prachuap Khiri Khan, Chumphon, Surat Thani and Nakhon Si Thammarat provinces in order to establish baseline data. This research was measured the gross emission rate of alpha/beta. It was found that the highest gross alpha emission rate was 0.050 ± 0.003 cps/cm² at Amphoe Muaeng (Bandon), Surat Thani Province, whereas the highest gross beta emission rate was found to be 0.091 ± 0.001 cps/g at Amphoe Sichon, Nakhon Si Thammarat Province. Measurement of the activity concentration due to ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ⁴⁰K (naturally occurring radionuclides) and ¹³⁷Cs (artificial radionuclide) in sediment sample was performed by gamma-spectrometry, and ²³⁸U, ²³⁵U and ²³²Th concentrations were analyzed by ICP-MS and alpha-spectrometry. The maximum activity concentration of analyzed radionuclides in sediment samples were found at Amphoe Sichon, Nakhon Si Thammarat Province, which were: 69.89 ± 0.84 Bq/kg for ²²⁶Ra, 116.73 ± 1.96 Bq/g for ²²⁸Ra, $1,176.89 \pm 21.28$ Bq/kg for ⁴⁰K, 4.04 ± 0.63 Bq/kg for ¹³⁷Cs, 59.42 ± 0.96 Bq/kg (65.55 ± 1.35 Bq/kg, alpha-spectrometry) for ²³⁸U, 2.23 ± 0.04 Bq/kg (2.98 ± 0.06 Bq/kg, alpha-spectrometry) for ²³⁵U and 118.13 ± 0.35 Bq/kg (126.40 ± 0.87 Bq/kg, alpha-spectrometry) for ²³²Th. The absorption behavior of ¹³⁷Cs radionuclide in sediment was also investigated. The distribution coefficient, K_d , of ¹³⁷Cs was carried out in three sediment types namely very coarse sand, fine sand and clay. The K_d value in small (< 0.002 mm) sediment particles was found to be significantly higher than that of coarse particles (< 2 mm).

Keywords: gamma-spectrometry, gross alpha/beta, distribution coefficient

1. บทนำ

บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ตั้งแต่จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ที่ได้มีการศึกษาพบว่ามีศักยภาพเป็นที่ตั้งอุตสาหกรรมหนักของประเทศ เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และโรงงานถลุงแร่ ซึ่งถ้ามีกิจกรรมดังกล่าวเหล่านี้ เกิดขึ้นในพื้นที่อาจจะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำทะเล ตะกอนดิน พืช และสัตว์น้ำได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ควรศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลรังสีพื้นหลัง (background radiation) และพื้นฐาน (base line data) ของบริเวณพื้นที่ดังกล่าว การศึกษานี้มุ่งเน้นการจัดทำข้อมูลรังสีพื้นฐาน (base line data) ในตะกอนดินชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช

2. วิธีการ

2.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

สถานที่เก็บตัวอย่างตะกอนดิน เก็บตัวอย่างตะกอนดินโดยใช้เครื่องมือเก็บตะกอนแบบจ้วง โดยแต่ละจังหวัดทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุด ซึ่งในแต่ละจุดได้ออกแบบวิธีการเก็บตะกอนดินในตำแหน่งที่ห่างจากชายหาดตัวอย่างละ 1 กิโลเมตร ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ในแต่ละจังหวัด ทำให้ได้ตัวอย่างตะกอนดินจำนวน 18 ตัวอย่าง ในแต่ละจังหวัด ซึ่งพื้นที่ศึกษาที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพ แบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ คือ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช

การเตรียมตัวอย่างนำตัวอย่างตะกอนดินไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 6 ชม. หรือจนตัวอย่างแห้ง นำมาบดให้ละเอียด และร่อนด้วยตะแกรง หลังจากนั้นจึงนำไปดำเนินการวิจัยต่างๆ

2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 การตรวจวัดรังสีแอลฟา/บีตา รวม^[1] ด้วยหัววัดรังสีแอลฟา-บีตา ระดับแบบกราวด์ต่ำชนิด Gas Flow Proportional Counter รุ่น LB770 Win ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

2.2.2 การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ ^{226}Ra ^{228}Ra ^{40}K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น ^{137}Cs โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)

