

การวัดสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัด  
ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน



นางสาวกานต์วลี พังซา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN LONG  
SHORE SEDIMENTS OF PRACHUAP KHIRI KHAN, CHUMPHON, SURAT THANI  
AND NAKHON SI THAMMARAT PROVINCES FOR BASED LINE DATA



Miss Karnwalee Pangza

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นใน  
ตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี  
และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน

โดย

นางสาวกานต์วลี พังชา

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทโรยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทโรยธา)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....  
(ดร. ยุทธนา ตุ่มน้อย)

กานต์วลี พงษ์ชา : การวัดสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน (DETERMINATION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN LONG SHORE SEDIMENTS OF PRACHUAP KHIRI KHAN, CHUMPHON, SURAT THANI AND NAKHON SI THAMMARAT PROVINCES FOR BASED LINE DATA) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทร์โยธา, 126 หน้า.

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

ภาควิชา...นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต..... กานต์วลี พงษ์ชา .....  
 สาขาวิชา...นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2553.....

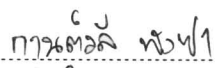
## 5170216221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : GAMMA-SPECTROMETRY / GROSS ALPHA/BETA / ICP-MS / BETA-SPECTROMETRY / DISTRIBUTION COEFFICIENT


KARNWALEE PANGZA : DETERMINATION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN LONG SHORE SEDIMENTS OF PRACHUAP KHIRI KHAN, CHUMPHON, SURAT THANI AND NAKHON SI THAMMARAT PROVINCES FOR BASED LINE DATA. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. SUPITCHA CHANYOTA, Ph.D., 126 pp.

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 conducted to measure the gross emission rate of alpha/beta. It was found that the highest gross alpha emission rate was  $0.050 \pm 0.003$  cps/cm<sup>2</sup> at Amphoe Bandon, Surat Thani Province, whereas the highest gross beta emission rate was found to be  $0.091 \pm 0.001$  cps/g in Amphoe Sichon, Nakhon Si Thammarat Province. Measurement of the activity concentration due to <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K (naturally occurring radionuclides) and <sup>137</sup>Cs (artificial radionuclide) in sediment samples was performed by gamma-spectrometry, and <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U and <sup>232</sup>Th 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:  $69.89 \pm 0.84$  Bq/kg for <sup>226</sup>Ra,  $116.73 \pm 1.96$  Bq/g for <sup>228</sup>Ra,  $1,176.89 \pm 21.28$  Bq/kg for <sup>40</sup>K,  $4.04 \pm 0.63$  Bq/kg for <sup>137</sup>Cs,  $59.42 \pm 0.96$  Bq/kg ( $65.55 \pm 1.35$  Bq/kg, alpha-spectrometry) for <sup>238</sup>U,  $2.23 \pm 0.04$  Bq/kg ( $2.98 \pm 0.06$  Bq/kg, alpha-spectrometry) for <sup>235</sup>U and  $118.13 \pm 0.35$  Bq/kg ( $126.40 \pm 0.87$  Bq/kg, alpha-spectrometry) for <sup>232</sup>Th. The absorption behavior of <sup>137</sup>Cs radionuclide in sediment was also investigated. The distribution coefficient,  $K_d$ , of <sup>137</sup>Cs 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)

Department : ..... Nuclear Technology.....

Student's Signature 

Field of Study : ... Nuclear Technology.....

Advisor's Signature 

Academic Year : ... 2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร. สุพิชชา จันทรโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ยุทธนา ตุ่มน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วมสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะ ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งได้ตรวจทาน แก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยีทุกท่าน

ขอขอบคุณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับปริญญาโท

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในโครงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Nuclear Power Plant Feasibility Study) 2009 และ บริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ช่วยในการเก็บตัวอย่างงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณธีรวิฑู ปีกขาว เจ้าหน้าที่ กลุ่มประเมินค่าปริมาณรังสีจากภายในร่างกาย สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู และ เจ้าหน้าที่ส่วนงานกลุ่มเฝ้าตรวจกัมมันตภาพรังสี ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์เครื่องมือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตะกอนแขวนลอยในอ่าวไทย

ขอขอบคุณ คุณชุติมา กรานรอด คุณรวีวรรณ กฤษณวัตร คุณนภากาญจน์ สุวรรณคต และ คุณพงษ์ยุทธ ศรีพลอย ที่ช่วยสอนการใช้เครื่องมือการทดลองพร้อมทั้งเทคนิคต่างๆ และ คำแนะนำตลอดการทำงานวิจัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน และเพื่อนๆทุกคน ในภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆด้านด้วยความรักและห่วงใย จนกระทั่งการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2 ทฤษฎี.....	8
2.1 แหล่งกำเนิดของรังสี.....	8
2.1.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ.....	8
2.1.2 แหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น.....	15
2.1.3 ปริมาณรังสีในธรรมชาติ.....	17
2.2 ไอโซโทปยูเรเนียมและทอเรียมในน้ำทะเล.....	18
2.2.1 ยูเรเนียมในน้ำทะเล.....	18
2.2.2 ทอเรียมในน้ำทะเล.....	19
2.3 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งแวดล้อม.....	20
2.3.1 โปแทสเซียม.....	20
2.3.2 เรเดียม.....	21
2.3.3 ซีเซียม.....	22
2.4 สมดุลกัมมันตรังสี.....	24
2.4.1 สมดุลแบบทรานเซียนต์.....	24

2.4.2	สมดุลเชคูลาร์.....	25
2.4.3	ไม่มีสมดุลทางรังสี.....	23
2.5	ระบบการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
2.5.1	ระบบเทคนิคการวัดรังสีแอลฟารวมและรังสีเบตารวม.....	28
2.5.2	ระบบวิเคราะห์การวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี.....	29
2.5.3	ระบบการวิเคราะห์ธาตุ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$ .....	31
2.5.4	เทคนิคการหาค่า Distribution Coefficients, $K_d$ .....	32
3	วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
3.1	วัสดุและสารเคมี.....	35
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	37
3.3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	39
4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	63
4.1	ค่าการวิเคราะห์อัตราการผลิตปล่อยรังสีแอลฟารวมและบีตารวม.....	63
4.2	ค่าการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{40}\text{K}$ และที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ .....	71
4.3	เทคนิคที่ใช้การวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$ .....	83
4.4	การศึกษาการดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดิน โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจก แจง (Distribution Coefficients, $K_d$ ).....	84
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	88
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	100
	รายการอ้างอิง.....	102
	ภาคผนวก.....	105
	ภาคผนวก ก.....	106
	ภาคผนวก ข.....	121
	ภาคผนวก ค.....	124
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	126



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิต และปริมาณที่พบในธรรมชาติ.....	8
ตารางที่ 2.2	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมทอเรียม.....	9
ตารางที่ 2.3	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม.....	10
ตารางที่ 2.4	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมแอกทิเนียม.....	11
ตารางที่ 2.5	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมเนปทูเนียม.....	12
ตารางที่ 2.6	นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมการสลายตัว.....	13
ตารางที่ 2.7	ตัวอย่างนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากรังสีคอสมิกทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์ต่าง ๆ (target nuclide) ที่ในบรรยากาศโลก.....	15
ตารางที่ 2.8	ตัวอย่างนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น.....	17
ตารางที่ 2.9	ชนิดของธาตุกัมมันตรังสี และกัมมันตภาพจากพื้นดินเนื้อที่ 1 ตารางไมล์.....	18
ตารางที่ 2.10	นิวไคลด์กัมมันตรังสีของค่า Distribution Coefficients, $K_d$ ( $mlg^{-1}$ ) (adapted from IAEA,1982a.) .....	33
ตารางที่ 2.11	การแบ่งชนิดของตะกอนดินตามขนาดของเม็ดดิน.....	34
ตารางที่ 3.1	พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ และ อ.ประทิว จ.ชุมพร.....	43
ตารางที่ 3.2	พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา อ.ท่าชนะ และ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี.....	44
ตารางที่ 3.3	พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช.....	45
ตารางที่ 3.4	ค่าตะกอนแขวนลอยช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนของพื้นที่ศึกษา.....	58
ตารางที่ 3.5	ค่าการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain size distribution).....	59
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์.....	64
ตารางที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.ประทิว จ.ชุมพร.....	66
ตารางที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี.....	67
ตารางที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี.....	69

ตารางที่ 4.5	ผลจากการวิเคราะห์อัตราการผลิตปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.ลีซล จ.นครศรีธรรมราช.....	70
ตารางที่ 4.6	ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ ที่ อ. บางสะพาน-น้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์.....	72
ตารางที่ 4.7	ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ ที่ อ. ประทิว จ.ชุมพร.....	74
ตารางที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ ที่ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี.....	76
ตารางที่ 4.9	ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ ที่ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี.....	78
ตารางที่ 4.10	ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ ที่ อ.ลีซล จ. นครศรีธรรมราช.....	80
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ในธรรมชาติ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ ในพื้นที่ศึกษาข้อมูลกับรายงาน ในเอกสารทางวิชาการอื่น ๆ.....	82
ตารางที่ 4.12	การวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$ โดยเทคนิค ICP-MS.....	83
ตารางที่ 4.13	การวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$ โดยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี.....	84
ตารางที่ 4.14	ผลของเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสี.....	85
ตารางที่ 4.15	ผลการหาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับสารรังสี.....	86
ตารางที่ 5.1	ผลจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม ในพื้นที่ศึกษา.....	88
ตารางที่ 5.2	ผลการวิเคราะห์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{40}\text{K}$ และที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$ ในพื้นที่ศึกษา.....	91

## สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	บริเวณพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่ง.....	3
รูปที่ 2.1	แผนภาพการแสดงอนุกรมกาสลายตัวของ U-238 Th-232.....	14
รูปที่ 2.2	แผนผังการสลายตัวของ <sup>137</sup> Cs.....	23
รูปที่ 2.3	ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์.....	27
รูปที่ 2.4	ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์.....	27
รูปที่ 2.5	ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี.....	28
รูปที่ 2.6	ไดอะแกรมของหัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ.....	29
รูปที่ 2.7	(ก) และ (ข) ความสัมพันธ์ของค่าอัตราการนับรังสีเบตาและแอลฟา ต่อน้ำหนักของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น.....	29
รูปที่ 2.8	แผนผังของระบบวัดรังสีแกมมา.....	29
รูปที่ 2.9	แผนผังของเครื่องมือ ICP-MS.....	31
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของหัววัดกึ่งตัวนำแบบ PIPS.....	32
รูปที่ 3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	40
รูปที่ 3.2	บริเวณตำแหน่งพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน.....	42
รูปที่ 3.3	การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน.....	46
รูปที่ 3.4	เครื่องบดสารตัวอย่างพร้อมโอบดตัวอย่าง.....	46
รูปที่ 3.5	จานวัดรังสี.....	47
รูปที่ 3.6	ตัวอย่างตะกอนดินบรรจุลงในจานวัด.....	47
รูปที่ 3.7	สารมาตรฐานรังสีปีตารวม.....	48
รูปที่ 3.8	สารมาตรฐานรังสีแอลฟารวม.....	48
รูปที่ 3.9	ระบบวัดรังสีแอลฟา-บีตา ระดับแบบควารด์ต่ำชนิด Gas Flow- Proportional Counter.....	48
รูปที่ 3.10	แผนผังแสดงการวัดรังสีแกมมาของสารตัวอย่างภายในอุปกรณ์กำบังรังสี.....	59
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาที่วัดได้จากตัวอย่างตะกอนดิน.....	50
รูปที่ 3.12	แผนผังหาค่าความแรงรังสีจำเพาะ <sup>226</sup> Ra, <sup>228</sup> Ra, <sup>40</sup> K และ <sup>137</sup> Cs.....	51
รูปที่ 3.13	ก) ภาพขณะบรรจุ ข) ตัวอย่างที่เตรียมพร้อมสำหรับการวัดรังสี.....	52
รูปที่ 3.14	ระบบวัดรังสีแกมมาของ Ortec.....	52
รูปที่ 3.15	ระบบวัดรังสีแกมมาของ Canberra.....	53
รูปที่ 3.16	เครื่องวัดแอลฟาสเปกโตรเมตรีแบบ Pass Implanted Plannow Detector.....	57

รูปที่ 3.17	แนวโน้มการกระจายตัวของขนาดตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	60
รูปที่ 3.18	เครื่องเขย่า รุ่น Gerhardt Bonm type LS2.....	62
รูปที่ 3.19	เครื่อง centrifuge รุ่น Rotofix 32A.....	62
รูปที่ 4.1	การเปรียบเทียบค่ารังสีปีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์.....	64
รูปที่ 4.2	การเปรียบเทียบค่ารังสีปีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.ประทิว จ.ชุมพร.....	65
รูปที่ 4.3	การเปรียบเทียบค่ารังสีปีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี.....	67
รูปที่ 4.4	การเปรียบเทียบค่ารังสีปีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี.....	68
รูปที่ 4.5	การเปรียบเทียบค่ารังสีปีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช.....	70
รูปที่ 4.6	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ ในตะกอนดิน อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์.....	71
รูปที่ 4.7	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{137}\text{Cs}$ ในตะกอนดิน อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์.....	72
รูปที่ 4.8	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ ในตะกอนดิน อ.ประทิว จ.ชุมพร.....	73
รูปที่ 4.9	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{137}\text{Cs}$ ในตะกอนดิน อ.ประทิว จ.ชุมพร....	74
รูปที่ 4.10	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ ในตะกอนดิน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี.....	75
รูปที่ 4.11	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{137}\text{Cs}$ ในตะกอนดิน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี.....	76
รูปที่ 4.12	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ ในตะกอนดิน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี.....	77
รูปที่ 4.13	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{137}\text{Cs}$ ในตะกอนดิน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี.....	78
รูปที่ 4.14	ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ และ $^{40}\text{K}$ ในตะกอนดินของ อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช.....	79

รูปที่ 4.15 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี Cs-137 ในตะกอนดิน อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช.....	80
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารรังสีกับเวลาในการเขย่าตัวอย่าง ตะกอนแขวนลอย.....	85
รูปที่ 4.17 ค่า $K_d$ ของตะกอนแขวนลอย 3 ชนิดที่ใช้ในการศึกษา.....	86
รูปที่ 5.1 ค่าอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟารวมของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	89
รูปที่ 5.2 ค่าอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตารวมของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	90
รูปที่ 5.3 แผนที่กัมมันตภาพรังสียูเรเนียม.....	92
รูปที่ 5.4 แผนที่กัมมันตภาพรังสีทอเรียม.....	93
รูปที่ 5.5 แผนที่กัมมันตรังสีโปแตสเซียม.....	94
รูปที่ 5.6 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ $^{226}\text{Ra}$ ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	95
รูปที่ 5.7 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ $^{228}\text{Ra}$ ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	96
รูปที่ 5.8 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ $^{40}\text{K}$ ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	97
รูปที่ 5.9 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ $^{137}\text{Cs}$ ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา.....	98

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ตั้งแต่จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ที่ได้มีการศึกษาพบว่ามีศักยภาพเป็นที่ตั้งอุตสาหกรรมหนักของประเทศ เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และโรงงานถลุงแร่ ซึ่งถ้ามีกิจกรรมดังกล่าวเหล่านี้เกิดขึ้น ในพื้นที่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำทะเล ตะกอนดิน พีช และสัตว์น้ำได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ควรศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลรังสีพื้นหลัง (Background radiation) และพื้นฐาน (Based line data) ของบริเวณพื้นที่ดังกล่าว การศึกษานี้มุ่งเน้นการจัดทำข้อมูลรังสีพื้นฐาน (Based line data) ในตะกอนดินชายฝั่งของพื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ตามพื้นที่ที่แสดงในรูปที่ 1.1 ข้อมูลพื้นฐานนี้ประกอบด้วย ปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้น

ในน้ำทะเลและตะกอนดินมหาสมุทรจะปรากฏสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่เกิดมาพร้อมกับกาเกิดโลก ในน้ำทะเลจะพบธาตุกัมมันตรังสีโปแตสเซียม-40 อยู่มากกว่าตะกอนดิน แต่ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของดินและพื้นที่ ต้นกำเนิดรังสีตามธรรมชาติส่วนใหญ่ของตะกอนดินจะมาจากแร่ธาตุและหิน ซึ่งที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ ธาตุยูเรเนียม ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ), ธาตุทอเรียม ( $^{232}\text{Th}$ ) และธาตุโปแตสเซียม ( $^{40}\text{K}$ ) และธาตุกัมมันตรังสีลูกหลานที่เกิดจากการสลายตัว ที่สำคัญ คือ เรเดียม เรดอน และตะกั่ว ในตะกอนดินอาจจะพบธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น เนื่องมาจากฝุ่นละอองรังสีจากการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ในต่างประเทศ ได้แก่ ธาตุซีเซียม ( $^{137}\text{Cs}$ )

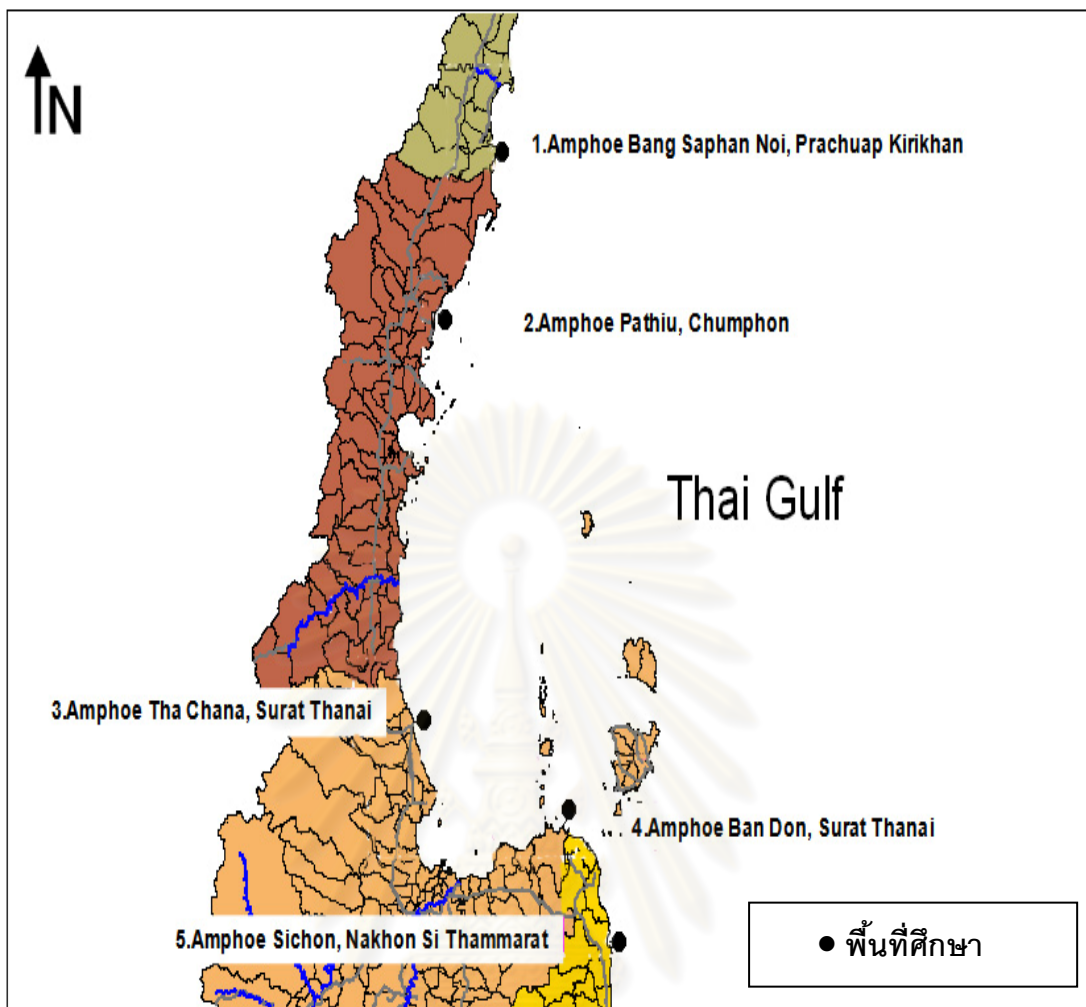
ปัจจุบันธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ เช่น  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  และธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดจากผลกระทบของการทดลองอาวุธนิวเคลียร์หรือจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เชอร์โนบีลอย่างซีเซียม-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) ได้ถูกนำมาศึกษาและก่อให้เกิดงานวิจัยต่างๆมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานทางด้านสิ่งแวดล้อม เราสามารถนำเอาค่าปริมาณของซีเซียม-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) ในดินที่ชั้นความลึกต่างๆ เป็นตัวชี้วัดการทับถมหรือพัดพาของดินตะกอน ซึ่งสามารถบอกได้ว่าดินหรือพื้นที่บริเวณนั้นถูกรบกวนหรือไม่ ปริมาณธาตุกัมมันตรังสีอื่นๆ เช่นปริมาณโปแตสเซียม-40 ( $^{40}\text{K}$ ) ในดินนั้นสามารถเป็นตัวชี้บอกได้ว่า ณ ที่บริเวณนั้นมีกิจกรรมทางการเกษตรเกิดขึ้นหรือไม่

โดยหากปริมาณสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง ก็อาจสันนิษฐานได้ว่า ณ ที่บริเวณนั้นมีการใส่ปุ๋ยเพื่อทำกิจกรรมทางการเกษตร เป็นต้น

นอกจากนี้  $^{226}\text{Ra}$  ในสิ่งแวดล้อม เช่น ในดิน ในน้ำ ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานว่าพื้นที่บริเวณนั้นหรือแหล่งน้ำนั้นเหมาะที่จะเป็นที่อยู่อาศัยหรือเหมาะที่จะใช้ในการอุปโภคบริโภคหรือไม่ เนื่องด้วยเรดอน-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) อันเป็นนิวไคลด์ลูกซึ่งเกิดจากการสลายตัวของธาตุ  $^{226}\text{Ra}$  นั้น มีสถานะก๊าซและเป็นสารกัมมันตรังสีที่ยังจะสลายตัวต่อไปให้ตะกั่ว-214 ( $^{214}\text{Pb}$ ) และบิสมัท-214 ( $^{214}\text{Bi}$ ) ตามลำดับ ซึ่งหากร่างกายได้รับรังสีจากธาตุเหล่านี้เข้าไปในปริมาณมากโดยเฉพาะเรดอน-222 ซึ่งผ่านเข้าภายในร่างกายทางระบบหายใจได้ง่าย อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดและเนื้อเยื่อระบบหายใจถูกทำลาย เนื่องจากเรดอน-222 นอกจากจะสลายตัวให้รังสีแกมมาแล้วยังสลายตัวให้รังสีแอลฟาซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งหากได้รับเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีการตรวจวัดรังสีเพื่อติดตามตรวจสอบดูว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ในดิน น้ำ อากาศ ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะพื้นที่ ภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม และกิจกรรมไม่ว่าจะโดยฝีมือมนุษย์หรือจากธรรมชาติที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งผลจากการศึกษาและวิจัยจะเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการเข้าใจธรรมชาติและใช้ในการฟื้นฟูพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งจะยังเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญเพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อการประเมินและป้องกันอันตราย จากรังสีต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชน จากการศึกษาหาปริมาณสารกัมมันตรังสีในตะกอนดินตามพื้นที่ต่างๆ ในชายฝั่งทะเล

ในการศึกษานี้ได้กำหนดบริเวณพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่งใน 4 จังหวัด คือ ประจวบคีรีขันธ์ อำเภอบางสะพานน้อย, ชุมพร อำเภอประทิว, สุราษฎร์ธานี อำเภอท่าชนะ และอำเภอบ้านดอน, นครศรีธรรมราช อำเภอสิชล ดังแสดงในรูปที่ 1.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 บริเวณพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่ง [1]

## อ่าวไทย

อ่าวไทยตั้งอยู่ระหว่าง Lat  $5^{\circ} 00'$  ถึง  $13^{\circ} 30'N$  และ Long.  $99^{\circ} 00'$  ถึง  $106^{\circ} 00'E$  อ่าวไทยจัดเป็นส่วนหนึ่งของไหลทวีปซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับทะเลจีนใต้ ตัวอ่าวมีความยาวทั้งสิ้น 720 กิโลเมตร มีชายฝั่งทะเล 2900 กิโลเมตร ส่วนที่ลึกประมาณ 84 เมตร บริเวณส่วนกลางของอ่าวมีความลึกโดยเฉลี่ยมากกว่า 60 เมตร น้ำทะเลในอ่าวถูกแบ่งแยกออกจากน้ำทะเลจากทะเลจีนใต้ด้วยสันตะกอน (Ridge) ที่ระดับความลึก 25 และ 50 เมตร อ่าวไทยแบ่งออกเป็น สองส่วน คือ อ่าวไทยตอนในและอ่าวไทยตอนนอก อ่าวไทยตอนในมีลักษณะเป็นอ่าวเล็ก ๆ กึ่งปิด (semi-enclosed) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตั้งอยู่ระหว่าง Lat  $12^{\circ} 30'$  ถึง  $13^{\circ} 30'N$  อ่าวไทยตอนในครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด  $90 \times 90$  ตารางกิโลเมตร การแลกเปลี่ยนของน้ำในอ่าวไทยตอนในกับอ่าวไทยตอนนอกเป็นไปได้ได้น้อยและมีข้อจำกัด ขณะที่อ่าวไทยตอนในได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำ 4 สาย พัดพาเอา น้ำจืด สารแขวนลอย ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เรือสวนไร่นาและบ้านเรือนลงสู่อ่าวไทย



ลักษณะทะเลบริเวณอ่าวไทยมีจุดกำเนิดของทรายอยู่สองบริเวณ คือ บริเวณแหลมสัตหีบ จ.ชลบุรี กับบริเวณชายฝั่งปัตตานี ปริมาณของทรายแผ่กระจายออกไปรอบ ๆ ปนกับโคลนซึ่งเป็นทรายปนโคลนและโคลนปนทรายจนกระทั่งโคลนล้วนซึ่งเป็นลักษณะของพื้นทะเลโดยทั่วไป พบว่าความหนาของชั้นตะกอนบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกมีค่าประมาณ 6-71 เซนติเมตร บริเวณตะวันออกสุดรอบเกาะช้างมีความหนามากที่สุด ถัดมาทางตะวันตกความหนาของตะกอนจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณแหลมสัตหีบซึ่งมีลักษณะเป็นทราย สำหรับอ่าวไทยฝั่งตะวันตกพบว่ามีความหนาของชั้นตะกอนระหว่าง 5-50 และ 75 เซนติเมตร สำหรับตะวันตกตอนเหนือและตอนใต้ตามลำดับ บริเวณชายฝั่งมีความหนามากกว่าบริเวณนอกฝั่ง และทางตอนเหนือมีความหนามากกว่าทางตอนใต้ อ่าวไทยตอนในมีความหนาของชั้นตะกอนมากกว่า 75 เซนติเมตรขึ้นไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวัดสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ คือ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และธาตุกัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ  $^{137}\text{Cs}$
- 1.3.2 พื้นที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย ได้แก่ จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช
- 1.3.1 เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์รังสีบีตารวมและแอลฟา รวม คือ Gas flow Proportional counter
- 1.3.4 เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  คือ Gamma Spectrometry
- 1.3.5 เทคนิคที่ใช้การวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  คือ Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS)
- 1.3.6 ศึกษาการดูดซับสารรังสีบางชนิด ของตะกอนดิน โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจง(Distribution Coefficients,  $K_d$ )

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย

- 1.4.3 ออกแบบวิธีการเก็บและทำการเก็บตะกอนดินจากพื้นที่ศึกษา
- 1.4.4 เตรียมตัวอย่างและทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นจำเพาะและค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients,  $K_d$ ) ในตัวอย่างตะกอนดิน เพื่อจัดทำข้อมูลรังสีในแต่ละพื้นที่ศึกษา
- 1.4.5 วิเคราะห์ผลการวิจัยและประเมินผลการวิจัย
- 1.4.6 สรุปผลงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถใช้เป็นข้อมูลรังสีพื้นฐาน (Based line data) ของตะกอนดินในชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย สำหรับประเทศไทยและเป็นประโยชน์ในด้านการศึกษาผลกระทบที่อาจจะมีต่อสิ่งแวดล้อมหากมีกิจกรรมต่างๆ เกิดขึ้นในอนาคต เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และโรงงานถลุงแร่

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี 1996 P. McDonald และ K. Johnston [2] ได้ทำการศึกษาเรื่อง The distribution coefficient of Co-60 in sediment from the Solway Firth, UK ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของ  $^{60}\text{Co}$  ในน้ำทะเลและชนิดของตะกอนดิน ของ Solway ที่เมือง Firth, ค่า distribution coefficient,  $K_d$  ของ  $^{60}\text{Co}^{2+}$  ในตะกอนดิน และดูความสามารถในการดูดซับสารรังสีของตะกอนดินในช่วง pH ระหว่าง 5-8 ในน้ำทะเล น้ำ de-ionised และน้ำ NaCl (31%) ผลปรากฏว่าในน้ำทะเลนั้นมีความสามารถในการดูดซับ  $^{60}\text{Co}$  น้อยกว่าในน้ำ de-ionised และน้ำ NaCl โดยค่า  $K_d$  อยู่ในช่วง 2,270 – 2,750 ml/g โดยการดูดซับ  $^{60}\text{Co}$  ขึ้นอยู่กับค่า pH ชนิดของตะกอนดินและการแพร่กระจายตัวที่มาจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงด้วย

1.6.2 ปี 2002 S. Topcuoglu, N. Gungor และ C. Kirbasoglu [3] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Distribution coefficients ( $K_d$ ) and desorption rates of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  in Black Sea sediments เพื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจง ( $K_d$ ) และ อัตราการปลดปล่อยของสารกัมมันตรังสี Cs-137 และ Am-241 ของตะกอนดิน ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในทะเลดำของประเทศตุรกี ได้ศึกษาภายใต้เงื่อนไขในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ พบว่า Cs-137 มีค่า  $K_d$  เท่ากับ 500 ml/g และ Am-241 มีค่า  $K_d$  เท่ากับ 3800 ml/g ที่สภาวะคงที่ ซึ่งอธิบายอยู่ในรูปของกราฟ exponential พบว่า ปริมาณ Cs-137 และ Am-241 จะถูกดูดซับในตะกอนได้เร็วในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อผ่านไปสี่วันจากนั้นก็คงที่ ในขณะที่อัตราการปลดปล่อย Cs-137 ออกจากตะกอนดิน พบว่า อัตราการปลดปล่อยจะลดลงในช่วง 26 ถึง 50 วัน ผ่านไป ในขณะที่ Am-241 มีอัตราการปลดปล่อยออกจากตะกอนดินอยู่ในช่วง 75 วัน ผ่านไป โดยทั่วไปนั้น จะพบว่า Am-241

มีประสิทธิภาพในการดูดซับและปล่อยออกของสารกัมมันตรังสีไปยังตะกอนใช้เวลานานกว่า Cs-137 ภายใต้อิทธิพลของทะเลดำในประเทศตุรกี

1.6.3 ปี 2005 คเนิงนิจ สกอลศรีฟอง [4] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี Ra-226, Cs-137 และ K-40 ในดินตะกอน จากพื้นที่แหล่งตะลุมพุกและบริเวณฝั่งตะวันตกของแม่น้ำปากพ้ง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธี Gamma-Ray Spectrometry โดยใช้สารมาตรฐาน IAEA-Soil6 ในการเปรียบเทียบปริมาณ จากการวิเคราะห์พบว่าทั้งสองบริเวณนั้นมีการสะสมของธาตุกัมมันตรังสีทั้งสามชนิดแตกต่างกันโดยดินตะกอนบริเวณแหล่งตะลุมพุกมีปริมาณ Ra-226, Cs-137 และ K-40 เฉลี่ยอยู่ที่ 35.42 , 0.78 และ 400.35 Bq/kg ตามลำดับ ในขณะที่ดินตะกอนจากบริเวณฝั่งตะวันตกของแม่น้ำปากพ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 66.21, 0.65 และ 505.59 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งดินในประเทศไทยมีค่ากัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี Ra-226 เฉลี่ยอยู่ในช่วง 11-78 Bq/kg และ K-40 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7 - 712 Bq/kg ขณะที่โลกเรามีค่าเฉลี่ยของธาตุกัมมันตรังสี Ra-226 และ K-40 ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 32 และ 420 Bq/kg ดังนั้นจะเห็นได้ว่าดินตะกอนจากพื้นที่แหล่งตะลุมพุกมีการสะสมของธาตุกัมมันตรังสีทั้งสามชนิดอยู่ในค่าเฉลี่ยดังกล่าว ขณะที่ดินตะกอนจากบริเวณฝั่งตะวันตกของแม่น้ำปากพ้งมีค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี Ra-226 และ K-40 สูงกว่าค่าเฉลี่ยดินจากทั่วโลก แต่ก็ยังอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยของดินในประเทศ

1.6.4 ปี 2009 Özlem Selçuk Zorer, Hasan Ceylan และ Mahmut Dogru [5] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Gross alpha and beta radioactivity concentration in water, soil and sediment of the Bendimahi River and VanLake (Turkey) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ในน้ำ ดิน และตัวอย่างตะกอนดินที่รวบรวมจากแม่น้ำ Bendimahi ที่มีต้นกำเนิดมาจากภูเขา Tendürek (Van, Turkey) ของประเทศตุรกี ได้ทำการวิเคราะห์รังสีแอลฟา รวมและรังสีเบตา รวมในเดือนพฤษภาคม และสิงหาคม โดยระบบวัดของ gas-flow proportional counter , (PIC-MPC 9604  $\alpha/\beta$ ) พบว่า ตัวอย่างน้ำมีปริมาณรังสีแอลฟา รวมและรังสีเบตา รวมของเดือนพฤษภาคม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.063–0.782 Bq/l และ 0.021–0.816 Bq/l และในเดือนสิงหาคม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.009–0.037 Bq/l และ 0.081–3.116 Bq /l ในตัวอย่างดินของเดือนพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 0.800 Bq/g - 4.277 Bq/g และ 0.951 Bq/g - 11.773 Bq /g .ของเดือนสิงหาคม มีค่าอยู่ในช่วง 0.686 Bq/g - 4.713 Bq /g และ 0.073 Bq/g - 9.524 Bq /g และในตัวอย่างตะกอนดินของเดือนพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 0.782 Bq/g - 4.596 Bq/g และ 0.482 Bq/g - 10.372 Bq/g ในเดือนสิงหาคม มีค่าอยู่ในช่วง 0.580 Bq/g - 5.824 Bq/g และ 0.303 Bq/g - 9.702 Bq/g ซึ่งจากตัวอย่างน้ำนั้น ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน WHO กำหนดไว้สำหรับน้ำดื่ม ผลปรากฏว่าค่ารังสีแอลฟา รวมและเบตา รวมในเดือนพฤษภาคมและ

สิงหาคมมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ WHO กำหนด และในตัวอย่างดินและตะกอนดินก็มีค่าสูงกว่า  
แม่น้ำอื่นๆ กัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาตินี้ขึ้นกับการซึมผ่านของน้ำโดยตรงตามชนิดของชั้นหิน  
และโครงสร้างทางธรณีวิทยาและสภาวะ physico-chemical ในพื้นที่นั้น

1.6.5 ปี 2009 S. Rollin, H.Sahli, R.Holzer, M.Astner และ M.Burger [6] ได้  
ทำการศึกษาเรื่อง Pu and Np analysis of soil and sediment samples with ICP-MS เพื่อ  
วิเคราะห์หาธาตุ Pu และ Np ซึ่งมีค่าการตรวจวัดที่ต่ำมาก และจะต้องใช้ปริมาณตัวอย่างมากใน  
การวิเคราะห์ จึงทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ ICP-MS โดยตัวอย่างดินและตะกอน จะถูกทำให้  
เป็นซีเภาและย่อยโดยการ borate fusion และย่อยโดยกรดไนตริก หลังจากนั้น Pu และ Np จะถูก  
แยกออกโดย TEVA chromatography column ผลการวิเคราะห์ธาตุพบว่าในดินและตะกอนดินที่  
วัดด้วยเครื่อง ICP-MS มีค่าต่ำสุดที่วัดได้อยู่ที่  $1 \times 10^{-15}$  g/g สำหรับ Pu และ Np ในการวิเคราะห์นี้  
ได้ถูกนำไปประยุกต์กับวัสดุต่างๆที่อ้างอิงได้เช่น ดินจากประเทศสวีตเซอร์แลนด์ และตัวอย่าง  
ตะกอนจากแม่น้ำ Yenisei ของประเทศรัสเซีย ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีนิวไคลด์กัมมันตรังสีปะปนอยู่



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 แหล่งกำเนิดของรังสี

มนุษย์ได้รับกัมมันตภาพรังสีจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 แหล่ง คือ

2.1.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ (natural radiation source) เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวเรา ซึ่งมนุษย์หลีกเลี่ยงหรือควบคุมไม่ได้ แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติมาจากธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับกำเนิดของโลก นิวไคลด์กัมมันตรังสีมีมากกว่า 60 ชนิดที่พบในธรรมชาติ โดยปรากฏในทุก ๆ แห่ง เช่น ในอากาศ น้ำ ดิน ทะเล และในร่างกาย ดังนั้นทุก ๆ วันมนุษย์ต้องหายใจเข้า-ออก ดื่มน้ำ กิน นิวไคลด์กัมมันตรังสีเข้าไปด้วย กล่าวได้ว่าเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติได้เลย นิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (Primordial radionuclide) เป็นแหล่งกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับกำเนิดของโลก โดยเป็นองค์ประกอบของหิน ดิน แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งประกอบกันเป็นเปลือกโลก ส่วนใหญ่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีมวลมาก มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ยาว บางนิวไคลด์อาจมีค่าครึ่งชีวิตยาวถึงร้อยล้านปี ตัวอย่างนิวไคลด์ประเภทนี้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 2.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิต และปริมาณที่พบในธรรมชาติ [7]

Nuclide	Symbol	ค่าครึ่งชีวิต	ปริมาณในธรรมชาติ
Uranium 235	$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$ ปี	0.72% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ
Uranium 238	$^{238}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$ ปี	99.2745% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ ในหินทั่วไปมียูเรเนียมเฉลี่ย 0.5-4.7 ppm
Thorium 232	$^{232}\text{Th}$	$1.41 \times 10^{10}$ ปี	1.6 - 20 ppm ในหินทั่วไปและเฉลี่ย 10.7 ppm ในเปลือกโลก
Radium 226	$^{226}\text{Ra}$	$1.60 \times 10^3$ ปี	0.42 pCi/g ในหินปูนและ 1.3 pCi/g ในหินอัคนี
Radon 222	$^{222}\text{Rn}$	3.82 วัน	ก๊าซเฉื่อย 0.016 pCi/L - 0.75 pCi/L เฉลี่ยทั้งปี จากอากาศในสหรัฐอเมริกา
Potassium 40	$^{40}\text{K}$	$1.28 \times 10^9$ ปี	1-30 pCi/g (37-1100 Bq/kg) ในดิน

นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่เกิดขึ้นพร้อมกำเนิดของโลกนี้ มักมีการสลายตัวต่อเนื่องเป็นอนุกรมซึ่งอนุกรมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น มีดังนี้

1) อนุกรมทอเรียม (Thorium series,  $4n$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{232}\text{Th}$  มีค่าครึ่งชีวิต  $1.41 \times 10^{10}$  ปี สลายตัวต่อเนื่องจนได้นิวไคลด์ที่เสถียร คือ  $^{208}\text{Pb}$  ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวลหารด้วย 4 ลงตัว จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า  $4n$

ตารางที่ 2.2 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมทอเรียม

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	ชื่อเดิม	ครึ่งชีวิต	รังสีจากการสลายตัว
$^{232}\text{Th}$	Thorium	$1.41 \times 10^{10}$ ปี	$\alpha$ , $<1\% \gamma$
$^{228}\text{Ra}$	Mesothorium I	5.75 ปี	$\beta$ , $<1\% \gamma$
$^{228}\text{Ac}$	Mesothorium II	6.13 ชั่วโมง	$\beta$ , $\gamma$
$^{228}\text{Th}$	Radiothorium	1.91 ปี	$\alpha$ , $\gamma$
$^{224}\text{Ra}$	Thorium X	3.66 วัน	$\alpha$ , $\gamma$
$^{220}\text{Rn}$	Emanation thoron	55.6 วินาที	$\alpha$ , $<1\% \gamma$
$^{216}\text{Po}$	Thorium A	0.15 วินาที	$\alpha$ , $<1\% \gamma$
$^{212}\text{Pb}$	Thorium B	10.6 ชั่วโมง	$\beta$ , $\gamma$
$^{212}\text{Bi}$	Thorium C	60.55 นาที	$\alpha$
$^{212}\text{Po}(64\%)$	Thorium C'	$2.98 \times 10^{-7}$ วินาที	$\alpha$
$^{232}\text{Tl}(36\%)$	Thorium C''	3.07 นาที	$\beta$ , $\gamma$
$^{208}\text{Pb}$	Thorium D	อยู่ตัว(stable)	ไม่มี

ที่มา: Merril, E. and G.Thomas. 1997. Environmental radioactivity from nature, industrial and military sourc [8]

2) อนุกรมยูเรเนียม (Uranium series,  $4n+2$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{238}\text{U}$  มีค่าครึ่งชีวิต  $4.47 \times 10^9$  ปี สลายตัวต่อเนื่องจนได้ธาตุที่เสถียร คือ  $^{206}\text{Pb}$  ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวลที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 2