2.2.3 การตรวจวัด ^{235}U ^{238}U และ ^{232}Th ด้วยเทคนิค ICP-MS^[2] และเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี^[3] โดยหัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) Detector ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

2.2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสีของตะกอนดิน ในที่นี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. หาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสี^[4] โดยเตรียมตะกอนดินชนิดทรายหยาบและทรายละเอียด ปริมาตร 200 mg/1 ซึ่งเป็นค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยของอ่าวไทย^[5] มาเติมลงในน้ำทะเลปริมาตร 400 ml จากนั้นเติมสารละลาย ^{137}Cs ปริมาตร 0.8 ml (activity = 65.12 Bq) ในทุกตัวอย่าง เขย่าสารนานประมาณเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแยกตะกอนออกจากน้ำทะเลโดยเครื่องเหวี่ยงตะกอน (centrifuge) ที่ 6,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จึงนำน้ำปริมาตร 200 ± 2 ml ไปวัดปริมาณรังสีแกมมาโดยใช้เวลาในการนับวัด 1 ชั่วโมง

2. หาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับสารรังสี โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอย ซึ่งได้กำหนดเวลาในการเขย่าโดยอาศัยผลที่ได้จากข้อที่ 1 และนำไปคำนวณหาค่า K_d เริ่มโดยการนำตะกอนแขวนลอยชนิด ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และ ดินเคลย์

มาซึ่งที่น้ำหนักต่าง ๆ ตั้งแต่ 10 mg/l ถึง 150 mg/l ใส่ลงในน้ำทะเลปริมาตร 400 ± 2 ml เติม ^{137}Cs ปริมาตร 0.8 ml ในทุกตัวอย่าง นำมาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าไฟฟ้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาแยกตะกอนออกจากน้ำทะเลและวัดปริมาณรังสีเหมือนกับข้อที่ 1 หลังจากนั้นจึงวัดความแรงรังสี ^{137}Cs จากตะกอนแขวนลอยที่กรองผ่านกระดาษกรองแล้ว จึงนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่า K_d

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและบีตา รวมเฉลี่ย ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากผลดังตารางที่ 1 พบว่า พื้นที่ที่มีแนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาสูงสุดเฉลี่ย ที่บริเวณ อ.เมือง (บ้านดอน) จ.สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.003 cps/cm² และพื้นที่ที่มีแนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยรังสีบีตาสูงสุดเฉลี่ยที่บริเวณ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 0.09 ± 0.001 cps /g

ตารางที่ 1 ผลของค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและบีตา รวมในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	Net Beta (cps/g)	Net Alpha (cps/cm ²)
อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์	0.033 ± 0.001	0.010 ± 0.001
อ.ประทิว จ.ชุมพร	0.043 ± 0.001	0.019 ± 0.002
อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี	0.057 ± 0.001	0.027 ± 0.002
อ.เมือง (บ้านดอน) จ.สุราษฎร์ธานี	0.079 ± 0.001	0.050 ± 0.003
อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช	0.091 ± 0.001	0.044 ± 0.003

3.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ^{226}Ra ^{228}Ra ^{40}K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น ^{137}Cs ในตะกอนดิน

ตารางที่ 2 ผลของค่าเฉลี่ยธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ^{226}Ra ^{228}Ra ^{40}K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น ^{137}Cs ในตะกอนดิน

พื้นที่ศึกษา	กัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์	21.34 ± 0.50	38.98 ± 1.00	230.41 ± 6.30	<LLD
อ.ประทิว จ.ชุมพร	22.46 ± 0.50	38.60 ± 1.00	276.02 ± 6.60	0.61 ± 0.30
อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี	20.17 ± 0.60	33.14 ± 1.00	463.84 ± 10.10	0.59 ± 0.20
อ.เมือง (บ้านดอน) จ.สุราษฎร์ธานี	36.08 ± 0.70	60.73 ± 1.50	565.00 ± 12.70	1.28 ± 0.60
อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช	42.09 ± 0.70	61.52 ± 1.40	624.68 ± 12.60	1.14 ± 0.30