ตารางที่ 2.3 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	ชื่อเดิม	ครึ่งชีวิต	รังสีจากการสลายตัว
$^{238}\text{U}$	Uranium I	$4.47 \times 10^9$ ปี	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{234}\text{Th}$	Uranium X <sub>1</sub>	24.1 วัน	$\beta$ , $\gamma$
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	Uranium X <sub>2</sub>	1.17 นาที	$\beta$ , <1% $\gamma$
$^{234}\text{Pa}$	Uranium Z	6.7 ชั่วโมง	$\beta$ , $\gamma$
$^{234}\text{U}$	Uranium II	244,500 ปี	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{230}\text{Th}$	Ionium	$7.7 \times 10^4$ ปี	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{226}\text{Ra}$	Radium	1602 ปี	$\alpha$ , $\gamma$
$^{222}\text{Rn}$	Emanation radon	3.8 วัน	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{218}\text{Po}$	Radium A	3.05 นาที	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{214}\text{Pb}$ (99.98%)	Radium B	26.8 นาที	$\beta$ , $\gamma$
$^{218}\text{At}$ (0.02%)	Astatine	2 วินาที	$\alpha$ , $\gamma$
$^{214}\text{Bi}$	Radium C	19.9 นาที	$\beta$ , $\gamma$
$^{214}\text{Po}$ (99.98%)	Radium C'	0.16 มิลลิวินาที	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{210}\text{Tl}$ (0.02%)	Radium C''	1.3 นาที	$\beta$ , $\gamma$
$^{210}\text{Pb}$	Radium D	22.3 ปี	$\beta$ , $\gamma$
$^{210}\text{Bi}$	Radium E	5.01 วัน	$\beta$
$^{210}\text{Po}$ (~100%)	Radium F	138 วัน	$\alpha$ , <1% $\gamma$
$^{206}\text{Tl}$ (0.0001%)	Radium E''	4.2 นาที	$\beta$ , <1% $\gamma$
$^{206}\text{Pb}$	Radium G	อยู่ตัว(stable)	ไม่มี

ที่มา: Merril, E. and G.Thomas. 1997. Environmental radioactivity from nature, industrial and military source.[8]

3) อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium series,  $4n+3$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{235}\text{U}$  มีค่าครึ่งชีวิต  $7.04 \times 10^8$  ปี สลายตัวต่อเนื่องจนได้ธาตุที่เสถียร คือ  $^{207}\text{Pb}$  ธาตุ

กัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวลที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 3 การสลายตัวของนิวไคลด์ในอนุกรมนี้ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมแอกทิเนียม

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	ชื่อเดิม	ครึ่งชีวิต	รังสีจากการสลายตัว
$^{235}\text{U}$	Actinouranium	$7.038 \times 10^8$ ปี	$\alpha, \gamma$
$^{231}\text{Th}$	Uranium Y	25.5 ชั่วโมง	$\beta, \gamma$
$^{231}\text{Pa}$	Protactinium	$3.276 \times 10^4$ ปี	$\alpha, \gamma$
$^{227}\text{Ac}$	Actinium	21.77 ปี	$\beta, <1\% \gamma$
$^{227}\text{Th}$ (98.62%)	Radioactinium	18.72 วัน	$\alpha, \gamma$
$^{223}\text{Fr}$ (1.38%)	Actinium K	21.8 นาที	$\beta, \gamma$
$^{223}\text{Ra}$	Actinium X	11.43 วัน	$\alpha, \gamma$
$^{219}\text{Rn}$	Emanation action	3.96 วินาที	$\alpha, \gamma$
$^{215}\text{Po}$	Actinium A	1.78 มิลลิวินาที	$\alpha, <1\% \gamma$
$^{211}\text{Pb}$ (~100%)	Actinium B	36.1 นาที	$\beta, \gamma$
$^{215}\text{At}$ (0.0002%)	Astatine	0.1 มิลลิวินาที	$\alpha, <1\% \gamma$
$^{211}\text{Bi}$	Actinium C	2.14 นาที	$\alpha, \gamma$
$^{211}\text{Po}$ (0.27%)	Actinium C'	0.516วินาที	$\alpha, \gamma$
$^{207}\text{Tl}$ (99.73%)	Actinium C''	4.77 นาที	$\beta, <1\% \gamma$
$^{207}\text{Pb}$	Actinium D	อยู่ตัว(stable)	ไม่มี

ที่มา: Merrill, E. and G.Thomas. 1997. Environmental radioactivity from nature, industrial and military source [8]

4) อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium series,  $4n+1$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ  $^{241}\text{Pu}$  มีค่าครึ่งชีวิตเพียง 14.4 ปี และส่วนใหญ่ของนิวไคลด์ที่เกิดจากการสลายตัวในอนุกรมเนปทูเนียมนี้ มีค่าครึ่งชีวิตสั้น ปัจจุบันจึงไม่พบธาตุอนุกรมนี้ในธรรมชาติ



ตารางที่ 2.5 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมเนปทูเนียม

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	ครึ่งชีวิต	รังสีจากการสลายตัว
$^{241}\text{Pu}$	14.4 ปี	$\beta^-$
$^{241}\text{Am}$	432.7 ปี	$\alpha$
$^{237}\text{Np}$	$2.14 \times 10^6$ ปี	$\alpha$
$^{233}\text{Pa}$	27.0 วัน	$\beta^-$
$^{233}\text{U}$	$1.592 \times 10^5$ ปี	$\alpha$
$^{229}\text{Th}$	$7.54 \times 10^4$ ปี	$\alpha$
$^{225}\text{Ra}$	14.9 วัน	$\beta^-$
$^{225}\text{Ac}$	10 วัน	$\alpha$
$^{221}\text{Fr}$	4.8 นาที	$\alpha$
$^{217}\text{At}$	32 มิลลิวินาที	$\alpha$
$^{213}\text{Bi}$	46.5 นาที	$\alpha$
$^{209}\text{Tl}$	2.2 นาที	$\beta^-$
$^{209}\text{Pb}$	3.25 ชั่วโมง	$\beta^-$
$^{209}\text{Bi}$	$1.9 \times 10^{19}$ ปี	$\alpha$
$^{205}\text{Tl}$	stable	-

ที่มา: Merril, E. and G.Thomas. 1997. Environmental radioactivity from nature, industrial and military source [8]

นอกจากนี้ยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (Primordial radionuclide) ที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมใดที่กล่าวมาและไม่ได้มีการสลายตัวต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ซึ่งธาตุเหล่านี้มีจำนวนไม่มากนัก ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมการสลายตัว

นิวไคลด์ กัมมันตรังสี	ครึ่งชีวิต(ปี)	รังสีที่สลายตัว	กัมมันตภาพจำเพาะจาก เปลือกโลก(Bq/kg)
<sup>40</sup> K	$1.26 \times 10^9$	$\beta, \gamma$	630
<sup>50</sup> V	$6 \times 10^{15}$	$\gamma$	$2 \times 10^{-5}$
<sup>87</sup> Rb	$4.8 \times 10^{10}$	$\beta$	70
<sup>113</sup> Cd	$9.3 \times 10^{15}$	$\beta$	$< 2 \times 10^{-6}$
<sup>115</sup> In	$6 \times 10^{14}$	$\beta$	$2 \times 10^{-5}$
<sup>123</sup> Te	$1.2 \times 10^{13}$	X-rays	$2 \times 10^{-7}$
<sup>138</sup> La	$1.12 \times 10^{11}$	$\beta, \gamma$	$2 \times 10^{-2}$
<sup>142</sup> Ce	$> 5 \times 10^{16}$	ไม่ได้รายงาน	$< 1 \times 10^{-5}$
<sup>144</sup> Nd	$2.4 \times 10^{15}$	$\alpha$	$3 \times 10^{-4}$
<sup>147</sup> Sm	$1.05 \times 10^{11}$	$\alpha$	0.7
<sup>152</sup> Gd	$1.1 \times 10^{14}$	$\alpha$	$7 \times 10^{-6}$
<sup>174</sup> Hf	$2 \times 10^{15}$	$\alpha$	$2 \times 10^{-7}$
<sup>176</sup> Lu	$2.2 \times 10^{10}$	$e^-, \gamma$	0.04
<sup>187</sup> Re	$4.3 \times 10^{10}$	$\beta$	$1 \times 10^{-3}$
<sup>190</sup> Pt	$6.9 \times 10^{11}$	$\alpha$	$7 \times 10^{-8}$
<sup>192</sup> Pt	$1 \times 10^{15}$	$\alpha$	$3 \times 10^{-6}$
<sup>209</sup> Bi	$> 2 \times 10^{18}$	$\alpha$	$< 4 \times 10^{-9}$

ที่มา: Merril, E. and G.Thomas. 1997. Environmental radioactivity from nature, industrial and military source [8]

Element	Uranium-238 series				Th-232 series			U-235 series		
Uranium	U-238 4.5×10 <sup>9</sup> y		U-234 245500 y					U-235 7.0×10 <sup>8</sup> y		
Protactinium		Pa-234 1.2 min							Pa-231 32800 y	
Thorium	Th-234 24.1 d		Th-230 75400 y		Th-232 1.4×10 <sup>10</sup> y		Th-228 1.91 y	Th-231 25.5 h		Th-227 18.7 d
Actinium						Ac-228 6.1 h			Ac-227 21.8 y	
Radium			Ra-226 1600 y			Ra-228 5.75 y	Ra-224 3.7 d			Ra-223 11.4 d
Francium										
Radon			Rn-222 3.8 d							
Astatine										
Polonium			Po-218 3.1 min	Po-214 0.00014 s	Po-210 138 d					
Bismuth				Bi-214 19.9 min	Bi-210 5.0 d					
Lead			Pb-214 26.8 min	Pb-210 22.3 y	Pb-206 stable		Pb-208 stable			Pb-207 stable

α-decay  
Z: -2  
N: -4

β-decay  
Z: +1  
N: +0

↓ decay series  
of short-lived  
nuclides

symbol of the  
element

mass number

half-life

particle reactivity

- low
- intermediate
- high

รูปที่ 2.1 แผนภาพการแสดงอนุกรมกาสลายตัวของ U-238 Th-232 [9]

2.1.1.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radionuclide) นิวไคลด์กัมมันตรังสีประเภทนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีคอสมิกที่ซึ่งส่งผ่านมาจากนอกโลก (extra-terrestrial origin) เข้าทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์ต่าง ๆ ในบรรยากาศโลก โดยทั่วไปนิวไคลด์ประเภทนี้มีค่าครึ่งชีวิตยาวแต่มักจะสั้นกว่าพวกนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclide) นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าแหล่งกำเนิดรังสีคอสมิกมาจากดวงอาทิตย์และดวงดาวในกาแล็กซี่ ซึ่งจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) รังสีคอสมิกปฐมภูมิ (primary cosmic rays) สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสลายตัวและการรวมตัวกันของอนุภาคและอะตอมต่าง ๆ ของดวงดาวในจักรวาล ทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงและปลดปล่อยรังสีคอสมิกปฐมภูมิซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคต่าง ๆ เช่น โปรตอน อิเล็กตรอน นิวตรอน โฟลิตรอน และนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลียม ออกซิเจน คาร์บอน นีออน ส่วนใหญ่จะเป็นนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมต่ำกว่า 50 รังสีคอสมิกปฐมภูมิมีพลังงานสูงมากในหน่วยของ GeV มีอายุเฉลี่ยถึง 200 ล้านปี การศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบของรังสีคอสมิกปฐมภูมิจึงค่อนข้างยาก

2) รังสีคอสมิกทุติยภูมิ (secondary cosmic rays) เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีทุติยภูมิรวมทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างรังสีคอสมิกปฐมภูมิกับอะตอมของแก๊สต่าง ๆ เมื่อรังสีคอสมิกปฐมภูมิเข้าสู่บรรยากาศของโลก โดยไม่คำนึงว่าจะจะเป็นผลที่เกิดขึ้น

เนื่องจากปฏิกิริยาเพียงครั้งเดียวหรือหลายครั้ง ผลจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกทำให้เกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีมากมาย เช่นคาร์บอน-14 ( $^{14}\text{C}$ ) และทริเทียม ( $^3\text{H}$ ) เกิดขึ้นจากอนุภาคนิวตรอนเข้าทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน-14 ( $^{14}\text{N}$ ) และลิเทียม-6 ( $^6\text{Li}$ ) ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากรังสีคอสมิกทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์ต่าง ๆ (target nuclide) ที่ในบรรยากาศโลก

นิวไคลด์	สัญลักษณ์	ครึ่งชีวิต	แหล่งที่มา	กัมมันตภาพจำเพาะในธรรมชาติ (Bq/kg)
Carbon-14	$^{14}\text{C}$	5730 ปี	Cosmic-ray interactions, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ ;	0.22
Tritium- 3	$^3\text{H}$	12.3 ปี	Cosmic-ray interactions with N and O; spallation from cosmic-rays, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$	$1.2 \times 10^{-3}$
Beryllium- 7	$^7\text{Be}$	53.28 วัน	Cosmic-ray interactions with N and O;	0.01
Chlorine- 36	$^{36}\text{Cl}$	300000 ปี	Cosmic-ray interactions with Ar	$1.0 \times 10^{-5}$
Sulfur -38	$^{38}\text{S}$	2.8 ชั่วโมง	Cosmic-ray interactions with Ar	$6.6\text{-}21.8 \times 10^{-2}$

ที่มา : The Health Physics Society. 2005 UMSHPS [7]

นอกจากนี้ยังมีนิวไคลด์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากรังสีคอสมิกอีก เช่น  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{80}\text{Kr}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{37}\text{Ar}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{38}\text{Mg}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{31}\text{Si}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{39}\text{Cl}$ ,  $^{38}\text{Cl}$ ,  $^{34\text{m}}\text{Cl}$  โดยนิวไคลด์  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{22}\text{Na}$  และ  $^7\text{Be}$  เป็นนิวไคลด์ที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์มากที่สุด

### 2.1.2 แหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น

นอกจากได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีตามธรรมชาติแล้ว มนุษย์ยังได้รับรังสีจากแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ทั้งอุปกรณ์ เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร อวกาศสงคราม ฯลฯ ทำให้แต่ละบุคคลได้รับรังสีในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป มนุษย์รู้จักการนำนิวไคลด์กัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์นานกว่าร้อยกว่าปีมาแล้ว ผลของการใช้บางครั้งก็

เป็นเหตุให้มีการปลดปล่อยนิวไคลด์กัมมันตรังสีสูงสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างกิจกรรมที่ทำให้มนุษย์ได้รับรังสี ได้แก่

2.1.2.1 งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โดยมีวัตถุประสงค์ของการใช้ที่สำคัญ 2 ประการคือ เพื่อการวินิจฉัยโรค เช่น การใช้รังสีเอกซ์ถ่ายภาพอวัยวะต่าง ๆ และเพื่อการรักษาโรค โดยโรคส่วนมากที่จำเป็นต้องใช้รังสีเพื่อการรักษาคือ โรคมะเร็ง รังสีที่ใช้อาจเป็นรังสีแกมมา บีตาหรือนิวตรอน ซึ่งมาจากแหล่งรังสีภายนอกร่างกาย การใช้รังสีเพื่อการรักษาโรคนี้ มักจะต้องใช้รังสีในปริมาณสูง แหล่งรังสีแกมมาที่นิยมใช้ เช่น  $^{137}\text{Cs}$  และ  $^{60}\text{Co}$

2.1.2.2 โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เมื่อมีการนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิล วัสดุที่เหลือจากการใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์คือ กากกัมมันตรังสีซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแข็งของเหลว และแก๊ส บางส่วนอาจถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย แม้จะมีการควบคุมป้องกันอย่างดีแล้วก็ตาม เช่น แก๊ส และของเหลวกัมมันตรังสี ส่วนกากที่เป็นของแข็งนั้นจะเก็บไว้ในที่ปลอดภัยห่างไกลชุมชน เช่น ในเหมืองถ่านหิน เหมืองเกลือ ในชั้นดินเหนียว เกาะกลางทะเลที่ห่างไกล เป็นต้น เมื่อใช้พลังงานเชื้อเพลิงนิวเคลียร์มากขึ้น ปริมาณกากกัมมันตรังสียิ่งเพิ่มมากขึ้น มนุษย์จะได้รับรังสีจากสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเช่นกัน การขจัดกากกัมมันตรังสีจึงเป็นปัญหาที่ต้องควบคุมอย่างเข้มงวด ตัวอย่างนิวไคลด์จากกากกัมมันตรังสี เช่น  $^{131}\text{I}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  เป็นต้น

2.1.2.3 การทดลองอาวุธนิวเคลียร์ แม้ว่าปัจจุบันจะมีข้อตกลงเกี่ยวกับการไม่ใช้อาวุธนิวเคลียร์ แต่ก็ยังมีการทดลองระเบิดนิวเคลียร์โดยประเทศที่ยังต้องการพัฒนาความรู้ในด้านนี้ การทดลองอาวุธนิวเคลียร์แต่ละครั้งส่งผลให้มีฝุ่นกัมมันตรังสี (fall out) กระจายไปในอากาศ และจะปนเปื้อนอยู่ในดิน น้ำ พืช ซึ่งจะผ่านไปสู่มนุษย์ในที่สุด นิวไคลด์กัมมันตรังสีสำคัญที่ได้จากระเบิดนิวเคลียร์ เช่น  $^{90}\text{Sr}$  (ค่าครึ่งชีวิต 29.1 ปี)  $^{137}\text{Cs}$  (ค่าครึ่งชีวิต 30.17 ปี) และเมื่อมนุษย์ได้รับเข้าสู่ร่างกาย  $^{90}\text{Sr}$  จะสะสมในกระดูก ส่วน  $^{137}\text{Cs}$  กระจายทั่วร่างกาย

2.1.2.4 การใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ อุปกรณ์ เครื่องมือและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน อาจมีธาตุกัมมันตรังสีเป็นองค์ประกอบ เช่น นาฬิกาพราวน้ำ กระเบื้องเซรามิก อิฐ คอนกรีต นอกจากนี้ยังอาจได้รับรังสีจากจอโทรทัศน์ และรังสีเอกซ์ที่ใช้เพื่อรักษาความปลอดภัยอีกด้วย

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น

นิวไคลด์	สัญลักษณ์	ครึ่งชีวิต	แหล่งกำเนิดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม
Tritium	$^3\text{H}$	12.3 ปี	จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ปฏิกรณ์นิวเคลียร์
Iodine131	$^{131}\text{I}$	8.04 วัน	จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และการใช้ในด้านทางการแพทย์
Iodine129	$^{129}\text{I}$	$1.57 \times 10^7$ ปี	จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ปฏิกรณ์นิวเคลียร์
Cesium137	$^{137}\text{Cs}$	30.17 ปี	จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ปฏิกรณ์นิวเคลียร์
Strontium90	$^{90}\text{Sr}$	28.78 ปี	จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ปฏิกรณ์นิวเคลียร์
Technetium 99m	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.03 ชั่วโมง	ผลผลิตจากการสลายตัวของ $^{99}\text{Mo}$ ใช้ในทางการแพทย์
Technetium 99	$^{99}\text{Tc}$	$2.11 \times 10^5$ ปี	ผลผลิตจากการสลายตัวของ $^{99\text{m}}\text{Tc}$
Plutonium 239	$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \times 10^4$ ปี	จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ของ $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$

ที่มา : The Health Physics Society. 2005 UMSHPS [7]

### 2.1.3 ปริมาณรังสีในธรรมชาติ

กัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้นั้น เรียกว่า รังสีแบคกราวด์ (background radiation) ซึ่งเมื่อตรวจวัดปริมาณรังสีที่บริเวณใดๆก็ตาม จะทราบปริมาณรังสีในธรรมชาติที่บริเวณนั้น ที่เกิดจากรังสีแบคกราวด์ เรียกค่าที่ได้ว่าค่าแบคกราวด์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามสถานที่ ขึ้นอยู่กับปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งแวดล้อมนั้น การศึกษาปริมาณรังสีในธรรมชาติเป็นเรื่องที่จำเป็น เพราะแม้ว่ามนุษย์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการรับรังสีในธรรมชาติได้ แต่สามารถเลือกสถานที่อยู่ ปฏิบัติงานและควบคุมการรับรังสีจากแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้นได้ กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติหรือรังสีแบคกราวด์นี้มีแหล่งกำเนิดมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น และนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก เป็นผลให้ในหินและดินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก มีปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน รังสีที่เกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีในดินมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่มีอยู่ในหินแร่ต่างๆ ที่สลายตัวผ่านกระบวนการกำเนิดดินโดยมีองค์ประกอบสำคัญคือหิน ซึ่งเป็นวัตถุเกิดขึ้นตามธรรมชาติรวมตัวกันเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกโลก หินที่มีความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีสูงได้แก่ หินแกรนิตซึ่งเป็นหินอัคนี (igneous rocks) ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเย็นตัวของ

ส่วนหลอมเหลวภายในเปลือกโลก จึงมีนิวไคลด์กัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียมและทอเรียมอยู่ในปริมาณสูง ส่วนหินปูน (lime stone) หินทราย (sandstone) นั้น เป็นหินตะกอน (sedimentary rocks) ที่เกิดจากการบวนการสลายตัวผุพังทับถมของหิน แร่ และสิ่งอื่น ๆ บนผิวโลก ต่อเนื่องด้วยการถูกเคลื่อนย้าย เพิ่มพูน อัดตัว ทับถมด้วยอิทธิพลต่าง ๆ เช่น ลม น้ำ แรงโน้มถ่วง ซึ่งต้องใช้เวลานาน หินประเภทนี้จึงมีปริมาณรังสีน้อย และเมื่อหินเหล่านี้สลายตัวเป็นดินจึงมีปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.9 ชนิดของธาตุกัมมันตรังสี และกัมมันตภาพจากพื้นดินเนื้อที่ 1 ตารางไมล์

นิวไคลด์	กัมมันตภาพที่ใช้ คำนวณ	น้ำหนักของนิวไคลด์	กัมมันตภาพ (GBq)
Uranium	25 Bq/kg	2,200 kg	31 GBq
Thorium	40 Bq/kg	12,000 kg	52 GBq
Potassium 40	400 Bq/kg	2000 kg	500 GBq
Radium	48 Bq/kg	1.7 g	63 GBq
Radon	10 kBq/m <sup>3</sup> soil	11 mg	7.4 GBq

ที่มา : The Health Physics Society. 2005 UMSHPS [7]

## 2.2 ไอโซโทปยูเรเนียมและทอเรียมในน้ำทะเล [10]

ไอโซโทปยูเรเนียมและทอเรียมเกิดจากการสลายตัวของธาตุในอนุกรม ยูเรเนียมและทอเรียม ซึ่งมียูเรเนียม-238 และทอเรียม-232 เป็นธาตุตั้งต้นตามลำดับ อนุกรมยูเรเนียมและทอเรียมเป็นอนุกรมที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีการสลายตัวเป็นลูกโซ่เกิดเป็นธาตุไอโซโทปรังสีต่างๆ เรียกไอโซโทปรังสีเหล่านี้ว่า unsupported nuclide สำหรับในสภาวะแวดล้อมทางทะเลแล้วการทำลายสภาพสมดุลที่เกิดขึ้นได้ โดยกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (Biogeochemical processes) ในท้องทะเล และอัตราการลดลงหรือเกิดใหม่ของ unsupported nuclide สามารถใช้ศึกษาช่วงเวลาของกระบวนการต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมได้

### 2.2.1 ยูเรเนียมในน้ำทะเล

จากผลการศึกษาที่มีรายงานที่ตรงกันว่า น้ำทะเลมีปริมาณยูเรเนียมคงที่คือ ประมาณ 3.3 ไมโครกรัม/ลิตร หรือ 2.2 พิกโคกรัม/ลิตร โดยยูเรเนียมมีรูปแบบการกระจายตัวที่สม่ำเสมอในน้ำทะเลสม่ำเสมอกว่าธาตุจำนวนน้อย (trace element) ส่วนมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยูเรเนียมทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน  $(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3)_4$  ซึ่งอยู่ตัวและมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ยูเรเนียมในสารแขวนลอย ในน้ำทะเลมีค่าประมาณ 0.01 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อ

เทียบกับยูเรเนียมในส่วนที่ละลายน้ำ เราสามารถใช้ประโยชน์จากปริมาณที่คงที่ของยูเรเนียม และธาตุผลผลิตจากการสลายตัวของมันในการอธิบายขบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำ

ในทางตรงกันข้าม กลับพบว่าในน้ำจากแม่น้ำมีค่าที่รายงานที่แตกต่างกันมากโดยพบว่าในช่วงตั้งแต่ 0.3-0.6 ไมโครกรัม/ลิตร ทำให้เกิดความยุ่งยากในการประมาณค่าเฉลี่ยในแม่น้ำ อย่างไรก็ตามคาดว่าค่าฟลักซ์ของยูเรเนียมจากแม่น้ำที่ไหลสู่ทะเลและมหาสมุทร มีค่าประมาณ  $1 \times 10^{10}$  กรัม/ปี ทั้งนี้โดยคิดจากค่าเฉลี่ยของปริมาณยูเรเนียมในน้ำแม่น้ำกับ 0.3 ไมโครกรัม/ลิตร และปริมาณน้ำในน้ำทะเลและมหาสมุทรปีละ  $3.5 \times 10^{16}$  ลิตร ค่า resident time ของยูเรเนียมในน้ำทะเลและมหาสมุทรโดยคำนวณจากปริมาณยูเรเนียมในน้ำทะเลซึ่งมีค่าประมาณ 3.3 ไมโครกรัม/ลิตร และปริมาณน้ำในทะเลและมหาสมุทรประมาณ  $1.37 \times 10^{21}$  ลิตร ดังนั้นปริมาณยูเรเนียมในน้ำทะเลและมหาสมุทรทั้งหมดมีค่าทั้งหมด  $4.5 \times 10^{15}$  กรัม resident time ของยูเรเนียมในน้ำทะเลและมหาสมุทรจะมีค่าประมาณ  $2 \times 10^5$  ปี

สำหรับตะกอนดินแล้ว ปริมาณยูเรเนียมมีค่าประมาณ 0.6-6.0 ไมโครกรัม/ลิตร มักพบยูเรเนียมปริมาณสูงในดินเคลย์ส่วนยูเรเนียมปริมาณต่ำมักพบในดินทรายหรือคาร์บอนต ยูเรเนียมปริมาณสูงมักสัมพันธ์ hydrothermal activity, ferromanganese deposit และ anoxic sediment ยูเรเนียมสามารถเข้าแทนที่แคลเซียมและซิลิกอน ในโครงสร้างส่วนแข็งของสิ่งที่มีชีวิต เช่น กระดุกและฟันของปลา โครงร่างของ foraminifera ปะการัง mollusc ไดอะตอม

## 2.2.2 ทอเรียมในน้ำทะเล

ทอเรียมเป็นธาตุที่ขอบจับกับสารแขวนลอยหรือส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ทอเรียม-232 ซึ่งเป็นธาตุตั้งต้นของอนุกรมทอเรียมเข้าสู่วัฏจักรของทะเลและมหาสมุทรโดยการเคลื่อนที่พร้อมกับของแข็งเช่น ดิน หิน ที่ถูกย่อยสลาย ถึงแม้การย่อยสลายนี้จะผ่านขบวนการต่างๆที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของไอโซโทปรังสี เช่น การเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยสภาพอากาศ หรือการประกอบกันขึ้นเป็นดินจาก ดิน หิน ที่ย่อยสลาย ในขณะที่ไอโซโทปรังสียูเรเนียมจะเคลื่อนย้ายไปพร้อมกับส่วนของสารแขวนลอย (suspended particle) ดังนั้นตามทฤษฎีแล้วในชั้นน้ำไม่ควรจะมีไอโซโทปรังสีที่เป็นผลผลิตของการสลายตัวของ ทอเรียม-232 อยู่เลย แต่ในความเป็นจริงไอโซโทปรังสี ทอเรียม-234 ทอเรียม-230 และ ทอเรียม-228 สามารถพบได้ในชั้นน้ำเนื่องจากการสลายตัวของ ยูเรเนียม-238 ยูเรเนียม-234 และเรเดียม-228 ตามลำดับ

พบว่าทอเรียม-232 ในแม่น้ำมีค่าประมาณ 0.1-0.01 ไมโครกรัม/ลิตร และ resident time ของทอเรียมในมหาสมุทร มีค่าประมาณ 60 ปี ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำมากเป็นการยืนยันว่าทอเรียมจับกับสารแขวนลอยและแยกตัวจากชั้นน้ำอย่างรวดเร็ว ทอเรียม-230 ในน้ำทะเลมีค่าประมาณ 0.01% ของที่คาดว่าจะเกิดจากการสลายตัวของยูเรเนียม-234 ซึ่งเป็นธาตุต้นกำเนิด



ในปริมาณนี้คาดว่าน้อยกว่า 4% เป็นส่วนที่ได้รับจากแม่น้ำ เช่นเดียวกับทอเรียม-234 ทอเรียม-230 เกิดปฏิกิริยากับสารแขวนลอยและแยกตัวออกจากชั้นน้ำอย่างรวดเร็ว แต่ทอเรียม-230 มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวกว่า ผลกระทบจากการเกิด scavenging จึงแตกต่างกัน ในทางกลับกันพบว่าทอเรียม-228 ในน้ำทะเลมีค่าสูงกว่าค่าที่คาดการณ์ไว้ว่าจะเกิดการสลายตัวของ ปริมาณทอเรียม-232 จากการศึกษพบว่าประมาณ 20-40% ของปริมาณนี้เกิดจากน้ำแม่น้ำ ส่วนที่เหลือ 80-90% คาดว่าเกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-228 ในตะกอนซึ่งละลายกลับเข้าสู่ชั้นน้ำ

สำหรับทอเรียมในตะกอนทะเล เนื่องจากทอเรียมมีคุณสมบัติชอบจับกับสารแขวนลอยและแยกตัวจากชั้นน้ำอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอัตราการสะสมของทอเรียมในตะกอนควรมีค่าเท่ากับอัตราการเกิดของทอเรียมในชั้นน้ำเนื่องจากการสลายตัวของยูเรเนียม สมดุลจะถูกรบกวนโดยขบวนการต่างๆบริเวณท้องทะเล เช่น horizontal transport, ความหลากหลายของการเกิด resuspension และชนิดของสารแขวนลอย อัตราการเกิดและลักษณะของ bioturbation ในตะกอน

ถึงแม้ว่าทอเรียมจะไม่ค่อยพบในส่วนที่ละลายน้ำ เนื่องจากปฏิกิริยา scavenging หรือ coprecipitation กับ mineral deposit ทอเรียมกับถูกพบในปริมาณมากพอควรในส่วนที่เป็นโครงแข็งของสิ่งมีชีวิต เช่น กระดุกและฟันของปลา โครงร่างของ foraminifera ปะการัง mollusk และ ไดอะตอม

### 2.3 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ธาตุกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยเฉพาะในตะกอนดินส่วนใหญ่ ธาตุที่ได้รับความสนใจจะเป็นธาตุโปแตสเซียม ธาตุเรเดียม ซึ่งเป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้ว และธาตุซีเซียมที่เกิดจากฝุ่นกัมมันตรังสี (fall out) ที่เป็นผลมาจากระเบิดนิวเคลียร์หรืออุบัติเหตุทางรังสี ซึ่งธาตุทั้งสามดังกล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิจัยด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม ทางด้านการเกษตร ทางด้านการแพทย์ ตัวอย่างเช่น ธาตุโปแตสเซียมซึ่งเป็นแหล่งสารกัมมันตรังสีที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกายและมีการปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงานสูง ในขณะที่ธาตุเรเดียม เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่กระดูกเป็นผลให้เกิดโรคมะเร็งกระดูกได้ และซีเซียมเป็นสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น หากได้รับเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าจะผ่านระบบทางเดินอาหารหรือระบบทางเดินหายใจ สารกัมมันตรังสีจะกระจายกระจายทั่วไปในเนื้อเยื่อต่างๆซึ่งจะเกิดอันตรายต่อร่างกาย เช่นกัน ธาตุโปแตสเซียม ธาตุเรเดียม และซีเซียม มีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

### 2.3.1 โปแตสเซียม (K)

เลขอะตอม	19	จัดเป็นธาตุในกลุ่มโลหะ
น้ำหนักอะตอม	39.098 amu	
จุดหลอมเหลว	63.38	องศาเซลเซียส
จุดเดือด	759	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	ของแข็ง 0.89	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
	ของเหลว 0.83	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

#### ไอโซโทปของธาตุโปแตสเซียม

ธาตุโปแตสเซียมมีทั้งหมด 17 ไอโซโทป โดยมี 3 ไอโซโทปเกิดเองขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่  $^{39}\text{K}$ (93.3%) ,  $^{40}\text{K}$ (0.012%) และ  $^{41}\text{K}$ (6.7%) ธาตุกัมมันตรังสี  $^{40}\text{K}$  มีค่าครึ่งชีวิต(half life)  $1.277 \times 10^9$  ปี และจะสลายตัวให้ธาตุ  $^{40}\text{Ar}$  (11.2%) โดยวิธีการจับอิเล็กตรอน (electron capture) และการปลดปล่อยอนุภาคโพสิตรอน นอกจากธาตุ  $^{40}\text{Ar}$  แล้ว ธาตุกัมมันตรังสี  $^{40}\text{K}$  ยังสลายตัวได้ธาตุที่เสถียรอีกธาตุหนึ่งคือธาตุ  $^{40}\text{Ca}$ (88.8%)โดยการสลายตัวให้รังสีเบต้า การสลายตัวตามธรรมชาติของธาตุกัมมันตรังสี  $^{40}\text{K}$  เป็น  $^{40}\text{Ar}$  มีประโยชน์ที่สำคัญในการคำนวณหาอายุของหินและเปลือกโลก โดยวิธีการคำนวณนั้นอาศัยหลักการการสลายตัวของธาตุ  $^{40}\text{K}$  เป็น  $^{40}\text{Ar}$  (K-Ar dating method) โดยสันนิษฐานว่า หินและเปลือกโลกโดยเริ่มแรกการเกิดโลกนั้นไม่มีธาตุอาร์กอน (Ar) เป็นส่วนประกอบ และนิวไคลด์ซึ่งเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีของธาตุโปแตสเซียม เช่น  $^{40}\text{K}$  นั้นได้ถูกสะสมในชั้นหินและเปลือกโลกก่อนแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากธาตุโปแตสเซียมรวมถึงไอโซโทปต่าง ๆ ของมันนั้น เกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดโลกใบนี้ ซึ่งเราจะสามารถทราบอายุของชั้นหินหรือชั้นเปลือกโลกได้โดยการวัดปริมาณการสะสมของธาตุโปแตสเซียมและปริมาณของธาตุ  $^{40}\text{Ar}$  ที่ถูกสะสมเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของธาตุ  $^{40}\text{K}$  นอกจากการใช้คำนวณหาอายุของชั้นหิน หรือเปลือกโลกแล้ว ไอโซโทปของธาตุโปแตสเซียม เช่น  $^{40}\text{K}$  ยังถูกใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นตัวติดตาม (tracer) ที่ดีในการศึกษาสภาพภูมิอากาศและยังถูกใช้ศึกษาถึงวัฏจักรห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากธาตุโปแตสเซียม เป็นสารอาหารโมเลกุลใหญ่ที่สำคัญในการดำรงชีวิต ในทางสุขภาพไม่ว่าสัตว์หรือมนุษย์  $^{40}\text{K}$  จัดเป็นแหล่งสารกัมมันตรังสีที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย มากกว่าแม้กระทั่ง  $^{14}\text{C}$  โดยในร่างกายมนุษย์น้ำหนักเฉลี่ยที่ 70 กิโลกรัม จะมีนิวไคลด์ของธาตุกัมมันตรังสี  $^{40}\text{K}$  สลายตัวประมาณ 170,000 นิวไคลด์ต่อวินาที

### 2.3.2 เรเดียม (Ra)

เลขอะตอม	88	จัดเป็นธาตุในกลุ่มโลหะ
น้ำหนักอะตอม	226	amu

จุดหลอมเหลว	700	อาศาเซลเซียส
จุดเดือด	1737	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	ของแข็ง 5.5	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

#### ไอโซโทปของธาตุเรเดียม

เรเดียมมีทั้งหมด 25 ไอโซโทป มีเพียง 4 ไอโซโทปที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติได้แก่  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{228}\text{Ra}$  ซึ่งทั้งหมดเกิดจากการสลายตัวของธาตุในอนุกรมยูเรเนียม (U) หรือ ทอเรียม (Th) เรเดียม-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) เป็นไอโซโทปในธรรมชาติที่พบมากที่สุด ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม-238 ( $^{238}\text{U}$ ) และยังเป็นไอโซโทปที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวถึง 1,602 ปี เรเดียม-228 ( $^{228}\text{Ra}$ ) เป็นธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวเป็นอันดับรองถัดมา คือ 6.7 ปี เกิดจากการสลายตัวของธาตุทอเรียม-232 (Th-232) ตามประวัติศาสตร์ ธาตุที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของของธาตุเรเดียม (Radium) จะถูกระบุเป็น Radium A, B, C, D, E, F ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่า ไอโซโทปเหล่านี้เป็นไอโซโทปของธาตุกัมมันตรังสีอื่นที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเรเดียม ดังนี้

Radium emanation (ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของเรเดียม) – เรดอน-222 ( $^{222}\text{Rn}$ )

Radium A - โพลonium-218 ( $^{218}\text{Po}$ )

Radium B - ตะกั่ว-214 ( $^{214}\text{Pb}$ )

Radium C - บิสมัท-214 ( $^{214}\text{Bi}$ )

Radium C<sub>1</sub> - โพลonium-214 ( $^{210}\text{Po}$ )

Radium C<sub>2</sub> - แทลเลียม-210 ( $^{210}\text{Tl}$ )

Radium D - ตะกั่ว-210 ( $^{210}\text{Pb}$ )

Radium E - บิสมัท-210 ( $^{210}\text{Bi}$ )

Radium F - โพลonium-210 ( $^{210}\text{Po}$ )

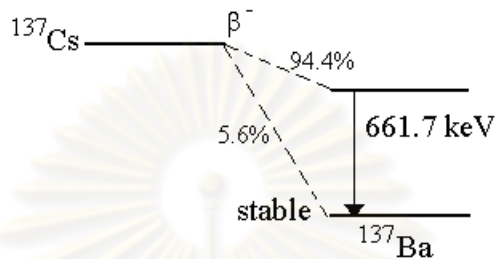
ธาตุเรเดียมจะสลายตัวต่อเนื่องกันเป็นลำดับ ซึ่งธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวนี้จะถูกใช้ประโยชน์ในการศึกษาและงานวิจัยต่าง ๆ

#### 2.3.3 ซีเซียม (Cs)

เลขอะตอม	55	จัดเป็นธาตุในกลุ่มโลหะ
น้ำหนักอะตอม	132.905	amu
จุดหลอมเหลว	28.5	อาศาเซลเซียส
จุดเดือด	671	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	ของแข็ง 1.93	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
	ของเหลว 1.84	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

### ไอโซโทปของธาตุซีเซียม

ธาตุซีเซียม (Cs) มีอย่างน้อย 39 ไอโซโทป โดยมวลอะตอมของไอโซโทปเหล่านี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 112 - 151 amu ถึงแม้ว่าธาตุซีเซียมจะมีจำนวนไอโซโทปมาก แต่มีเพียงไอโซโทปเดียวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ คือ  $^{133}\text{Cs}$  ซึ่งเป็นธาตุที่เสถียร ส่วนไอโซโทปอื่น ๆ นั้นจะมีค่าครึ่งชีวิตการสลายตัวแตกต่างกันออกไปตั้งแต่เป็นปีจนถึงวินาที  $^{137}\text{Cs}$  เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุซีเซียมที่รู้จักกันดี เนื่องจากสามารถศึกษาวิจัยและใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง



รูปที่ 2.2 แผนผังการสลายตัวของ  $^{137}\text{Cs}$

$^{137}\text{Cs}$  เป็นเรดิโอไอโซโทปที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชชัน เกิดขึ้นในปริมาณที่สูง คือร้อยละ 6 จากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม-238 มีค่าครึ่งชีวิตหรือ half-life 30.17 ปี สลายตัวให้รังสีบีตาที่พลังงานสูงสุด 0.518 MeV และรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.662 MeV  $^{137}\text{Cs}$  ถูกผลิตขึ้นเพื่อใช้ในอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ และยังเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาฟิชชันในแกนปฏิกรณ์และการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ดังนั้นเราจึงสามารถพบธาตุ  $^{137}\text{Cs}$  ปริมาณเล็กน้อยในสิ่งแวดล้อมจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นในช่วงทศวรรษปี 1950-1960 และจากอุบัติเหตุโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ เช่นที่เชอร์โนบิล ที่เกิดอุบัติเหตุในปี 1986 ซึ่งได้แพร่กระจายธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ไปทั่วยุโรปและหลายประเทศในเอเชีย  $^{137}\text{Cs}$  เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถจับกับคลอไรด์ได้อย่างรวดเร็วซึ่งเมื่อรวมกับคลอไรด์แล้วจะมีลักษณะคล้ายผงแป้งและเรืองแสงได้  $^{137}\text{Cs}$  จะถูกรวบรวมในแผ่นลูไซต์ (Lucite disk) รวมอัดเป็นแท่งหรือเม็ด แล้วเก็บในภาชนะตะกั่วเพื่อกั้นรังสีที่แผ่ออกมา จากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจากประเทศจีน อินเดีย ปากีสถานสหรัฐอเมริกา ทำให้เกิดการปนเปื้อนของ  $^{137}\text{Cs}$  สู่สิ่งแวดล้อมโดยสารกัมมันตรังสีนี้จะเกาะไปกับฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายในอากาศซึ่งตกลงมาสะสมบนพื้นผิวชั้นหน้าดิน  $^{137}\text{Cs}$  ถูกใช้ศึกษาและวิจัยในทางอุทกวิทยาและใช้ในการปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดรังสีชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์ในการบำบัดรักษาโรคมะเร็ง ในด้านอุตสาหกรรม  $^{137}\text{Cs}$  ถูกใช้เป็นอุปกรณ์วัดการไหลของของเหลวผ่านท่อ และใช้ในการวัดความหนาของวัสดุ เช่น กระดาษ หรือฟิล์มถ่ายรูป ในด้านสิ่งแวดล้อม  $^{137}\text{Cs}$  สามารถเป็นตัวชี้บ่งเวลาได้ โดยดูจากปริมาณธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ที่ถูกสะสมในชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดย  $^{137}\text{Cs}$  มี