จากผลดังตารางที่ 2 ของความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี ^{226}Ra ^{228}Ra ^{40}K สูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่บริเวณ อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 42.09 ± 0.65 Bq/kg 61.52 ± 1.37 Bq/kg และ 624.68 ± 12.61 Bq/kg ตามลำดับ ส่วนค่า ^{137}Cs มีค่าสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่บริเวณ อ.เมือง (บ้านคอน) จ.สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 1.28 ± 0.56 Bq/kg

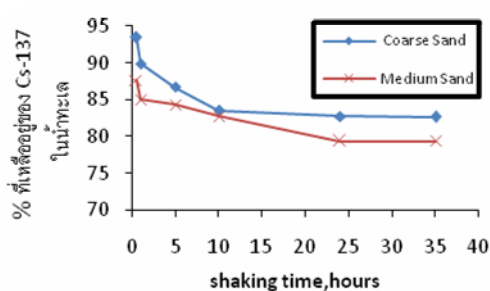
3.3 ผลจากการวิเคราะห์ ^{238}U ^{235}U และ ^{232}Th ได้เลือกตัวอย่างที่มีปริมาณของ ความแรงรังสีของ ^{226}Ra ^{228}Ra ที่มีค่ามากมาวิเคราะห์ปริมาณ ^{238}U ^{235}U และ ^{232}Th ดำเนินการโดยใช้เครื่อง ICP-MS

พบว่าแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ^{238}U ^{235}U และ ^{232}Th พบค่าสูงสุดที่ อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 59.42 ± 0.96 Bq/kg, 2.23 ± 0.04 Bq/kg และ 118.13 ± 0.35 Bq/kg ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี พบว่าค่าที่ได้นั้นมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยค่า ^{238}U ^{235}U และ ^{232}Th สูงสุดมีค่าเท่ากับ 65.55 ± 1.35 Bq/kg 2.98 ± 0.06 Bq/kg และ 126.40 ± 0.87 Bq/kg ตามลำดับ

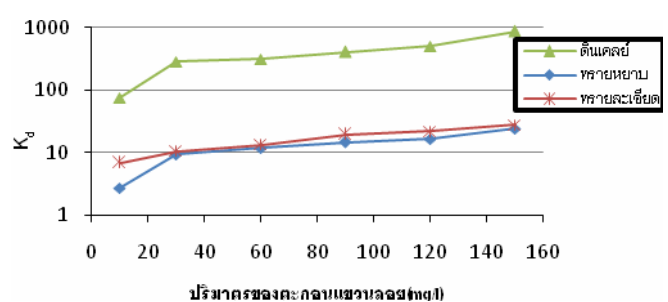
3.4 การศึกษาการดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดิน โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients, K_d)

1. หาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสี

ผลจากการหาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสีของ ^{137}Cs ในตะกอนดินชนิดทรายกรวดและทรายขนาดกลางในน้ำทะเล ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการเขย่าสารตัวอย่างผ่านไปประมาณ 24 ชั่วโมง จะพบความสมดุลเกิดขึ้น ดังนั้นการดูดซับ ^{137}Cs จะคงที่ในช่วงเวลาระหว่าง 24 ถึง 35 ชั่วโมง พบว่า การดูดซับสารกัมมันตรังสีของตะกอนดินจะเริ่มคงที่เพราะฉะนั้นเวลาความสมดุลของ 24 ชั่วโมงเป็นเวลายาวเพียงพอสำหรับการเขย่า



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารรังสีกับเวลาในการเขย่าตัวอย่างตะกอนแวนลอย



รูปที่ 2 ค่า K_d ของตะกอนแวนลอย 3 ชนิดที่ใช้ในการศึกษา

2. หาปริมาณตะกอนแวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับสารรังสี

จากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า ค่า K_d ของตะกอนแวนลอยที่มีปริมาณ 10 mg/l ถึง 150 mg/l มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามปริมาณของตะกอนแวนลอยที่เพิ่มมากขึ้น และตะกอนแวนลอย