ค่าครึ่งชีวิต 30.17 ปีและจะสลายตัวให้ธาตุ  $^{137}\text{Ba}$  ซึ่งเป็นธาตุที่เสถียร  $^{137}\text{Cs}$  เป็นพิษมากเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าจะได้รับการดื่มน้ำหรือบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารรังสีนี้ โดย  $^{137}\text{Cs}$  มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับโปแตสเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารสำคัญของพืช ดังนั้น  $^{137}\text{Cs}$  จึงเข้าสู่ต้นพืชได้โดยทาง Dietary Potassium คือ  $^{137}\text{Cs}$  จะปนเปื้อนไปกับทางผ่านของโปแตสเซียมเข้าสู่ต้นพืช เพราะฉะนั้นอัตราส่วนของ  $^{137}\text{Cs}$  ต่อโปแตสเซียมจึงมีความสำคัญต่อการประเมินถึงอันตราย เมื่อสารรังสีนี้เข้าไปภายในร่างกาย  $^{137}\text{Cs}$  จัดเป็นไอโซโทปรังสีที่มีอันตรายร้ายแรงมากเนื่องจากมีค่าครึ่งชีวิตทางชีววิทยา (Biological half-life) คือ  $100 \pm 50$  วัน  $^{137}\text{Cs}$  เมื่อเข้าสู่ร่างกายไม่ผ่านระบบทางเดินอาหารหรือระบบทางเดินหายใจ สารกัมมันตรังสีจะกระจายตัวไปเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลต่อร่างกายทั้งทาง somatic effect และ genetic effect

## 2.4 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium) [11]

ในอนุกรมกัมมันตรังสีใด ๆ นิวเคลียสหรืออะตอมที่เกิดจากการสลายตัวของอะตอมพ่อแม่จะต้องเป็นอะตอมกัมมันตรังสีด้วย จึงสลายตัวให้อะตอมใหม่ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งการสลายตัวจบลงที่อะตอมซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียรของธาตุใดธาตุหนึ่ง เช่น อนุกรมยูเรเนียม และอนุกรมทอเรียม เป็นต้น สมการทั่ว ๆ ไปสำหรับอนุกรมการสลายตัวแบบนี้ คือ

$$N_A = N_0 e^{-\lambda_A t} \quad (2.1)$$

โดยที่  $N_A$  เป็นค่าคงตัวการสลายตัวของอะตอม A แต่เนื่องจากอัตราการสลายตัวของอะตอม A เมื่อเวลา  $t$  จะเท่ากับ อัตราการเกิดอะตอม B ซึ่งเป็นอะตอมลูก แต่ขณะเดียวกันอะตอม B ก็สลายตัวไปเป็นอะตอม C ด้วยอัตราเท่ากับ จำนวนอะตอม B เมื่อเวลา  $t$  และ เป็น ค่าคงตัวการสลายตัว ดังนั้นอัตราการสะสมตัวของอะตอม B ก็คือ

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A t} - \lambda_B N_B \quad (2.2)$$

จากสมการนี้สามารถนำมาคำนวณหาอะตอม B ได้ โดยเริ่มต้นให้

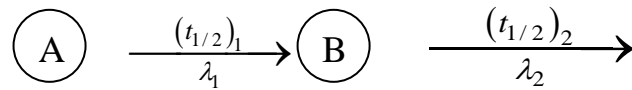
$$N_B = C_A e^{-\lambda_A t} + C_B e^{-\lambda_B t} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $C_A$  และ  $C_B$  เป็นค่าคงที่ ได้ผลลัพธ์เป็น

$$N_B = \frac{\lambda_A N_0}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \quad (2.4)$$

### 2.4.1 สมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)

เงื่อนไขของการเกิดสมดุลชั่วคราว เกิดขึ้นเมื่อครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกประมาณ 3-10 เท่า เมื่อเทียบกับ  $10^4$  หรือมากกว่านั้น เมื่อ A เป็นนิวไคลด์แม่ และ B นิวไคลด์ลูก โดย  $(t_{1/2})_1$  และ  $(t_{1/2})_2$  เป็นครึ่งชีวิตของ A และ B ตามลำดับ



เมื่อ  $(t_{1/2})_1 > (t_{1/2})_2$

ดังนั้น  $\lambda_1 < \lambda_2$

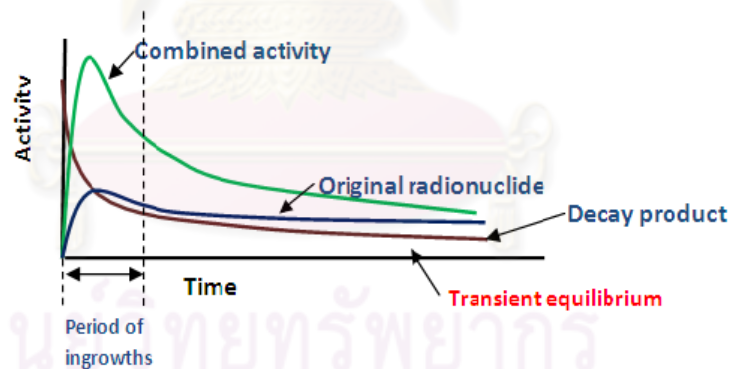
เมื่อเวลา  $t$  มีค่ามากๆ ค่า  $e^{-\lambda_2 t}$  ตัดทิ้งได้เทียบกับ  $e^{-\lambda_1 t}$  เมื่อมองว่าเทอม  $e^{-\lambda_2 t}$  มีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการ (2.4) จะเปลี่ยนได้ง่ายขึ้นเป็น

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.5)$$

เมื่อแทนค่า  $N_1$  จาก (2.1) ลงใน (2.5) จะได้

$$N_1 \lambda_1 = N_2 (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (2.6)$$

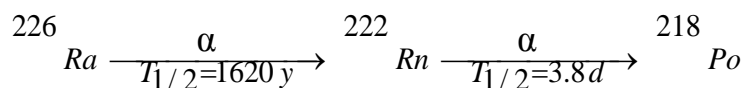
สมดุลชั่วคราวเกิดขึ้นเมื่อมีการสลายตัวไปนาน กัมมันตภาพของนิวไคลด์ลูกเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงด้วยอัตราเดียวกับกัมมันตภาพของนิวไคลด์แม่ ส่วนกัมมันตภาพรวมมีค่าสูงสุดก่อนที่กัมมันตภาพของนิวไคลด์ลูกจะมีค่าสูงสุด ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าค่าความแรงรังสีทั้งหมดจะลดลงตามเวลา ดังแสดง



รูปที่ 2.3 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์

#### 2.4.2 สมดุลแบบเซคูลาร์ (Secular equilibrium)

เมื่อครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มากยาวนานมาก มากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกไม่น้อยกว่า  $10^4$  เท่า หรือมากกว่านั้น จึงดูคล้ายกับว่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์แม่ไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าจะมีการสลายตัวไปนาน ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของเรเดียม-226 ไปเป็นเรดอน-222



เนื่องจาก  $(t_{1/2})_1 \gg \gg \gg (t_{1/2})_2$

ดังนั้น  $\lambda_1 \ll \ll \ll \lambda_2$

เมื่อ  $(t_{1/2})_1$  มีค่ามากๆ  $\lambda_1$  จึงมีค่าใกล้ศูนย์ ดังนั้น  $e^{-\lambda_1 t} = 1$  และ  $(\lambda_2 - \lambda_1)$

จาก  $N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$

เมื่อ  $e^{-\lambda_1 t} = 1$

ดังนั้น  $N_1 = N_0$

หรือ  $\lambda_1 N_1 = \lambda_1 N_0$  (2.7)

จากสมการที่ (2.7) กล่าวได้ว่า แม้ว่าจะมีการสลายตัวไปนาน แต่กัมมันตภาพของ A หลังจากการสลายตัว มีค่าเท่ากับกัมมันตภาพเริ่มต้น

จากสมการ (2.5) แทนค่า  $e^{-\lambda_1 t} = 1$  และ  $(\lambda_2 - \lambda_1) = \lambda_2$  เมื่อระยะเวลาการสลายตัวผ่านไปนานๆ

$t = \infty$  ดังนั้น  $e^{-\lambda_2 t} = 0$  จะได้  $N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 (e^{-\lambda_2 t})$  (2.8)

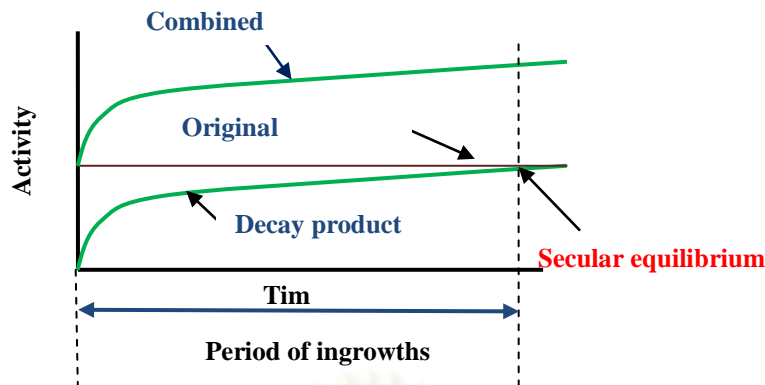
แทนค่า  $N_1$  จาก (2.1) ลงใน (2.8) จะได้

$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$  (2.9)

ในกรณีธาตุกัมมันตรังสีมีการสลายตัวต่อเนื่องหลาย ๆ ครั้งจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \lambda_4 N_4 = \dots$  (2.10)

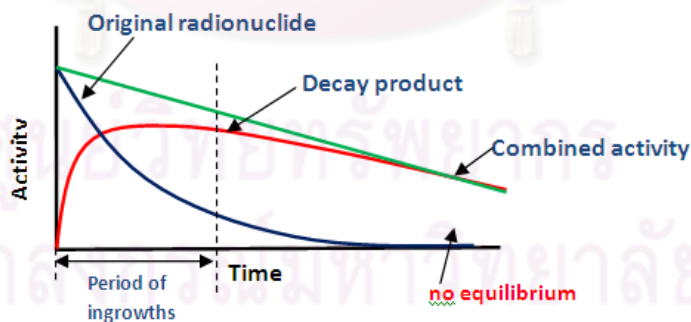
สถานะที่นิวไคลด์ลูกมากกว่านิวไคลด์แม่ หลังจากผ่านการสลายตัวไปนานระยะหนึ่งนั้น เรียกว่า สมดุลถาวร (ภาพที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์

2.4.3. ไม่มีสมดุลทางรังสี (No equilibrium)

สมดุลทางรังสีจะไม่เกิดขึ้นในกรณีที่นิวไคลด์แม่มีครึ่งชีวิตสั้นกว่านิวไคลด์ลูก จะไม่มีสภาวะสมดุล(no equilibrium) เนื่องจากนิวไคลด์แม่สลายตัวไปก่อน กัมมันตภาพของนิวไคลด์ลูกจะค่อยๆเพิ่มขึ้นแล้วลดลงดังภาพที่ 2.4 ถ้าเริ่มต้นจากนิวไคลด์แม่แล้วพิจารณาความแรงรังสีจะพบว่า ความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจะเพิ่มขึ้นผ่านจุดที่มากที่สุดแล้วลดลง ณ จุดที่ค่าความแรงรังสีมากที่สุด ความชันของเส้นกราฟนิวไคลด์ลูก  $dN_2/dt = 0$  สามารถคำนวณระยะเวลาของความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจากริมต้นจนมีค่ามากที่สุดได้ โดยอาศัยสมการดิฟเฟอเรนเชียล (สมการที่ 2. 5) โดยการตั้งสมการดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับศูนย์ แล้วคำนวณหาค่า  $t$



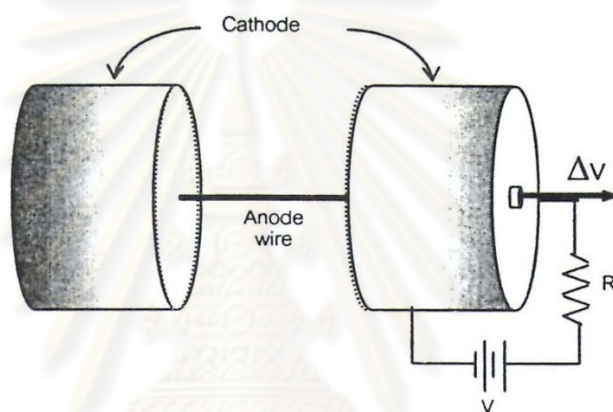
รูปที่ 2.5 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี



## 2.5 ระบบการวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.5.1 ระบบเทคนิคการวัดรังสีแอลฟาและรังสีเบตาารวม [12]

สำหรับการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องวัดรังสีแอลฟา-เบตาแบบกราวด์พลังงานต่ำชนิด Gas flow Proportional counter ซึ่งเป็นหัววัดแบบบรรจุก๊าซ (gas-filled detectors) เมื่อรังสีที่เป็นอนุภาคมีประจุเหมือน ก่อให้เกิดการหลุดออกไปของอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมของก๊าซ เมื่อมีแนวของขั้วไฟฟ้าตรงกันข้ามอยู่ในบริเวณนั้น และมีความต่างศักย์ที่แนวของขั้วไฟฟ้านี้ จะเกิดมีสนามไฟฟ้ามีทิศทางจากแนวขั้วไฟฟ้าบวกไปยังขั้วไฟฟ้าลบ การเคลื่อนที่ของประจุที่เกิดขึ้นข้างต้นจะเป็นไปในแนวทิศทางของสนามไฟฟ้านี้ และมีกระแสไหลในวงจรที่ต่อครบ ดังรูปที่ 2.6

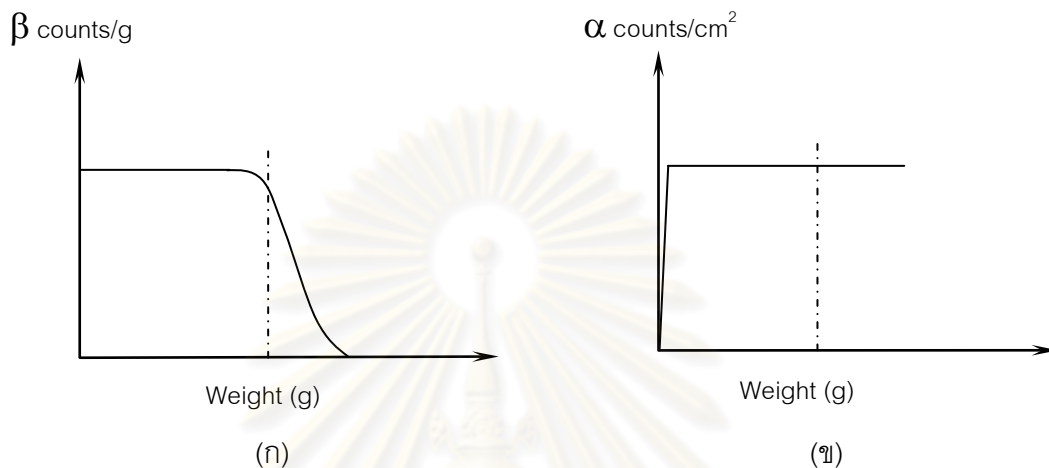


รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมของหัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ

ในขณะที่สนามไฟฟ้าไม่เข้มข้นพอคู่ของประจุที่เกิดขึ้นกลับไปรวมตัวกันได้ (Recombination) แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น สนามไฟฟ้าเข้มข้นมากขึ้นจนทำให้คู่ประจุที่เกิดขึ้นทั้งหมดเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าตรงกันข้าม เรียกว่าเกิด ion saturation กระแสที่วัดได้มีค่าสูงสุด และถึงแม้จะเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นอีก จะไม่ทำให้ขนาดของกระแสที่หัววัดได้เพิ่มขึ้น ขนาดของกระแสอิ่มตัวนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดความเข้มข้นของสนามรังสี ถ้าสนามรังสีต่ำก็จะได้ขนาดของกระแสอิ่มตัวต่ำ ถ้าสนามรังสีสูงก็จะได้ขนาดของกระแสอิ่มตัวสูง

สำหรับระบบการวิเคราะห์รังสีแอลฟาและรังสีเบตาารวม เป็นการศึกษาดูแนวโน้มของกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ เพื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์หากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในแต่ละพื้นที่ต่อไป และได้แสดงอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาในหน่วยของ cps/cm<sup>2</sup> และอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตาารวมในหน่วยของ cps/g การวิจัยตัวอย่างตะกอนดินที่เตรียมเพื่อการวัดรังสี ทำโดยชั่งน้ำหนักให้เท่ากันทั้งหมดและทำการอัดตัวอย่างให้พื้นที่ผิวเรียบและความสูงเท่ากัน

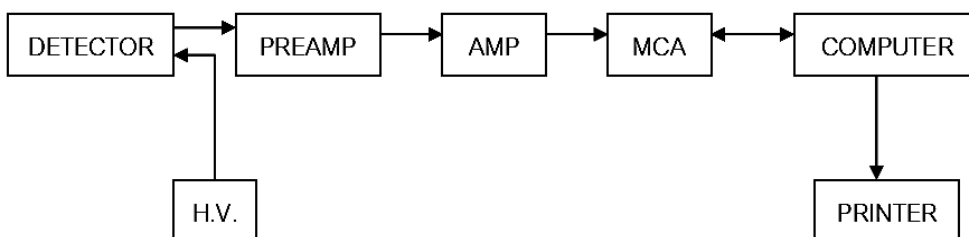
ทุกตัวอย่าง ในกรณีของรังสีเบตาเมื่อความหนาของตัวอย่างเพิ่มขึ้นค่าอัตราการนับรังสีมีค่าคงที่ ที่ความหนาไม่มากแต่จะมีค่าลดลงเมื่อตัวอย่างมีความหนามากขึ้นจึงแสดงผลต่อน้ำหนักของ ตัวอย่าง ดังแสดงในรูป (ก) และในกรณีของการวัดรังสีแอลฟา อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาจะ สามารถผ่านวัสดุได้ที่พื้นที่ผิวบางๆเท่านั้นและเมื่อมีความหนาเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราการนับรังสีจะมี ค่าคงที่จึงแสดงผลต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูป (ข)



รูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) ความสัมพันธ์ของค่าอัตราการนับรังสีเบตาและแอลฟา ต่อน้ำหนักของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น

2.5.2 ระบบวิเคราะห์การวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี [13]

สำหรับระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมาในการทดลองนี้ จะใช้หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High-purity germanium detectors, HPGe) ซึ่งเป็นหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detectors) ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา โดยทั่วไปจะประกอบด้วย หัววัด (Detector) และเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (MCA) โดยทั่วไปหัววัดจะต่ออยู่กับแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักตาสูง (High-Voltage) จ่ายกระแสให้กับหัววัดรังสี และเมื่อมีรังสีแกมมาผ่านเข้าทำอันตรกิริยากับหัววัด ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นสัญญาณ จากนั้นทำการขยายสัญญาณและเข้าเครื่องนับ (Counter) ซึ่งขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ดูดกลืนในหัววัด



รูปที่ 2.8 แผนผังของระบบวัดรังสีแกมมา

### การวิเคราะห์ธาตุ

เรเดียม-226 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่มาจากพื้นดิน และมีค่าครึ่งชีวิตยาวที่สุดเมื่อเทียบกับไอโซโทปเรเดียมตัวอื่น คือ เรเดียม-226 = 1600 ปี ส่วนไอโซโทปเรเดียมตัวอื่นได้แก่เรเดียม-223 = 11.4 วัน, (เรเดียม-223 เกิดมาจากอนุกรมยูเรเนียม-235) เรเดียม-224 = 3.6 วัน, เรเดียม-228 = 5.7 ปี และธาตุที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมการสลายตัว คือ โปแตสเซียม-40 =  $1.26 \times 10^{10}$  ปี และที่มนุษย์ผลิตขึ้น คือ ซีเซียม-137 = 30.17 ปี

#### 2.5.2.1 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226

การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 จากตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธี

- วัดโดยตรงจากรังสีแกมมาพลังงาน 186.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ของ เรเดียม-226
- วัดโดยอ้อมจากธาตุลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ เรเดียม-226 คือ ตะกั่ว-214 ที่พลังงาน 352 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ภายหลังการเกิดภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium) กับ เรเดียม-226 แล้วซึ่งต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ จากนั้นนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานยูเรเนียม

#### 2.5.2.2 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-228

การวิเคราะห์ความแรงรังสีเรเดียม-228 สามารถวัดทางอ้อมได้จากนิวไคลด์ลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ Ra-228 คือ Ac-228 พลังงาน 338 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และ 911 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ภายหลังเกิดสมดุลทางกัมมันตรังสีกับ Ra-228 และคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานทอเรียม

#### 2.5.2.3 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของโปแตสเซียม-40

การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของโปแตสเซียม-40 ที่พลังงาน 1460 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์และคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโปแตสเซียม

#### 2.5.2.4 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของซีเซียม-137

การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของซีเซียม-137 ที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์และคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานซีเซียม

#### 2.5.2.5 การคำนวณความเข้มข้นรังสี

การคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีในตัวอย่างตะกอนดิน จะทำการคำนวณความเข้มข้นรังสีโดยใช้ค่าความเข้มข้นสุทธิ (Net peak area) ของพีคที่สนใจ สำหรับในการทดลองนี้พีคที่สนใจก็คือ พีคของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และของแอกติเนียม-228 ที่พลังงาน 911 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โปแตสเซียม-40 ที่พลังงาน 1460 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และซีเซียม-137 ที่

พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์เนื่องจากให้ความเข้มของพลังงานที่สูงกว่าธาตุอื่นและให้ค่าแบบควอดรนต์ต่ำ สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

$$A_{(Sample)} = A_{(Std)} \times \frac{Wt_{(Std)}}{Wt_{(Sample)}} \times \frac{R_{(Sample)}}{R_{(Std)}} \quad (2.11)$$

$A_{std}$  = ความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐาน (Bq/g)

$R_{std}$  = อัตราการนับของสารมาตรฐาน (count/s)

$Wt_{std}$  = น้ำหนักของสารมาตรฐาน (g)

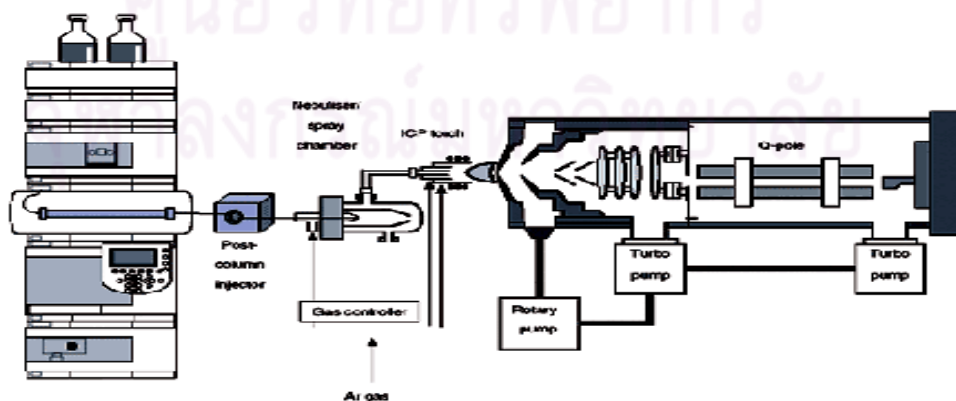
$A_{sam}$  = ความแรงรังสีจำเพาะของสารตัวอย่าง (Bq/g)

$R_{sam}$  = อัตราการนับของสารตัวอย่าง (count/s)

$Wt_{sam}$  = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)

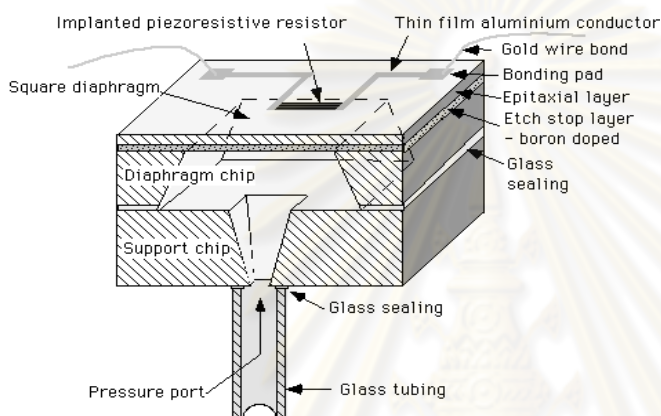
### 2.5.3 ระบบการวิเคราะห์ธาตุ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$

ในการทดลองนี้ เครื่องมือที่สนับสนุนการวิเคราะห์หาธาตุปริมาณน้อยที่เกิดขึ้นในตะกอนดินสำหรับระบบการวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  คือ Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) โดยใช้หลักการวัดมวลสารที่แตกต่างกันของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ โดยใช้พลาสมาในการผลิตไอออนของธาตุ เครื่องมือจะมีแหล่งกำเนิดพลาสมาซึ่งเป็นเปลวความร้อนสูง (6000 – 10000 K) เกิดจากชนกันของอนุภาคอาร์กอนที่แตกตัวโดยการเร่งพลังงานด้วยสนามแม่เหล็กและขดลวดทองแดง (Inductive Coupling) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ทำให้ธาตุในตัวอย่างที่ผ่านการสเปรย์ให้เป็นละอองฝอยถูกเผาให้แตกตัวกลายเป็นไอออนประจุ +1 และส่งผ่านไปเพื่อทำการแยกตามน้ำหนักมวลสารในแต่ละธาตุและตรวจวัดหาปริมาณด้วยการเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า แสดงผลออกมาในรูปของโครมาโทแกรม

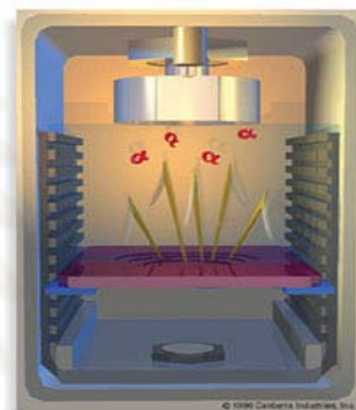


รูปที่ 2.9 แผนผังของเครื่องมือ ICP-MS [14]

เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  อีกวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกันกับการวิเคราะห์แบบ ICP-MS คือ ระบบการวิเคราะห์รังสีแอลฟา (Alpha-Spectrometry) แบบ หัววัดรังสีกึ่งตัวนำชนิดPIPS (Passivated implanted planar silicon detector) หัววัดรังสีนี้เริ่มจากแผ่นผลึกสารอินทรีย์ใช้เทคนิคการเจือสารแบบไอออนอิมพลานต์ (ion implantation) ร่วมกับการสร้างแบบด้วย photolithography ทำให้ได้รูปทรงและรอยกัดที่ละเอียด ดังรูปที่ 2.9(ก) จึงทำให้หัววัดมี dead layer บางมาก มีความต้านทานรอยต่อสูงจึงมีกระแสรั่วไหลต่ำและสิ่งรบกวนต่ำ นอกจากนี้ผิวอลูมิเนียมที่เคลือบผิวหน้าผลึกวัดรังสีจะมีความคงทนต่อการเสียหาย และมีประสิทธิภาพในการวัดอนุภาคแอลฟาที่ดีอีกด้วย [15]



(ก) รูปการเจือสาร [16]



(ข) หัววัดรังสีแบบ PIPS [17]

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของหัววัดกึ่งตัวนำแบบ PIPS

#### 2.5.4 เทคนิคการหาค่า Distribution Coefficients, $K_d$

สารกัมมันตรังสีนั้นสามารถละลายน้ำได้และเข้ามาปะปนในดินเกิดการสะสม โดยการสะสมมากหรือน้อยในดินนั้นขึ้นกับเวลาที่สารกัมมันตรังสีอยู่บริเวณที่เกิดการปนเปื้อน ค่า Distribution Coefficients,  $K_d$  เป็นเทคนิคที่ใช้ในการดูความสามารถในการดูดซับสารกัมมันตรังสีของตะกอนดินในน้ำทะเล โดยความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ละลายในน้ำทะเลจะถูกลดลงเนื่องจากการดูดซับในตะกอนดิน โดยค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจง ( $K_d$ ) เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตะกอนดิน แหน่ง ต่อความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในชั้นสารละลาย ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.12

$$K_d = \frac{\text{Concentration of bound radionuclide in dry sediment (Bq/kg)}}{\text{Concentration of radionuclide in aqueous phase (Bq/l)}} \quad (2.12)$$

ข้อมูลการดูดซับของสารกัมมันตรังสีชนิดต่างๆในตะกอนดิน แสดงในตารางที่ 2.10  
 ตารางที่ 2.10 Distribution Coefficients,  $K_d$  (mlg<sup>-1</sup>) ของสารกัมมันตรังสีต่างๆในตะกอนดิน  
 (adapted from IAEA,1982a.) [18]

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	$K_d$
Cs	$10^2$ - $10^4$
I	$10^2$
Pb	$10^4$
Pu	$10^4$ - $10^5$
Ra	$10^2$ - $10^3$
U	$10^2$ - $10^3$

การดูดซับของไอออนในน้ำที่ไหลผ่านดินขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี คือโดยทั่วไป ไอออนบวกจะสามารถดูดซับได้มากกว่าไอออนลบในอนุภาคของดิน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) มีความสำคัญมากในสารกัมมันตรังสีที่เป็นของเหลวไหลผ่านดิน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนคือ ค่า pH และ การตกตะกอนของดิน อินทรีย์วัตถุเป็นตัวช่วยของการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างสารกัมมันตรังสีที่ละลายได้กับอนุภาคของดิน รวมทั้งชนิดของดินก็มีผลต่อการดูดซับด้วย เช่น ในทรายการเคลื่อนที่ของการตกตะกอนจะเร็ว ส่วนดินเหนียว จะมีการเคลื่อนที่ของการตกตะกอนช้ากว่า และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกผลผลิตจากพืชชั้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในเรื่อง Distribution Coefficients,  $K_d$  ส่วนใหญ่ทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาของตะกอนดินในน้ำประเภทต่างๆและค่า pH จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องของ P.McDonald และ K.Johnston [2] ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของ <sup>60</sup>Co ในตะกอนดินประเภทต่างๆในน้ำทะเล ของ Solway ที่เมือง Firth โดยศึกษาค่า  $K_d$  ในตะกอนชนิดต่างๆ ได้แก่ saltmarsh, silt และ mud และศึกษาอิทธิพลของค่า pH และชนิดของน้ำต่างๆได้แก่ น้ำ di-onised, สารละลาย NaCl (31%) และน้ำทะเลธรรมชาติ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงการดูดซับของ <sup>60</sup>Co ในตะกอนดินซึ่ง พบว่า  $K_d$  ในช่วง pH 5-8 มีค่าสูงใน di-onised water และมีค่าน้อยในสารละลาย NaCl (31%)และน้อยมากในน้ำทะเลธรรมชาติ และจากการศึกษาของ Rhodes,D.W.1957 [19] ซึ่งทำการศึกษา ปฏิกิริยาของซีเซียม-137 กับดินซึ่งประกอบด้วยดินเหนียวมาตราฐานชนิดมอนท์โมริลโลไนท์และเกาลีไนท์นั้น พบว่าเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน โดยดินเหนียวเหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับซีเซียม-137 สูงแต่ถ้าในดินเหนียวนั้นมีไอออนบวก

อื่นๆปะปนอยู่ด้วยการดูดซับซีซีเอ็ม-137 จะลดน้อยลงและการรับซีซีเอ็ม-137 ของดินนั้นไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความเป็นกรดต่าง ในช่วงระหว่าง pH 4-10 ยกเว้นในน้ำกลั่นที่ pH ต่ำๆ คือต่ำกว่า 3.7

ดินประกอบด้วยส่วนผสมของแร่ธาตุต่างๆและอินทรีย์วัตถุ ดินมีขนาดอยู่ระหว่างไมคอน (micron) คือ ดินเคลย์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรในทราย โดยอนุภาคของทรายนั่นจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี เนื่องจากขนาดของเม็ดทรายมีขนาดใหญ่ จึงทำให้น้ำเดินทางทะลุผ่านได้ง่าย ในขณะที่โคลนหรือเลน นั้นมีขนาดของอนุภาคตะกอนดินเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้ง่าย และในอนุภาคดินเหนียว นั้นสามารถเป็นตัวกีดขวางการไหลของน้ำได้ โดยชนิดของตะกอนดินสามารถแบ่งตามขนาดของเม็ดดินได้ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 การแบ่งชนิดของตะกอนดินตามขนาดของเม็ดดิน [20]

ชนิดของตะกอน	ขนาดของเม็ดดิน(mm.)
ทรายหยาบ (Very coarse sand)	2-1
กรวด (Coarse sand)	1-0.5
ทรายกลาง (Medium sand)	0.5-0.25
ทรายละเอียด (Fine sand)	0.25-0.10
ทรายมาก (Very fine sand)	0.10-0.05
ดินร่วน (silt)	0.05-0.002
ดินเหนียว (Clay)	น้อยกว่า 0.002

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บมาจากชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ได้ใช้การวิเคราะห์หลายเทคนิค และได้ทำการศึกษาการดูดซับสารรังสี Cs-137 ในตะกอนดินที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients,  $K_d$ ) ซึ่งมีการใช้วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยตามเทคนิคต่างๆ โดยแบ่งแยกตามลักษณะการวิเคราะห์ดังนี้

#### 3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1. ตะกอนดินตัวอย่างแบ่งออกเป็น 5 พื้นที่ (รูปที่ 3.2) ดังนี้

- (1) ดินตะกอนจากพื้นที่ อ.บางสะพานน้อย ประจวบคีรีขันธ์
- (2) ดินตะกอนจากพื้นที่ อ.ประทิว ชุมพร
- (3) ดินตะกอนจากพื้นที่ อ.ท่าชนะ สุราษฎร์ธานี
- (4) ดินตะกอนจากพื้นที่ อ.บ้านดอน สุราษฎร์ธานี
- (5) ดินตะกอนจากพื้นที่ อ.ลิขิต นครศรีธรรมราช

3.1.2. ระบบการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีบีตารวม และแอลฟารวม

- (1) สารมาตรฐานในการวัดรังสีบีตารวม ใช้ KCl (รูปที่ 3.7)
- (2) สารมาตรฐานในการวัดรังสีแอลฟารวม Am-241/NaCl (รูปที่ 3.8)

3.1.3. ระบบแกมมาสเปกโตรเมตรีวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$

- (1) สารมาตรฐาน แร่ยูเรเนียม ของ IAEA รหัส RGU-1 ที่มียูเรเนียมเข้มข้น  $400 \pm 2$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ Ra-226 ในตัวอย่างตะกอนดิน)
- (2) สารมาตรฐาน แร่ทอเรียม ของ IAEA รหัส RGTh-1 ที่มีทอเรียมเข้มข้น  $800 \pm 16$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ Ra-228 ในตัวอย่างตะกอนดิน)



- (3) สารมาตรฐาน แร่โปแตสเซียม ของ IAEA รหัส RGK-1 ที่มีโปแตสเซียมเข้มข้น  $448 \pm 3$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ K-40 ในตัวอย่างตะกอนดิน)
- (4) ดินที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน IAEA-Soil รหัส 375 (สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ Cs-137 ในตัวอย่างตะกอนดิน)

#### 3.1.4. เทคนิคการวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$

##### 3.1.4.1 ระบบ Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS)

- (1) กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 65%
- (2) กรดเปอร์คลอริก ( $\text{HClO}_4$ )
- (3) กรดไฮโดรฟลูออริก ( $\text{HF}$ ) ความเข้มข้น 10%

##### 3.1.4.2 ระบบอัลฟาสเปกโตรเมตรี

- (1) Ion exchange resis (large AG1-X8, 100-200 mesh)
- (2) ตัวติดตามสารละลาย  $^{232}\text{U}/^{229}\text{Th}$  ที่ความเข้มข้นสารรังสี 57.78 dpm/g และ 29.71 dpm/g
- (3) กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 65%
- (4) กรดไฮโดรฟลูออริก ( $\text{HF}$ ) ความเข้มข้น 10%
- (5) กรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) ความเข้มข้น 37%
- (6) สารละลาย Cerous nitrate
- (7) สารละลาย Titanous chloride ( $\text{TiCl}_3$ ) solution 25%
- (8) Ethanol (Ethyl Alcohol) Absolute GR ACS
- (9) น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

#### 3.1.5. เทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี การดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดิน

- (1) ตัวติดตามสารละลาย  $^{137}\text{Cs}$  ที่ความเข้มข้นสารรังสี 65.12 Bq/ml
- (2) น้ำทะเลในพื้นที่อ่าวไทย pH = 8.1 ค่าความเค็ม 31.9 psu

- (3) ตะกอนดินชนิดทรายหยาบ ของพื้นที่ อ.บางสะพานน้อย  
 จ. ประจวบคีรีขันธ์, ทรายละเอียด ของพื้นที่ อ.ประทิว จ.สุราษฎร์ธานี  
 และ ดินเคลย์ ของพื้นที่ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

#### 3.2.1. ระบบการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีบีตารวมและแอลฟารวม

- (1) จานวัดรังสี (รูปที่ 3.5)
- (2) เครื่องวัดรังสีแอลฟา-บีตา ระดับแบบคกราวด์ต่ำชนิด Gas Flow Proportional Counter รุ่น Berthold LB770 Win ของสำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู (รูปที่ 3.9)

#### 3.2.2. ระบบแกมมาสเปกโตรเมตรีเพื่อวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{40}\text{K}$ และที่มนุษย์สร้างขึ้น $^{137}\text{Cs}$

- (1) ภาชนะพลาสติกกลมใสแบบมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 เซนติเมตร. สูง 5.0 เซนติเมตร. (รูปที่ 3.13 ก))
- (2) ถาดทนความร้อนขนาด 8 นิ้ว × 12 นิ้ว × 12 นิ้ว (กว้าง × ยาว × สูง)
- (3) ตะแกรงร่อน ขนาด 250 mash
- (4) ถุงซีปอล์ค
- (5) เทปกาว
- (6) กาวซิลิโคน
- (7) เต้าไฟฟ้าชนิดปรับอุณหภูมิได้ (50-400 องศาเซลเซียส)
- (8) เครื่องขังสาร ที่มีความละเอียดตดนิยม 4 ตำแหน่ง
- (9) เครื่องบดและผสมสาร (รูปที่ 3.4)
- (10) ระบบการวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในการทำการวิจัยนี้ได้ใช้ระบบของ CANBERRA หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe )  
 มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (relative efficiency) เท่ากับ 30% (รูปที่ 3.15)
- (11) เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (Multichannel analyzer; MCA) รุ่น Inspector 2000 พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงาน Genie-2000

(12) ระบบของ ORTEC หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe) มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (relative efficiency) เท่ากับ 25% (รูปที่ 3.14)

(13) เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (Multichannel analyzer; MCA) รุ่น DSPEC - jr 2.0<sup>TM</sup> พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงาน MAESTRO รุ่น 6.06

(14) เครื่องกำบังรังสีที่ให้แก่คกราวด์ต่ำ (Shield)

### 3.2.3. เทคนิคการวิเคราะห์ <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U และ <sup>232</sup>Th

(1) Ion exchange columns ขนาดความยาว 10-12 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร

(2) Teflon beakers (graphite bottom type preferred)

(3) Hot plate

(4) กระจกกรอง Gelman Matricel ขนาดรู 0.1 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

(5) แผ่นสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

(6) หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร

(7) เครื่อง centrifuge รุ่น Rotofix 32A (รูปที่ 3.19)

(8) ระบบการวัดโดย ICP-MS ของ Agilent 7500 (Agilent Technologies, Tokyo, Japan).

(9) A microwave unit (MLS 1200 mega, Italy)

(10) ระบบการวัดรังสีแอลฟาที่ใช้ในการทำการวิจัยนี้ได้ใช้ระบบของ CANBERRA Model 1520 ซึ่งเป็นหัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) Detector ของ สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู (รูปที่ 3.16)

### 3.2.4. เทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสีของตะกอนดิน

(1) ขวดพลาสติกปริมาตร 500 มิลลิลิตร และ 250 มิลลิลิตร

(2) เครื่องเขย่า รุ่น Gerhardt Bonm type LS2 (รูปที่ 3.18)

(3) เครื่อง centrifuge รุ่น Rotofix 32A

(4) ระบบวัดรังสีแกมมาเหมือนกับระบบแกมมาสเปกโตรเมตรีในขั้นตอนที่ 3.2.2

(5) ชุดกรวยกรอง

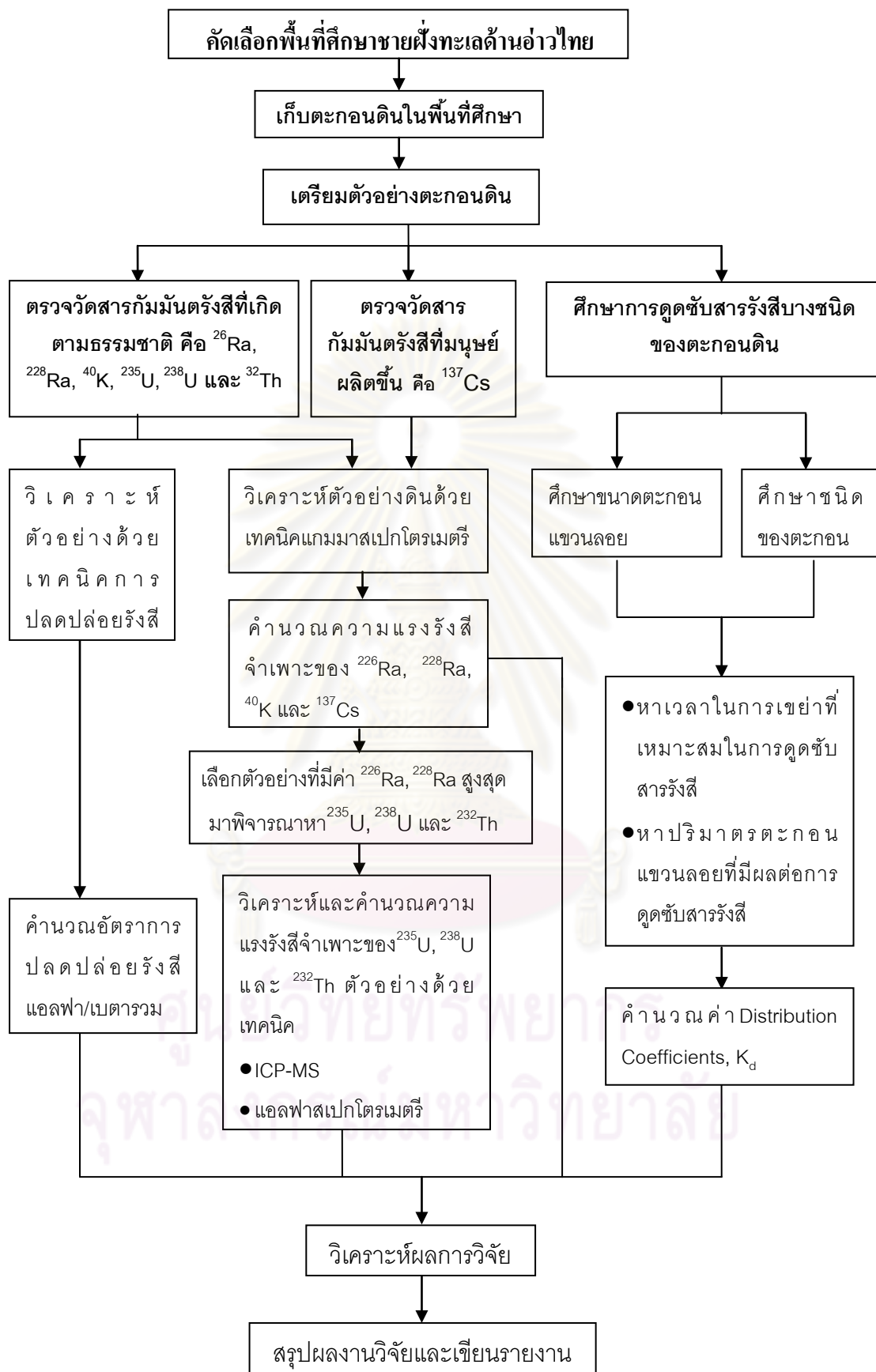
(6) กระจกกรองขนาดรู 0.45 ไมโครเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็นสามเทคนิคด้วยกันและการหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี การดูดซับสารรังสี Cs-137 ในตะกอนดิน โดยมีแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานแสดงในรูปที่ 3.1



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดการดำเนินงานของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

### 3.3.1. ขั้นตอนการเลือกพื้นที่ศึกษาชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย

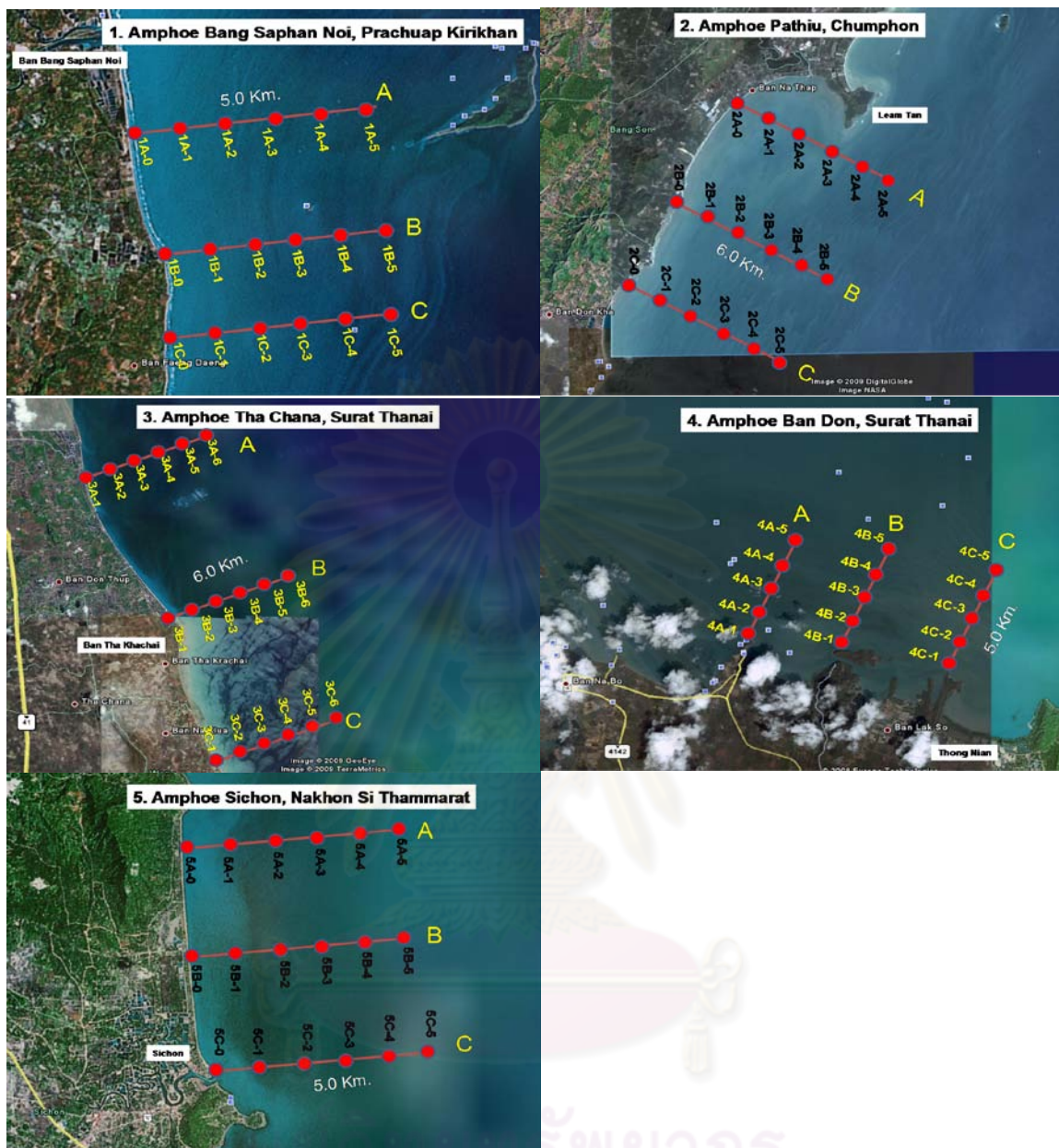
การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาได้คัดเลือกตามการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Nuclear Power Plant Feasibility Study) 2009 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินร่วมกับบริษัท เอทีที คอนซัลแตนท์ จำกัด การศึกษานี้ได้กำหนดบริเวณพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่งใน 4 จังหวัด แสดงในรูปที่ 1.1 ได้ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงวันที่ 30 ตุลาคม 2551 ถึง 5 พฤศจิกายน 2551 ดังนี้

1. อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
2. อำเภอประทิว จังหวัดชุมพร
3. อำเภอท่าชนะ และ อำเภอบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
4. อำเภอลิขิต จังหวัดนครศรีธรรมราช

### 3.3.2. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

เมื่อคัดเลือกพื้นที่ศึกษาแล้วได้ทำการวางแผนการเก็บตัวอย่าง โดยแต่ละจังหวัดทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุด ซึ่งในแต่ละจุดได้ออกแบบวิธีการเก็บตะกอนดินในตำแหน่งที่ห่างจากชายหาดตัวอย่างละ 1 กิโลเมตร ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ในแต่ละจังหวัด ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้นจะได้ตัวอย่างตะกอนดินจำนวน 18 ตัวอย่างต่อจังหวัด แต่อย่างไรก็ตามในบริเวณใดที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินตะกอนชายฝั่งได้ทำการออกแบบการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ เช่น ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่อำเภอบ้านดอนนั้น ไม่มีชายหาดแต่เป็นป่าชายเลน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 บริเวณตำแหน่งพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน [1]

จากรูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการเก็บของตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล ในการเก็บตัวอย่าง 3 แนว เนื่องจากว่าขนาดตะกอนชายฝั่งในบริเวณเดียวกันที่มีความลึกประมาณเท่ากันจะมีขนาดใกล้เคียงกัน จึงเก็บ 3 แนวเพื่อหาขนาดค่าแต่ละจุดของพื้นที่ ซึ่งจากภาพบางแห่งเห็นว่าการเรียงท่ามุมแตกต่างกันตามลักษณะพื้นที่ชายฝั่ง เนื่องจากการเก็บตะกอนชายฝั่งโดยทั่วไปจะเก็บแนวประมาณตั้งฉากกับชายฝั่ง สำหรับขนาดตะกอนชายฝั่งโดยทั่วไปขนาดตะกอนเม็ดหยาบจะอยู่ในบริเวณชายฝั่งหรือน้ำตื้น และ ตะกอนจะไล่เม็ดเล็กลงเรื่อย ๆ ตามความลึกของทะเล

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินในเบื้องต้นได้ทำการเก็บตัวอย่างที่บริเวณชายหาด และที่ระยะห่างออกไปจากเส้นแนวชายฝั่งทะเลทุก ๆ 1 กิโลเมตร จนถึงที่ระยะสุดท้ายที่ 5 กิโลเมตร ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนแบบจ้วง แสดงในภาพที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ และ อ.ประทิว จ.ชุมพร

ตำแหน่ง	พิกัดจุด(UTM)		ตำแหน่ง	พิกัดจุด(UTM)	
	E	N		E	N
อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์			อ.ประทิว จ.ชุมพร		
1A-0	554,026.47	1,223,940.69	2A-0	535,865.73	1,180,191.32
1A-1	555,021.00	1,224,048.00	2A-1	536,631.89	1,179,528.77
1A-2	556,013.40	1,224,162.71	2A-2	537,397.95	1,178,976.81
1A-3	557,007.13	1,224,273.86	2A-3	538,164.16	1,178,314.30
1A-4	558,000.42	1,224,385.00	2A-4	538,930.40	1,177,651.80
1A-5	559,049.04	1,224,502.24	2A-5	539,805.90	1,177,100.01
1B-0	554,387.12	1,221,677.81	2B-0	533,463.80	1,176,429.79
1B-1	555,369.85	1,221,790.03	2B-1	534,229.76	1,175,988.32
1B-2	556,352.58	1,221,902.28	2B-2	535,105.22	1,175,436.41
1B-3	557,335.31	1,222,014.56	2B-3	536,090.20	1,174,774.08
1B-4	558,318.03	1,222,126.86	2B-4	536,856.35	1,174,222.09
1B-5	559,392.28	1,222,243.52	2B-5	537,622.42	1,173,780.69
1C-0	554,717.35	1,220,130.44	2C-0	531,279.96	1,172,779.22
1C-1	555,700.32	1,220,132.10	2C-1	532,155.35	1,172,337.80
1C-2	556,683.10	1,220,244.35	2C-2	532,921.28	1,172,006.85
1C-3	557,666.07	1,220,246.07	2C-3	533,796.82	1,171,454.91
1C-4	558,758.26	1,220,248.02	2C-4	534,672.17	1,171,124.10
1C-5	559,741.23	1,220,249.80	2C-5	535,547.64	1,170,682.76



ตารางที่ 3.2 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา อ.ท่าชนะ และ อ.บ้านดอน  
จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	พิกัดจุด(UTM)		ตำแหน่ง	พิกัดจุด(UTM)	
	E	N		E	N
อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี			อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี		
3A-0	517,659.02	1,070,947.29	4A-1	582,128.77	1,032,337.09
3A-1	518,536.38	1,071,168.83	4A-2	582,456.06	1,033,332.83
3A-2	519,523.35	1,071,500.99	4A-3	582,783.58	1,034,218.01
3A-3	520,620.05	1,071,722.69	4A-4	583,001.04	1,035,213.52
3A-4	521,607.06	1,071,944.35	4A-5	583,328.52	1,036,098.70
3A-5	522,484.37	1,072,165.98	4B-1	584,764.79	1,032,011.09
3B-0	522,710.16	1,061,553.02	4B-2	585,092.27	1,032,896.29
3B-1	523,697.29	1,061,995.83	4B-3	585,529.28	1,033,892.30
3B-2	524,684.46	1,062,328.13	4B-4	585,856.72	1,034,777.51
3B-3	525,561.84	1,062,770.93	4B-5	586,184.14	1,035,662.73
3B-4	526,439.35	1,062,992.64	4C-1	588,280.59	1,031,134.44
3B-5	527,426.47	1,063,325.00	4C-2	588,607.74	1,032,130.24
3C-0	524,910.14	1,052,820.74	4C-3	589,044.68	1,033,126.30
3C-1	525,897.55	1,053,153.06	4C-4	589,372.05	1,034,011.54
3C-2	526,885.02	1,053,374.85	4C-5	589,699.14	1,035,007.36
3C-3	527,872.39	1,053,707.22			
3C-4	528,859.83	1,053,929.07			
3C-5	529,847.18	1,054,261.49			

ตารางที่ 3.3

พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

ตำแหน่ง	พิกัดจุด(UTM)	
	E	N
<u>อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช</u>		
5A-0	599,993.71	1,002,305.76
5A-1	600,982.46	1,002,418.81
5A-2	601,971.49	1,002,421.32
5A-3	602,960.52	1,002,423.86
5A-4	603,949.27	1,002,536.98
5A-5	604,938.01	1,002,650.13
5B-0	600,110.25	999,652.54
5B-1	601,209.24	999,655.30
5B-2	602,198.06	999,768.38
5B-3	603,187.16	999,770.91
5B-4	604,175.97	999,884.04
5B-5	605,164.78	999,997.19
5C-0	600,445.76	997,331.57
5C-1	601,434.63	997,444.61
5C-2	602,533.69	997,447.41
5C-3	603,412.94	997,449.66
5C-4	604,401.81	997,562.78
5C-5	605,390.97	997,565.37



รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

### 3.3.3. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

จัดเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน บรรจุลงในภาชนะความร้อน แล้วนำเข้าอบที่เตาไฟฟ้าด้วย อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง. หรือจนกระทั่งตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างที่ผ่านการอบ เรียบร้อยแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำมาบดด้วยเครื่องบดสารในรูปที่ 3.4 จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 250 mash จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 3.4 เครื่องบดสารตัวอย่างพร้อมโถบดตัวอย่าง

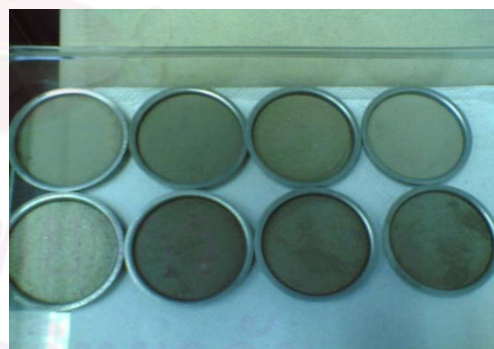
### 3.3.4. เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีบีตาารวมและแอลฟารวม [21]

เทคนิคการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตาารวม มีวัตถุประสงค์เพื่อดูแนวโน้มของค่าความแรงรังสีในพื้นที่ศึกษา ด้วยหัววัดรังสีแบบ Gas flow Proportional counter โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

- (1) การเตรียมสารมาตรฐานในการวัดรังสีบีตาารวม ใช้ KCl น้ำหนัก 9.29 กรัม
- (2) การเตรียมสารมาตรฐานในการวัดรังสีแอลฟารวม ใช้ สารมาตรฐาน Am-241/NaCl 9.29 กรัม (Am-241= 26.4 dpm/ml เตรียม 0.5 มิลลิลิตร)
- (3) นำสารมาตรฐานในจานวัดรังสีไปวัดหาจำนวนนับรังสีบีตาารวมและแอลฟารวม เป็นเวลา 100 นาที ด้วยเครื่องวัดรังสีแอลฟา-บีตา (ดังรูปที่ 3.9)
- (4) ชั่งน้ำหนักงานวัดรังสี พร้อมกับเขียนชื่อตัวอย่างไว้ใต้จานวัดรังสี นำตัวอย่างตะกอนดินบรรจุลงในจานวัดรังสี (ดังรูปที่ 3.6)
- (5) นำจานวัดรังสีที่มีตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของตัวอย่าง โดยการนำจานวัดรังสีเปล่าจากข้อ 4) มาหักออก
- (6) นำตัวอย่างในจานวัดรังสีไปวัดหาจำนวนนับรังสีบีตาารวมและแอลฟารวม เป็นเวลา 100 นาที ด้วยเครื่องวัดรังสีแอลฟา-บีตา



รูปที่ 3.5 จานวัดรังสี



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างตะกอนดินบรรจุลงในจานวัด



รูปที่ 3.7 สารมาตรฐานรังสีปีตาขาว



รูปที่ 3.8 สารมาตรฐานรังสีแอลฟาขาว



รูปที่ 3.9 ระบบวัดรังสีแอลฟา-ปีตา ระดับแบคกราวด์ต่ำชนิด Gas Flow- Proportional Counter

### 3.3.2. เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์แกมมาสเปกโตรเมตรี ได้แก่ $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{40}\text{K}$ และ $^{137}\text{Cs}$

เทคนิคการวิเคราะห์รังสีแกมมา หรือแกมมาสเปกโตรเมตรี วัดอุปประสงค์เพื่อหาค่าความ  
 แร่งรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และมนุษย์ผลิตขึ้น  
 ได้แก่  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง มี  
 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

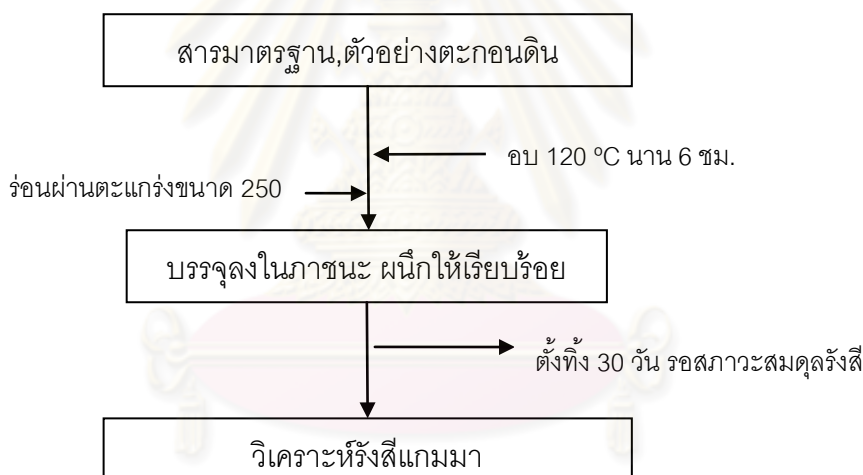
#### ก. การเตรียมสารมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐาน แร่ยูเรเนียม ของ IAEA รหัส RGU-1 ที่มียูเรเนียมเข้มข้น  
 $400 \pm 2$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม สารมาตรฐาน แร่ทอเรียม รหัส RGTn-1 ที่มีทอเรียมเข้มข้น  $800 \pm 16$   
 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สารมาตรฐาน แร่โปแตสเซียม รหัส RGK-1 ที่มีโปแตสเซียมเข้มข้น  $448 \pm 3$   
 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ ดินมาตรฐาน IAEA-Soil ที่มีซีเซียมเข้มข้น  $5 \pm 0.097$  Bq/kg สำหรับการ

วิเคราะห์หาปริมาณ Ra-226, Ra-228, K-40 และ Cs-137 ตามลำดับ นำสารมาตรฐาน ดังกล่าวซึ่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง น้ำหนักประมาณ 400 กรัม ก่อนบรรจุลงในภาชนะพลาสติกทรงกลมและปิดผนึกด้วยเทปกาวและกาวซิลิโคน

ข. การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

- (1) นำตัวอย่างที่ผ่านการร่อน มาบรรจุในภาชนะพลาสติกกลมแบบมีฝาปิด ขนาดและน้ำหนักเท่ากับที่บรรจุสารมาตรฐาน จำนวนอย่างละ 1 ตัวอย่าง สำหรับทำการวัดรังสีแกมมา
- (2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและบันทึกลงบนฉลากที่ติดบนภาชนะบรรจุตัวอย่าง
- (3) ปิดฝาภาชนะบรรจุตัวอย่าง และผนึกให้แน่นโดยใช้เทปกาวและซิลิโคนเพื่อไม่ให้มีอากาศผ่านเข้า-ออก จากภาชนะบรรจุตัวอย่างได้
- (4) นำตัวอย่างตะกอนดินที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้ว เก็บไว้เป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์



รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงการวัดรังสีแกมมาของสารตัวอย่างภายในอุปกรณ์กำบังรังสี

ค. การตรวจวัดรังสีแกมมาจากสารตัวอย่างที่เตรียมไว้

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความเข้มรังสีจำเพาะ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และ  $^{137}\text{Cs}$  ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี ของสารมาตรฐานยูเรเนียม สารมาตรฐานทอเรียม สารมาตรฐานโปแตสเซียม สารมาตรฐานซีเซียม และตัวอย่างตะกอนดิน (ดังรูปที่ 3.10)

- (1) วัดรังสีแบคกราวด์ภายในวัสดุกำบังรังสี ขณะไม่มีตัวอย่างเป็นเวลา 86,400 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จาก  $^{214}\text{Bi}$ , พลังงาน 911 keV จาก  $^{228}\text{Ac}$ , พลังงาน 662 keV จาก  $^{137}\text{Cs}$  และพลังงาน 1,460 keV จาก  $^{40}\text{K}$  (ดังรูปที่ 3.12)

(2) นำสารมาตรฐานยูเรเนียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 10,800 วินาที หาค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะ ของ  $^{226}\text{Ra}$  ในตัวอย่าง

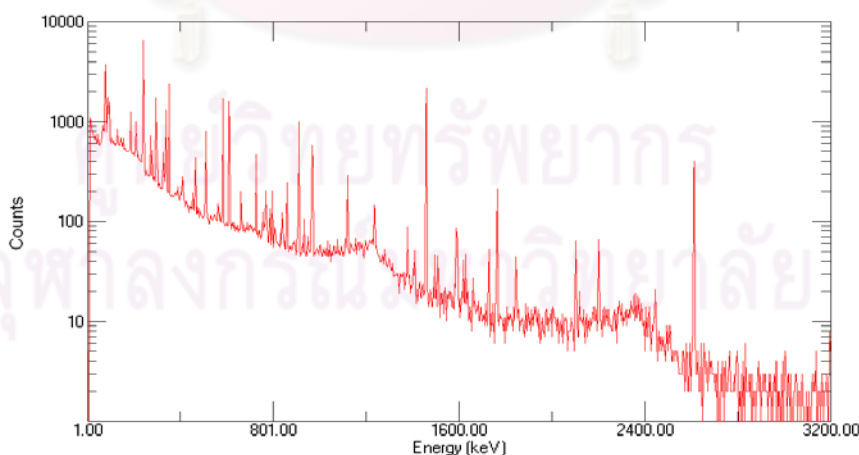
(3) นำสารมาตรฐานทอเรียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 10,800 วินาที หาค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 911 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะ ของ  $^{228}\text{Ra}$  ในตัวอย่าง

(4) นำสารมาตรฐานโปแตสเซียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 10,800 วินาที หาค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1,460 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะ ของ  $^{40}\text{K}$  ในตัวอย่าง

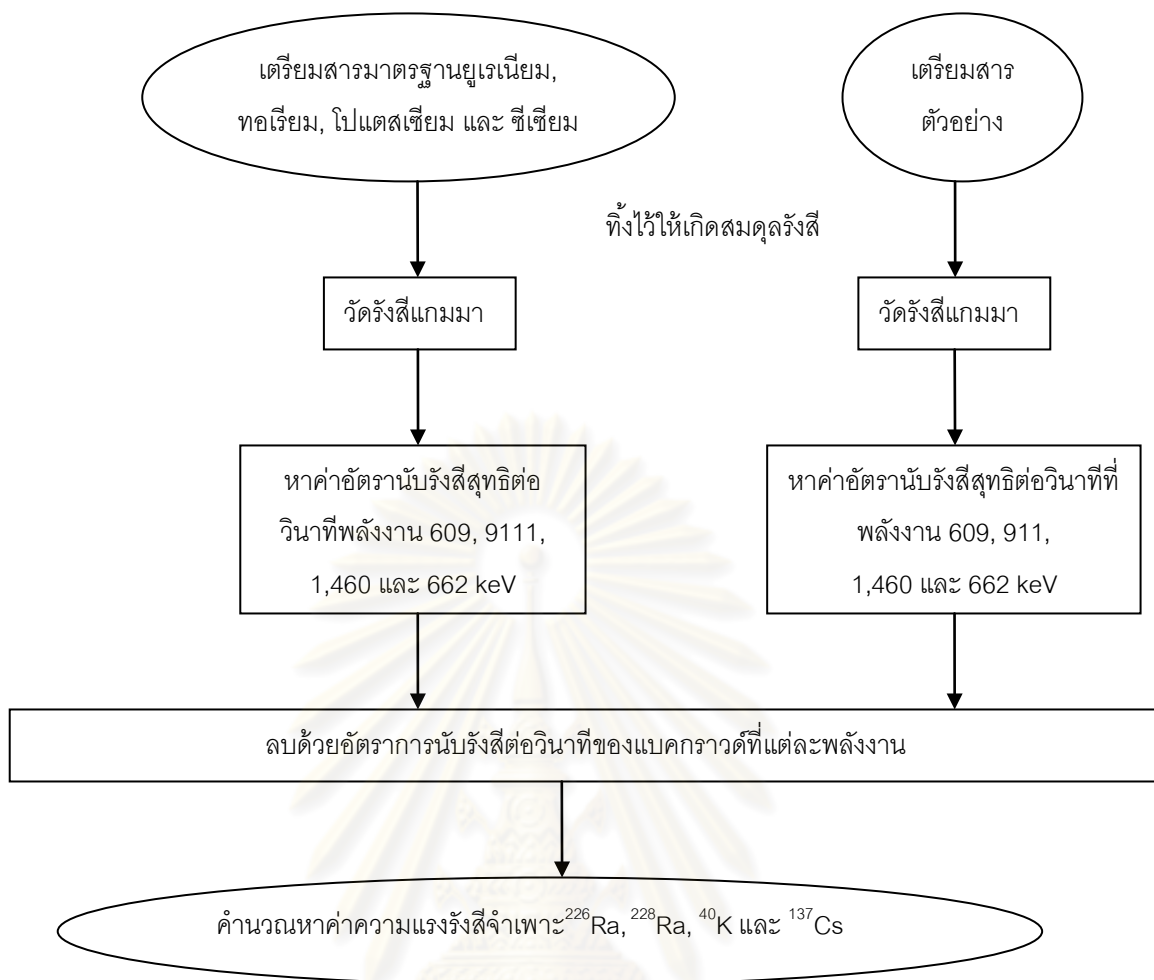
(5) นำสารมาตรฐานซีเซียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 21,600 วินาที หาค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะ ของ  $^{137}\text{Cs}$  ในตัวอย่าง

(6) นำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมในข้อ (6) ในขั้นตอน (ข) เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 43,200 วินาที (12 ชม.) จะได้สเปกตรัมของรังสีแกมมา ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และหาค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV , 911 keV, 662 keV และ 1,460 keV

(7) นำอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีที่ได้ในข้อที่ (2) ถึง (6) ของสารมาตรฐานและตัวอย่างตามลำดับหักลบกับอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของแบกกราวด์ที่ได้ในข้อ (1) ค่าที่ได้คือค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของสารมาตรฐาน ( $R_{\text{std}}$ ) และ ค่าอัตราการนับรังสีสุทธิต่อวินาทีของตัวอย่าง ( $R_{\text{sample}}$ ) (ดังแสดงในรูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.11 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาที่วัดได้จากตัวอย่างตะกอนดิน



รูปที่ 3.12 แผนผังหาค่าความแรงรังสีจำเพาะ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และ  $^{137}\text{Cs}$

(8) การคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานและตัวอย่างตะกอนดิน

การคำนวณค่าความแรงรังสีในสารมาตรฐานคำนวณได้ดังนี้

มาจาก 
$$A = N\lambda \tag{3.1}$$

เมื่อ  $A =$  ความแรงรังสี (Bqg<sup>-1</sup>)

$N =$  จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี (อะตอม)

$\lambda =$  ค่าคงที่ของการสลายตัว (s<sup>-1</sup>)

ดังนั้นค่าความแรงรังสีในสารมาตรฐานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A = \frac{C}{M} N_A \times 10^{-6} \times \left(\frac{0.693}{t_{1/2}}\right) \times \text{abundance factor} \tag{3.2}$$

เมื่อ  $A =$  ความแรงรังสี (Bqg<sup>-1</sup>)

$C =$  ความเข้มข้น (ppm), (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)



$N_A$  = เลขอาโวกาโด,  $6.02 \times 10^{23}$  (อะตอม/โมล)

$M$  = มวลอะตอม (กรัม/โมล)

Abundance factor = อัตราส่วนโดยอะตอมในธรรมชาติ

$10^{-6}$  = conversion factor (1/ppm), (กิโลกรัม/มิลลิกรัม)

$t_{1/2}$  = ค่าครึ่งชีวิต (วินาที)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 (ก) ภาชนะบรรจุ

(ข) ตัวอย่างที่เตรียมพร้อมสำหรับการวัดรังสี



รูปที่ 3.14 ระบบวัดรังสีแกมมาของ Ortec



รูปที่ 3.15 ระบบวัดรังสีแกมมาของ Canberra

### 3.3.3. เทคนิคที่ใช้การวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$

เทคนิคที่ใช้การวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้ทำการเปรียบเทียบสองเทคนิคในการหาค่าความแรงแรงรังสี ดังนี้

- การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-MS
- การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอลฟาสเปคโตรเมตรี

#### 3.3.3.1. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย ICP-MS

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-MS ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- (1) นำตัวอย่างตะกอนดินมาบดให้ละเอียด และชั่งตัวอย่างประมาณ 250 มิลลิกรัม
- (2) นำตัวอย่างที่ผ่านการบด มาเติมกรด  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HF}$  อัตราส่วน 9:3:3 มิลลิลิตร พักไว้ 1 คืนเพื่อให้ทำปฏิกิริยา
- (3) จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการเติมกรด นำเข้า Microwave เพื่อทำการย่อย หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ออกมาพักไว้ 2 ชั่วโมง
- (4) นำตัวอย่างที่ได้มาเติมกรด  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HF}$  อัตรา 4.5:1.5:1.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- (5) นำตัวอย่างเข้า Microwave เพื่อย่อยสลาย เอาออกมาวางทิ้งไว้ 1 คืน

- (6) ถ่ายใส่บีกเกอร์เทปลอน ปิดฝา ทำการย่อยสลายต่อด้วย Hot plate ประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดฝา
- (7) ให้ตัวอย่างในบีกเกอร์แห้ง ใช้เวลาประมาณ 1 วัน
- (8) เติมกรด  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ , HF อัตรา 6:2:2 มิลลิลิตร ทำตามขั้นตอน 6) และ 7) อีกครั้ง
- (9) เขีคสารละลาย เติมกรด  $\text{HNO}_3$  ประมาณ 20 ml ชุ่บนบน hot plate ประมาณ 30 นาที เติม HCl 1 มิลลิลิตร (ถ้าตัวอย่างละลายหมดไม่มีตะกอนถือว่าใช้ได้ แต่ถ้ามีตะกอนให้ทำตามขั้นตอน 6) และ 7) อีกครั้ง)
- (10) นำตัวอย่างที่ผ่านในขั้นตอนที่ (9) เข้าวัดปริมาณไอโซโทป  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  โดย ICP-MS หมายเหตุ การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างทำการส่งไปที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ประเทศญี่ปุ่น อ้างอิงจากเอกสาร [22]

### 3.3.3.2. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี [23]

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรีประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

#### การย่อยสลายและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

- (1) อบตัวอย่างดินที่บดแล้วที่อุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
- (2) ชั่งตัวอย่างดิน 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยระเหย เติมตัวติดตาม  $\text{Th-229}$  และ  $\text{U-232}$
- (3) ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ระเหยจนแห้ง ( 2 ครั้ง)
- (4) ย่อยด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ระเหยจนแห้ง ( 2 ครั้ง)
- (5) ย่อยด้วยกรดไฮดรอกลอริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ระเหยจนแห้ง ( 3 ครั้ง)
- (6) ละลายตัวอย่างที่แห้งแล้วด้วยสารละลายกรดไฮดรอกลอริกความเข้มข้น 9 โมล 20 มิลลิลิตร เทตัวอย่างลงในขวดบับนแยกขนาด 50 มิลลิลิตร
- (7) ทำการบับนแยกที่ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บชั้นสารละลายเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ล้างตะกอนด้วยสารละลายกรดไฮดรอกลอริกความเข้มข้น 9 โมล 5 มิลลิลิตร บับนแยก เก็บชั้นสารละลาย ทำซ้ำ 3 ครั้ง

### การสกัดยูเรเนียมและทอเรียม

แบ่งเป็น 3 คอลัมน์ ดังนี้

#### ก. คอลัมน์หลัก

- (1) เตรียมคอลัมน์โดย บรรจุเรซิน 100-200 mesh Biorad AG1-X8 ลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ให้เรซินสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ปรับสภาพเรซินด้วยสารละลายกรดไฮดรอกลอริกความเข้มข้น 9 โมล 50 มิลลิลิตร
- (2) นำชั้นสารละลายที่ได้จากขั้นตอนการย่อยสกัดมาเทลงไปในคอลัมน์ เก็บตัวอย่างที่ไหลผ่านคอลัมน์ไประเหยแห้งและเก็บไว้ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณทอเรียมต่อไป
- (3) ชะล้างยูเรเนียมและเหล็กที่ถูกดูดซับไว้ในเรซินด้วยสารละลายกรดไฮดรอกลอริกความเข้มข้น 0.1 โมล 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้ไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียม

#### ข. ยูเรเนียมคอลัมน์

- (1) เตรียมคอลัมน์โดย บรรจุเรซิน 100-200 mesh Biorad AG1-X8 ลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ให้เรซินสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ปรับสภาพเรซินด้วยสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 8 โมล 50 มิลลิลิตร
- (2) ระเหยตัวอย่างที่ได้จากคอลัมน์หลักจนแห้ง
- (3) เติมสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 8 โมล 4 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่ผ่านการระเหยแห้งแล้ว
- (4) เทตัวอย่างที่ได้ผ่านลงในคอลัมน์ที่จัดเตรียมไว้
- (5) ชะล้างเหล็กและสิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่ถูกจับอยู่ในเรซินด้วยสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 8 โมล 25 มิลลิลิตร (ทิ้งสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ทั้งหมด)
- (6) ชะล้างยูเรเนียมที่ถูกดูดซับไว้ในเรซินด้วยสารละลายไฮดรอกลอริกความเข้มข้น 0.1 โมล 50 มิลลิลิตร
- (7) นำตัวอย่างที่ได้ไประเหยแห้ง และเก็บตัวอย่างนี้เพื่อใช้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้วัดแอลฟาสเปกโตรเมตรีต่อไป

ค. ทอริยมคอลลัมน์

- (1) เตรียมคอลลัมน์โดย บรรจุเรซิน 100-200 mesh Biorad AG1-X8 ลงใน คอลลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ให้เรซินสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ปรับสภาพเรซินด้วยสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 8 โมล 50 มิลลิลิตร
- (2) เติมสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 8 โมล 10 มิลลิลิตร ลงใน ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมจากคอลลัมน์หลักที่ระเหยแห้งแล้ว
- (3) เทตัวอย่างผ่านลงในคอลลัมน์ที่จัดเตรียมไว้
- (4) ล้างบีกเกอร์ที่ใส่ตัวอย่างและเรซิน ด้วยสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 8 โมล 50 มิลลิลิตร (ทิ้งสารละลายที่ผ่านคอลลัมน์ทั้งหมด)
- (5) ชะล้างทอริยมที่ถูกดูดซับไว้ในเรซินด้วยสารละลายไฮดรอกซิลอริก ความเข้มข้น 9 โมล 50 มิลลิลิตร
- (6) นำตัวอย่างที่ได้ไประเหยแห้ง และเก็บตัวอย่างนี้เพื่อใช้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้วัดแอลฟาสเปกโตรเมตรีต่อไป

การเตรียมแผ่นตัวอย่างเพื่อใช้วัด

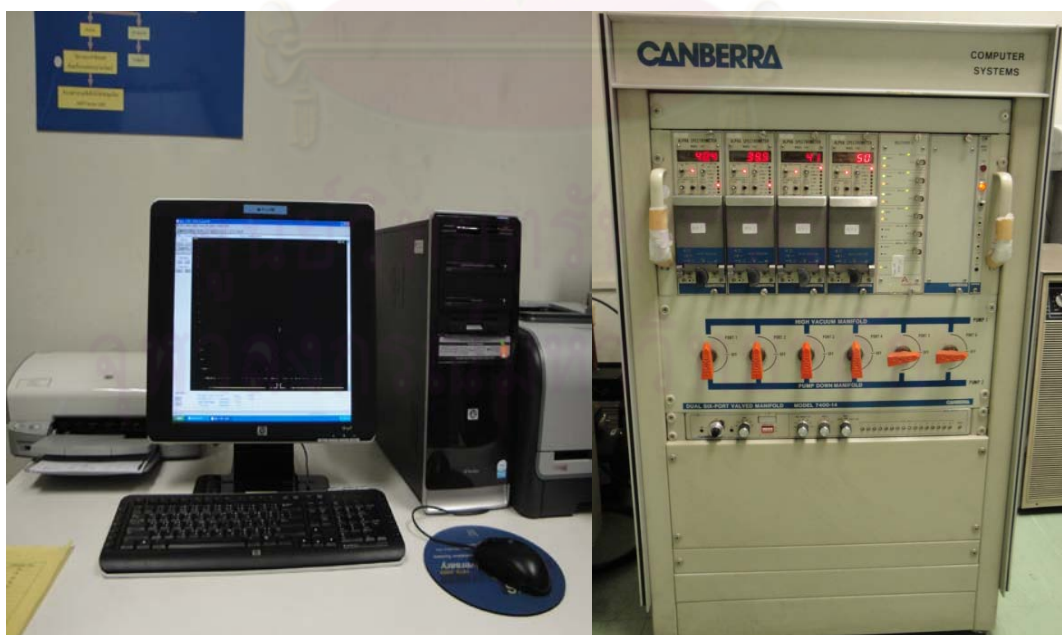
- (1) ละลายตัวอย่างที่ผ่านการระเหยแห้งด้วยสารละลายไฮดรอกซิลอริก ความเข้มข้น 2 โมล 20 มิลลิลิตร
- (2) เทตัวอย่างลงในภาชนะเก็บตัวอย่างที่ทำจากวัสดุโพลีเอทีลีนขนาดความจุ 50 มิลลิลิตร
- (3) เติมสารละลายซีเรียสไนเตรตความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 100 ไมโครลิตร เขย่าเบา ๆ
- (4) เติมสารละลายไททานเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล 0.5 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ ตัวอย่างที่ได้จะมีสีม่วงใส
- (5) เติมกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ และวางทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่อให้เกิดการตกตะกอน
- (6) เตรียมอุปกรณ์ชุดกรอง โดยวางกระดาษกรอง Gelman Matricel ขนาดรู 0.1 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ในชุดกรองของ
- (7) ล้างกระดาษกรองและกรวยกรองด้วย สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80% โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร และล้างต่อด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร

- (8) ต่อชุดกรองกับปั๊มสุญญากาศ
- (9) เทตัวอย่างที่ปล่อยทิ้งไว้จนครบ 30 นาทีแล้วผ่านลงในกระดาษกรอง  
ล้างภาชนะบรรจุตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร 3 ครั้ง สูดทำยาล้าง  
กรวยกรองและกระดาษกรองด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80  
เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
- (10) นำแผ่นกระดาษกรองวางลงบนภาชนะสำหรับเก็บกระดาษกรอง และ  
นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลานาน 10 นาที
- (11) ตัดกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วลงบนแผ่นสแตนเลสขนาดเส้นผ่าน  
ศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

#### การวัดปริมาณรังสี

นำแผ่นตัวอย่างที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปวัดด้วยชุดหัววัด  
แอลฟาสเปกโตรเมตรีในรูปที่ 3.16 เป็นเวลาประมาณ 2 วัน หรือจนกว่าจะได้  
จำนวนนับรังสีที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าทางสถิติที่ดี นำไปคำนวณหาค่าความ  
แรงรังสีตามสมการที่ 3.3

$$\text{Activity of sample (dpm/g)} = \frac{\frac{\text{sample count}}{\text{tracer count}} \times \text{Activity of Tracer (dpm/g)}}{\text{mass sample}} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.16 เครื่องวัดแอลฟาสเปกโตรเมตรีแบบ Pass Implanted Plannow Detector

### 3.3.4. เทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี การดูดซับสารรังสีของตะกอนดิน (Distribution Coefficients, $K_d$ )

#### 3.3.4.1. การพิจารณาขนาดของตะกอนดินที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับสารรังสีของตะกอนดิน (Distribution Coefficients, $K_d$ )

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่า Distribution Coefficients,  $K_d$  กับขนาดตะกอนแขวนลอยโดยใช้ข้อมูลจากสองแหล่ง คือ ส่วนที่หนึ่งข้อมูลตะกอนแขวนลอยจากเอกสารงานวิจัยในโครงการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ปี 2552 [23] โดยได้คัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่ศึกษาเท่านั้น และได้จำแนกข้อมูลออกเป็น 2 ฤดูกาล คือ ช่วงฤดูฝน และ ฤดูร้อน ซึ่งจะเห็นได้ว่าตะกอนแขวนลอยในช่วงฤดูฝนของทุกพื้นที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยมากกว่าในฤดูร้อน ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และส่วนที่สองข้อมูลชนิดและขนาดของตะกอนตามค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain size distribution) จากเอกสารงานวิจัยของการศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Nuclear Power Plant Feasibility Study), 2009 [1] ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ค่าตะกอนแขวนลอยช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	ฤดูฝน มิ.ย.-52		ฤดูร้อน เม.ย.-52	
	สารแขวนลอย(mg/l)	pH	สารแขวนลอย(mg/l)	pH
ประจวบคีรีขันธ์	113.16	8.03	15.57	8.19
ชุมพร	21.93	8.02	21.61	8.05
สุราษฎร์ธานี	31.75	8.09	20.75	8.00
นครศรีธรรมราช	11.13 (คลื่นปานกลาง)	8.16	51.47 (คลื่นจัด)	7.66

ที่มา: รายงานผลการสำรวจครั้งที่ 1 โครงการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ปี 2552 [24]