ต่างชนิดกันมีผลต่อค่า K_d โดยพบว่า ตะกอนดินเหนียวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของสารรังสีมากกว่าตะกอนของทรายหยาบและทรายละเอียดที่มีน้ำหนักที่เท่ากัน และพบว่า ดินเหนียวมีการดูดซับสารรังสีซีเซียมได้มากกว่า (ค่า K_d สูงกว่า) ทรายหยาบและทรายละเอียดเกือบ 10 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากดินเหนียวมีอนุภาคของตะกอนขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับสารรังสีได้มากกว่า ทรายหยาบและทรายละเอียด นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่า ตะกอนชนิดเหนียว มีแนวโน้มการดูดซับของสารรังสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีปริมาณของตะกอนแขวนลอยสูงกว่า 150 mg/l

4. สรุป

จากการวิเคราะห์ในการหาความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้น โดยเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้ออกมาเป็นแนวโน้มไปในทางเดียวกันว่าปริมาณสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษาที่จังหวัดนครราชสีมาปริมาณสารกัมมันตรังสีมากที่สุด

จากผลสำรวจดินในประเทศไทยมีค่ากัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี ^{226}Ra เฉลี่ยอยู่ในช่วง 11-78 Bq/kg มี ^{40}K มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-712 Bq/kg มี ^{238}U เฉลี่ยอยู่ในช่วง 3-370 Bq/kg และมี ^{232}Th เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-120 Bq/kg ขณะที่ค่าเฉลี่ยของธาตุกัมมันตรังสี ^{226}Ra และ ^{40}K ในดินจากทั่วโลก เท่ากับ 32 และ 420 Bq/kg มี ^{238}U และ ^{232}Th ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 33 และ 45 Bq/kg [UNSCEAR,2000][6] ซึ่งผลของตะกอนดินจากพื้นที่ศึกษามีปริมาณ ^{226}Ra อยู่ในค่าเฉลี่ยดังกล่าว ส่วน ^{40}K มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของดินในไทยและจากทั่วโลก และ ^{238}U ^{232}Th อยู่ในค่าเฉลี่ยของดินในไทย แต่สูงกว่าดินจากทั่วโลก

การศึกษาการดูดซับสารรังสีจะใช้ค่า K_d เป็นดัชนีบ่งชี้ความแตกต่างของตะกอนดินต่อการดูดซับสารรังสี ซึ่งพบว่าขนาดของตะกอนและปริมาณตะกอนแขวนลอยโดยเฉพาะตะกอนที่มีขนาดเล็ก มีผลต่อการดูดซับสารกัมมันตรังสี กล่าวคือ ตะกอนขนาดเล็กจะมีค่า K_d สูงกว่าตะกอนขนาดใหญ่และพบว่าตะกอนขนาดเล็กที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 10-150 mg/l จะพบการเปลี่ยนแปลงของค่า K_d อย่างชัดเจน ในขณะที่ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่พบการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อมีปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับปริญญาโทสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในโครงการ Nuclear Power

Plant Feasibility Study ที่ช่วยในการเก็บตัวอย่างงานวิจัย และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตะกอนแขวนลอยในอ่าวไทย

7. เอกสารอ้างอิง

1. พรศรี พลพงษ์, ยวีพร ปัญญาทิพย์สกุล, ธวัชชัย อธิธิพนธกร และ บุทธนา ตุ่มน้อย. การตรวจวัดกัมมันตรังสี รอบศูนย์วิจัยนิวเคลียร์อรรถกรักษ์ ก่อนการดำเนินกิจกรรมทางรังสี ตั้งแต่ พ.ศ. 2537-2541. กรุงเทพมหานคร. : สำนักพิมพ์สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2546.
2. Melakua, S., T. W., Damsa, R. and Moensa, L. Multi-element Analysis of Tinshu Akaki River sediment Ethiopia by ICP-MS after Microwave Assisted Digestion. Journal of Analytical Sciences and Spectroscopy 50 (2005): 31-40.
3. William, C. Burnett. Modern Methods in Alpha Spectrometry. Florida: Florida State University, (n.d.).
4. McDonald, P. and Johnston, K. The distribution coefficient of Co-60 in sediments from the Solway Firth. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 220 (September 1996): 9-13.
5. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ. รายงานผลการสำรวจครั้งที่ 1 โครงการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ปี 2552. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
6. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with scientific annexes, United Nations. Available