จากข้อมูลขนาดตะกอนแขวนลอยในตารางที่ 3.4 สามารถพิจารณาได้ว่า พื้นที่ศึกษานั้นมีขนาดตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 10 ถึง 120 มิลลิกรัม/ลิตร และจะเห็นว่าปริมาณของตะกอนแขวนลอยในฤดูฝนมีปริมาณตะกอนแขวนลอยมากกว่าในฤดูร้อน ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาว่าที่ขนาดตะกอนแขวนลอยที่ช่วงดังกล่าว หากพื้นที่ศึกษาเป็นที่ตั้งของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และมีการรั่วไหลเกิดขึ้น การดูดซับสารรังสีของตะกอนแขวนลอยแต่ละชนิดจะเป็นอย่างไร

ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain size distribution)

พื้นที่ศึกษา	การกระจายขนาดของเม็ดดิน (มิลลิเมตร)					
	ชายหาด	1 กิโลเมตร	2 กิโลเมตร	3 กิโลเมตร	4 กิโลเมตร	5 กิโลเมตร
อ.บางสะพานน้อย ประจวบคีรีขันธ์	0.336	1.049	1.137	1.493	1.099	1.150
อ.ประทิว ชุมพร	0.259	0.100	0.088	0.052	0.057	0.047
อ.ท่าชนะ	1.745	0.255	0.287	0.447	0.396	1.063
อ. บ้านดอน สุราษฎร์ธานี	-	0.518	0.183	0.011	0.558	0.003
อ. สีชล นครศรีธรรมราช	1.320	0.066	0.002	0.002	0.003	0.003
เฉลี่ย	0.732	0.398	0.339	0.401	0.422	0.453

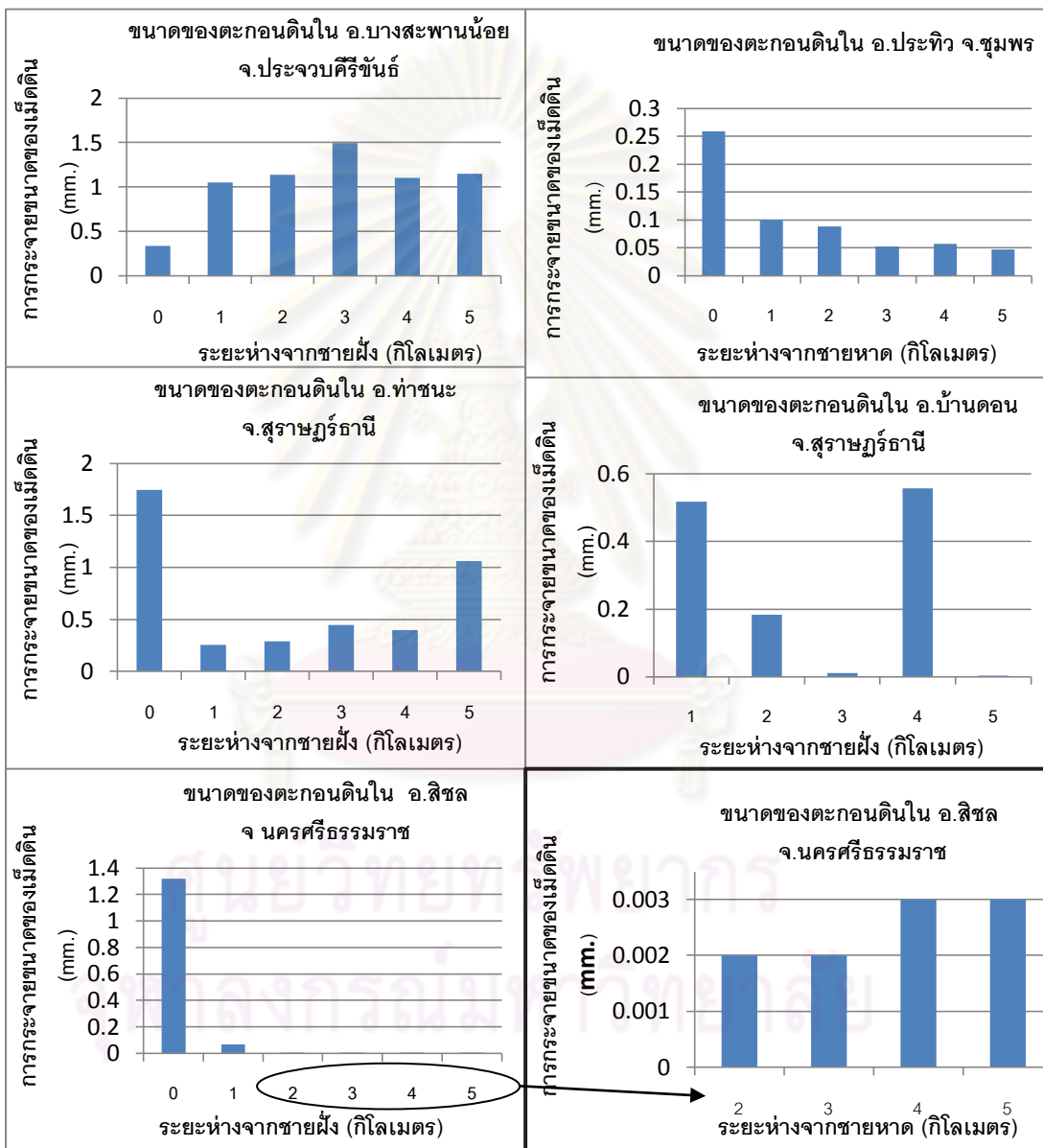
ที่มา: การรายงานผลของ Marine Sedimentation Characteristics จากการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Nuclear Power Plant Feasibility Study), 2009 [1]

ผลจากค่าเฉลี่ยการกระจายขนาดของเม็ดดิน(Grain size distribution) ที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาของตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลในตารางที่ 3.5 ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน 3 แนว และพบว่าขนาดตะกอนดินชายฝั่งในพื้นที่ศึกษาเดียวกันที่ระยะมีความลึกประมาณเท่ากัน จะมีการกระจายตัวของเม็ดดินที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเฉลี่ยค่าขนาดของตะกอนที่เก็บทั้ง 3 แนวเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงของแต่ละระยะของพื้นที่ศึกษา เมื่ออาศัยข้อมูลการแบ่งชนิดของตะกอนดินในตารางที่ 2.11 พบว่า พื้นที่ อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ มีขนาดตะกอนใหญ่สุด โดยมีขนาดของตะกอนเล็กที่ชายหาดและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อออกจากฝั่ง และพื้นที่ อ.ประทิว จ.สุราษฎร์ธานี ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ อ. สีชล จ. นครศรีธรรมราช มีขนาดของตะกอนเล็ก โดยขนาดของตะกอนจะมีขนาดเล็กลงเมื่อห่างจากชายฝั่ง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกพื้นที่ทั้ง 3 จังหวัด มาใช้เป็นองค์ประกอบการพิจารณาคัดเลือกตะกอนที่จะนำมาใช้ศึกษาในเรื่อง Distribution Coefficients,  $K_d$



3.3.4.2. หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะกอนดินกับระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่งทะเลในพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาขนาดของตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา สามารถอธิบายลักษณะแนวโน้มการกระจายตัวของขนาดตะกอนดินตามระยะห่างจากชายฝั่งทะเลในแต่ละพื้นที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แนวโน้มการกระจายตัวของขนาดตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 3.17 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการกระจายตัวของขนาดตะกอนในพื้นที่ศึกษาก็กับระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่งทะเล พบว่าพื้นที่ อ. บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์ มี

ขนาดตะกอนเล็ก ที่ชายหาด และมีแนวโน้มของตะกอนขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อห่างจากแนวชายฝั่งทะเล ในขณะที่พื้นที่ อ.ประทิว จ.ชุมพร, อ.ท่าชนะ และ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี และ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช มีของขนาดตะกอนใหญ่ที่ชายหาดและมีแนวโน้มขนาดของตะกอนเล็กลงเมื่อห่างจากเส้นชายฝั่งทะเล

ผลจากการศึกษา ได้ทำการเลือกขนาดของเม็ดตะกอนของพื้นที่ อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ ที่ชนิดของทรายหยาบ, อ.ประทิว จ.ชุมพร ที่ชนิดของทรายละเอียด และ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ที่ชนิดของดินเคลย์ มาศึกษาปริมาตรตะกอนแขวนลอยที่ชนิดดังกล่าว เพื่อดูพฤติกรรมการดูดซับสารรังสีของชนิดของตะกอนกับปริมาตรของตะกอนแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลงไป มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

#### 3.3.4.3. หาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสี [2]

โดยเตรียมตะกอนดินชนิดทรายหยาบและทรายละเอียด ปริมาตร 200 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยของอ่าวไทย [24] มาเติมลงในน้ำทะเล ให้ได้ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายซีเซียม-137 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร (Activity = 65.12 Bq) ในทุกตัวอย่าง เขย่าสารนานประมาณเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่พอเหมาะในการดูดซับสารรังสีของตะกอนดิน 2 ชนิด ตามรูปที่ 3.18 จากนั้นนำมาแยกตะกอนออกจากน้ำทะเลโดยเครื่องเหวี่ยงตะกอน (centrifuged) ที่ 6,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที (รูปที่ 3.18) นำน้ำปริมาตร  $200 \pm 2$  มิลลิลิตร ไปวัดปริมาณรังสีแกมมาโดยใช้เวลาในการนับวัด 1 ชั่วโมง

#### 3.3.4.4. หาปริมาตรตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับสารรังสี

- โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอย ซึ่งได้กำหนดเวลาในการเขย่าโดยอาศัยผลที่ได้จากข้อที่ 3.3.4.3 และนำไปคำนวณหาค่า  $K_d$  เริ่มโดยการนำตะกอนแขวนลอย ทรายหยาบ, ทรายละเอียด และ ดินเคลย์ มาชั่งที่น้ำหนักต่างๆตั้งแต่ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ถึง 150 มิลลิกรัม/ลิตร ใส่ลงในขวดพลาสติกปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ น้ำทะเลปริมาตร  $400 \pm 2$  มิลลิลิตร เติมสารละลายซีเซียม-137 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร (Activity = 65.12 Bq) ในทุกตัวอย่าง นำเขย่าด้วยเครื่องเขย่าไฟฟ้าใช้เวลาในการเขย่า 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจากนั้นนำมาแยกตะกอนออกจากน้ำทะเลโดยเครื่องเหวี่ยงตะกอน (centrifuged) ที่ 6,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำน้ำปริมาตร  $200 \pm 2$  มิลลิลิตร นำไปวัดปริมาณรังสีแกมมา โดยใช้เวลาในการนับวัด 1 ชั่วโมง

- วัดความแรงรังสีซีซีเอ็มในตะกอนแขวนลอย
  - (1) เตรียมอุปกรณ์ชุดกรอง โดยวางกระดาษกรอง ขนาดรู 0.45 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร ในชุดกรวยกรอง
  - (2) ต่อชุดกรองกับปั๊มสุญญากาศ
  - (3) เทตัวอย่างตะกอนแขวนลอยผ่านลงบนกระดาษกรอง
  - (4) นำแผ่นกระดาษกรองวางลงบนภาชนะสำหรับเก็บกระดาษกรอง และทำให้แห้งด้วยหลอดไฟอินฟราเรด (IR) จึงนำไปวัดปริมาณรังสีแกมมา โดยใช้เวลาในการนับวัด 1 ชั่วโมง
- นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients,  $K_d$ ) ตามสมการที่ 2.12



รูปที่ 3.18 เครื่องชั่งรุ่น Gerhardt Bonm type LS2



รูปที่ 3.19 เครื่อง centrifuge รุ่น Rotofix 32A

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- ส่วนของผลการวิจัยที่ได้จากการตรวจวัดด้วยระบบการตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ในตะกอนดินเพื่อดูแนวโน้มของค่าความเข้มข้นรังสีในพื้นที่ศึกษา ด้วยหัววัดรังสีแบบ Gas flow Proportional counter
- ส่วนของผลการวิจัยที่ได้จากการตรวจวัดด้วยระบบการตรวจวัดรังสีแกมมาเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นเฉพาะของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ คือ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น คือ  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน โดยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)
- ส่วนของผลการวิจัยหาความเข้มข้นเฉพาะของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  โดยได้ทำการเปรียบเทียบสองเทคนิคในการตรวจวัดหาความเข้มข้นรังสี ด้วยเทคนิค ICP-MS และเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี
- ส่วนของการหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี การดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดินจากปริมาตรตะกอนแขวนลอย ซึ่งมีการผลวิจัยต่าง ๆ ดังนี้

#### 4.1 การวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม

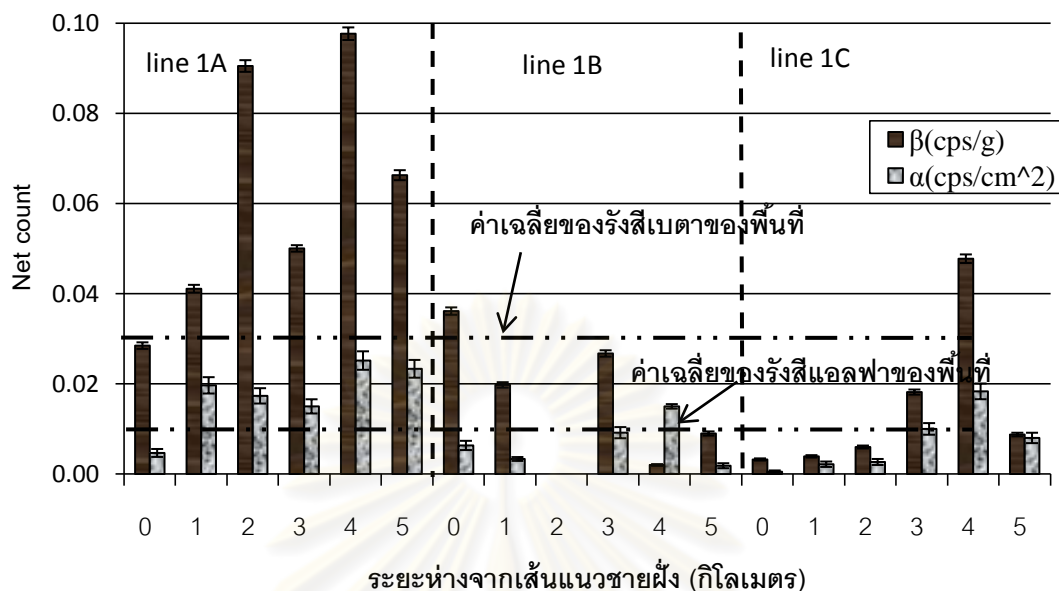
การตรวจวัดด้วยระบบการตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ในตะกอนดินมีวัตถุประสงค์เพื่อดูแนวโน้มของค่าความเข้มข้นรังสีในพื้นที่ศึกษา ด้วยหัววัดรังสีแบบ Gas flow Proportional counter ที่ระดับแบคกราวด์ต่ำ ได้ผลการวิเคราะห์ของพื้นที่ศึกษาต่าง ๆ ดังนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์

จากผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 แลค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1

### อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม ในตะกอนดิน

#### อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่ารังสีบีตา รวมและแอลฟา รวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ  
อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม  
อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์

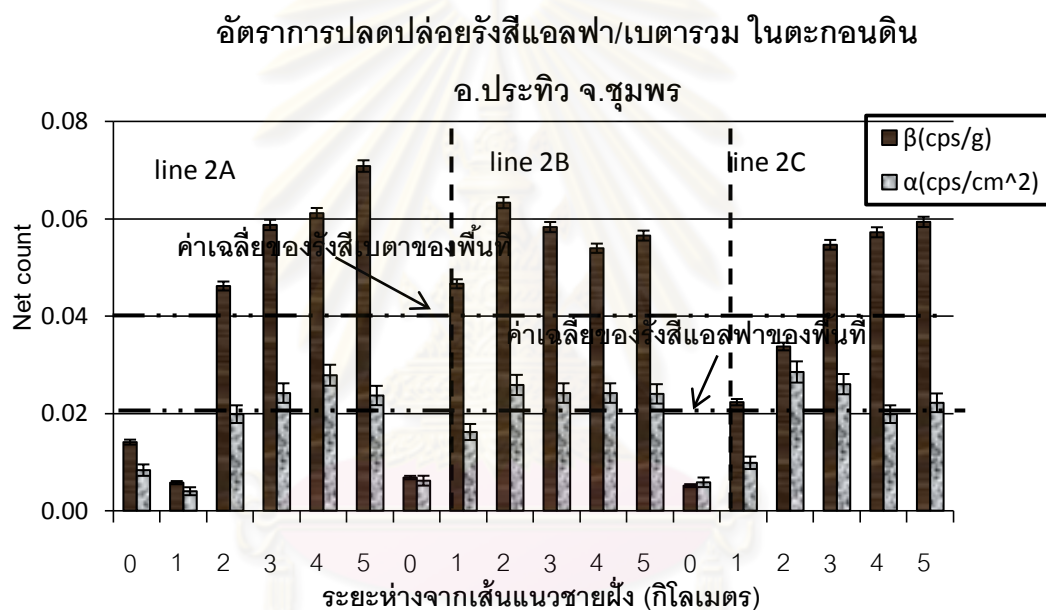
ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด	0.004 ± 0.001	0.023 ± 0.001
1 กิโลเมตร	0.008 ± 0.001	0.022 ± 0.001
2 กิโลเมตร	0.010 ± 0.001	0.048 ± 0.001
3 กิโลเมตร	0.011 ± 0.001	0.032 ± 0.001
4 กิโลเมตร	0.020 ± 0.001	0.049 ± 0.001
5 กิโลเมตร	0.011 ± 0.001	0.028 ± 0.001
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	0.011 ± 0.001	0.034 ± 0.001

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์  
มีค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม มีค่าอยู่ในช่วง 0.004±0.001 cps/cm<sup>2</sup> ถึง

$0.020 \pm 0.001$  cps/cm<sup>2</sup> และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.022 \pm 0.001$  cps/g ถึง  $0.049 \pm 0.001$  cps/g

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่าง ตะกอนดินใน อ.ประทีพ จ.ชุมพร

จากผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่าง ตะกอนดินใน อ.ประทีพ จ.ชุมพร ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาที่นี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 และค่าเฉลี่ย ของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.ประทีพ จ.ชุมพร แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่ารังสีบีตา รวมและแอลฟา รวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.ประทีพ จ.ชุมพร

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หัตถการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.ประทีพ จ.ชุมพร

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.0004
1 กิโลเมตร	0.010 ± 0.001	0.025 ± 0.001
2 กิโลเมตร	0.025 ± 0.002	0.048 ± 0.001
3 กิโลเมตร	0.025 ± 0.002	0.057 ± 0.001
4 กิโลเมตร	0.024 ± 0.002	0.057 ± 0.001
5 กิโลเมตร	0.023 ± 0.002	0.062 ± 0.001
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	0.019 ± 0.002	0.043 ± 0.001

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า อ.ประทีพ จ.ชุมพร มีค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.007 \pm 0.001$  cps/cm<sup>2</sup> ถึง  $0.025 \pm 0.002$  cps/cm<sup>2</sup> และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.009 \pm 0.0004$  cps/g ถึง  $0.057 \pm 0.001$  cps/g

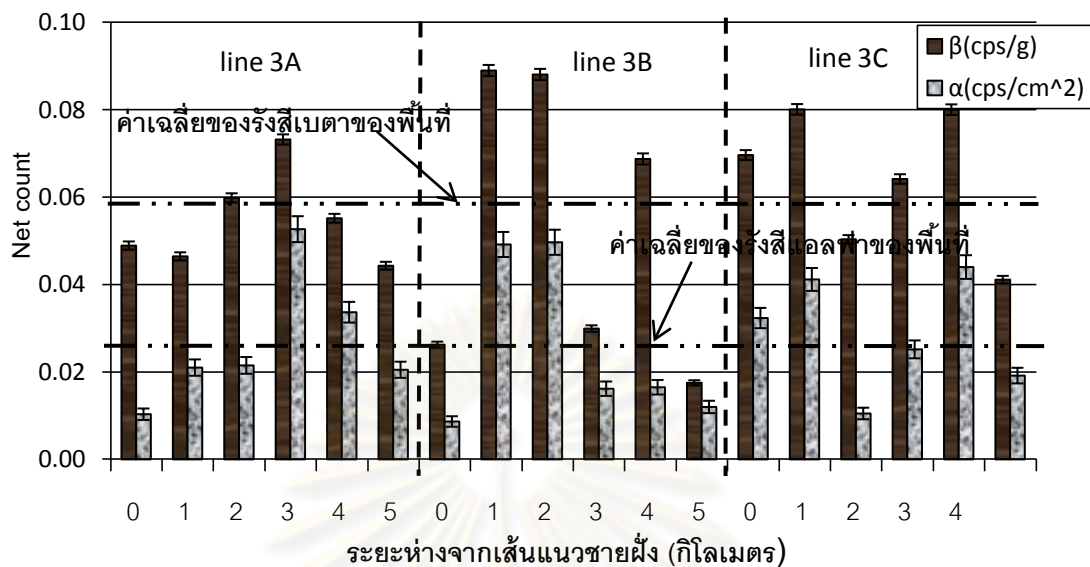
#### 4.1.3 ผลการวิเคราะห์หัตถการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

จากผลการวิเคราะห์หัตถการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.3 และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี แสดงอยู่ในตารางที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม ในตะกอนดิน

#### อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่ารังสีเบตาและแอลฟา รวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด	0.017 ± 0.002	0.048 ± 0.0009
1 กิโลเมตร	0.037 ± 0.002	0.072 ± 0.001
2 กิโลเมตร	0.027 ± 0.002	0.066 ± 0.001
3 กิโลเมตร	0.031 ± 0.002	0.056 ± 0.001
4 กิโลเมตร	0.031 ± 0.002	0.068 ± 0.001
5 กิโลเมตร	0.017 ± 0.002	0.034 ± 0.002
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	0.027 ± 0.002	0.057 ± 0.001

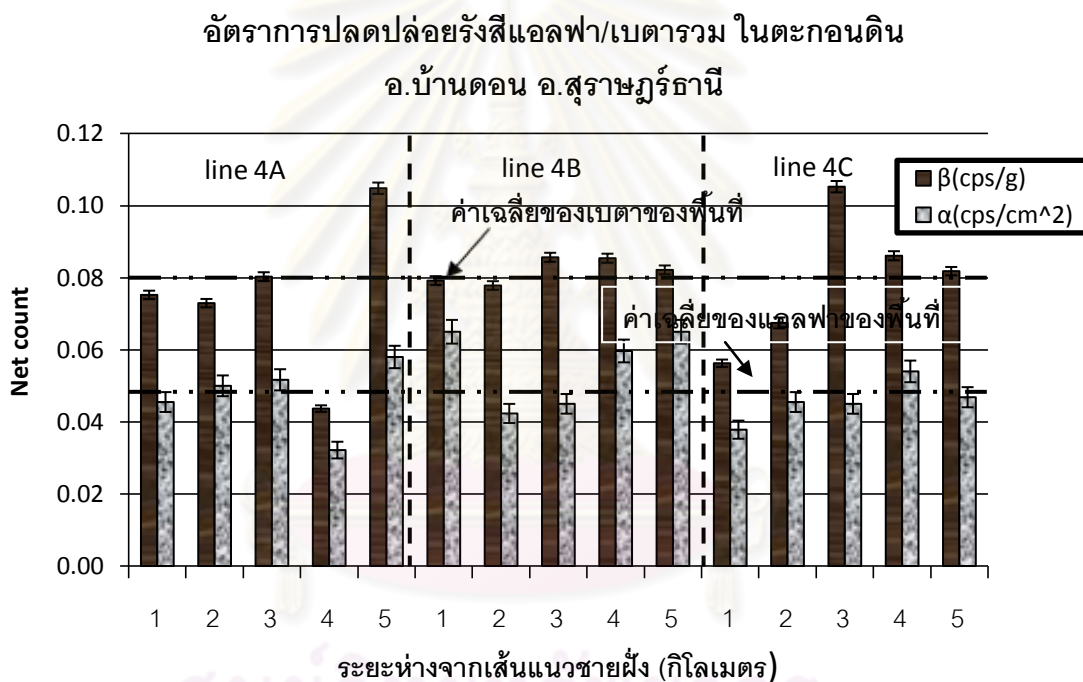
จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.017 \pm 0.002$  cps/cm<sup>2</sup> ถึง  $0.037 \pm 0.002$



cps/cm<sup>2</sup> และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวม มีค่าอยู่ในช่วง 0.034±0.0002 cps/g ถึง 0.072±0.001 cps/g

4.1.4 ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่าง ตะกอนดินใน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

จากผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอน ดินใน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.4 และค่าเฉลี่ย ของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.บ้านดอน จ.สุ รราษฎร์ธานี แสดงอยู่ในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่ารังสีบีตา รวมและแอลฟา รวมในตัวอย่างตะกอนดิน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หัตถการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม  
อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด	0.049 ± 0.003	0.070 ± 0.001
1 กิโลเมตร	0.046 ± 0.003	0.073 ± 0.001
2 กิโลเมตร	0.047 ± 0.003	0.090 ± 0.001
3 กิโลเมตร	0.049 ± 0.003	0.072 ± 0.001
4 กิโลเมตร	0.057 ± 0.003	0.090 ± 0.001
5 กิโลเมตร	0.050 ± 0.003	0.079 ± 0.001
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	0.049 ± 0.003	0.079 ± 0.001

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.046 \pm 0.003$  cps/cm<sup>2</sup> ถึง  $0.057 \pm 0.003$  cps/cm<sup>2</sup> และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.070 \pm 0.0001$  cps/g ถึง  $0.090 \pm 0.001$  cps/g

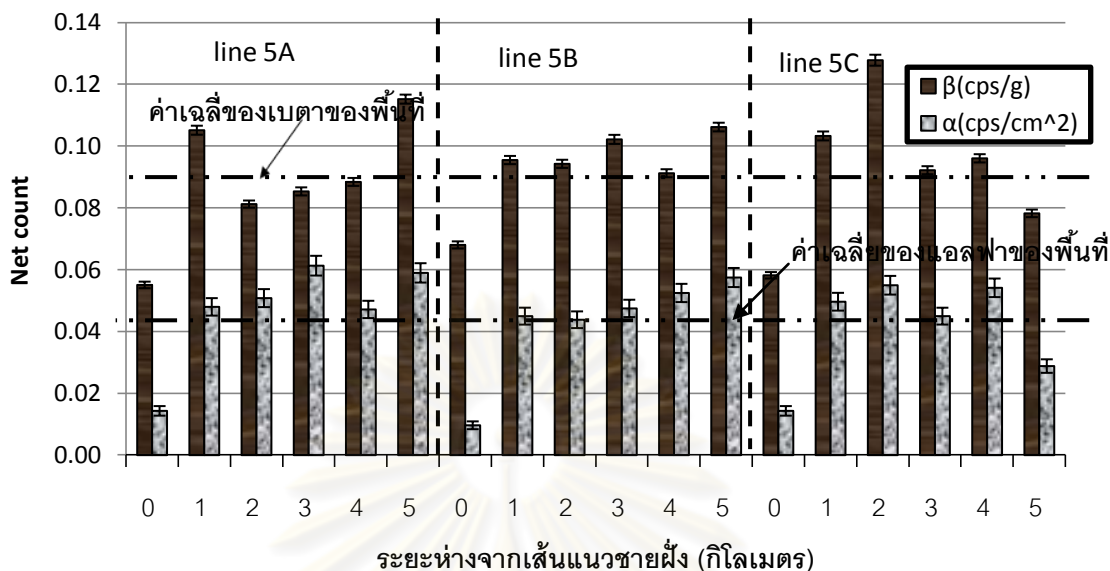
4.1.5 ผลการวิเคราะห์หัตถการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

จากผลการวิเคราะห์หัตถการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราชผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ของตัวอย่างตะกอนดินใน อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช แสดงอยู่ในตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม ในตะกอนดิน

อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่ารังสีบีตา รวมและแอลฟา รวมในตัวอย่งตะกอนดินบริเวณ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

ตารางที่ 4.5 ผลจากการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด	0.029 ± 0.002	0.060 ± 0.0009
1 กิโลเมตร	0.048 ± 0.003	0.101 ± 0.001
2 กิโลเมตร	0.050 ± 0.003	0.101 ± 0.001
3 กิโลเมตร	0.051 ± 0.003	0.093 ± 0.001
4 กิโลเมตร	0.051 ± 0.003	0.092 ± 0.001
5 กิโลเมตร	0.048 ± 0.003	0.100 ± 0.001
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	0.046 ± 0.003	0.091 ± 0.001

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวม มีค่าอยู่ในช่วง  $0.029 \pm 0.002$  cps/cm<sup>2</sup> ถึง  $0.051 \pm 0.003$

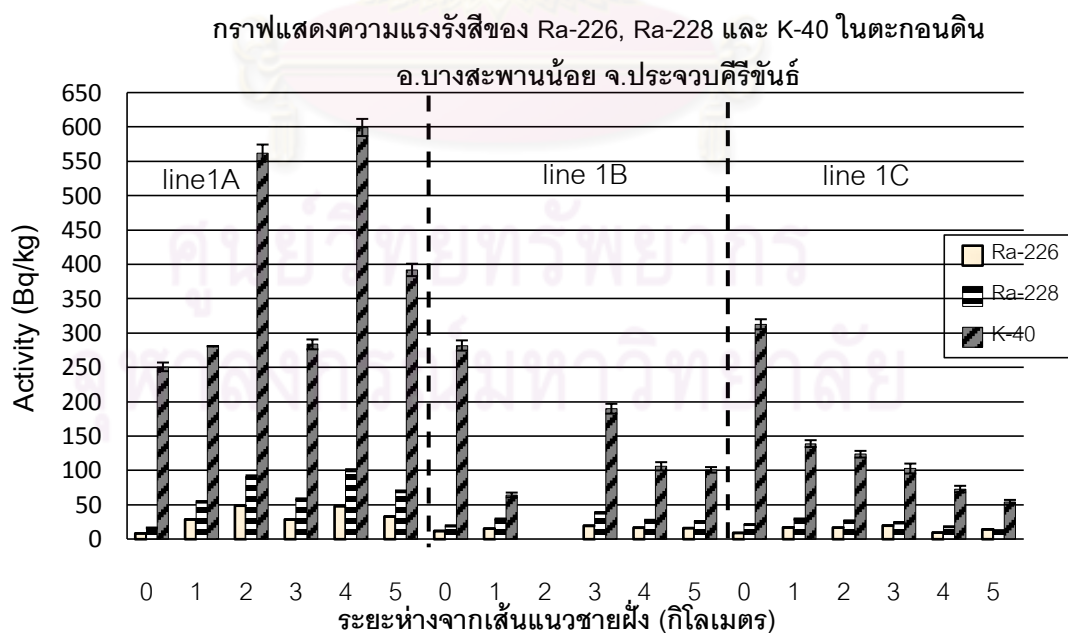
cps/cm<sup>2</sup> และค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวม มีค่าอยู่ในช่วง 0.060±0.0009 cps/g ถึง 0.101±0.001 cps/g

#### 4.2 การวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่ <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และ ที่มนุษย์สร้างขึ้น <sup>137</sup>Cs

จากผลการวิเคราะห์ทางแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ ของความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน ได้ผลการวิเคราะห์ของพื้นที่ศึกษาต่าง ๆ ดังนี้

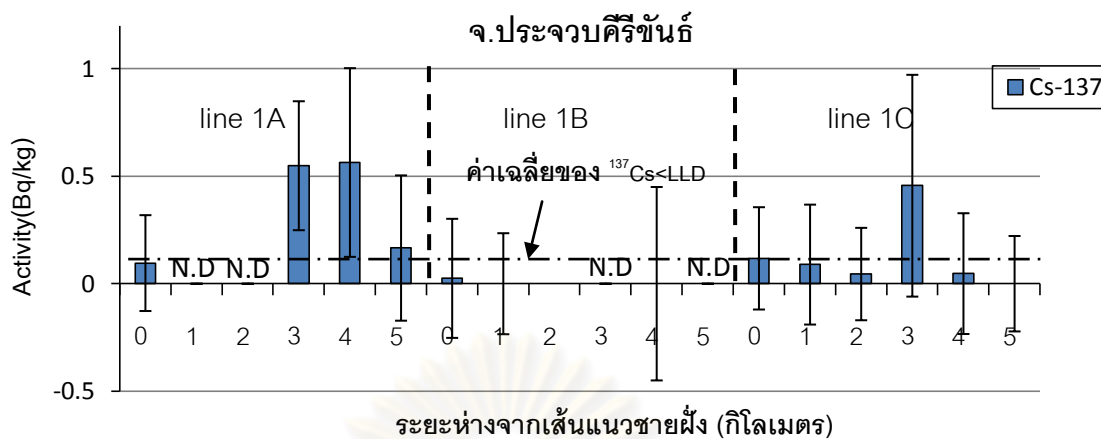
4.2.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน ของ อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน ของ อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์ ได้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6 และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และที่มนุษย์ผลิตขึ้น <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน ของ อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra และ <sup>40</sup>K ในตะกอนดิน  
อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์

ความแรงรังสีของ Cs-137 ในตะกอนดิน อ.บางสะพานน้อย



N.D. (Not Detectionable)

รูปที่ 4.7 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน

อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$

และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ที่ อ. บางสะพานน้อย

จ.ประจวบคีรีขันธ์

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
ชายหาด	9.88 ± 0.37	19.04 ± 0.77	281.85 ± 7.03	0.08 ± 0.25*
1 กิโลเมตร	20.46 ± 0.44	37.67 ± 0.97	161.45 ± 4.23	0.04 ± 0.17*
2 กิโลเมตร	32.81 ± 0.41	58.99 ± 1.20	342.91 ± 8.53	0.02 ± 0.11*
3 กิโลเมตร	22.68 ± 0.61	40.26 ± 1.11	192.10 ± 7.20	0.34 ± 0.27*
4 กิโลเมตร	24.88 ± 0.47	48.57 ± 1.13	259.46 ± 7.72	0.20 ± 0.39*
5 กิโลเมตร	21.16 ± 0.43	36.04 ± 0.87	182.21 ± 5.49	0.06 ± 0.19*
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	21.98 ± 0.46	40.10 ± 1.01	236.66 ± 6.70	0.12 ± 0.23*

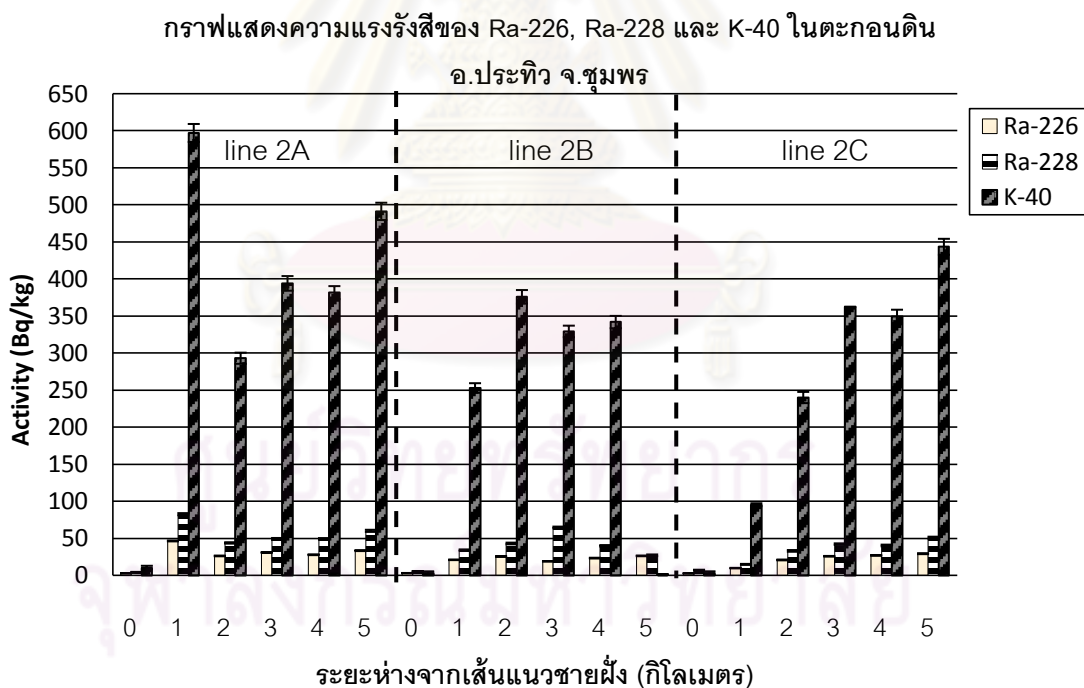
\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า อ. บางสะพานน้อย ประจวบคีรีขันธ์ มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $9.88 \pm 0.37$  Bq/kg ถึง  $32.81 \pm 0.41$  Bq/kg,  $19.04 \pm 0.77$  Bq/kg ถึง  $58.99 \pm 1.20$  Bq/kg,  $161.45 \pm 4.23$  Bq/kg ถึง  $342.9 \pm 18.53$  Bq/kg และ  $< \text{LLD}$

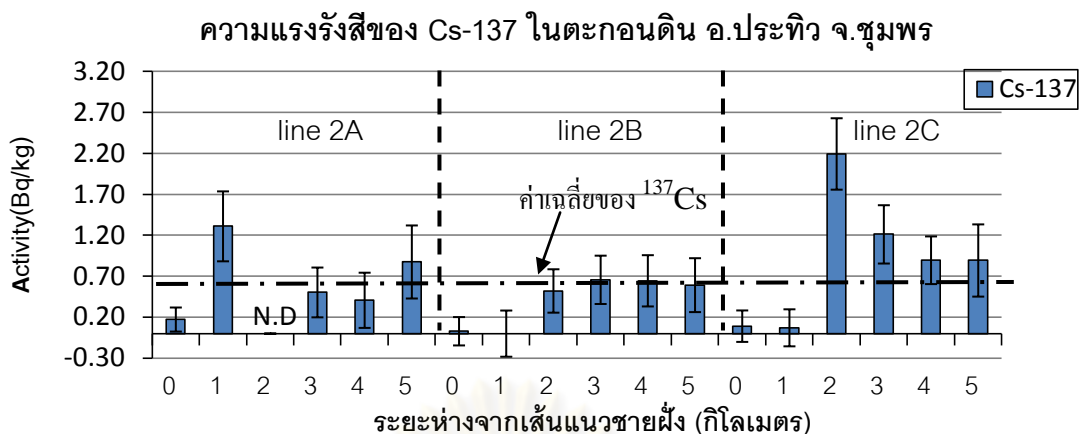
ตามลำดับ โดยค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $32.81 \pm 0.41$  Bq/kg,  $58.99 \pm 1.20$  Bq/kg และ  $342.91 \pm 8.53$  Bq/kg ตามลำดับ และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  สูงสุดที่ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $0.34 \pm 0.27$  Bq/kg ซึ่ง <LLD

4.2.2 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.ประเทวี จ.ชุมพร

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.ประเทวี จ.ชุมพร ได้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.ประเทวี จ.ชุมพร ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.8 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในตะกอนดิน อ.ประเทวี จ.ชุมพร



N.D. (Not Detectionable)

รูปที่ 4.9 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน อ.ประทีป จ.ชุมพร

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ที่ อ.ประทีป จ.ชุมพร

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
ชายหาด	3.02 ± 0.22	5.76 ± 0.51	5.85 ± 2.29	0.10 ± 0.17*
1 กิโลเมตร	25.93 ± 0.46	44.02 ± 1.01	315.23 ± 6.86	0.46 ± 0.31*
2 กิโลเมตร	24.36 ± 0.53	40.13 ± 1.08	303.15 ± 8.06	0.91 ± 0.23
3 กิโลเมตร	25.37 ± 0.52	52.17 ± 1.18	362.00 ± 5.94	0.79 ± 0.32
4 กิโลเมตร	26.20 ± 0.54	43.31 ± 1.10	357.77 ± 8.72	0.65 ± 0.31
5 กิโลเมตร	29.87 ± 0.60	46.19 ± 1.33	312.13 ± 7.49	0.79 ± 0.41
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	22.46 ± 0.48	38.60 ± 1.03	276.02 ± 6.56	0.61 ± 0.29

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

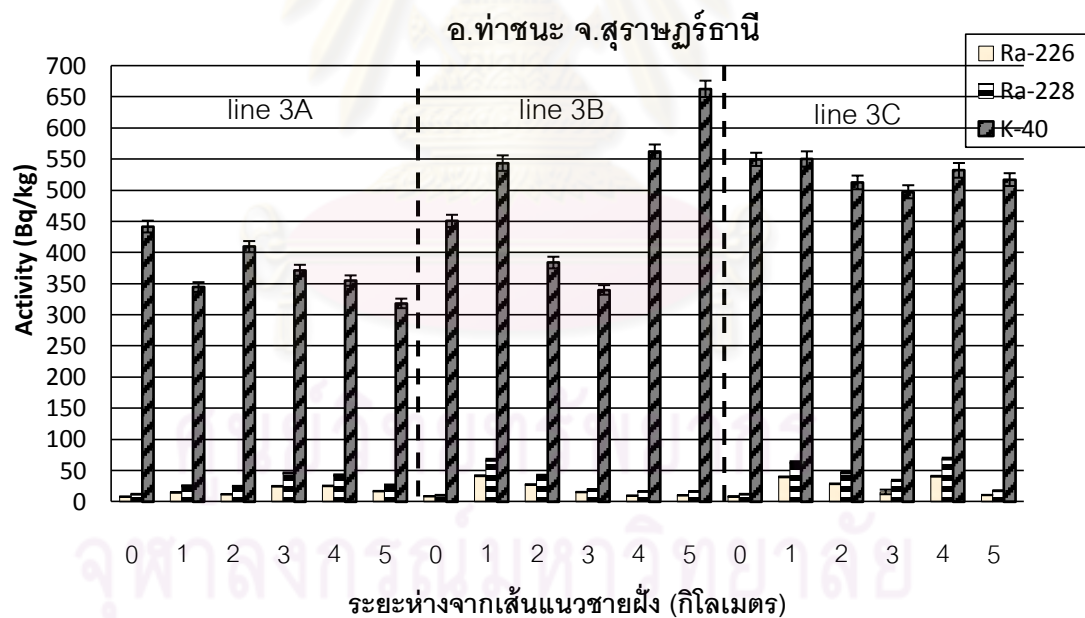
จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า อ.ประทีป จ.ชุมพร มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $3.02 \pm 0.22$  Bq/kg ถึง  $29.87 \pm 0.60$  Bq/kg,  $5.76 \pm 0.51$  Bq/kg ถึง  $52.17 \pm 1.18$  Bq/kg,  $5.85 \pm 2.29$  Bq/kg ถึง  $362.00 \pm 8.06$  Bq/kg และ  $< \text{LLD}$  ถึง  $0.61 \pm 0.29$  Bq/kg ตามลำดับ โดยค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $29.87 \pm 0.60$  Bq/kg, ค่ากัมมันตภาพรังสี

จำเพาะในธรรมชาติของ  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $52.17 \pm 1.18 \text{ Bq/kg}$  และ  $362.00 \pm 5.94 \text{ Bq/kg}$  ตามลำดับ และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $0.91 \pm 0.23 \text{ Bq/kg}$

4.2.3 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี ได้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาที่ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.10 และ 4.11 และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี ได้ผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.8

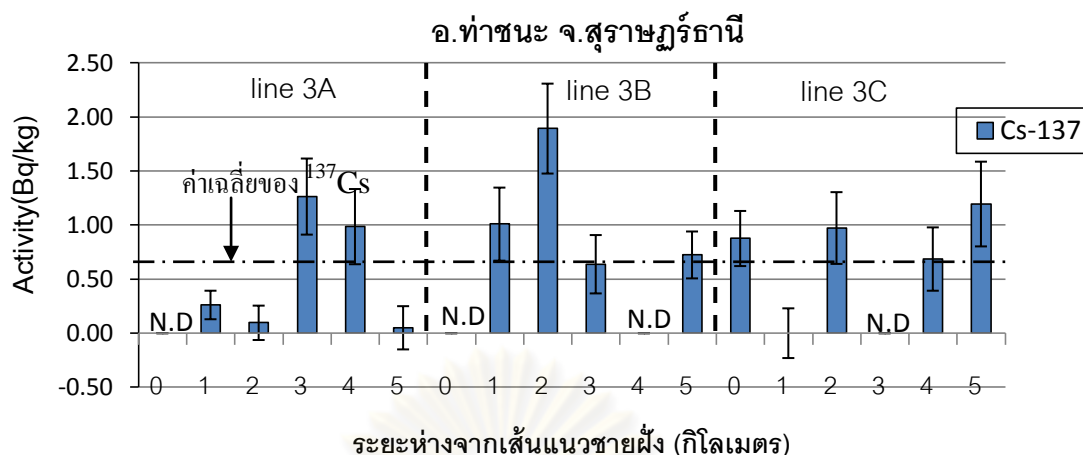
กราฟแสดงความแรงรังสีของ Ra-226, Ra-228 และ K-40 ในตะกอนดิน



รูปที่ 4.10 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในตะกอนดิน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี



กราฟแสดงความแรงรังสีของ Cs-137 ในตะกอนดิน



N.D. (Not Detectable)

รูปที่ 4.11 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ที่ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
ชายหาด	8.57 ± 0.32	11.61 ± 0.66	481.08 ± 9.95	0.29 ± 0.09*
1 กิโลเมตร	32.35 ± 0.60	52.30 ± 1.32	479.81 ± 10.86	0.42 ± 0.23*
2 กิโลเมตร	22.92 ± 0.51	37.92 ± 1.08	435.65 ± 9.78	0.99 ± 0.30
3 กิโลเมตร	18.82 ± 1.55	33.54 ± 0.79	403.34 ± 9.01	0.63 ± 0.21
4 กิโลเมตร	25.49 ± 0.52	42.99 ± 1.10	483.38 ± 10.51	0.56 ± 0.21
5 กิโลเมตร	12.85 ± 0.35	20.47 ± 0.79	499.79 ± 10.36	0.66 ± 0.27
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	20.17 ± 0.64	33.14 ± 0.96	463.84 ± 10.08	0.59 ± 0.22

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

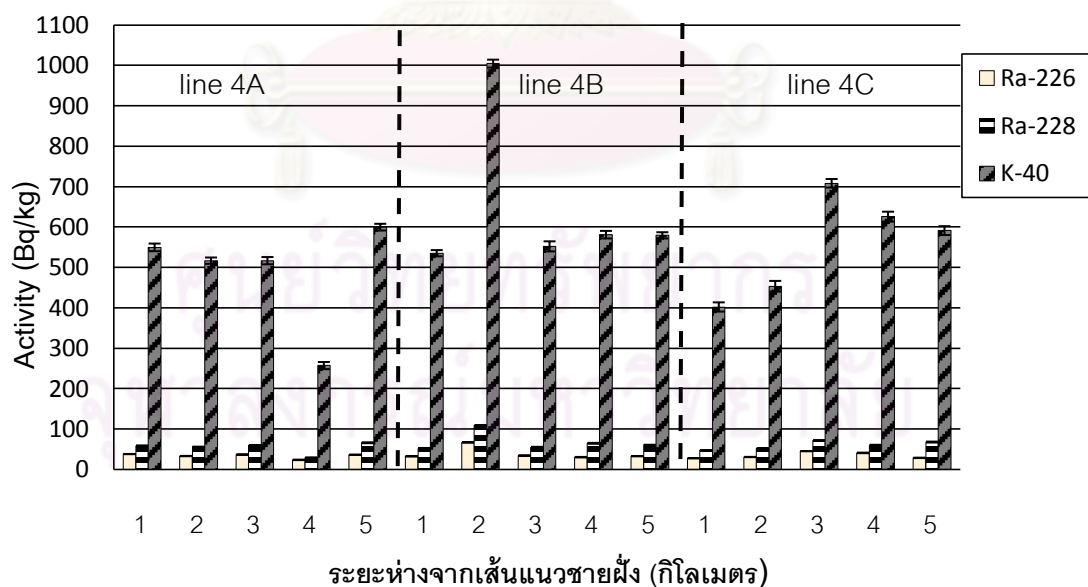
จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $8.57 \pm 0.32$  Bq/kg ถึง  $32.35 \pm 0.60$  Bq/kg,  $11.61 \pm 0.66$

Bq/kg ถึง  $52.17 \pm 1.18$  Bq/kg,  $403.34 \pm 9.01$  Bq/kg ถึง  $499.79 \pm 10.36$  Bq/kg และ  $<LLD$  ถึง  $0.99 \pm 0.30$  Bq/kg ตามลำดับ โดยค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $32.35 \pm 0.60$  Bq/kg และ  $52.30 \pm 1.32$  Bq/kg ตามลำดับ, ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{40}\text{K}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $499.79 \pm 10.36$  Bq/kg และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $0.99 \pm 0.30$  Bq/kg

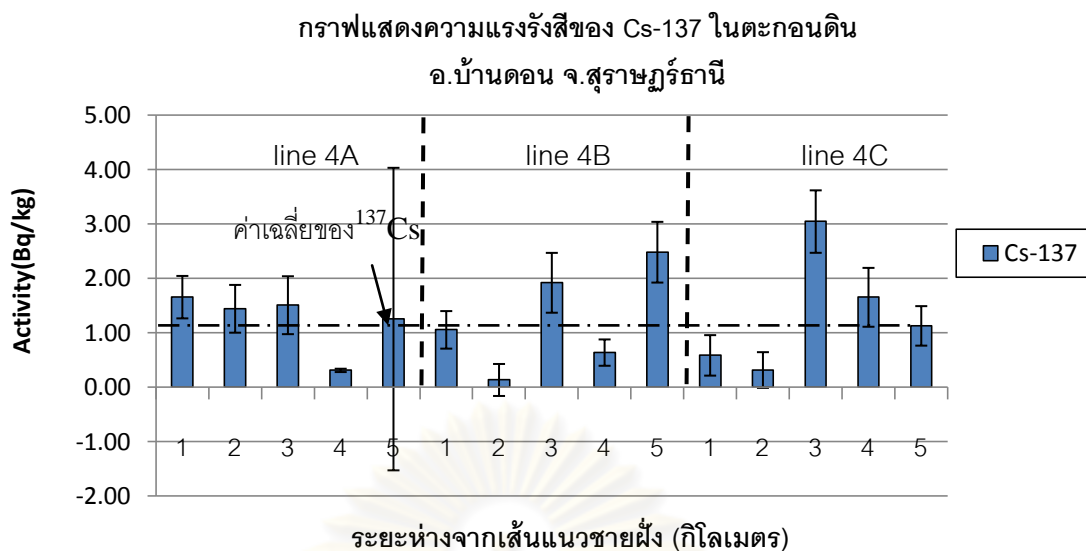
4.2.4 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี ได้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษานี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.12 และ 4.13 และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.9

กราฟแสดงความแรงรังสีของ Ra-226, Ra-228 และ K-40 ในตะกอนดิน  
อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี



รูปที่ 4.12 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในตะกอนดิน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี



รูปที่ 4.13 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน  
อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$   
และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ที่ อ.บ้านดอน  
จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
1 กิโลเมตร	32.99 ± 0.65	52.96 ± 1.38	495.80 ± 11.50	1.10 ± 0.37
2 กิโลเมตร	43.81 ± 0.92	72.39 ± 1.97	658.37 ± 15.84	0.63 ± 0.35
3 กิโลเมตร	38.95 ± 0.70	62.05 ± 1.42	592.49 ± 12.58	2.16 ± 0.55
4 กิโลเมตร	31.83 ± 0.64	51.21 ± 1.32	488.10 ± 11.28	0.87 ± 0.27
5 กิโลเมตร	32.80 ± 0.57	65.03 ± 1.27	590.22 ± 12.19	1.62 ± 1.23
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	36.08 ± 0.70	60.73 ± 1.47	565.00 ± 12.68	1.28 ± 0.56

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

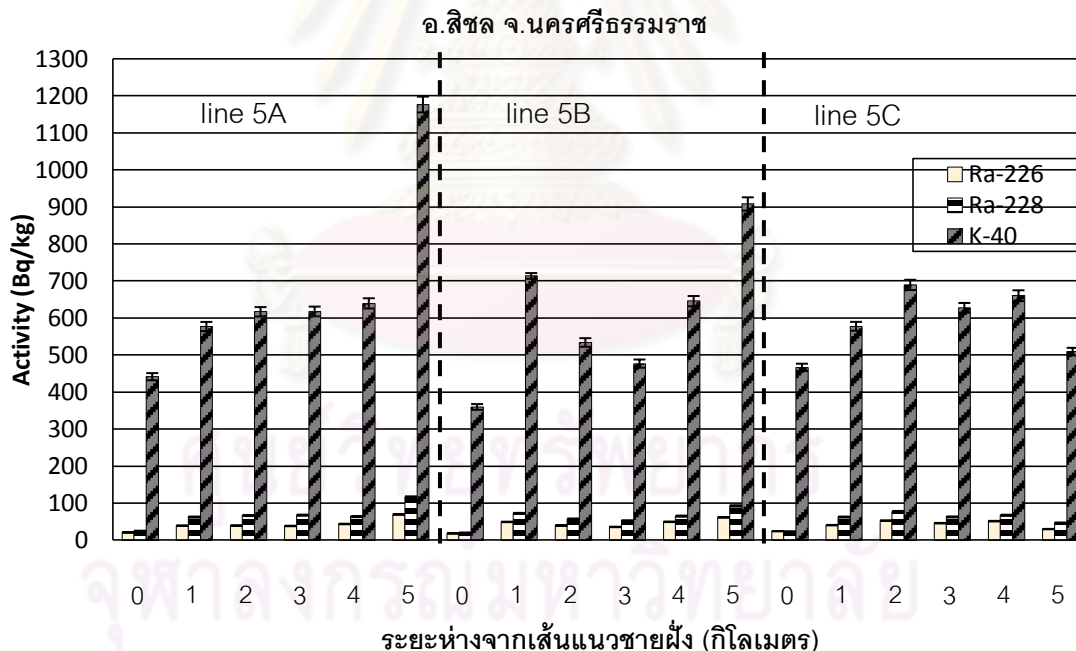
จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $31.83 \pm 0.64$  Bq/kg ถึง  $43.81 \pm 0.92$  Bq/kg,  $51.21 \pm 1.32$  Bq/kg ถึง  $72.39 \pm 1.97$  Bq/kg,  $488.10 \pm 11.28$  Bq/kg ถึง  $658.37 \pm 15.84$  Bq/kg และ  $0.63 \pm 0.35$  Bq/kg ถึง  $2.16 \pm 0.55$  Bq/kg ตามลำดับ โดยค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,

$^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $43.81 \pm 0.92$  Bq/kg,  $72.39 \pm 1.97$  Bq/kg และ  $658.37 \pm 15.84$  Bq/kg ตามลำดับ และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  สูงสุดที่ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $2.16 \pm 0.55$  Bq/kg

4.2.5 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ได้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาที่ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.14 และ 4.15 และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ของ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.10

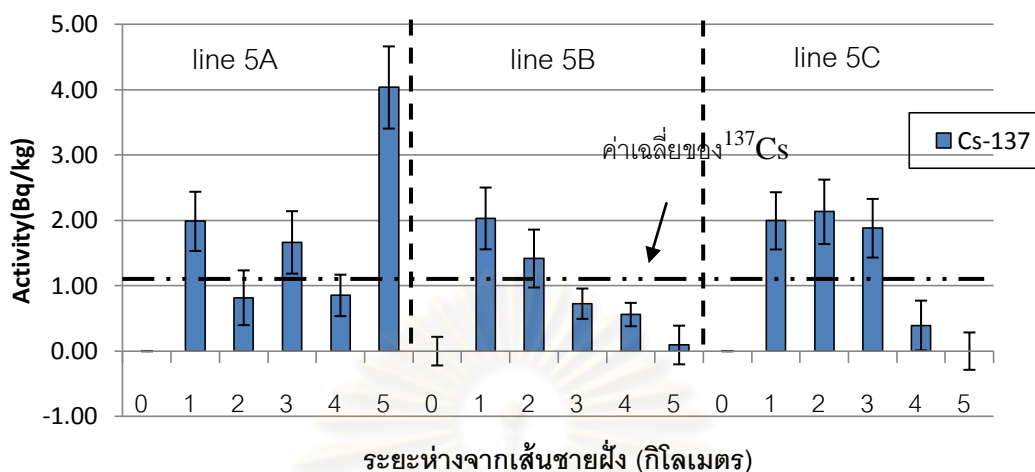
กราฟแสดงความแรงรังสีของ Ra-226, Ra-228 และ K-40 ในตะกอนดิน



รูปที่ 4.14 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในตะกอนดิน อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช

กราฟแสดงความแรงรังสีของ Cs-137 ในตะกอนดิน

อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช



รูปที่ 4.15 ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน

อ.สิชล จ. นครศรีธรรมราช

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$

และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ที่ อ.สิชล

จ. นครศรีธรรมราช

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
ชายหาด	21.59 ± 0.43	23.04 ± 0.81	423.03 ± 9.11	0.00 ± 0.07*
1 กิโลเมตร	43.44 ± 0.63	66.13 ± 1.39	623.15 ± 10.74	2.00 ± 0.45
2 กิโลเมตร	44.34 ± 0.68	67.42 ± 1.49	613.74 ± 12.73	1.46 ± 0.45
3 กิโลเมตร	40.43 ± 0.66	61.35 ± 1.38	574.44 ± 12.43	1.42 ± 0.39
4 กิโลเมตร	48.67 ± 0.75	65.68 ± 1.52	648.79 ± 14.11	0.60 ± 0.29
5 กิโลเมตร	54.08 ± 0.72	85.53 ± 1.63	864.92 ± 16.51	1.38 ± 0.40
เฉลี่ยทั้งจังหวัด	42.09 ± 0.65	61.52 ± 1.37	624.68 ± 12.61	1.14 ± 0.34

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า อ.สิชล จ. นครศรีธรรมราชมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  มีค่าอยู่ในช่วง  $21.59 \pm 0.43$  Bq/kg ถึง  $54.08 \pm 0.72$  Bq/kg,  $23.04 \pm 0.81$

Bq/kg ถึง  $85.53 \pm 1.63$  Bq/kg,  $423.03 \pm 9.11$  Bq/kg ถึง  $864.92 \pm 16.51$  Bq/kg และ <LLD ถึง  $2.00 \pm 0.45$  Bq/kg ตามลำดับ โดยค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  สูงสุดที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $54.08 \pm 0.72$  Bq/kg,  $85.53 \pm 1.63$  Bq/kg และ  $864.92 \pm 16.51$  Bq/kg ตามลำดับ และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  สูงสุดที่ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง มีค่าเท่ากับ  $2.00 \pm 0.45$  Bq/kg

ผลจากการวิเคราะห์ทางแกมมาสเปกโตรเมตรี ของความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ที่ตรวจวัดในตัวอย่างทรายที่เก็บจากชายหาดจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช นำไปเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{228}\text{Ra}$  ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง (วิชชุอายุสุข, 2551) กับข้อมูลการตรวจวัดและตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากชายหาดชลาทัศน์และชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (จิราพา สุโขวัฒน์กิจ, 2547) กับ ตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต (ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ, 2549) และค่าเฉลี่ยผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณชายหาดเชิงอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี (สุพรรณษา ธานีรัตน์, 2552) โดยแสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.11 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในพื้นที่ศึกษาข้อมูลกับรายงานในเอกสารทางวิชาการอื่น ๆ

ตัวอย่าง	กัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
<b>พื้นที่ศึกษา</b>			
ชายหาด อ.บางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	9.88±0.37	19.04±0.77	281.85±7.03
ชายหาด อ.ประทิว จังหวัดชุมพร	3.02±0.22	5.76±0.51	5.85±2.29
ชายหาด อ.ท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี	8.57±0.32	11.61±0.66	481.08±9.95
ชายหาด อ.สีชล จังหวัดนครศรีธรรมราช	21.59±0.43	23.04±0.81	423.03±9.11
<b>พื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยของภาคใต้</b>			
ทรายชายหาดจากบริเวณชายหาด เขวงอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี [25]	18.85±1.45	23.53±2.4	373.3±13.59
ทรายที่เก็บจากชายหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา [26]	65.79±7.65	100.52±12.12	186.72±10.78
ทรายที่เก็บจากชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา [26]	16.81±4.9	27.24±8.14	309.04±24.31
<b>พื้นที่ชายฝั่งตะวันตกของภาคใต้</b>			
ตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจาก ชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง [27]	13.06±0.87	6.89±0.37	57.26±2.3
ตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจาก ชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต [28]	8.65±3.61	42.38±18.46	962.75±334.07
<b>ค่าเฉลี่ยทรายจากทั่วโลก</b> [UNSCEAR,2000] [29]	40	40	400

จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีจำเพาะตามธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากชายหาด ของ

อ. ประทิว จ.ชุมพร ของพื้นที่ศึกษา มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จาก ตัวอย่างทรายชายหาดจากแหล่งอื่นๆ และพบว่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยจากทรายทั่วโลก และค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ  $^{40}\text{K}$  ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณชายหาด ทรายหาด อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี และชายหาด อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ของพื้นที่ศึกษา พบว่า มีค่า  $^{40}\text{K}$  สูงกว่าค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ  $^{40}\text{K}$  ในตัวอย่างทรายที่ชายหาดฝั่งอ่าวไทยในแหล่งอื่น และสูงกว่าค่าเฉลี่ยของทรายจากทั่วโลก

#### 4.3 เทคนิคที่ใช้การวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$

ผลการวิจัยหาค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ได้ทำการเปรียบเทียบสองเทคนิคในการตรวจวัดหาค่าความเข้มข้นรังสี ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) และเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี แสดงผลดังนี้

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  โดยเทคนิค ICP-MS

พื้นที่ศึกษา	ระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง	ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ(Bq/kg)		
			$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์	4 กิโลเมตร	1A-4	40.71±0.62	1.85±0.03	103.49±0.35
อ.ประทิว จ.ชุมพร	4 กิโลเมตร	2A-4	29.81±0.32	1.35±0.01	53.58±0.16
อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี	1 กิโลเมตร	3B-1	43.93±0.11	1.99±0.01	84.13±0.62
อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี	5 กิโลเมตร	4A-5	41.75±0.38	1.90±0.02	83.77±0.60
อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช	5 กิโลเมตร	5A-5	49.08±0.95	2.70±0.04	97.86±1.58
		5B-5	51.15±0.60	2.32±0.03	104.01±1.28
	2 กิโลเมตร	5C-2	59.48±0.96	2.23±0.04	118.13±0.35

ผลจากการวิเคราะห์  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ได้เลือกตัวอย่างที่มีปริมาณของความเข้มข้นรังสีของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  ที่มีค่ามากมาพิจารณาความสัมพันธ์ของ  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  โดยการวิเคราะห์ ICP-MS พบว่าเป็นไปตามแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ มี  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  พบค่าสูงสุดที่



อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช โดยมีค่าเท่ากับ  $59.42 \pm 0.96$  Bq/kg,  $2.23 \pm 0.04$  Bq/kg และ  $118.13 \pm 0.35$  Bq/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  โดยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี

พื้นที่ศึกษา	ระยะห่าง จาก เส้นแนว ชายฝั่ง	ตัวอย่าง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)		
			$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
อ.สีชล	5 กิโลเมตร	5A-5	$38.47 \pm 0.55$	$1.75 \pm 0.02$	$124.81 \pm 1.30$
จ.นครศรีธรรมราช	2 กิโลเมตร	5C-2	$65.55 \pm 1.35$	$2.98 \pm 0.06$	$126.40 \pm 0.87$

จากผลการวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ของเทคนิค ICP-MS ในตารางที่ 4.11 จึงได้ทำการเลือกตัวอย่างที่มีค่าความแรงรังสีของ  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ที่มีค่ามาก มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี พบว่าค่าที่ได้มีความประมาณใกล้เคียงกันดังตารางที่ 4.12 โดยค่า  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  สูงสุดมีค่า เท่ากับ  $65.55 \pm 1.35$  Bq/kg,  $2.98 \pm 0.06$  Bq/kg และ  $126.40 \pm 0.87$  Bq/kg ตามลำดับ

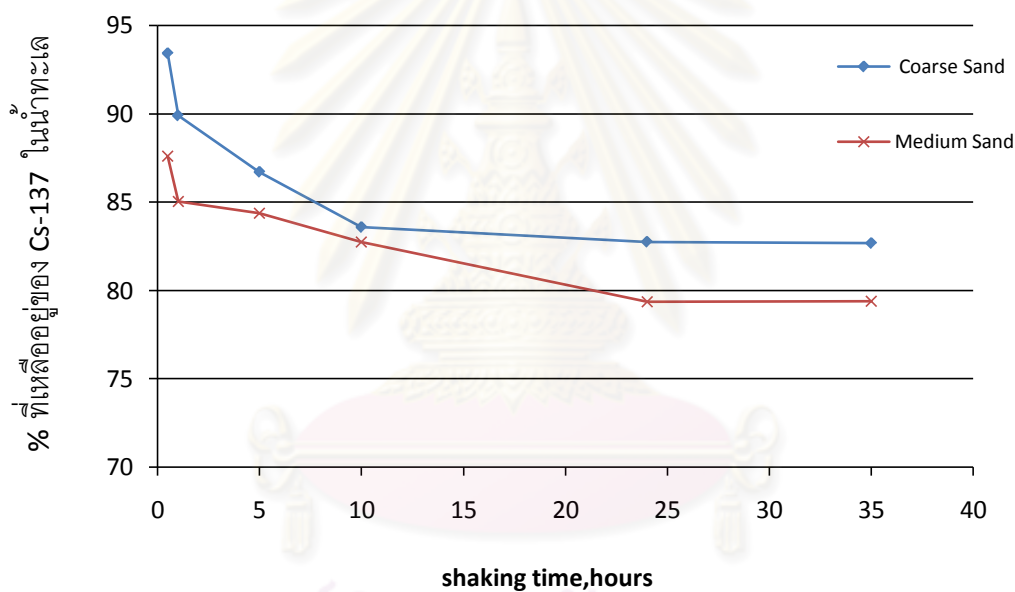
#### 4.4 การศึกษาการดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดิน โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients, $K_d$ )

##### 4.4.1. หาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสี

ผลการทดลองหาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมของตะกอนชนิดทรายกรวดและทรายขนาดกลาง ในการดูดซับสารรังสี  $^{137}\text{Cs}$  ที่ถูกดูดซับโดยตะกอนแขวนลอยขนาด 200 มิลลิกรัม/ลิตร จากค่าเฉลี่ยของขนาดตะกอนแขวนลอยในอ่าวไทย [24] ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ดูดซับสารรังสีต่อประสิทธิภาพการดูดซับ  $^{137}\text{Cs}$  คิดเป็นร้อยละ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสี

เวลา (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการดูดซับคิดเป็นร้อยละ	
	ทรายกรวด	ทรายขนาดกลาง
0.5	93.42	87.59
1	89.90	85.03
5	86.71	84.36
10	83.58	82.75
24	82.75	79.34
35	82.67	79.39



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารรังสีกับเวลาในการเขย่าตัวอย่างตะกอนแขวนลอย

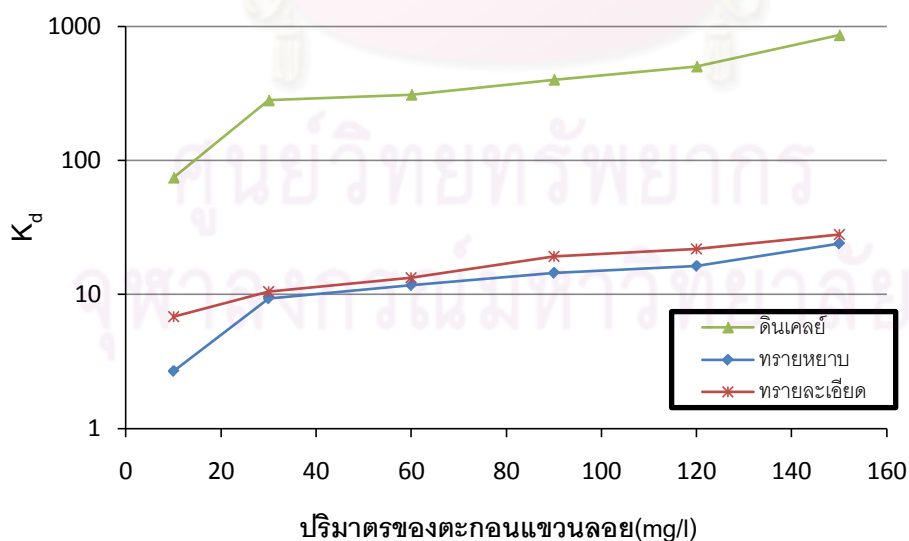
ผลจากการหาเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับสารรังสีของ  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดินชนิด ทรายกรวดและทรายขนาดกลางในน้ำทะเล พบว่า เมื่อใช้เวลาในการเขย่าสารตัวอย่างผ่านไปประมาณ 24 ชั่วโมง จะพบความสมดุลเกิดขึ้น ดังนั้นการดูดซับ  $^{137}\text{Cs}$  จะคงที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 24 ถึง 35 ชั่วโมง พบว่า การดูดซับสารกัมมันตรังสีของตะกอนดินจะเริ่มคงที่ เพราะฉะนั้นเวลาความสมดุลของ 24 ชั่วโมงเป็นเวลายาวเพียงพอสำหรับการเขย่า

#### 4.4.2. หาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับสารรังสี

ผลการหาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับ  $^{137}\text{Cs}$  ของตะกอนทรายหยาบ, ทรายละเอียดและดินเคลย์ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอย ซึ่งได้กำหนดเวลาในการเขย่ามาจากผลของข้อที่ 4.4.1 และได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients,  $K_d$ ) ตามสมการที่ 2.12 ได้แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการหาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการดูดซับสารรังสี

ปริมาณ	$K_d$ (ml/g)		
	ทรายหยาบ	ทรายละเอียด	ดินเคลย์
10	2.69	6.84	74.45
30	9.34	10.55	281.33
60	11.72	13.39	309.99
90	14.49	19.25	401.49
120	16.30	21.93	504.06
150	23.94	27.99	864.07



รูปที่ 4.17 ค่า  $K_d$  ของตะกอนแขวนลอย 3 ชนิดที่ใช้ในการศึกษา

จากการทดลองพบว่า ค่า  $K_d$  ของตะกอนแขวนลอยที่มีปริมาณ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ถึง 150 มิลลิกรัม/ลิตร มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามปริมาณของตะกอนแขวนลอยที่เพิ่มมากขึ้น และตะกอนแขวนลอยต่างชนิดกันมีผลต่อค่า  $K_d$  โดยพบว่า ตะกอนดินเคลย์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของสารรังสีมากกว่าตะกอนของทรายหยาบและทรายละเอียดที่มีน้ำหนักที่เท่ากัน และพบว่า ดินเคลย์มีความสามารถในการดูดซับสารรังสีซีเซียมได้มากกว่า (ค่า  $K_d$  สูงกว่า) ทรายหยาบและทรายละเอียดเกือบ 10 เท่า ทั้งนี้ เนื่องจากดินเคลย์มีอนุภาคของตะกอนขนาดเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับสารรังสีได้มากกว่าทรายหยาบและทรายละเอียด นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่า ตะกอนชนิดเคลย์ มีแนวโน้มการดูดซับของสารรังสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีปริมาณของตะกอนแขวนลอยสูงกว่า 150 มิลลิกรัม/ลิตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้นในตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งได้ทำการใช้เทคนิคในการวิเคราะห์หลายเทคนิคและได้ทำการศึกษาการดูดซับสารรังสี<sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน 3 ขนาด โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients,  $K_d$ ) ผลการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ ดังนี้

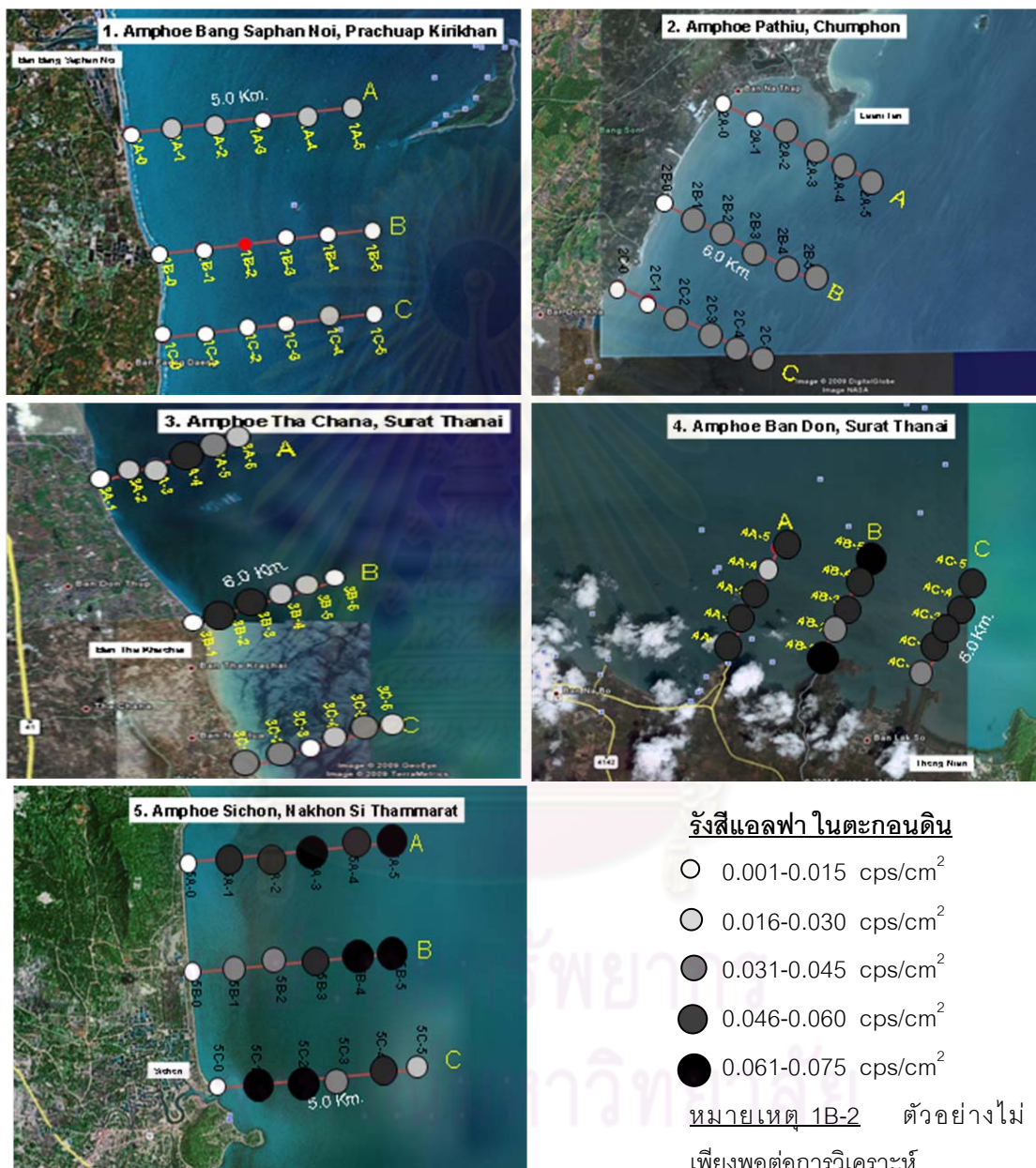
##### 5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม

ผลการตรวจวัดด้วยระบบการตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาและเบตา รวม ในตะกอนดินมีวัตถุประสงค์เพื่อดูแนวโน้มของค่าความแรงรังสีในพื้นที่ศึกษา ด้วยหัววัดรังสีแบบ Gas flow Proportional counter ในพื้นที่ศึกษา แสดงผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา/เบตา รวม ในพื้นที่ศึกษา

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

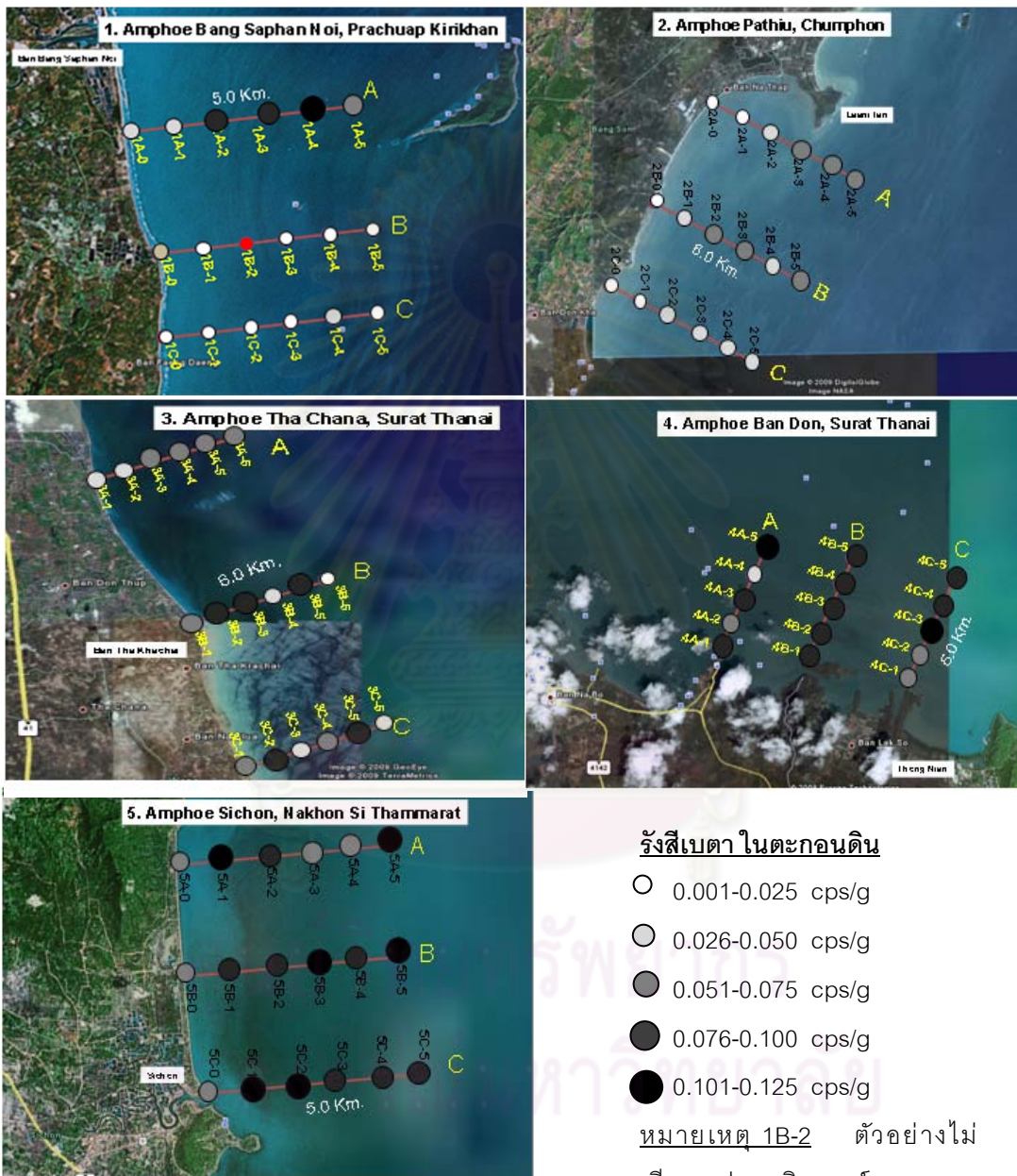
จากตารางที่ 5.1 พื้นที่ที่มีแนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวมสูงสุดเฉลี่ยที่บริเวณ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ  $0.050 \pm 0.003$  cps/cm<sup>2</sup> และพื้นที่ที่มีแนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวมสูงสุดเฉลี่ยที่บริเวณ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ  $0.091 \pm 0.001$  cps /g



รูปที่ 5.1 ค่าอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวมของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5.1 พบว่า แนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวมในพื้นที่ อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์ มีอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟา รวม ชุมพร, สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ในระนาบด้วยกันมีค่าความแรงรังสีที่ใกล้เคียงกัน โดยส่วนใหญ่มีค่าน้อยที่

บริเวณชายหาดและเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่งทะเล และพื้นที่ที่มีแนวโน้มในการปลดปล่อยรังสีมากที่สุดที่ อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช ยกเว้น ที่ อ. บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์ ไม่มีความแตกต่างของอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟารวม ในตัวอย่างที่ระนาบเดียวตามความลึกที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.2 ค่าอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวมของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5.2 พบว่า แนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา รวมในพื้นที่ ชุมพร ,สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ในระนาบเดียวกันมีค่าความแรงรังสีที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า

น้อยที่บริเวณชายหาดและเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่งทะเล และพื้นที่มี  
แนวโน้มในการปลดปล่อยรังสีมากที่สุดที่ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ยกเว้น ที่ อ. บางสะพานน้อย  
จ. ประจวบคีรีขันธ์ ไม่มีความแตกต่างของอัตราการปลดปล่อยรังสีเบตา ในตัวอย่างที่ระนาบเดียว  
ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ใน line B และ line C ส่วน line A ,มีแนวโน้มค่าอัตราการปลดปล่อยเบตา  
รวมที่มากขึ้นตามระยะห่างจากเส้นชายหาด

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และที่  
มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  
 $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้หัววัดรังสี  
ชนิดสารกึ่งตัวนำ ได้ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ได้แก่  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$   
และที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในพื้นที่ศึกษา

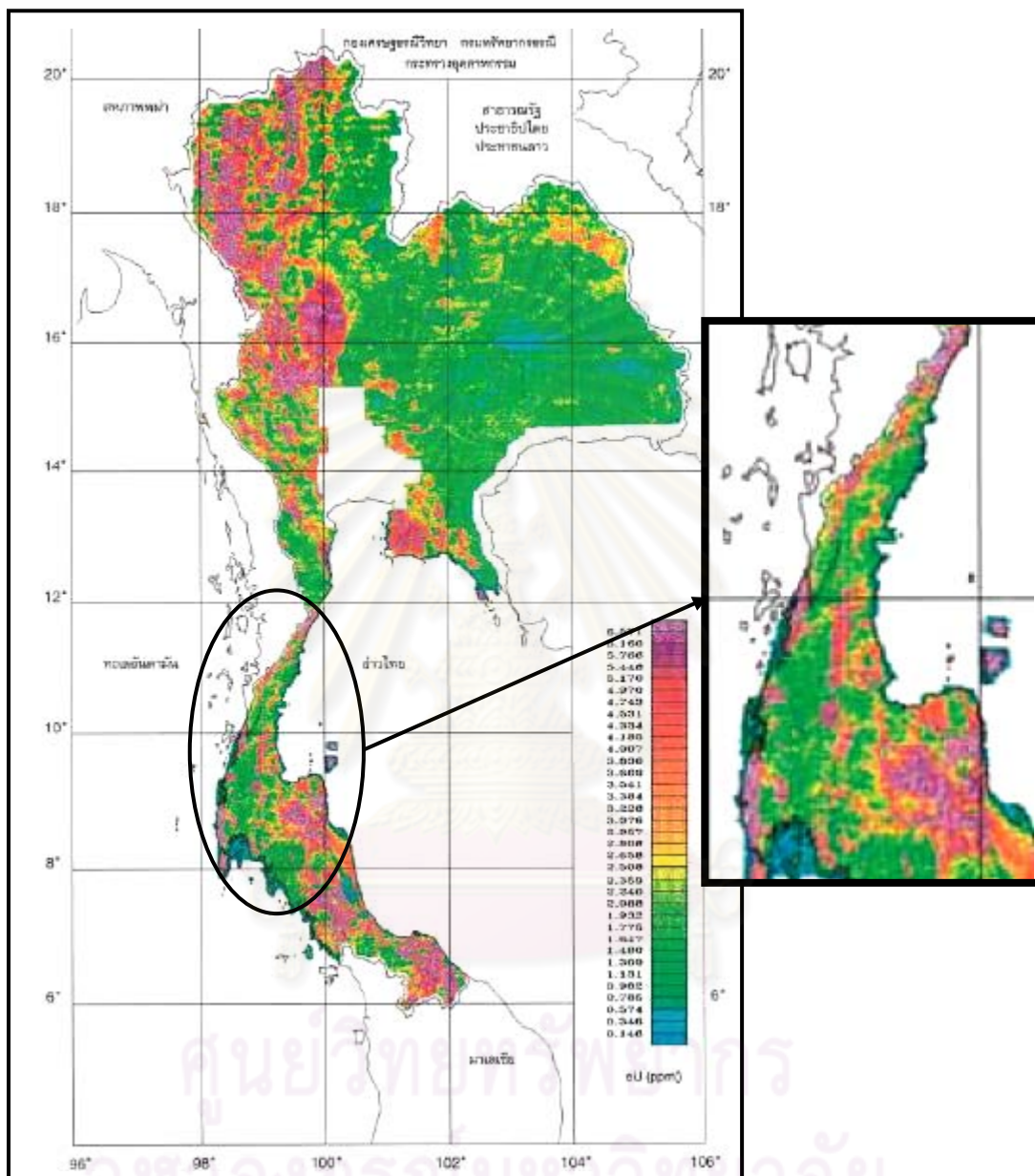
พื้นที่ศึกษา	กัมมันตภาพรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	Ra-226	Ra-228	K-40	Cs-137
อ.บางสะพานน้อย ประจวบคีรีขันธ์	21.98±0.46	40.10±1.01	236.66±6.70	<LLD
อ.ประทิว ชุมพร	22.46±0.48	38.60±1.03	276.02±6.56	0.61±0.29
อ.ท่าชนะ สุราษฎร์ธานี	20.17±0.64	33.14±0.96	463.84±10.08	0.59±0.22
อ.บ้านดอน สุราษฎร์ธานี	36.08±0.70	60.73±1.47	565.00±12.68	1.28±0.56
อ.สีชล นครศรีธรรมราช	42.09±0.65	61.52±1.37	624.68±12.62	1.14±0.34

โดย อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช มีค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  
 $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  สูงที่สุด และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่มนุษย์สร้างขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  เฉลี่ยสูงสุดที่  
อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

ผลจากการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในพื้นที่  
ศึกษาที่บริเวณชายหาด ของตารางที่ 4.11 พบว่ามีกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติปริมาณของ

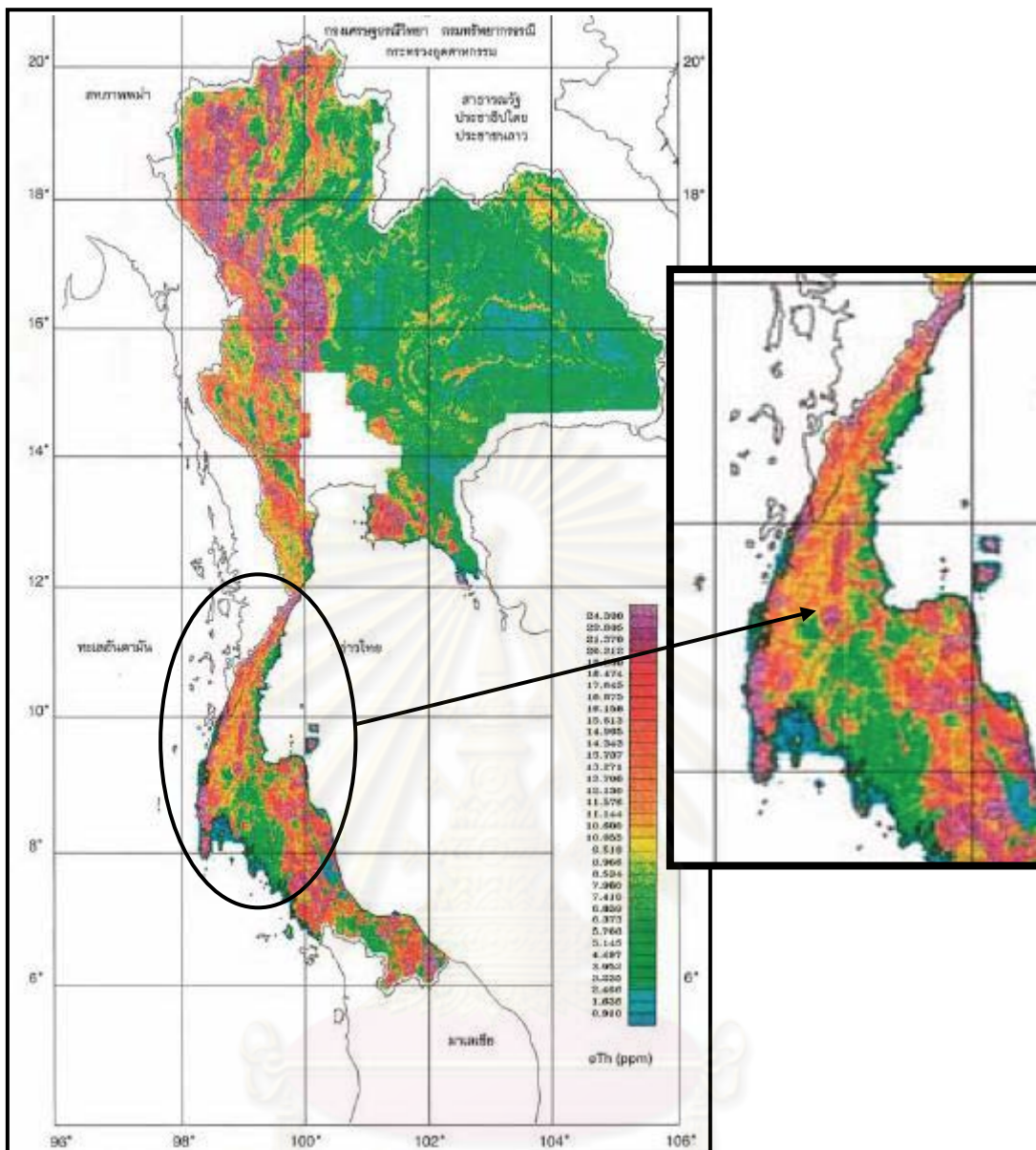


$^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ที่ศึกษา เมื่อพิจารณาจากข้อมูลแหล่งแร่ของ ไทย ชุดแร่โลหะของประเทศไทย ฉบับที่ 4 (แหล่งแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย) [30] ซึ่งเป็นข้อมูล



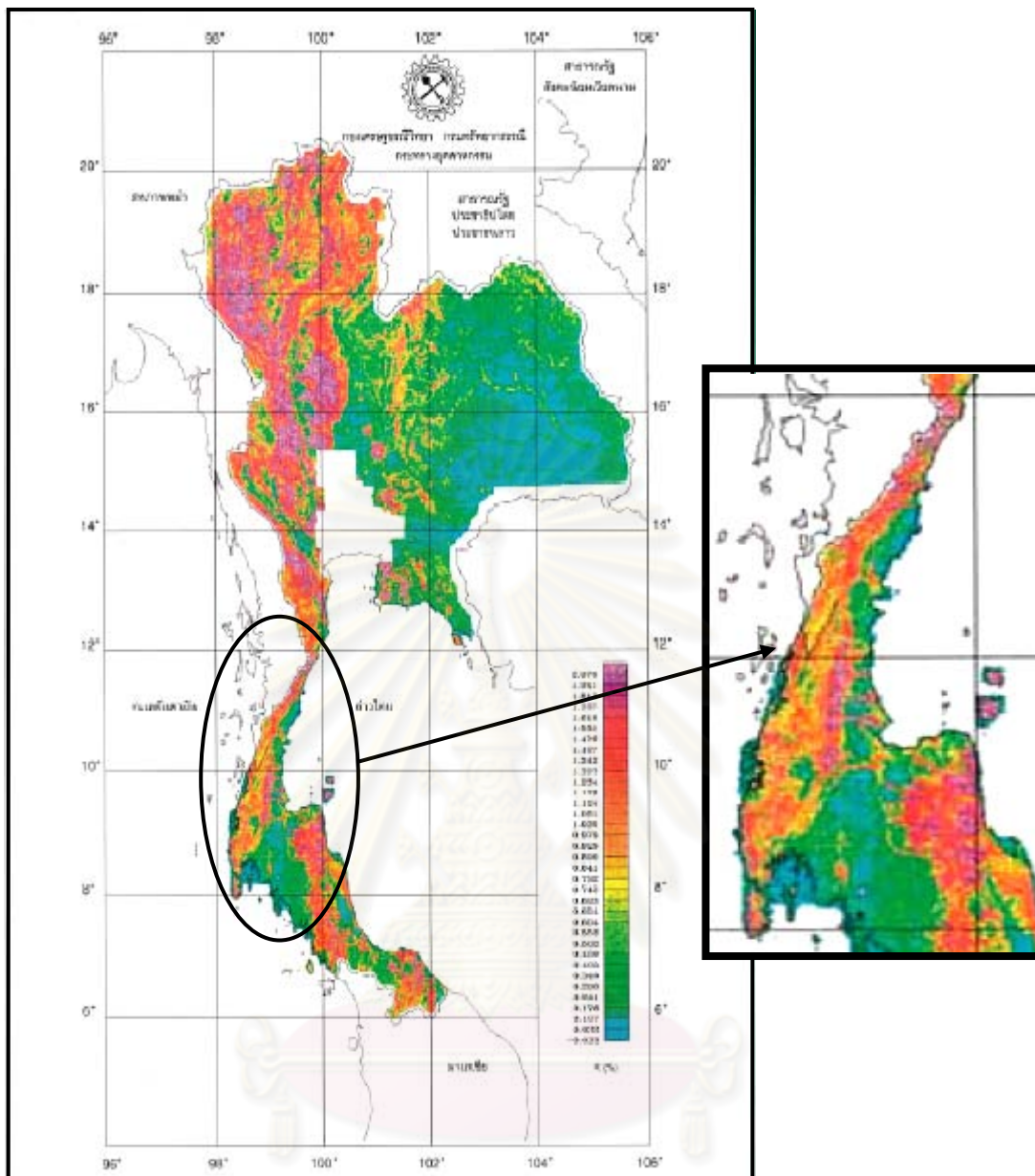
รูปที่ 5.3 แผนที่กัมมันตภาพรังสียูเรเนียม [30]

จากรูป 5.3 แสดงตำแหน่งบริเวณที่พบธาตุยูเรเนียมในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งศึกษา สํารวจโดยกรมทรัพยากรธรณี พบว่า มีปริมาณยูเรเนียมมากในพื้นที่ของ จ.นครศรีธรรมราช ซึ่ง สัมพันธ์กับข้อมูลทีวีเคราะห์ได้ของค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{226}\text{Ra}$  ของพื้นที่ ศึกษาที่บริเวณชายหาด อ.สิชล จ. นครศรีธรรมราช ที่พบว่ามีค่ามากกว่าทุกพื้นที่ศึกษา



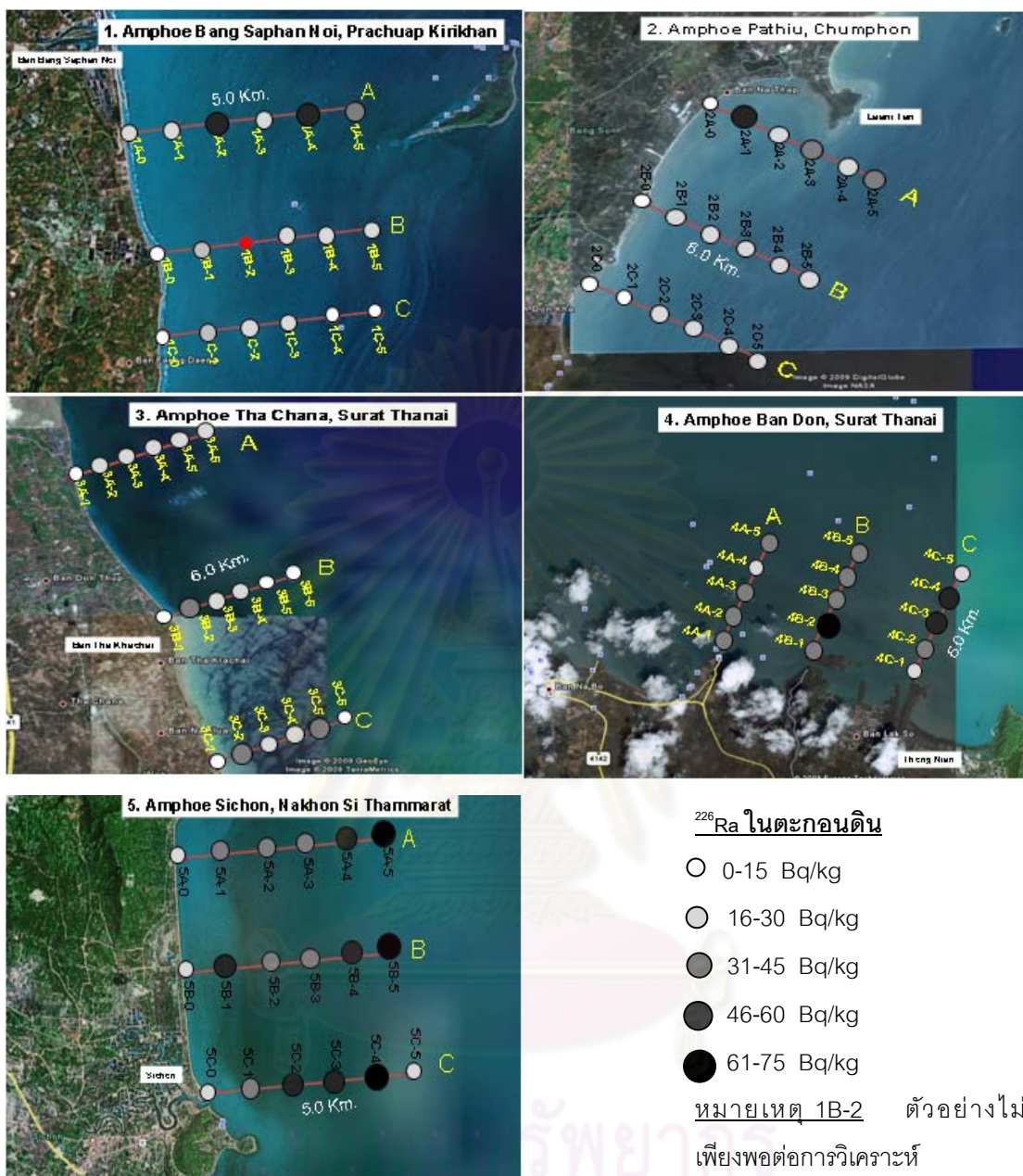
รูปที่ 5.4 แผนที่กัมมันตภาพรังสีทอเรียม [30]

นำผลจากตารางที่ 4.11 มาเปรียบเทียบกับรูปแผนที่กัมมันตรังสีทอเรียมในรูปที่ 5.4 จากข้อมูลการศึกษาสำรวจโดยกรมทรัพยากร พบว่า พื้นที่บริเวณภาคใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งแร่ทอเรียม ซึ่งเป็นธาตุต้นกำเนิดอนุกรมที่สลายตัวให้  $^{228}\text{Ra}$  มีปริมาณที่มากกว่าแหล่งแร่ยูเรเนียม และที่ จ. นครศรีธรรมราช พบว่า มีปริมาณทอเรียมมากซึ่งสัมพันธ์ค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติของ  $^{228}\text{Ra}$  ของ อ. สิชล จ. นครศรีธรรมราช ที่พบว่ามีความกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติของ  $^{228}\text{Ra}$  มากกว่าทุกพื้นที่ศึกษา



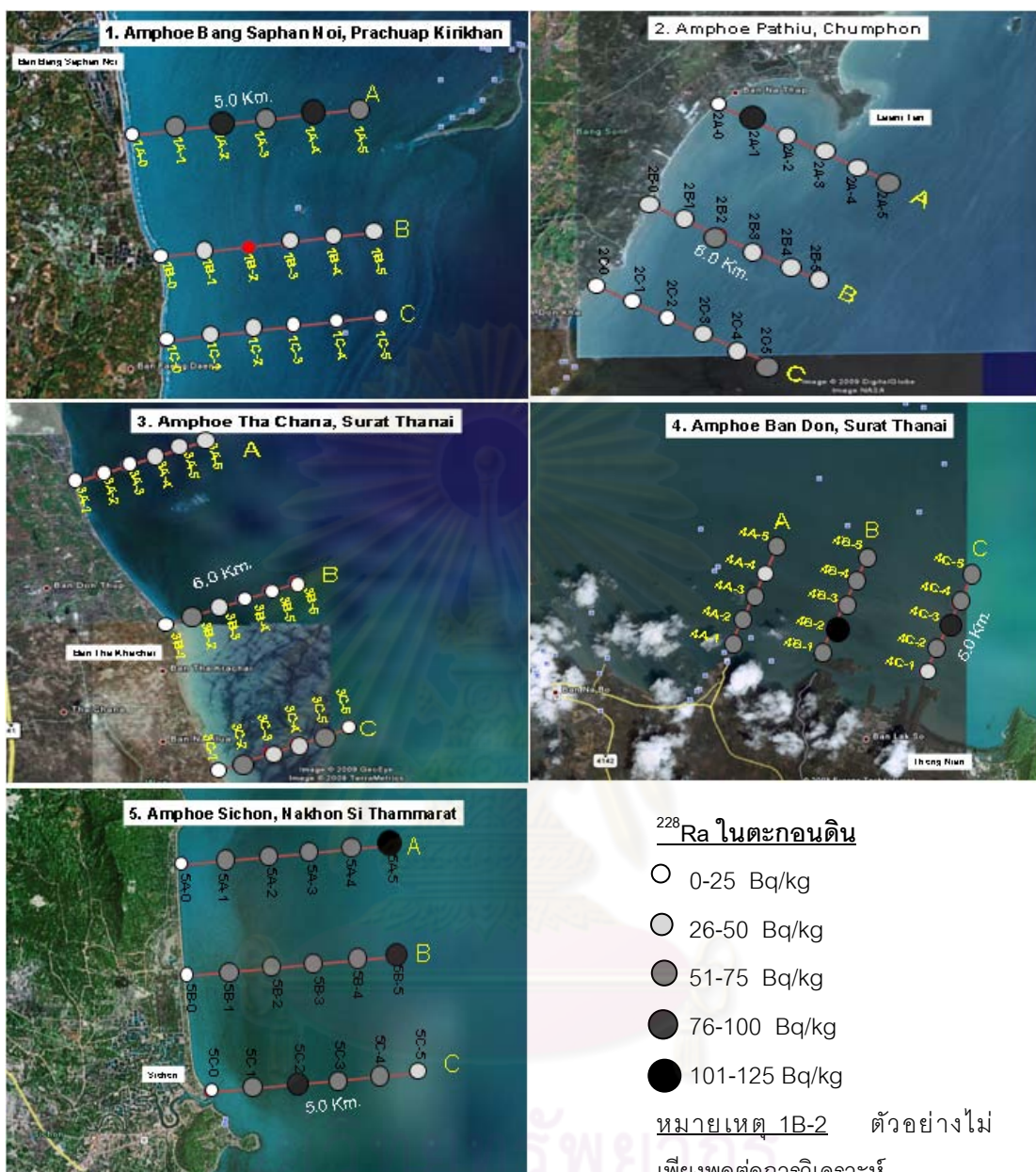
รูปที่ 5.5 แผนที่กัมมันตรังสีโปแตสเซียม [30]

เมื่อนำผลจากตารางที่ 4.11 มาเปรียบเทียบกับรูปแผนที่กัมมันตรังสีโปแตสเซียมของข้อมูล การศึกษาสำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณี พบว่าที่ จ. ชุมพร มีปริมาณกัมมันตรังสีโปแตสเซียมน้อย ซึ่งสัมพันธ์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในธรรมชาติของ  $^{40}\text{K}$  บริเวณชายหาดของ อ.ประทีพ จ. ชุมพร มีค่าน้อยกว่าทุกพื้นที่ศึกษาที่ชายหาด



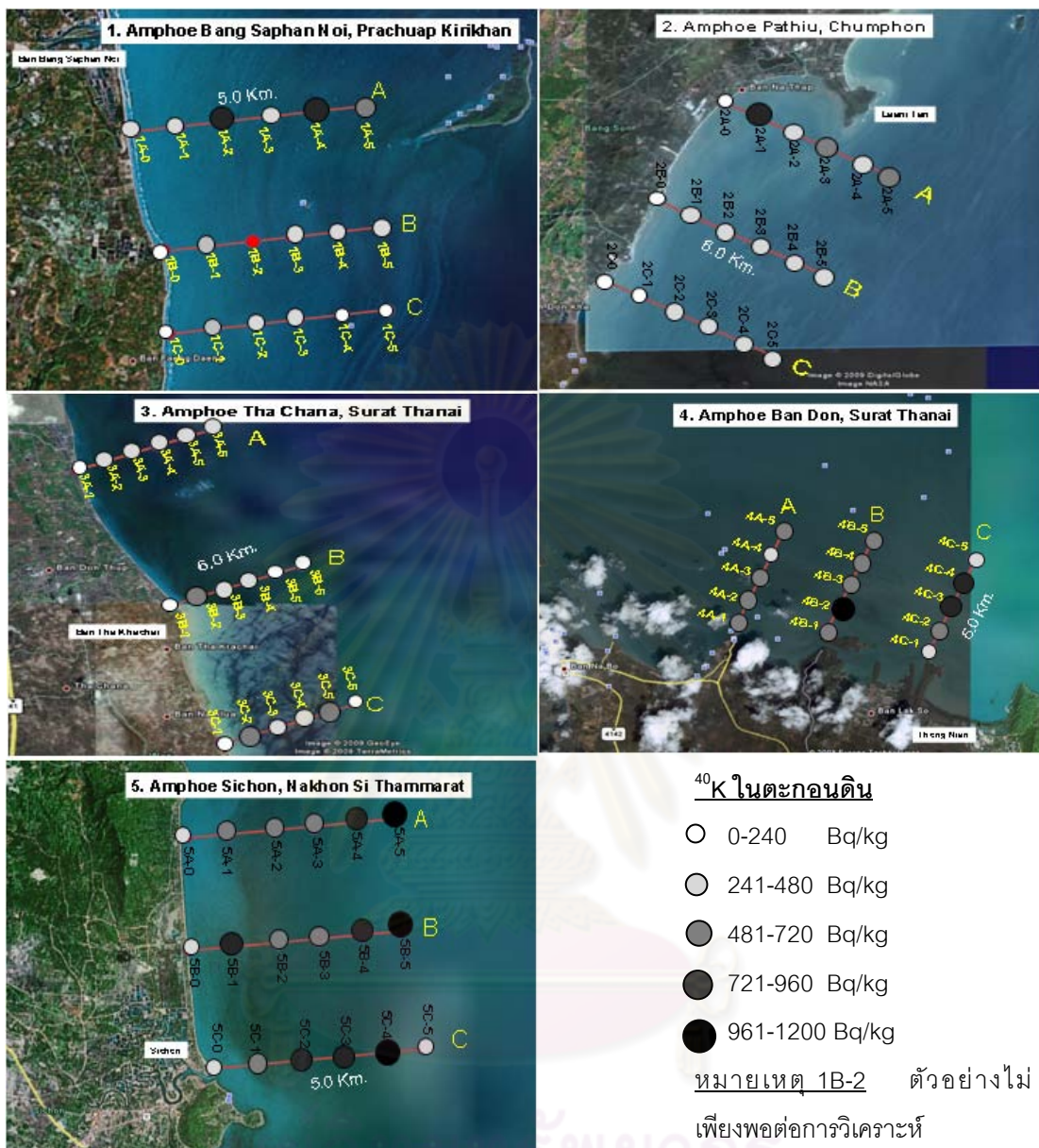
รูปที่ 5.6 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ <sup>226</sup>Ra ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5.6 พบว่า ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ <sup>226</sup>Ra ในตัวอย่างที่ระนาบเดียวตามความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกพื้นที่ศึกษา มีค่าความแรงรังสีที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ <sup>226</sup>Ra สูงสุดที่ อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช และมีค่าเฉลี่ยน้อยสุดที่ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี



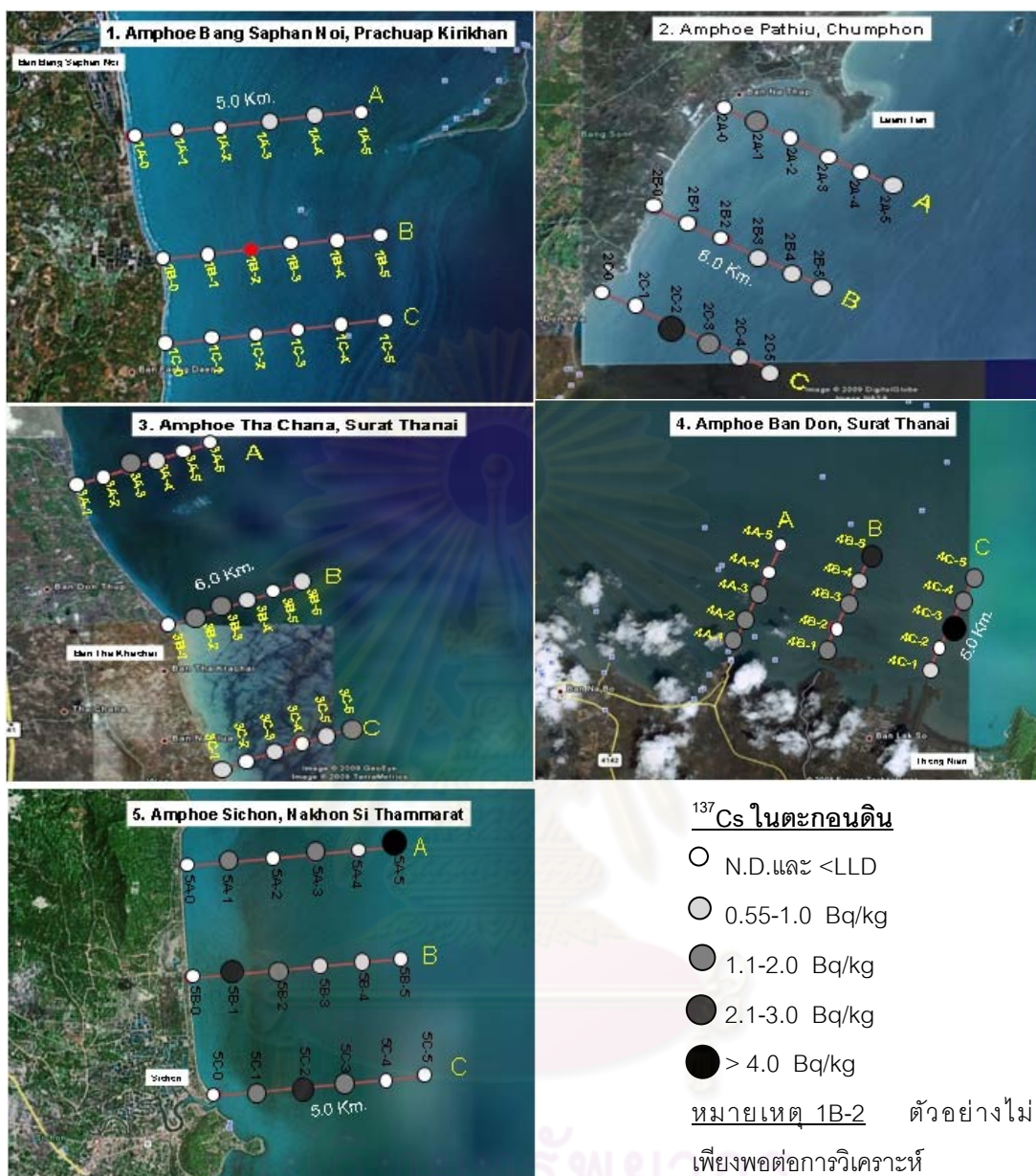
รูปที่ 5.7 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ  $^{228}\text{Ra}$  ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5.7 พบว่า มีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{228}\text{Ra}$  ในตัวอย่างที่ระนาบเดียวตามความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกพื้นที่ศึกษา มีค่าความแรงรังสีที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{228}\text{Ra}$  สูงสุดที่ อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช และค่าเฉลี่ยน้อยสุดที่ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี



รูปที่ 5.8 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ  $^{40}\text{K}$  ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5.8 พบว่า มีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{40}\text{K}$  ในตัวอย่างที่ระนาบเดียวตามความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกพื้นที่ศึกษา มีค่าความแรงรังสีที่ไม่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ที่มีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{40}\text{K}$  สูงสุดที่อยู่ที อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช และค่าเฉลี่ยน้อยสุดที่ อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 5.9 ค่าความแรงรังสีจำเพาะ  $^{137}\text{Cs}$  ของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา

จากรูปที่ 5.9 พบว่า มีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{137}\text{Cs}$  ในตัวอย่างที่ระนาบเดียวตามความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกพื้นที่ศึกษา มีค่าความแรงรังสีที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{137}\text{Cs}$  สูงสุดที่ อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี และมีค่าเฉลี่ยน้อยสุดที่ อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์

#### 5.1.4 เทคนิคที่ใช้การวิเคราะห์ $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ และ $^{232}\text{Th}$

ปริมาณของความเข้มข้นของ  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{228}\text{Ra}$  ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ในกลุ่มอนุกรมยูเรเนียมและทอเรียมที่สลายตัวเป็นลูกโซ่มาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น คือ  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ตามทฤษฎี และการวิเคราะห์หาปริมาณ  $^{235}\text{U}$  นั้นใช้การคำนวณเปอร์เซ็นต์ธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ มาพิจารณาความสัมพันธ์กันจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) ซึ่งการศึกษานี้ได้นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ถูกต้อง

ในการวิเคราะห์  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ได้เลือกตัวอย่างตะกอนดินที่มีปริมาณของความเข้มข้นของ  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  สูงมาพิจารณาทำการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ ICP-MS พบว่าเป็นไปตามแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ มี  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  พบค่าสูงสุดที่ อ.สีชล จ. นครศรีธรรมราช โดยมีค่าเท่ากับ  $59.42 \pm 0.96$  Bq/kg,  $2.23 \pm 0.04$  Bq/kg และ  $118.13 \pm 0.35$  Bq/kg ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ของเทคนิค ICP-MS ในตารางที่ 4.11 จึงได้ทำการเลือกตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นของ  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ที่มีค่ามาก มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี พบว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าความประมาณใกล้เคียงกันดังตารางที่ 4.12 โดยค่า  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  สูงสุดมีค่า เท่ากับ  $65.55 \pm 1.35$  Bq/kg,  $2.98 \pm 0.06$  Bq/kg และ  $126.40 \pm 0.87$  Bq/kg ตามลำดับ

ดังนั้น สามารถสรุปผลจากการวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติ  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  และที่มนุษย์ผลิตขึ้น  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดินชายฝั่งทะเลจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ได้ว่าจากผลสำรวจดินในประเทศไทยมีค่ากัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$  เฉลี่ยอยู่ในช่วง 11-78 Bq/kg มี  $^{40}\text{K}$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-712 Bq/kg มี  $^{238}\text{U}$  เฉลี่ยอยู่ในช่วง 3-370 Bq/kg และมี  $^{232}\text{Th}$  เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7-120 Bq/kg ขณะที่โลกเรามีค่าเฉลี่ยของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 32 และ 420 Bq/kg มี  $^{238}\text{U}$  และ  $^{232}\text{Th}$  ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 33 และ 45 Bq/kg [UNSCEAR,2000] [29] ซึ่งผลของตะกอนดินจากพื้นที่ศึกษามีปริมาณ  $^{226}\text{Ra}$  อยู่ในค่าเฉลี่ยดังกล่าว ส่วน  $^{40}\text{K}$  มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของดินในไทยและทั่วโลก และ  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  อยู่ในค่าเฉลี่ยของดินในไทยแต่สูงกว่าดินจากทั่วโลก



### 5.1.5 การศึกษาการดูดซับสารรังสีบางชนิดของตะกอนดิน โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients, $K_d$ )

การศึกษาการดูดซับสารรังสีจะใช้ค่า  $K_d$  เป็นดัชนีที่บ่งชี้ว่า ตะกอนดินมีความสามารถในการดูดซับสารรังสีได้อย่างไร ซึ่งพบว่าขนาดของตะกอนและปริมาณตะกอนแขวนลอยโดยเฉพาะตะกอนที่มีขนาดเล็ก มีผลต่อการดูดซับสารกัมมันตรังสี กล่าวคือ ตะกอนขนาดเล็กจะมีค่า  $K_d$  สูงกว่าตะกอนขนาดใหญ่และพบว่าตะกอนขนาดเล็กที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 10-150 มิลลิกรัม/ลิตร จะพบการเปลี่ยนแปลงของค่า  $K_d$  อย่างชัดเจน ในขณะที่ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่พบการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อมีปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้น

จากการศึกษา พบว่า อ.ประทิว จ.ชุมพร และ อ.ลิซล จ.นครศรีธรรมราช มีขนาดของตะกอนในพื้นที่ศึกษาเล็กกว่าพื้นที่ศึกษาอื่นๆ ดังนั้น ตะกอนแขวนลอยใน 2 พื้นที่นี้จึงน่าจะมีศักยภาพในการเหนี่ยวนำหลังสารรังสีได้ดีกว่าพื้นที่ศึกษาอื่นๆที่มีขนาดของตะกอนใหญ่กว่า เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนแขวนลอย จากเอกสารงานวิจัยของโครงการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ปี 2552 [24] โดยได้คัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่ศึกษา และซึ่งได้จำแนกข้อมูลออกเป็น 2 ฤดูกาล คือ ช่วงฤดูฝน และ ฤดูแล้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 10-150 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นช่วงที่ยังมีการดูดซับสารรังสีได้ดี และเมื่อพิจารณาปริมาณของตะกอนแขวนลอยใน 2 ช่วงฤดู จะเห็นว่า ฤดูแล้งของทุกพื้นที่ที่มีปริมาณตะกอนแขวนลอยมากกว่าในฤดูฝน ดังนั้น ถ้าเกิดเหตุการณ์การรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีสู่ทะเลในพื้นที่ที่ทำการศึกษาในช่วงฤดูร้อน ปริมาณสารกัมมันตรังสีอาจถูกดูดซับบนตะกอนได้น้อยกว่าในฤดูฝน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.51 การวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟารวมและบีตารวม

จากกระบวนการวิจัยในเรื่องของการเตรียมสารมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างตะกอนดิน โดยสามารถฐานในการวัดรังสีเบตา ใช้ KCl และสามารถฐานในการวัดรังสีแอลฟา รวม ใช้ Am-241/NaCl นั้น จะมีปัญหาในเรื่องของช่วงพลังงานที่ไม่มากพอในการวัดพลังงานอื่นๆที่ปลดปล่อยรังสีแอลฟาหรือเบตา ที่อาจปรากฏในตะกอนดินได้ ถ้าต้องการที่จะดูช่วงของพลังงานที่ครอบคลุม จะต้องใช้สารมาตรฐานที่เป็น mixed source เพื่อที่จะได้ขอบเขตของพลังงานที่กว้างมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการวิจัยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ดูแนวโน้มของการปลดปล่อยสารกัมมันตรังสีเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ในกระบวนการของการวิเคราะห์แกมมาต่อไป

### 5.5.2 การศึกษาการดูดซับสารรังสี $^{137}\text{Cs}$ ของตะกอนดินในน้ำทะเล โดยหาจากค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients, $K_d$ )

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า  $K_d$  มีแนวโน้มที่สูงขึ้น ตามปริมาณของตะกอนแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากการศึกษาเรื่อง  $K_d$  ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาและพิจารณาคัดเลือกข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยจริงที่ได้จากการสำรวจและวิจัยของโครงการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ปี 2552 [24] โดยได้คัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่ศึกษา ซึ่งพบว่า ในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน มีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 10 มิลลิกรัม/ลิตร ถึง 150 มิลลิกรัม/ลิตร จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลของค่า  $K_d$  เพื่อให้ครอบคลุมเฉพาะช่วงปริมาณของตะกอนแขวนลอยดังกล่าว ดังนั้น จึงเสนอแนะว่า ควรทำการศึกษาต่อไปว่าที่ปริมาณของตะกอนแขวนลอยสูงกว่านี้โดยเฉพาะ ดินเคลย์ จะมีผลต่อค่า  $K_d$  อย่างไร

## รายการอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. การศึกษาค่าความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Nuclear Power Plant Feasibility Study) 2009. กรุงเทพมหานคร: เอเชียทีคคอนเสิร์ตแดนซ์, 2552.
- [2] 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.
- [3] Topcuoglu, S., Gungor, N. and Khasoglu, C. . Distribution coefficients ( $K_d$ ) and desorption rates of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  in Black Sea sediments. Chemosphere 49 (June 2002): 1367–1373.
- [4] คณินิจ สกุลศรีผ่อง. การวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี Ra-226, Cs-137 และ K-40 ในดินตะกอน จากพื้นที่แหลมตะลุมพุกและบริเวณฝั่งตะวันตกของแม่น้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. โครงการงานวิทยาศาสตร์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [5] Zorer, O. S., Ceylan, H. and Dogru, M. Gross alpha and beta radioactivity concentration in water, soil and sediment of the Bendimahi River and Van Lake. Environmental monitoring and assessment 148 (June 2008): 39-46.
- [6] Rollin, S., Sahli, H., Holzer, R., Astner, M. and Burger, M. Pu and Np analysis of soil and sediment samples with ICP-MS. Applied Radiation and Isotopes 67 (2009): 821–827.
- [7] The Health Physics Society.2003. Radioactivity in nature. Introduction to radiation. [Online]. Available from: <http://www.umich.edu/radinfo/introduction/natural.html>. [2009, August 24]
- [8] Merrill, E. and Thomas, G. Environmental radioactivity from natural industrial and military sources.4<sup>th</sup> ed. San Diego: Academic Press, 1997.
- [9] แผนภาพการแสดงอนุกรมกาสลายตัวของ U-238 Th-232. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oaep.go.th/nstkc/content/view/594/29/>. [2552, สิงหาคม 28]

- [10] ชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, บุญสม พรเทพเกษมสันต์ และ สุนทรี แก้ววลีก. ไอโซโทปรังสี ยูเรเนียม และทอเรียมในตะกอนของอ่าวไทยและทะเลอันดามัน. ใน การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 8, หน้า 882-997. 20-21 มิถุนายน 2544 ณ อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.
- [11] นवलฉวี รุ่งธนเกียรติ. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
- [12] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. การป้องกันอันตรายจากรังสีระดับ 2. กรุงเทพมหานคร. : สำนักพิมพ์สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2546.
- [13] พงษ์ยุทธ ศรีพลอย. การหาความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมในน้ำบาดาลกับความกระด้างและองค์ประกอบทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [14] วารสาร LAB TODAY. Elemental Speciation by LC-ICP-MS เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับงานวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.thaiscience.com/lab\\_vol/p19/LC-ICP-MS.asp](http://www.thaiscience.com/lab_vol/p19/LC-ICP-MS.asp). [2552, สิงหาคม 24]
- [15] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (ม.ป.ป.).
- [16] Cross-sectioned view of the silicon chip set of the SP80 Pressure Sensor. [Online]. Available from: <http://www.fys.uio.no/studier/kurs/fys4260/chap9.html>. [2010, September 9]
- [17] Passivated implanted planar silicon detector. [Online]. Available from: <http://www.canberra.com/products/696.asp>. [2010, September 9]
- [18] John, R., Randle, C. and Ranjeet, S. Radioactive releases in the environment: impact and assessment (May 2003): 392-393.
- [19] Rhodes, D.W. The Effect of pH on the uptake of Radioactive Isotopes from Solution by a soil. Soil Science Society of America Proceeding (1957): 389-392.
- [20] Partical size [Online]. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Particle\\_size\\_\(grain\\_size\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_size_(grain_size)). [2010, September 9]
- [21] พรศรี พลพงษ์, ยูรีพร ปัญญาทิพย์สกุล, ธวัชชัย อธิธิพนธกร และ ยุทธนา ตุ่มน้อย. การตรวจวัดกัมมันตรังสี รอบศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องครักษ์ ก่อนการดำเนินกิจกรรมทางรังสี ตั้งแต่ พ.ศ. 2537-2541. กรุงเทพมหานคร. : สำนักพิมพ์สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2546.

- [22] Melakua, S., T. W., Damsa, R. and Moensa, L. Multi-element Analysis of Tinishu Akaki River sediment Ethiopia by ICP-MS after Microwave Assisted Digestion. Journal of Analytical Sciences and Spectroscopy 50 (2005): 31-40.
- [23] William, C. Burnett. Modern Methods in Alpha Spectrometry. Florida: Florida State University, (n.d.).
- [24] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ. รายงานผลการสำรวจครั้งที่ 1 โครงการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ปี 2552. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [25] สุพรรณษา ธาณีรัตน์. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณชายหาดเชิงอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย. โครงการงานวิทยาศาสตร์ระดับปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2552.
- [26] จิราพา สุขวัฒน์กิจ. การตรวจวัดปริมาณของนิวไคลด์สารกัมมันตรังสีธรรมชาติบางชนิดในทรายชายหาดจากบริเวณชายหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา. โครงการงานวิทยาศาสตร์ระดับปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2547.
- [27] วิชชุ อายุสุข. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง. โครงการงานวิทยาศาสตร์ระดับปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2551.
- [28] ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ. การตรวจวัดปริมาณของนิวไคลด์สารกัมมันตรังสีธรรมชาติบางชนิดในทรายชายหาดจากบริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต. โครงการงานวิทยาศาสตร์ระดับปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2549.
- [29] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Sources and Effects of Ionizing Radiation. [Online]. Available from: [http://www.unscear.org/unscear/en/Publications/2000\\_1.html](http://www.unscear.org/unscear/en/Publications/2000_1.html). [2010, June 15]
- [30] กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา. แผนที่และข้อมูลแหล่งแร่ของไทย ชุดแร่โลหะของประเทศไทย ฉบับที่ 4 (แหล่งแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย). กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม, 2543.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 อัตราการปลดปล่อยรังสีบีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ  
อ.บางสะพานน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด		
1A-0	0.005 ± 0.0009	0.028 ± 0.0007
1B-0	0.006 ± 0.0010	0.036 ± 0.0008
1C-0	0.001 ± 0.0003	0.003 ± 0.0002
<u>เฉลี่ย</u>	0.004 ± 0.001	0.023 ± 0.001
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
1A-1	0.020 ± 0.0018	0.041 ± 0.0009
1B-1	0.003 ± 0.0004	0.020 ± 0.0006
1C-1	0.002 ± 0.0006	0.004 ± 0.0003
<u>เฉลี่ย</u>	0.008 ± 0.001	0.022 ± 0.001
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
1A-2	0.017 ± 0.0017	0.091 ± 0.0013
1B-2*	-	-
1C-2	0.003 ± 0.0007	0.006 ± 0.0003
<u>เฉลี่ย</u>	0.010 ± 0.001	0.048 ± 0.001
ระยะ 3 จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
1A-3	0.015 ± 0.0016	0.050 ± 0.0007
1B-3	0.009 ± 0.0012	0.027 ± 0.0007
1C-3	0.010 ± 0.0013	0.018 ± 0.0006
<u>เฉลี่ย</u>	0.011 ± 0.001	0.032 ± 0.001

\*ตัวอย่างที่ 1B-2 ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
1A-4	0.025 ± 0.0020	0.098 ± 0.0014
1B-4	0.015 ± 0.0005	0.002 ± 0.0002
1C-4	0.018 ± 0.0017	0.048 ± 0.0010
<u>เฉลี่ย</u>	0.020 ± 0.001	0.049 ± 0.001
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
1A-5	0.023 ± 0.0020	0.066 ± 0.0011
1B-5	0.002 ± 0.0006	0.009 ± 0.0005
1C-5	0.008 ± 0.0012	0.009 ± 0.0004
<u>เฉลี่ย</u>	0.011 ± 0.001	0.028 ± 0.001
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	0.010 ± 0.001	0.033 ± 0.001

ตารางที่ ก.2 อัตราการปลดปล่อยรังสีบีตา รวมและแอลฟา รวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ

อ.ประทิว จ.ชุมพร

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด		
2A-0	0.008 ± 0.001	0.01 ± 0.0005
2B-0	0.006 ± 0.001	0.01 ± 0.0004
2C-0	0.006 ± 0.001	0.01 ± 0.0003
<u>เฉลี่ย</u>	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.0004
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
2A-1	0.004 ± 0.001	0.01 ± 0.0003
2B-1	0.016 ± 0.002	0.05 ± 0.0009
2C-1	0.010 ± 0.001	0.02 ± 0.0006
<u>เฉลี่ย</u>	0.010 ± 0.001	0.025 ± 0.001



ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
2A-2	0.020 ± 0.002	0.05 ± 0.0009
2B-2	0.026 ± 0.002	0.06 ± 0.0011
2C-2	0.029 ± 0.002	0.03 ± 0.0008
<u>เฉลี่ย</u>	0.025 ± 0.002	0.048 ± 0.001
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
2A-3	0.024 ± 0.002	0.06 ± 0.0011
2B-3	0.024 ± 0.002	0.06 ± 0.0010
2C-3	0.026 ± 0.002	0.05 ± 0.0010
<u>เฉลี่ย</u>	0.025 ± 0.002	0.057 ± 0.001
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
2A-4	0.028 ± 0.002	0.06 ± 0.0011
2B-4	0.024 ± 0.002	0.05 ± 0.0010
2C-4	0.020 ± 0.002	0.06 ± 0.0010
<u>เฉลี่ย</u>	0.024 ± 0.002	0.057 ± 0.001
ระยะ 5 จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
2A-5	0.024 ± 0.002	0.07 ± 0.0012
2B-5	0.024 ± 0.002	0.06 ± 0.0010
2C-5	0.022 ± 0.002	0.06 ± 0.0011
<u>เฉลี่ย</u>	0.023 ± 0.002	0.062 ± 0.001
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	0.019 ± 0.002	0.043 ± 0.001

ตารางที่ ก.3 อัตราการปลดปล่อยรังสีบีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดิน  
บริเวณ อ.ท่าชนะ จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด		
3A-0	0.010 ± 0.001	0.049 ± 0.001
3B-0	0.009 ± 0.001	0.026 ± 0.001
3C-0	0.032 ± 0.002	0.070 ± 0.001
เฉลี่ย	0.017 ± 0.002	0.048 ± 0.001
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
3A-1	0.021 ± 0.002	0.046 ± 0.001
3B-1	0.049 ± 0.003	0.089 ± 0.001
3C-1	0.041 ± 0.003	0.080 ± 0.001
เฉลี่ย	0.037 ± 0.002	0.072 ± 0.001
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
3A-2	0.022 ± 0.002	0.060 ± 0.001
3B-2	0.050 ± 0.003	0.088 ± 0.001
3C-2	0.011 ± 0.001	0.050 ± 0.001
เฉลี่ย	0.027 ± 0.002	0.066 ± 0.001
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
3A-3	0.053 ± 0.003	0.073 ± 0.0011
3B-3	0.016 ± 0.002	0.030 ± 0.0010
3C-3	0.025 ± 0.002	0.064 ± 0.0010
เฉลี่ย	0.031 ± 0.002	0.056 ± 0.001

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
3A-4	0.034 ± 0.002	0.055 ± 0.001
3B-4	0.017 ± 0.002	0.069 ± 0.001
3C-4	0.044 ± 0.003	0.080 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.031 ± 0.002	0.068 ± 0.001
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
3A-5	0.021 ± 0.002	0.044 ± 0.001
3B-5	0.012 ± 0.001	0.018 ± 0.001
3C-5	0.019 ± 0.002	0.041 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.017 ± 0.002	0.034 ± 0.002
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	0.027 ± 0.002	0.057 ± 0.001

ตารางที่ ก.4 อัตราการปลดปล่อยรังสีบีตา รวมและแอลฟา รวมในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ  
อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
4A-1	0.046 ± 0.0028	0.08 ± 0.001
4B-1	0.065 ± 0.0033	0.08 ± 0.001
4C-1	0.038 ± 0.0025	0.06 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.049 ± 0.003	0.070 ± 0.001
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
4A-2	0.050 ± 0.0029	0.07 ± 0.001
4B-2	0.042 ± 0.0027	0.08 ± 0.001
4C-2	0.046 ± 0.0028	0.07 ± 0.002
<u>เฉลี่ย</u>	0.046 ± 0.003	0.073 ± 0.001

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
4A-3	0.052 ± 0.0029	0.08 ± 0.001
4B-3	0.045 ± 0.0027	0.09 ± 0.001
4C-3	0.045 ± 0.0027	0.11 ± 0.002
<u>เฉลี่ย</u>	0.047 ± 0.003	0.090 ± 0.001
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
4A-4	0.032 ± 0.0023	0.04 ± 0.001
4B-4	0.060 ± 0.0032	0.09 ± 0.001
4C-4	0.054 ± 0.0030	0.09 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.049 ± 0.003	0.072 ± 0.001
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
4A-5	0.058 ± 0.0031	0.10 ± 0.002
4B-5	0.065 ± 0.0033	0.08 ± 0.001
4C-5	0.047 ± 0.0028	0.08 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.057 ± 0.003	0.090 ± 0.001
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	0.050 ± 0.003	0.079 ± 0.001

ตารางที่ ก.5 อัตราการปลดปล่อยรังสีปีตารวมและแอลฟารวมในตัวอย่างตะกอนดิน  
บริเวณ อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ชายหาด		
5A-0	0.014 ± 0.0015	0.06 ± 0.001
5B-0	0.059 ± 0.0031	0.07 ± 0.001
5C-0	0.014 ± 0.0015	0.06 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.029 ± 0.002	0.060 ± 0.001

ตำแหน่ง	Net Alpha(cps/cm <sup>2</sup> )	Net Beta (cps/g)
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
5A-1	0.048 ± 0.0028	0.11 ± 0.001
5B-1	0.045 ± 0.0027	0.10 ± 0.001
5C-1	0.050 ± 0.0029	0.10 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.048 ± 0.003	0.101 ± 0.001
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
5A-2	0.051 ± 0.0029	0.08 ± 0.001
5B-2	0.044 ± 0.0027	0.09 ± 0.001
5C-2	0.055 ± 0.0030	0.13 ± 0.002
<u>เฉลี่ย</u>	0.050 ± 0.003	0.101 ± 0.001
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
5A-3	0.061 ± 0.0032	0.09 ± 0.001
5B-3	0.048 ± 0.0028	0.10 ± 0.001
5C-3	0.045 ± 0.0027	0.09 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.051 ± 0.003	0.093 ± 0.001
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
5A-4	0.047 ± 0.0028	0.09 ± 0.001
5B-4	0.053 ± 0.0030	0.09 ± 0.001
5C-4	0.054 ± 0.0030	0.10 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.051 ± 0.003	0.092 ± 0.001
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล		
5A-5	0.059 ± 0.0031	0.12 ± 0.001
5B-5	0.058 ± 0.0031	0.11 ± 0.001
5C-5	0.029 ± 0.0022	0.08 ± 0.001
<u>เฉลี่ย</u>	0.048 ± 0.003	0.100 ± 0.001
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	0.044 ± 0.003	0.091 ± 0.001

ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และ  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน อ.บางสะพานน้อย จ. ประจวบคีรีขันธ์

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
ชายหาด				
1A-0	8.50±0.30	16.32±0.71	250.83±6.30	0.10±0.22*
1B-0	11.97±0.47	19.41±0.88	281.93±7.44	0.03±0.28*
1C-0	9.18±0.33	21.39±0.73	312.78±7.34	0.12±0.24*
<u>เฉลี่ย</u>	9.88±0.37	19.04±0.77	281.85±7.03	0.08±0.25*
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
1A-1	28.82±0.49	54.43±1.15	280.83±.	Not Detectionable
1B-1	15.42±0.43	29.29±0.87	64.41±3.46	0.00±0.24*
1C-1	17.14±0.41	29.29±0.89	139.12±5.01	0.09±0.28*
<u>เฉลี่ย</u>	20.46±0.44	37.67±0.97	161.45±4.23	0.04±0.17*
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
1A-2	48.77±0.37	91.30±1.64	562.14±12.19	Not Detectionable
1B-2	-	-	-	-
1C-2	16.85±0.45	26.69±0.76	123.68±4.87	0.05±0.22*
<u>เฉลี่ย</u>	32.81±0.41	58.99±1.20	342.91±8.53	0.02±0.11*
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล.				
1A-3	28.63±0.55	58.30±1.12	283.54±7.20	0.55±0.30
1B-3	19.58±0.61	38.46±1.14	189.93±7.14	Not Detectionable
1C-3	19.83±0.66	24.00±1.07	102.83±7.25	0.46±0.52*
<u>เฉลี่ย</u>	22.68±0.61	40.26±1.11	192.10±7.20	0.34±0.27*

\*ตัวอย่างที่ 1B-2 ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์

ตำแหน่ง	ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
1A-4	48.20±0.51	100.39±1.53	599.24±12.42	0.56±0.44
1B-4	16.82±0.59	27.14±1.17	106.13±6.02	0.00±0.45*
1C-4	9.61±0.32	18.18±0.68	73.00±4.73	0.05±0.28*
<u>เฉลี่ย</u>	24.88±0.47	48.57±1.13	259.46±7.72	0.20±0.39*
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
1A-5	32.99±0.64	69.69±1.28	391.91±9.02	0.17±0.34*
1B-5	16.17±0.27	25.86±0.67	100.92±4.05	Not Detectable
1C-5	14.34±0.39	12.58±0.66	53.81±3.41	0.00±0.22*
<u>เฉลี่ย</u>	21.16±0.43	36.04±0.87	182.21±5.49	0.06±0.19*
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	21.98±0.46	40.10±1.01	236.66±6.70	0.12±0.23*

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และ <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน อ.ประทิว จ.ชุมพร

ตำแหน่ง	ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ชายหาด				
2A-0	2.95±0.14	4.42±0.48	10.78±2.36	0.17±0.15*
2B-0	3.21±0.24	5.58±0.51	3.41±2.22	0.03±0.17*
2C-0	2.91±0.28	7.29±0.53	3.36±2.28	0.09±0.19*
<u>เฉลี่ย</u>	3.02±0.22	5.76±0.51	5.85±2.29	0.10±0.17*
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
2A-1	46.63±0.60	82.74±1.45	597.15±12.13	1.31±0.43
2B-1	21.19±0.43	34.33±0.90	253.02±6.47	0.00±0.28*
2C-1	9.96±0.36	15.00±0.68	95.52±1.97	0.07±0.23*
<u>เฉลี่ย</u>	25.93±0.46	44.02±1.01	315.23±6.86	0.46±0.31*

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
2A-2	26.41±0.50	43.96±0.94	293.18±7.52	Not Detectionable
2B-2	25.67±0.53	43.23±1.15	376.09±9.11	0.52±0.27*
2C-2	21.00±0.56	33.22±1.17	240.18±7.56	2.19±0.44
<u>เฉลี่ย</u>	24.36±0.53	40.13±1.08	303.15±8.06	0.91±0.23
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
2A-3	31.04±0.62	49.33±1.32	394.18±9.88	0.50±0.30*
2B-3	19.12±0.45	64.87±1.14	329.35±7.80	0.66±0.30
2C-3	25.94±0.48	42.30±1.09	362.48±0.14	1.21±0.36
<u>เฉลี่ย</u>	25.37±0.52	52.17±1.18	362.00±5.94	0.79±0.32
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
2A-4	28.02±0.54	49.37±1.12	381.71±8.77	0.41±0.34*
2B-4	23.47±0.52	40.06±1.01	342.00±8.33	0.65±0.31
2C-4	27.12±0.56	40.51±1.17	349.59±9.06	0.90±0.29
<u>เฉลี่ย</u>	26.20±0.54	43.31±1.10	357.77±8.72	0.65±0.31
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
2A-5	33.62±0.66	60.28±1.44	491.36±11.66	0.88±0.45
2B-5	26.49±0.49	27.25±1.16	366.28±8.56	0.59±0.33
2C-5	29.49±0.66	51.03±1.37	443.55±10.77	0.89±0.44
<u>เฉลี่ย</u>	29.87±0.60	46.19±1.33	312.13±7.49	0.79±0.41
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	22.46±0.48	38.60±1.03	276.02±6.56	0.61±0.29

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)



ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  และ  $^{137}\text{Cs}$  ในตะกอนดิน อ.ท่าชนะ จ. สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
ชายหาด				
3A-0	8.25±0.32	12.19±0.65	442.09±9.46	Not Detectionable
3B-0	8.97±0.34	10.47±0.69	451.17±9.80	Not Detectionable
3C-0	8.49±0.31	12.18±0.63	549.99±10.60	0.88±0.26
<u>เฉลี่ย</u>	8.57±0.32	11.61±0.66	481.08±9.95	0.88±0.26
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
3A-1	15.14±0.40	25.67±0.86	344.89±7.85	0.26±0.13*
3B-1	41.89±0.72	67.49±1.62	543.95±12.46	1.01±0.34
3C-1	40.01±0.68	63.73±1.47	550.59±12.28	0.00±0.23*
<u>เฉลี่ย</u>	32.35±0.60	52.30±1.32	479.81±10.86	0.42±0.23*
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
3A-2	12.14±0.36	24.69±0.94	409.80±8.98	0.10±0.16*
3B-2	27.68±0.66	42.31±1.17	384.23±9.36	1.89±0.42
3C-2	28.93±0.53	46.78±1.14	512.93±11.01	0.97±0.33
<u>เฉลี่ย</u>	22.92±0.51	37.92±1.08	435.65±9.78	0.99±0.30
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
3A-3	24.95±0.59	46.27±0.94	371.82±8.82	1.26±0.35
3B-3	15.62±0.36	19.91±0.46	340.30±7.69	0.64±0.27
3C-3	15.88±3.70	34.43±0.96	497.91±10.52	Not Detectionable
<u>เฉลี่ย</u>	18.82±1.55	33.54±0.79	403.34±9.01	0.63±0.21
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
3A-4	25.56±0.49	42.94±1.08	355.33±8.32	0.99±0.35
3B-4	9.85±0.37	16.64±0.74	562.47±11.42	Not Detectionable
3C-4	41.07±0.69	69.39±1.47	532.33±11.80	0.69±0.29
<u>เฉลี่ย</u>	25.49±0.52	42.99±1.10	483.38±10.51	0.56±0.21

ตำแหน่ง	ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
3A-5	17.14±0.41	26.92±0.87	318.65±7.66	0.05±0.20*
3B-5	10.50±0.37	16.62±0.77	663.26±13.12	0.72±0.22
3C-5	10.91±0.27	17.87±0.73	517.46±10.30	1.20±0.39
<u>เฉลี่ย</u>	12.85±0.35	20.47±0.79	499.79±10.36	0.66±0.27
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	20.17±0.64	33.14±0.96	463.84±10.08	0.59±0.22

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และ <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี

ตำแหน่ง	ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
4A-1	38.27±0.70	58.92±1.50	549.78±12.59	1.66±0.39
4B-1	32.76±0.68	52.47±1.43	535.34±12.50	1.06±0.35
4C-1	27.94±0.58	47.50±1.20	402.28±9.41	0.59±0.37
<u>เฉลี่ย</u>	32.99±0.65	52.96±1.38	495.80±11.50	1.10±0.37
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
4A-2	33.32±0.63	55.74±1.39	516.88±11.77	1.45±0.44
4B-2	67.17±1.55	109.17±3.33	1004.56±25.71	0.14±0.29*
4C-2	30.95±0.57	52.28±1.19	453.68±10.03	0.32±0.33*
<u>เฉลี่ย</u>	43.81±0.92	72.39±1.97	658.37±15.84	0.63±0.35
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
4A-3	36.94±0.62	59.83±1.27	516.86±10.92	1.51±0.53
4B-3	34.43±0.67	54.55±1.29	552.24±11.80	1.92±0.55
4C-3	45.48±0.80	71.78±1.69	708.37±15.01	3.05±0.57
<u>เฉลี่ย</u>	38.95±0.70	62.05±1.42	592.49±12.58	2.16±0.55

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
4A-4	23.89±0.54	29.10±0.95	257.27±7.00	0.31±0.03*
4B-4	30.49±0.58	64.82±1.47	581.18±12.76	0.64±0.24
4C-4	41.11±0.79	59.70±1.55	625.84±14.09	1.66±0.54
<u>เฉลี่ย</u>	31.83±0.64	51.21±1.32	488.10±11.28	0.87±0.27
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
4A-5	36.53±0.49	66.21±1.10	599.78±11.53	1.26±2.78*
4B-5	33.03±0.60	60.89±1.42	579.58±11.92	2.49±0.56
4C-5	28.84±0.62	67.97±1.28	591.30±13.13	1.13±0.36
<u>เฉลี่ย</u>	32.80±0.57	65.03±1.27	590.22±12.19	1.62±1.23
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	36.08±0.70	60.73±1.47	565.00±12.68	1.28±0.56

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

ตารางที่ ก.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>40</sup>K และ <sup>137</sup>Cs ในตะกอนดิน ของ อ.สิชล จ. นครศรีธรรมราช

ตำแหน่ง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ชายหาด				
5A-0	21.32±0.45	25.19±0.90	441.85±9.72	Not Detectionable
5B-0	18.72±0.35	20.44±0.70	360.16±7.75	0.00±0.22*
5C-0	24.73±0.48	23.50±0.82	467.08±9.88	Not Detectionable
<u>เฉลี่ย</u>	21.59±0.43	23.04±0.81	423.03±9.11	0.00±0.07*
ระยะ 1 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
5A-1	39.61±0.61	62.82±1.39	577.39±12.44	1.99±0.45
5B-1	49.72±0.67	72.68±1.46	714.08±7.75	2.03±0.47
5C-1	40.98±0.62	62.88±1.32	577.97±12.04	1.99±0.44
<u>เฉลี่ย</u>	43.44±0.63	66.13±1.39	623.145±10.72	2.0±0.45

ตำแหน่ง	ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ(Bq/kg)			
	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
ระยะ 2 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
5A-2	39.82±0.70	66.96±1.40	617.14±12.73	0.82±0.42
5B-2	40.04±0.66	57.47±1.54	534.32±11.61	1.42±0.44
5C-2	53.15±0.70	77.82±1.52	689.76±13.86	2.13±0.49
<u>เฉลี่ย</u>	44.34±0.68	67.42±1.49	613.74±12.74	1.46±0.45
ระยะ 3 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
5A-3	38.76±0.66	67.95±1.50	618.04±13.17	1.66±0.48
5B-3	36.18±0.63	52.90±1.30	477.29±11.08	0.73±0.23
5C-3	46.34±0.71	63.20±1.36	627.99±13.05	1.88±0.45
<u>เฉลี่ย</u>	40.47±0.66	61.35±1.38	574.44±12.44	1.42±0.39
ระยะ 4 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
5A-4	44.14±0.71	64.12±1.47	639.86±13.87	0.85±0.32
5B-4	50.05±0.73	65.37±1.48	645.97±13.79	0.56±0.18
5C-4	51.81±0.80	67.56±1.61	660.53±14.68	0.39±0.38*
<u>เฉลี่ย</u>	48.67±0.75	65.68±1.52	648.79±14.11	0.60±0.29
ระยะ 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่งทะเล				
5A-5	69.89±0.84	116.73±1.96	1176.89±21.28	4.04±0.63
5B-5	61.97±0.82	92.95±1.75	908.27±17.99	0.09±0.30*
5C-5	30.38±0.51	46.90±1.20	509.59±10.27	0.00±0.29*
<u>เฉลี่ย</u>	54.08±0.72	85.53±1.64	864.92±16.51	1.38±0.40
<u>เฉลี่ยทั้งจังหวัด</u>	42.09±0.65	61.52±1.37	624.68±12.61	1.14±0.34

\*ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (lower limit of detection, LLD)

ตารางที่ ก.11 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของน้ำทะเล

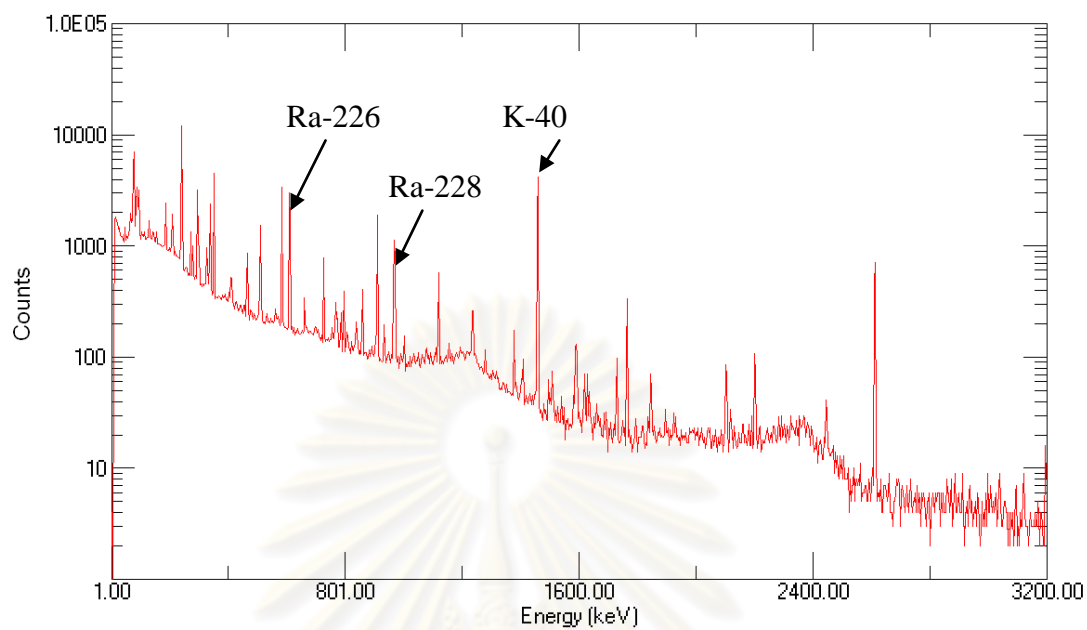
ปริมาณ	Activity(Bq/ml)		
	ทรายหยาบ	ทรายละเอียด	ดินเคลย์
10	0.183	0.157	0.164
30	0.177	0.188	0.157
60	0.161	0.184	0.155
90	0.159	0.156	0.144
120	0.178	0.182	0.142
150	0.189	0.167	0.126

ตารางที่ ก.12 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของน้ำทะเล

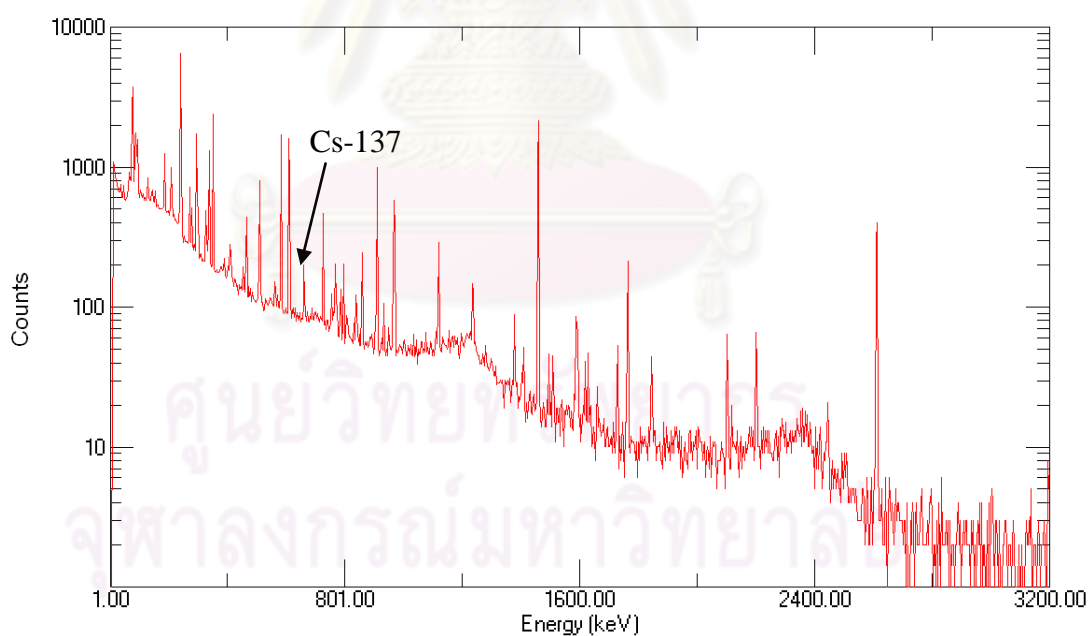
ปริมาณ	Activity(Bq/g)		
	ทรายหยาบ	ทรายละเอียด	ดินเคลย์
10	0.493	1.073	12.209
30	1.654	1.984	44.169
60	1.887	2.463	48.049
90	2.304	3.003	57.815
120	2.902	3.991	71.576
150	4.524	4.675	108.873

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

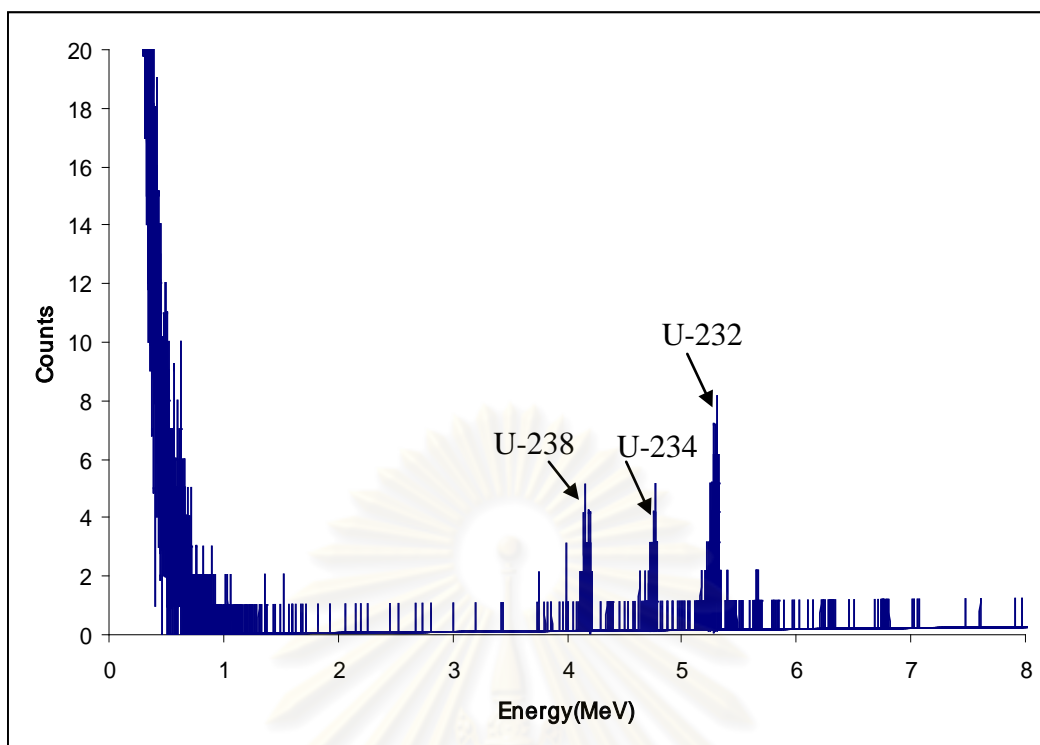
## ภาคผนวก ข



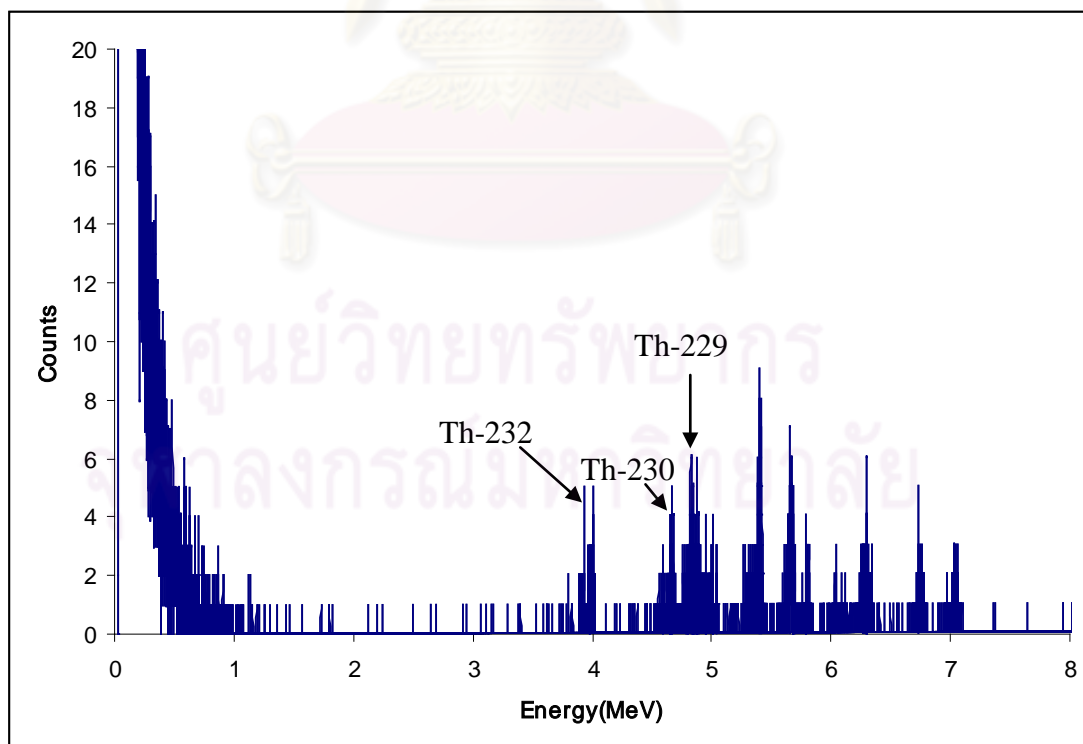
ตารางที่ ข-1 สเปกตรัมรังสีแกมมาของตำแหน่ง 5A-5 ที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช



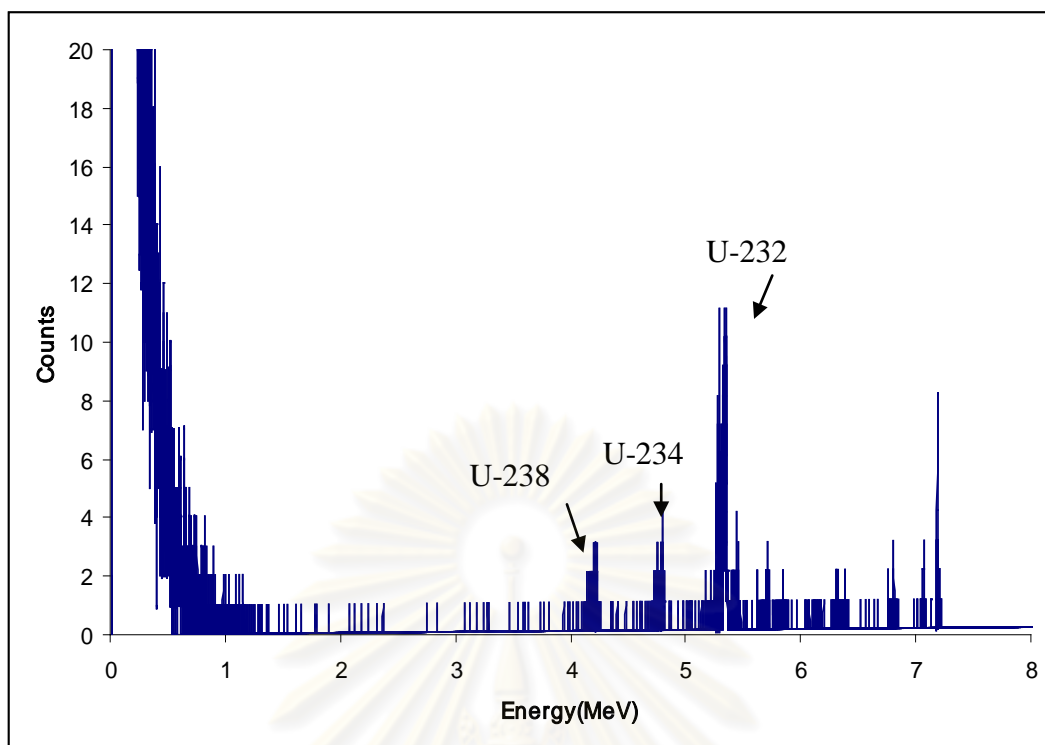
ตารางที่ ข-2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของตำแหน่ง 4C-3 ที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร จากเส้นแนวชายฝั่ง อ.บ้านดอน จ.สุราษฎร์ธานี



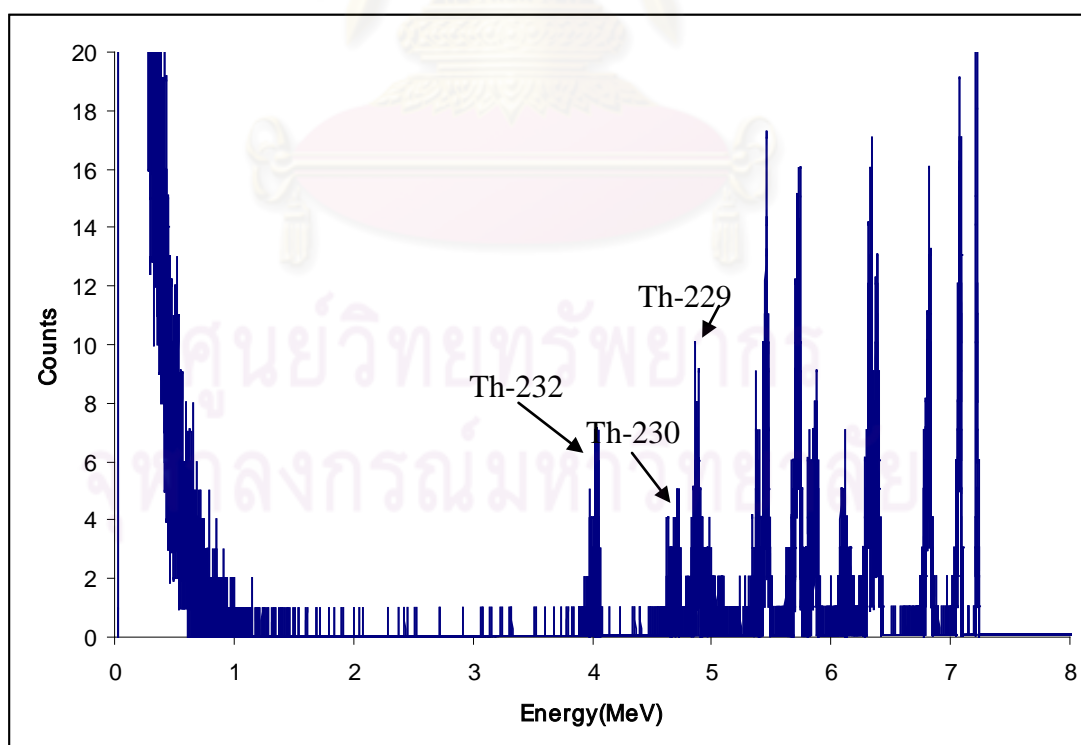
ตารางที่ ข-3 สเปกตรัมรังสีแอลฟาของยูเรเนียมของตำแหน่ง 5A-5 ที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร จาก  
เส้นแนวชายฝั่ง อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช



ตารางที่ ข-4 สเปกตรัมรังสีแอลฟาของทอเรียมที่ตำแหน่ง 5A-5 ที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร  
จากเส้นแนวชายฝั่ง อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช



ตารางที่ ข-5 สเปกตรัมรังสีแอลฟาของยูเรเนียมที่ตำแหน่ง 5C-2 ที่ระยะห่าง 2 กิโลเมตร  
จากเส้นแนวชายฝั่ง อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช



ตารางที่ ข-6 สเปกตรัมรังสีแอลฟาของทอเรียมที่ตำแหน่ง 5C-2 ที่ระยะห่าง 2 กิโลเมตร  
จากเส้นแนวชายฝั่ง อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช



## ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างการคำนวณ

1. ความแรงรังสีจําเพาะ  $^{226}\text{Ra}$ 

การคำนวณหาค่าความแรงรังสีจําเพาะของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ที่พลังงาน 609.2 Kev ของ  $^{226}\text{Ra}$

จากสมการที่ (2.11)

$$A_{(sample)} = A_{(Std)} \times \frac{Wt_{(Std)}}{Wt_{(Sample)}} \times \frac{R_{(Sample)}}{R_{(Std)}}$$

$$A_{(sample)} = 4938.98 \times \frac{324.25}{295} \times \frac{0.1251}{9.8159}$$

$$A_{(sample)} = 69.20 \text{ Bq/Kg}$$

$$A_{(sample)} = 1870.15 \text{ pCi/g}$$

นั่นคือ ค่าความแรงรังสีจําเพาะ  $^{226}\text{Ra}$  ใน อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช เท่ากับ 69.20 Bq/Kg

2. ความแรงรังสีจําเพาะ  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ 

การคำนวณหาค่าความแรงรังสีจําเพาะของตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา ตำแหน่ง ของ 5C-2 อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช ของ  $^{238}\text{U}$

จากสมการที่ (3.2)

$$\text{Activity ของ } ^{238}\text{U (dpm/g)} = \frac{\frac{^{238}\text{U count}}{^{232}\text{U count}} \times \text{activity of } ^{232}\text{U (dpm)}}{\text{mass sample}}$$

$$\text{Activity ของ } ^{238}\text{U (dpm/g)} = \frac{\frac{135}{801} \times 27.3895 \text{dpm}}{2.00 \text{g}}$$

$$= 38.47 \text{ dps/kg}$$

นั่นคือ ค่าความแรงรังสีจําเพาะของ  $^{238}\text{U}$  ในตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา ตำแหน่ง 5C-2 อ.สีชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 38.47 dps/kg

### 3. ความแรงรังสีจำเพาะ $^{235}\text{U}$

จากค่า  $^{238}\text{U}$  ที่ได้ดังกล่าวสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะ  $^{235}\text{U}$  จากปริมาณยูเรเนียมที่พบในธรรมชาติ โดย  $^{238}\text{U}$  มี 99.2745% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ มีค่าครึ่งชีวิต เท่ากับ  $4.47 \times 10^9$  ปี และ  $^{235}\text{U}$  มี 0.72% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ ค่าครึ่งชีวิต เท่ากับ  $7.04 \times 10^8$  ปี สามารถนำไปคำนวณได้ ดังนี้

จากสมการ

$$A = N\lambda = \quad (1)$$

$$A = N \times \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (2)$$

$$\text{Activity ของ } ^{238}\text{U} = 38.47 \text{ dps/kg} = N \times \frac{\ln 2}{4.47 \times 10^9 \text{ year} \times 365 \text{ day} \times 3600 \text{ sec}}$$

$$N = 7.82 \times 10^{18} \text{ atom/kg}$$

โดย  $^{238}\text{U}$  มี 99.2745% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ และ  $^{235}\text{U}$  มี 0.72% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ จะได้ว่า  $^{235}\text{U}$  มีจำนวนอะตอมทั้งหมด เท่ากับ  $N = 5.59 \times 10^{16}$  atom/kg ทำการคำนวณกลับตามสมการที่ (2)

$$A = 5.59 \times 10^{16} \text{ atom/kg} \times \frac{\ln 2}{7.04 \times 10^8 \text{ year} \times 365 \text{ day} \times 3600 \text{ sec}}$$

$$A = 1.75 \text{ dps/kg}$$

ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ  $^{235}\text{U}$  ในตัวอย่างตะกอนดินพื้นที่ศึกษา ตำแหน่ง 5C-2

อ. สีชล จ.นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 1.75 dps/kg

### 4. ค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงการดูดซับสารรังสี (Distribution Coefficients, $K_d$ )

คำนวณค่า  $K_d$  ของตัวอย่างตะกอนดินเคลย์ ที่ปริมาตรตะกอนแขวนลอย 10 mg/l จากสมการที่ (2.12)

$$K_d = \frac{\text{Concentration of bound radionuclid in dry sediment (Bq/kg)}}{\text{Concentration of radionuclide in aqueous phase (Bq/l)}}$$

$$K_d = \frac{12.209 \text{ (Bq/g)}}{0.164 \text{ (Bq/ml)}} = 74.48 \text{ ml/g}$$

$$K_d = 74.48 \text{ ml/g}$$

ดังนั้น ค่า  $K_d$  ของตัวอย่างตะกอนดินเคลย์ ที่ปริมาตรตะกอนแขวนลอย 10 mg/l มีค่า 74.48 ml/g

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกานต์วลี พังชา เกิดวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต จาก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

นำเสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบโปสเตอร์ ในการประชุมเสนองานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 18 วันที่ 6-17 กันยายน 2553 ณ ห้องประชุมจีระ บุญมาก อาคารสยามบรมราชกุมารี สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยนิด้า



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย