รายงานการวิจัย

การประเมินค่าความเป็นอันตรายทางรังสี ในทรายชายหาดบริเวณจังหวัดปัตตานี

Assessment of radiological in the beach sand from Pattani Province

นางสาวมูรณี ดาโอะ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ. 2558

ชื่องานวิจัย การประเมินค่าความเป็นอันตรายทางรังสี ในทรายชายหาดบริเวณจังหวัดปัตตานี
ผู้วิจัย นางสาวมูรณี ดาโอะ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปี 2560

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาและตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาด รวมทั้งสิ้น 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาด 5 ชายหาด บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดปัตตานี ได้แก่ หาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น สำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดทำได้โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี และใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานดินชนิด IAEA-SOIL-6 ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ที่ต้องการ ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล ณ ห้องปฏิบัติการทดลองวิจัย ณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพมหานคร จากผลการวิจัย พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณ 5 ชายหาดของจังหวัดปัตตานี ได้แก่ หาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ โดยค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K มีค่าเท่ากับ 427.58 ± 14.09, 1090.62 ± 54.28, 463.95 ± 14.06, 449.07 ± 13.80 และ 433.49 ± 12.77 Bq/kg ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra มีค่าเท่ากับ 31.10 ± 7.63, 160.68 ± 8.07, 84.41 ± 13.09, 33.98 ± 7.76 และ 44.42 ± 10.17 Bq/kg ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th มีค่าเท่ากับ 11.40 ± 1.75, 356.65 ± 6.59, 74.50 ± 3.07, 16.04 ± 1.78 และ 26.86 ± 2.08 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้นำผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) ที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณหาค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) ของบริเวณชายหาดทั้ง 5 ชายหาด และยังได้นำค่าที่คำนวณได้นี้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลของนักวิจัยทางภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลที่เป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติ

เกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Research Title Assessment of radiological in the beach sand from Pattani Province

Researcher Miss. Muranee Daoh

Faculty Science and Technology

Year 2017

Abstract

Specific activities of natural (^{40}K, ^{226}Ra and ^{232}Th) radionuclides in 250 beach sand samples collected from 5 beaches in 5 districts which are Rachadapisek beach in Nong Chick district, Talokapo beach in Yaring district, Panarae beach in Panarae district, Wasukri beach in Saiburi district and Pamai beach in Mai Kaen district in Pattani province, have been studied and measured. Experimental results were obtained by using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma spectrometry analysis system and also evaluated by using the standard reference materials IAEA-SOIL-6 which were obtained from Office of Atoms for Peace. Experimental set-up and measurement were operated and carried out at laboratory research building, Office of Atoms for Peace, Bangkok. It was found that, the mean values of specific activities of ^{40}K in Rachadapisek, Talokapo, Panarae, Wasukri and Pamai beaches were 427.58 ± 14.09, 1090.62 ± 54.28, 463.95 ± 14.06, 449.07 ± 13.80 and 433.49 ± 12.77 Bq/kg, respectively. The mean values of specific activities of ^{226}Ra were 31.10 ± 7.63, 160.68 ± 8.07, 84.41 ± 13.09, 33.98 ± 7.76 and 44.42 ± 10.17 Bq/kg, respectively. The mean values of specific activities of ^{232}Th were 11.40 ± 1.75, 356.65 ± 6.59, 74.50 ± 3.07, 16.04 ± 1.78 and 26.86 ± 2.08 Bq/kg, respectively. Furthermore, the results of the specific activities of natural radionuclides (^{40}K, ^{226}Ra and ^{232}Th) in this areas were also used to evaluate the absorbed dose rates in air (D), the radium equivalent (Ra_{eq}), the external hazard index (H_{ex}) and the annual effective dose rate in this area. Furthermore, experimental results were also compared to research data in the southern region of Thailand, the Office of Atoms for Peace (OAP) annual report and the recommended values which were proposed by United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000).

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีงบประมาณ 2558 ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยแก่นักวิจัยที่เริ่มมีประสบการณ์การทำวิจัย ให้ได้ฝึกประสบการณ์ในการทำวิจัยให้มากขึ้นไปอีก ขอขอบคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ได้ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเตรียมตัวอย่างในครั้งนี้ และขอขอบคุณทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ทั้งในเรื่องสถานที่ เครื่องมือในการทำวิจัย และสารมาตรฐานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีที่ต้องการในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน

ขอขอบคุณ นายอุเส็น ดาโหะ และนางไมมูเนาะ ดาโหะ ที่ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเดินทางและลงพื้นที่เพื่อสำรวจชายหาดต่างๆ บริเวณจังหวัดปัตตานี

ขอขอบคุณ นางสาวฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และนางสาวชัยนะ เจะสะอิ ผู้ช่วยวิจัยของหน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ รวมทั้งนิสิตปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด การเตรียมและการอบตัวอย่างทรายชายหาดก่อนทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์และคณะผู้บริหารของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

มูรณี ดาโอะ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กรกฎาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
แผนการดำเนินงานวิจัย	6
บทที่ 2 หลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	7
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรังสี	7
ประเภทของรังสี	8
ชนิดของรังสี	10
อนุกรมกัมมันตรังสีและการสลายตัว	11
การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี	14
การตรวจวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างจากธรรมชาติ	17
อุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์	17
ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบ HPGe	18
การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific activity : S.A.)	19
ค่าขีดจำกัดของหัววัด (Lower limit of detector, LLD)	19
ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา	20
หน่วยวัดปริมาณรังสี	20
การคำนวณหาค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ	24
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	26

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	29
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	29
วิธีการดำเนินการวิจัย	32
บทที่ 4 ผลการทดลองละวิจารณ์ผล	39
การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	40
ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA-SOIL-6	41
การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด	44
การคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ในบริเวณชายหาด จังหวัดปัตตานี	55
การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยงในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก	57
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	59
สรุปผลการวิจัย	59
อภิปรายผลการวิจัย	68
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	76
ประวัติผู้วิจัย	116

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	9
ตารางที่ 2.2	อนุกรมทอเรียม แสดงชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย	12
ตารางที่ 2.3	อนุกรมยูเรเนียม แสดงชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย	13
ตารางที่ 2.4	อนุกรมแอกทิเนียม แสดงชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย	14
ตารางที่ 2.5	ค่า RBE สำหรับรังสีชนิดต่างๆ	23
ตารางที่ 2.6	ค่า QF ของรังสีชนิดต่างๆ	23
ตารางที่ 2.7	สรุปหน่วยที่ใช้วัดปริมาณรังสี	24
ตารางที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมากับหมายเลขช่อง	40
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6	42
ตารางที่ 4.3	ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6	43
ตารางที่ 4.4	ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง	44
ตารางที่ 4.5	ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง	47
ตารางที่ 4.6	ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง	49
ตารางที่ 4.7	ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.8	ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง	53
ตารางที่ 4.9	ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี จำนวน 250 ตัวอย่าง	55
ตารางที่ 4.10	ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี พร้อมทั้งอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})	56
ตารางที่ 4.11	การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง กับข้อมูลที่มีอยู่ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก	58

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	การค้นพบสารกัมมันตรังสีของอองตวน อองรี แบ็กเคอแรล	3
ภาพที่ 2.1	การค้นพบรังสีของแบ็กเคอแรล	7
ภาพที่ 2.2	การเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กของกัมมันตภาพรังสี	8
ภาพที่ 2.3	สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	9
ภาพที่ 2.4	แสดงอำนาจการทะลุทะลวงของรังสีต่างๆ	11
ภาพที่ 2.5	แสดงแผนภาพของหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา	17
ภาพที่ 3.1	กระปุกพลาสติกบรรจุตัวอย่างและตะแกรงร่อนตัวอย่าง	30
ภาพที่ 3.2	เครื่องชั่งสารและกะบะตากตัวอย่างทรายชายหาด	30
ภาพที่ 3.3	ตู้อบตัวอย่างทรายชายหาดและฉลากที่ติดกระปุก	31
ภาพที่ 3.4	เทปกาวสำหรับปิดผนึกกระปุก	31
ภาพที่ 3.5	ตัวอย่างสารมาตรฐาน IAEA-SOIL-6	32
ภาพที่ 3.6	การคลุกเคล้าตัวอย่างทรายชายหาดและการเก็บตัวอย่างทราย	33
ภาพที่ 3.7	ตัวอย่างทรายชายหาดที่ตากไว้ ณ ที่อุณหภูมิห้องและการอบไล่ความชื้น	33
ภาพที่ 3.8	การร่อนตัวอย่างทราย	34
ภาพที่ 3.9	การปิดผนึกกระปุกพลาสติกด้วยเทปกาวและหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	35
ภาพที่ 3.10	แผนที่จังหวัดปัตตานี	
ภาพที่ 4.1	กราฟการปรับเทียบพลังงานหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลอง	41
ภาพที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา	44

บทที่ 1
บทนำ

การได้รับรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาตินี้เป็นผลเนื่องมาจากการสลายตัวของนิวไคลด์ของสารรังสีปฐมภูมิ (primordial radionuclides) ของอนุกรมสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในดิน ทราย และหินตามธรรมชาติ จากรังสีคอสมิกที่ส่งผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศของโลก และจากรังสีที่มีอยู่ในอาหาร น้ำดื่มและอากาศที่หายใจเข้าไปทุกวัน สำหรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาตินี้มีแพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามสภาพแวดล้อมของโลก และมักจะมีอยู่ทั่วไปในรูปแบบต่างๆ ทางธรณีวิทยา ซึ่งมีอยู่ในดิน หิน พืช น้ำและอากาศ (Myrick *et al*.,1983.; Maul and Ohara, 1989; Pimpl *et al*., 1992; Ibrahiem *et al*., 1993; Miah et al., 1998; Aly Abdo *et al*.,1999; Kennan *et al*., 2002;Mireles *et al*., 2003; Tzotzis *et al*., 2003; Tzotzis *et al*., 2004; Seddeek *et al*., 2005; Singh *et al*., 2005;Viega *et al*., 2005; Orgun *et al*., 2007;) นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในดินและทรายส่วนใหญ่มาจาก ^{226}Ra ที่มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม (uranium series) และ ^{232}Th ในอนุกรมทอเรียม (thorium series) รวมไปถึงผลผลิต (product) รุ่นลูกรุ่นหลานที่เกิดจากการสลายตัวในอนุกรมสารกัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านั้นอีกมากมาย และนอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วตั้งแต่กำเนิดของโลกมนุษย์ แต่ไม่ได้เป็นสารกัมมันตรังสีที่อยู่ในอนุกรมสารกัมมันตรังสีที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ได้แก่ ^{40}K เป็นต้น ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นก็มีอยู่ในดินและทรายด้วยเช่นกัน เช่น ^{137}Cs ซึ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากฝุ่นกัมมันตรังสีของการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ของประเทศที่มีการสะสมอาวุธนิวเคลียร์ และโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เมื่อเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะเป็นเหตุทำให้เกิดการสะสมของสารกัมมันตรังสีในธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยสารกัมมันตรังสีมักจะสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเรา ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของเปลือกโลกที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำสารกัมมันตภาพรังสีมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ การอุตสาหกรรม พลังงาน และอาวุธ ซึ่งบางครั้งก็อาจก่อให้เกิดโทษได้ ดังตัวอย่าง การระเบิดของโรงไฟฟ้าที่ใช้ พลังงานนิวเคลียร์ เมื่อวันที่ 26 มีนาคม ค.ศ. 1986 ที่เมืองเชอร์โนบิล ประเทศสหภาพโซเวียต และล่าสุดภัยพิบัตินิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ เป็นเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เครื่องมือขัดข้องและปลดปล่อยสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ณ <u>โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ</u> หลังจากเหตุการณ์ แผนดินไหวและคลื่นสึนามิในโทโฮกุ ที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2554 ก่อให้เกิดความ เสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิต บางคนเสียชีวิตทันที บางคนได้รับบาดเจ็บจากการรับ สารกัมมันตรังสี มากบ้างน้อยบ้าง **<u>ดังนั้น มนุษย์ทุกคนที่อาศัยอยู่บนโลกจึงได้รับกัมมันตภาพรังสีที่สะสมอยู่ในธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา ถ้าปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติจะทำให้ปริมาณโดสของรังสีแกมมาที่ร่างกายของมนุษย์โลกได้รับเข้าไป จะมีปริมาณมากไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการหายใจเอาก๊าซ</u>**

<u>เรดอนและผลิตผลรุ่นลูกหลานเข้าไปสะสมอยู่ที่ปอด ผลของรังสีที่มีต่อมนุษย์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ</u>

1. Deterministic Effect ได้รับรังสีปริมาณมาก ทำให้เซลล์ตาย อวัยวะทำหน้าที่ไม่ได้ (1.1) ได้รับรังสีทั่วร่างกาย (1.2) ปริมาณรังสี 3-5 Gy ไขกระดูกไม่สร้างเม็ดเลือด เสียชีวิต 30-60 วัน (1.3) ปริมาณรังสี 5-15 Gy ผลต่อระบบทางเดินอาหาร เสียชีวิต 10-20 วัน (1.4) ปริมาณรังสีมากกว่า 15 Gy ผลต่อระบบประสาท เสียชีวิต 1-5 วัน (1.5) ได้รับรังสีเพียงบางส่วน อวัยวะที่ไวต่อรังสี ไขกระดูก และระบบเลือด (500 mSv) ต้อกระจก (2000-5000 mSv) (1.6) ทารกในครรภ์ 8-15 weeks มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง (> 100 mSv) ปัญญาอ่อน เกิดมะเร็งในวัยเด็ก (1.7) หญิงมีครรภ์ไม่ควรได้รับรังสีเกิน 2 mSv

2. Stochastic Effect ได้รับรังสีแบบสุ่ม ปริมาณรังสีน้อยอาจก่อให้เกิดผลต่อเซลล์ได้ (2.1) การถ่ายเทพลังงานรังสีเป็นแบบสุ่ม (2.2) ปริมาณรังสีน้อยอาจมีผลกระทบต่อเซลล์ได้ (2.3) เซลล์ตาย หรือ แบ่งตัวผิดปกติ อาจทำให้เกิดมะเร็งได้4) stochastic effect ใช้เปรียบเทียบโดยค่าความเสี่ยง (ที่มา <u>http://www.oaep.go.th)</u>

ด้วยเหตุนี้ การตรวจวัดปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้การนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติไปคำนวณหาค่าปริมาณรังสีแกมมา (gamma radiation dose) จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุด ก็มีความจำเป็นและสำคัญเช่นกัน หลังจากนั้นจึงได้มีการกำหนดให้เป็นค่าปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external dose) ของประชากรโลก (world population) โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Efects of Atomic Radiation :UNSCEAR,1988,2000)

ปัตตานี เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ริมฝั่งทะเลตะวันออกของภาคใต้ติดกับทะเลจีนใต้ หรืออ่าวไทย มีพื้นที่ประมาณ 1,940.356 ตารางกิโลเมตรมี แม่น้ำที่สำคัญ 2 สาย คือ แม่น้ำตานี และ แม่น้ำสายบุรี ในอดีตจังหวัดปัตตานีเป็นจังหวัดที่มีความเจริญรุ่งเรืองมากเคยมีฐานะเป็น เมืองหลวงของอาณาจักรลังกาสุกะ ซึ่งเป็นรัฐอิสระของชาวไทยพุทธใน พุทธศตวรรษที่ 7 มีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสงขลา ปัตตานี ยะลา นราธิวาส รัฐกลันตัน กับรัฐตรังกานูในมาเลเซีย ปัจจุบันยังมีซากเมืองเก่าของปัตตานีในยุคนั้นปรากฏให้เห็นที่อำเภอยะรังในปัจจุบัน และจากการที่มีพื้นที่เป็นป่าเขา และมีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเลเป็นระยะทางยาวประมาณ 170 กิโลเมตร จึงเป็นเมืองท่าที่สำคัญและเป็นศูนย์กลางการปกครอง การค้า และวัฒนธรรม มีทรัพยากรด้านการท่องเที่ยวหลายด้าน ทั้งด้านธรรมชาติ โบราณสถานทางประวัติศาสตร์และด้านประเพณีวัฒนธรรม ปัตตานีแบ่งการปกครองออกเป็น 12 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองปัตตานี ยะรัง หนองจิก โคกโพธิ์ ยะหริ่ง ปะนาเระ มายอ สายบุรี กะพ้อ ไม้

แก่น ทุ่งยางแดง และแม่ลาน อำเภอที่ติดชายฝั่งทะเล มี 5 อำเภอคือ อำเภอหนองจิก อำเภอยะหริ่ง อำเภอปานาเระ อำเภอสายบุรี และอำเภอไม้แก่น ดังภาพที่ 1.1

ภาพที่ 1.1 แผนที่จังหวัดปัตตานี

ที่มา: http://www2.pattani.go.th

สำหรับในภาคใต้ของประเทศไทยนั้น ทางสำนักงาน ปส ก็ได้มีทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติในตัวอย่างจากธรรมชาติไว้ด้วยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่แล้วทางสำนักงาน ปส จะดำเนินการแบบสุ่ม คือการสุ่มเลือกบริเวณเก็บตัวอย่างเฉพาะบางบริเวณ บางอำเภอ และบางจังหวัดเพื่อทำการตรวจวัดและวิเคราะห์เท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปีมีจำนวนจำกัดและจำนวนของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย **ด้วยเหตุนี้ จึงยังทำให้ขาดข้อมูลที่มีการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สะสมอยู่ในธรรมชาติที่เป็นระบบและมีมาตรฐานสากล ในบริเวณภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทยคือ จังหวัดยะลา จังหวัดนราธิวาส และจังหวัดปัตตานี ซึ่งในการทำวิจัยในครั้งนี้สนใจที่จะทำการตรวจวัดและประเมินรังสีในจังหวัดปัตตานีบางอำเภอ บางชายหาด อำเภอและหาดที่เลือกสุ่มเก็บตัวอย่าง คือ หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่นักท่องเที่ยวและประชาชนเดินทางมาท่องเที่ยวมากและที่สำคัญยังไม่มีข้อมูลการเก็บเพื่อประเมินค่าอันตรายทางรังสี** ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษาและตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) โดยจะศึกษาบางชายหาดของแต่ละอำเภอในจังหวัดปัตตานีที่มีปริมาณนักท่องเที่ยวมากที่สุดในจังหวัด คือ หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จำนวน 50 ตัวอย่าง และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จำนวน 50 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 250 ตัวอย่าง ทั้งนี้ยังสามารถนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) ใน

ตัวอย่างทรายบริเวณดังกล่าวไปคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่าง ๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective dose rates ; AED_{out}) ของตัวอย่างทรายได้อีกด้วย นอกจากนี้ จากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายที่เก็บเป็นตัวอย่างนี้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก รวมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดและคำนวณไว้ดังกล่าวนี้ที่กำหนดไว้โดยองค์กรเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐศาสตร์และการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD,1979) และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomatic Radiation : UNSCEAR, 1988,2000) และข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในบริเวณ หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น_ต่อไป รวมทั้งการศึกษาถึงโอกาสและความเป็นไปได้ในการป้องกันอันตรายและการสะสมของสารกัมมันตรังสีในบริเวณดังกล่าวได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณนิวไคลด์รังสีเริ่มต้นที่มีในธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) และนิวไคลด์รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากหาดจังหวัดปัตตานี

2. เพื่อศึกษาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity ; S.A.) ของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้นที่มีในธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) และนิวไคลด์รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) จากตัวอย่างทรายจากหาด

3. เพื่อศึกษาและคำนวณหาค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ

4. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทราย กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยจากประเทศต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณนิวไคลด์รังสี จากตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น

2. ทราบถึงค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity; S.A.) ของนิวไคลด์รังสี จากตัวอย่างหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น

3. ทราบค่าบ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อทำให้ทราบว่าบริเวณที่ทำการตรวจวัดนั้นมีปริมาณรังสีเกินค่ามาตรฐานหรือไม่

4. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้ในการอ้างอิงก่อนและหลังที่มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยต่อไป

5. ได้ศึกษาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) หลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิ ในประเทศญี่ปุ่น

6. เกิดการรวมกลุ่มของนักวิจัยและเป็นการสร้างความเข้มแข็งเฉพาะทางให้กับ สาขาวิชา คณะ และสถาบันวิจัยและพัฒนา

7. เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยระดับสูงต่อไป

8. ใช้บูรณาการกับการเรียนการสอน

9. ได้ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการต่าง ๆ

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ตัวอย่างทรายจาก หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จำนวน 50 ตัวอย่าง และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเลือกบริเวณอำเภอที่ติดชายฝั่งทะเล และเก็บตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณที่นักท่องเที่ยวและประชาชนที่เดินทางมาท่องเที่ยวบริเวณกลางชายหาด พร้อมทั้งบันทึกตำแหน่งพิกัดจุดบนผิวโลกด้วยเครื่องมือ GPS ของจุดที่เก็บตัวอย่างทรายชายหาดทุกจุด

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

กิจกรรมขั้นตอนการดำเนินการ	**เดือน**											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล												
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัย												
3. ศึกษาบริเวณและที่ตั้งในการเก็บตัวอย่างวางแผนในการเก็บตัวอย่างทราย												
4. เก็บตัวอย่างทรายในบริเวณที่กำหนด												
5. เตรียมตัวอย่างทรายให้เหมาะสม												
6. ตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทราย												
7. วิเคราะห์และสรุปผลจากข้อมูลที่ได้												
8. แก้ไขและจัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์												
9. รายงานความก้าวหน้า												
10. รวบรวมและสรุปผลจากข้อมูลที่ได้ นำเสนอรายงานฉบับสมบูรณ์ต่อผู้สนับสนุนทุนวิจัย												

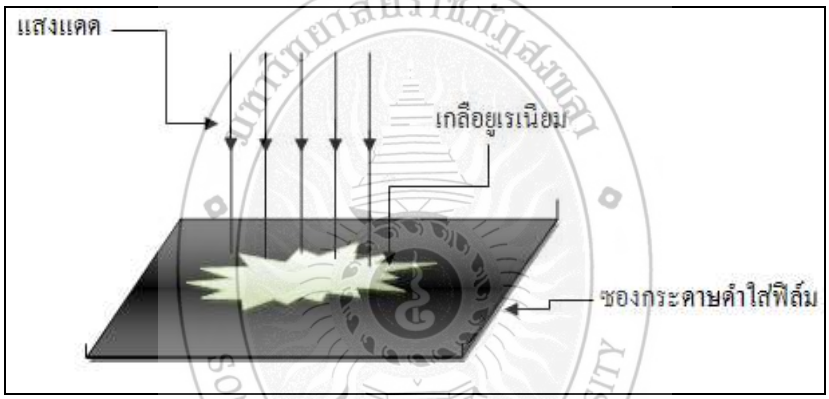
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2

หลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

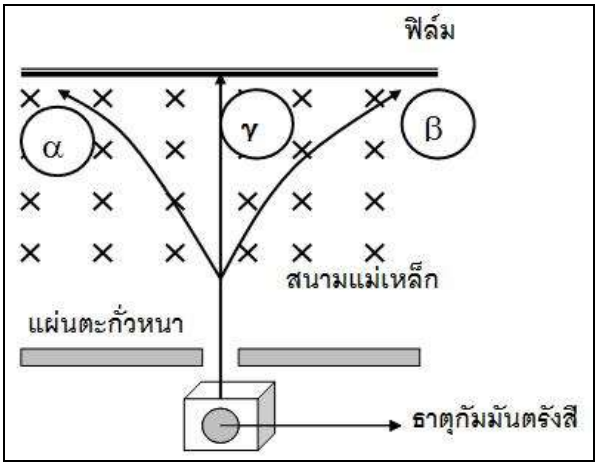
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรังสี

ปี ค.ศ. 1896 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ แบ็กเกอแรลพบว่า มีรังสีปล่อยออกมาจากผลึกของเกลือยูเรเนียมซึ่งรังสีนี้ทำให้เกิดรอยดำบนแผ่นฟิล์มถ่ายรูปได้เช่นเดียวกับแสงสว่างและยังสามารถทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ดี ในปีเดียวกันนี้เอง เรินต์เกน นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันก็ค้นพบรังสีเอ็กซ์เช่นกัน จากการค้นพบนี้ แบ็กเกอแรลอธิบายว่า ปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยออกมาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของยูเรเนียม และการแผ่รังสีเช่นนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากสมบัติของยูเรเนียมเอง ต่อมาเรียกการแผ่รังสีนี้ว่า กัมมันตภาพรังสี ส่วนสารที่มีสมบัติการแผ่รังสีนี้เรียกว่า สารกัมมันตรังสีดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การค้นพบรังสีของแบ็กเกอแรล
(ที่มา: http://blog.eduzones.com/yumi/3721)

จากนั้นก็มีการศึกษาเพื่อค้นหาสารกัมมันตรังสี ซึ่งในปี ค.ศ. 1898 ปีแอร์ คูรี และมารี คูรี ได้ศึกษารังสีที่แผ่ออกมาจากแร่พิทช์เบลนด์ และได้ค้นพบธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญอีก 2 ธาตุ ในแร่นี้ คือ โพโลเนียม และเรเดียม อีกทั้งยังพบว่า รังสีที่แผ่ออกมานี้ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้ จากการศึกษาของรัทเทอร์ฟอร์ด ในปี ค.ศ. 1897 พบว่า รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีคือ รังสีแอลฟา มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ และรังสีบีตา มีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่า พร้อมทั้งอธิบายเพิ่มเติมว่ากัมมันตภาพรังสีเกิดจากการสลายตัวที่เกิดขึ้นเองของอะตอมแล้วทำให้เกิดธาตุใหม่ที่มีสมบัติแตกต่างไปจากธาตุเดิม ต่อมา ในปี ค.ศ. 1900 ปอล วียาร์ (Paul Villard) พบรังสีแกมมา ซึ่งมีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีแอลฟาและบีตามาก รังสีแกมมาไม่มีประจุ และเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กดังภาพที่ 2.2 (ที่มา : นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545 : 72-73)



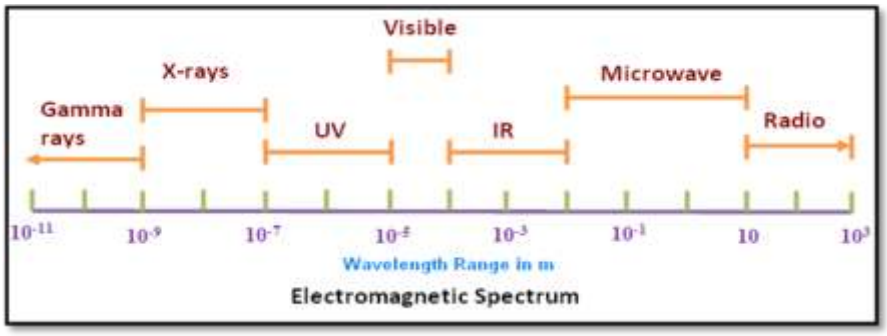
ภาพที่ 2.2 การเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กของกัมมันตภาพรังสี
(ที่มา: http://www.thaigoodview.com/node/50033)

ประเภทของรังสี

รังสี (radiation) หมายถึง พลังงานที่แผ่ออกจากต้นกำเนิดรังสีในรูปคลื่นหรืออนุภาค รังสีจำแนกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับต้นกำเนิด พลังงานของรังสี และรูปของพลังงาน เป็นต้น เมื่อพิจารณาการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ของอะตอมหรือโมเลกุล ในอะตอมที่เป็นกลางจำนวนอนุภาคอิเล็กตรอนจะเท่ากับโปรตอน เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานมากพอที่จะเอาชนะพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนกับนิวเคลียส อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากอะตอมเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ส่วนอะตอมที่ขาดอิเล็กตรอนจะเป็นไอออนบวก ผลของการแตกตัวเป็นไอออนจึงได้คู่ไอออน (ion pair) คือ อิเล็กตรอน กับไอออนบวก แต่หากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานไม่มากพอที่จะหลุดออกจากอะตอมได้ ก็จะมีพลังงานสูงขึ้นกว่าระดับปกติในสถานะพื้น (ground state) ไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะกลับมาสู่สถานะพื้นเช่นเดิม โดยการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งก็คือ รังสีเอกซ์ นั่นเอง

หากพิจารณาความสามารถของรังสีในการทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน สามารถจำแนกรังสีได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. รังสีไม่ก่อไอออน (non-ionizing radiation) เป็นรังสีพลังงานต่ำในช่วง 10^{-2} - 10^{2}eV เมื่อชนกับตัวกลาง ไม่สามารถทำให้อะตอมของตัวกลางแตกตัวเป็นไอออน รังสีประเภทนี้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.3 เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) อินฟราเรด (infrared) แสงสว่าง



ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

(ที่มา: http://physics.tutorvista.com/waves/wavelength-spectrum.html)

2. รังสีก่อไอออน (ionizing radiation) เป็นรังสีที่มีพลังงานอยู่ในช่วง keV – MeV เมื่อชนกับตัวกลาง สามารถทำให้อะตอมของตัวกลางแตกตัวเป็นไอออน รังสีประเภทนี้จำแนกได้เป็น

2.1 รังสีอนุภาค (particulate radiation) เป็นลำอนุภาคที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง มักเกิดขึ้นจากการสลายของนิวไคลด์กัมมันตรังสี เช่น อนุภาคแอลฟา บีตา

2.2 รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) เป็นพลังงานที่แผ่ออกไปในรูปของคลื่น โดยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้านี้จำแนกโดยความยาวคลื่น และความถี่ รังสีที่มีความยาวคลื่นแคบ ความถี่สูง จะมีพลังงานสูงเป็นรังสีก่อไอออน เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ ส่วนรังสีที่มีความยาวคลื่นกว้าง ความถี่ต่ำ จะมีพลังงานต่ำและเป็นรังสีไม่ก่อไอออน เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต อินฟราเรด แสงสว่างดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2553: 31-32)

ตารางที่ 2.1 สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	**ความยาวคลื่น (Angstroms)**	**ความถี่ (Hz)**	**พลังงาน (eV)**
วิทยุ	$>10^{9}$	$< 3 \times 10^{9}$	$< 10^{-5}$
ไมโครเวฟ	10^{9} - 10^{6}	$< 3 \times 10^{9} - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
อินฟราเรด	$10^{6} - 7000$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
แสงสว่าง	$7000 - 4000$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
อัลตราไวโอเลต	$4000 - 10$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	3 - 10^{3}
รังสีเอกซ์	$10 - 0.1$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	10^{3} - 10^{5}
รังสีแกมมา	< 0.1	$>3 \times 10^{19}$	$>10^{5}$

(ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2553: 33)

ชนิดของรังสี

รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากสารกัมมันตรังสีสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามอำนาจการทะลุทะลวงผ่านเข้าไปในเนื้อสาร การทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออนและผลของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าต่อรังสีนั้นๆ ได้ รังสีที่ได้ออกมาจากสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

1. รังสีแอลฟา (Alpha Ray) เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีขนาดใหญ่และมีมวลมากเพื่อเปลี่ยนแปลงให้เป็นนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพสูงขึ้นซึ่งรังสีนี้ถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสด้วยพลังงานต่างๆ กัน รังสีแอลฟาก็คือ นิวเคลียสของฮีเลียม แทนด้วย ${}_{2}^{4}He$ มีประจุบวก มีขนาดเป็น 2 เท่าของประจุอิเล็กตรอน คือเท่ากับ +2e และมีนิวตรอนอีก 2 นิวตรอน (2n) มีมวลเท่ากับนิวเคลียสของฮีเลียม หรือประมาณ 7,000 เท่าของอิเล็กตรอนเนื่องจากมีมวลมากจึงไม่ค่อยเกิดการเบี่ยงเบนง่ายนัก เมื่อวิ่งไปชนสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ผิวหนัง แผ่นกระดาษ จะไม่สามารถผ่านทะลุไปได้แต่จะถูกดูดกลืนได้อย่างรวดเร็วแล้วจะถ่ายทอดพลังงานเกือบทั้งหมดออกไปทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมที่ถูกรังสีแอลฟาชนหลุดออกไป ทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่าการแตกตัวเป็นไอออน

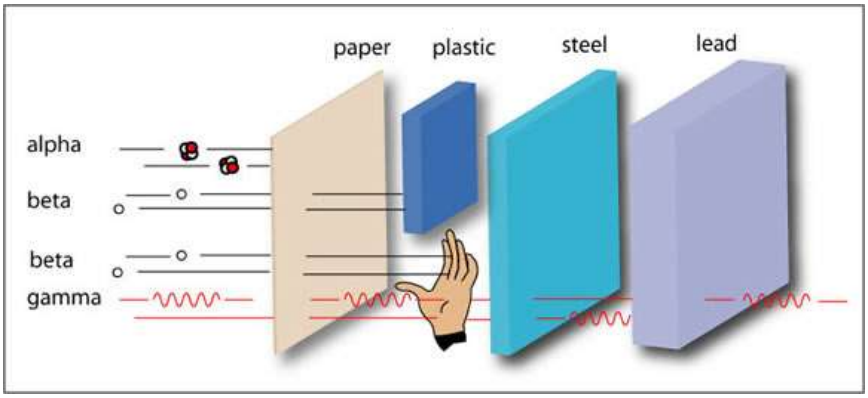
2. รังสีเบตา (Beta Ray) เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนมากเกินไปหรือน้อยเกินไปโดยรังสีเบตาแบ่งได้ 2 แบบ คือ

2.1 บีตาลบ หรืออิเล็กตรอนใช้สัญลักษณ์ $\beta-$ หรือ ${}_{-1}^{0}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีนิวตรอนมากกว่าโปรตอนดังนั้นต้องลดจำนวนนิวตรอนลงเพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ

2.2 บีตาบวกหรือโพสิตรอนใช้สัญลักษณ์ $\beta+$ หรือ ${}_{+1}^{0}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีโปรตอนมากเกินกว่านิวตรอนดังนั้นจึงต้องลดจำนวนโปรตอนลงเพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ

3. รังสีแกมมา (Gamma Ray) ใช้สัญลักษณ์ γ เกิดจากการที่นิวเคลียสที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้นฐานโดยการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมารังสีแกมมา ก็คือโฟตอนของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอกซ์แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมากกว่ารังสีเอกซ์ไม่มีประจุไฟฟ้าและมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสง

การเปลี่ยนสภาพของนิวเคลียสและมีการแผ่รังสีออกมาโดยที่นิวเคลียสเดิมจะเปลี่ยนเป็นนิวเคลียสใหม่ ซึ่งเรียกว่า การสลายตัว (Decay)



ภาพที่ 2.4 แสดงอำนาจการทะลุทะลวงของรังสีต่างๆ
(ที่มา: http://www.thoentoday.com/index.php?lite=article&qid=598703)

อนุกรมกัมมันตรังสีและการสลายตัว

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติมาจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 แหล่ง คือ นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primodial radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นกับการกำเนิดของโลก โดยเป็นองค์ประกอบของหินดิน แร่ธาตุต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นเปลือกโลก ส่วนใหญ่จะเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่หนักๆ มีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก บางนิวไคลด์อาจมีค่าครึ่งชีวิตยาวถึงร้อยล้านปี และนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของรังสีคอสมิก (cosmic rays) ซึ่งมาจากระบบสุริยะกับนิวไคลด์ในบรรยากาศ

นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่เกิดขึ้นพร้อมกำเนิดโลกนี้ มักมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องเป็นอนุกรมซึ่งอนุกรมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นมี 3 อนุกรม ดังนี้

1. อนุกรมทอเรียม (Thorium series, 4n series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ^{232}Th ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนกระทั่งได้นิวไคลด์เสถียร คือ ^{208}Pbธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขมวลหารด้วย 4 ลงตัว จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า 4n การสลายตัวของนิวไคลด์ในอนุกรมนี้แสดงในตารางที่ 2.2

2. อนุกรมยูเรเนียม (Uranium series, 4n+2 series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้มีเลขเชิงมวลที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 2 ธาตุที่เริ่มต้นของการสลายตัวคือ ^{238}U มีค่าครึ่งชีวิต 4.47×10^{9} ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนได้นิวไคลด์เสถียร คือ ^{206}Pb (ตารางที่ 2.3)

3. อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium series, 4n+3 series) เลขเชิงมวลของธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 3 เริ่มสลายตัวจาก^{235}U มีค่าครึ่งชีวิต 7.04×10^{8} ปี และสุดท้ายได้^{207}Pb เป็นนิวไคลด์เสถียร(ตารางที่ 2.4)

นอกจากนี้ ยังมีอนุกรมเนปทูเนียม(Neptunium series,4n+1 series) ซึ่งมี ^{241}Pu เป็นธาตุเริ่มต้น แต่เนื่องจาก ^{241}Pu มีค่าครึ่งชีวิตเพียง 14.4 ปีและส่วนใหญ่ของนิวไคลด์ที่เกิดจากการสลายในอนุกรมนี้มีครึ่งชีวิตไม่ยาวนัก ปัจจุบัน จึงไม่พบอนุกรมนี้

นอกจากนิวไคลด์ที่อยู่ในอนุกรมทั้งสามแล้ว ยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่ไม่มีการสลายตัวต่อเนื่อง แต่ก็มีไม่มากนัก เช่น ^{40}K, ^{87}Rb, ^{113}Cd และ ^{115}Inนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นจากทั้ง 3 อนุกรม และ ^{40}K เป็นแหล่งกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่สำคัญที่มนุษย์ต้องได้รับอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ สำหรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิกที่เป็นผลจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิก เช่น ^{14}C และ ^{3}H เกิดขึ้นจากอนุภาคนิวตรอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของรังสีคอสมิก ทำปฏิกิริยา ^{14}N และ ^{6}Li นอกจากนี้ยังมีนิวไคลด์อื่นๆ อีก เช่น ^{7}Be, ^{10}Be, ^{26}Al, ^{36}Cl, ^{80}Kr, ^{31}Si, ^{32}Si, ^{37}Ar, ^{39}Ar, ^{22}Na, ^{35}S, ^{38}S, ^{32}P, ^{33}P, ^{38}Mg, ^{24}Na, ^{18}F, ^{38}Cl, ^{39}Cl โดยมี ^{14}C, ^{3}H, ^{22}Naและ ^{7}Be เป็นนิวไคลด์ที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์มากที่สุด(ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545: 147-148)

ตารางที่ 2.2 อนุกรมทอเรียม แสดงชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย

นิวไคลด์	ชื่อเดิม	ครึ่งชีวิต	รังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย
^{232}Th	Thorium	1.4×10^{10} y	α, < 1 % γ
^{228}Ra	Mesothorium I	5.75 y	β, < 1 % γ
^{228}Ac	Mesothorium II	6.13 h	β, γ
^{228}Th	Radiothorium	1.91 h	α, γ
^{224}Ra	Thorium X	3.66 d	α, γ
^{220}Rn	Emanation thoron	55.6 s	α, < 1 % γ
^{216}Po	Thorium A	0.15 s	α, < 1 % γ
^{212}Pb	Thorium B	10.64 h	β, γ
^{212}Bi	Thorium C	60.55 m	α, γ
^{212}Po (64%)	Thorium C’	0.305 μs	α
^{208}Tl (36%)	Thorium C’’	3.07 m	β, γ
^{208}Pb	Thorium D	Stable	None

(ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545: 148)

ตารางที่ 2.3 อนุกรมยูเรเนียม แสดงชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย

นิวไคลด์	ชื่อเดิม	ครึ่งชีวิต	รังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย
^{238}U	Uranium I	4.47×10^{10}	α, < 1 % γ
^{234}Th	Uranium X_1	24.1 d	β, γ
^{234m}Pa	Uranium X_2	1.17 m	β, < 1 % γ
^{234}Pa	Uranium Z	6.69 h	β, γ
^{234}U	Uranium II	244,500 y	α, < 1 % γ
^{230}Th	Ionium	7.7×10^{4} y	α, < 1 % γ
^{226}Ra	Radium	1600 y	α, γ
^{222}Rn	Emanation radon	3.8 d	
^{218}Po	Radium A	3.05 m	α, < 1 % γ
^{214}Pb (99.98%)	Radium B	26.8 m	α, < 1 % γ
^{218}At (0.02%)	Astatine	2 s	
^{214}Bi	Radium C	19.9 m	β, γ
^{214}Po (99.98%)	Radium C’	164 μs	α, γ
^{210}Tl (0.02%)	Radium C’’	1.3 m	β, γ
^{210}Pb	Radium D	22.3 y	
^{210}Bi	Radium E	5.01 d	α, < 1 % γ
			β, γ
^{210}Po (~100%)	Radium F	138.4 d	β, γ
^{206}Tl (0.00013%)	Radium E’’	4.20 m	β
^{206}Pb	Radium G	Stable	
			α, < 1 % γ
			β, < 1 % γ
			None

(ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545: 149)

ตารางที่ 2.4 อนุกรมแอกทิเนียม แสดงชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย

นิวไคลด์	ชื่อเดิม	ครึ่งชีวิต	รังสีส่วนใหญ่ที่ปล่อย
^{235}U	Actinouranium	7.038×10^{8} y	α, γ
^{231}Th	Uranium Y	25.5 h	β, γ
^{231}Pa	Protoactinium	2.276×10^{4} y	α, γ
^{227}Ac	Actinium	21.77 y	β, < 1 % γ
^{227}Th (98.62%)	Radioactinium	18.72 y	
^{223}Fr (1.38%)	Actinium K	21.8 m	α, γ
^{223}Ra	Actinium X	11.43 d	β, γ
^{219}Rn	Emanation actinon	3.96 s	α, γ
^{215}Po	Actinium A	1.78 ms	α, γ
^{211}Pb (~100%)	Actinium B	36.1 m	α, < 1 % γ
^{215}At (0.00023%)	Astatine	~ 0.1 ms	β, γ
^{211}Bi	Actinium C	2.14 m	α, < 1 % γ
^{211}Po (0.273%)	Actinium C’	0.516 s	α, γ
^{207}Tl (99.73%)	Actinium C’’	4.77 m	
^{207}Pb	Actinium D	Stable	α, γ
			β, < 1 % γ
			None

(ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545: 150)

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

ธาตุกัมมันตรังสีประกอบด้วยนิวไคลด์ไม่เสถียรมากมาย ซึ่งมีการสลายตัว (Decay, Disintegration) ให้รังสีออกมา เพื่อปรับตัวเป็นนิวไคลด์เสถียร กระบวนการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีเป็นไปในลักษณะสุ่ม (random) ซึ่งไม่สามารถกำหนดได้ว่านิวไคลด์ใดจะสลายตัวเมื่อใด แต่ละธาตุกัมมันตรังสีจะมีสมบัติการสลายตัว เช่น อัตราการสลายตัว ชนิดของรังสี และปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน

หลังจากการค้นพบธาตุกัมมันตรังสีแล้วในปี ค.ศ. 1900 ครูกซ์ (Crookes) พบว่า ตะกอนของเกลือยูเรเนียม (uranium,U) มีกัมมันตภาพ (activity) สูง และให้ชื่อว่า ยูเรเนียมเอกซ์ (uranium X, UX) หลังจากนั้น แบ็กเคอเรลได้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม พร้อมแยก UX ออกจาก U ได้ และพบว่าค่ากัมมันตภาพของ UX ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป ในขณะที่กัมมันตภาพของ U เพิ่มขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1902 รัทเธอร์ฟอร์ดและซอดดี (Soddy) ได้ทำการทดลองกับเกลือทอเรียม (Thorium,Th) ก็พบว่าได้ผลแบบเดียวกัน คือ สามารถแยกตะกอน ThXออกมาได้ และตะกอน ThXมีกัมมันตภาพลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่กัมมันตภาพของ Thเพิ่มขึ้น การลดลงของค่ากัมมันตภาพของ UX และ ThX ซึ่งเป็นนิวไคลด์แม่ และการเพิ่มขึ้นของ U และ Thซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกนั้น แสดงไว้ดังสมการ (2.1)

$$\text{P} \longrightarrow \text{D} + \text{รังสี} \qquad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้น หรือนิวไคลด์แม่ (parent nuclide)

D คือ ธาตุเกิดจากการสลายตัว หรือนิวไคลด์ลูก (daughter nuclide)

ในการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีนั้น อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวไคลด์ของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

อัตราการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี $\propto$ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี

เมื่อ N เป็นจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เวลา t ใด ๆ ซึ่งมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาที่ผ่านไป ดังนั้น จากความสัมพันธ์ข้างต้นจึงเขียนสมการได้ว่า

$$\frac{-dN}{dx} \propto N$$

โดยเครื่องหมายลบแสดงการลดลงของจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี (N)

$$\frac{-dN}{dx} = \lambda N$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{0}^{t} dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2.2)$$

เมื่อ N_0 คือ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เวลาเริ่มต้น $(t = 0)$

N คือ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี่เวลา t ใด ๆ

T คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

λ คือ ค่าคงตัวของการสลายตัว (decay constant)

กัมมันตภาพ (activity, A) ของธาตุกัมมันตรังสี หมายถึง อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี หรือจำนวนของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวต่อหน่วยเวลา หน่วยของกัมมันตภาพ คือ แบ็กเกอเรล (Becquerel, Bq) เมื่อออกเสียงตามภาษาฝรั่งเศสเพื่อให้เกียรติกับแบ็กเกอแรล ผู้ค้นพบกัมมันตภาพรังสี ซึ่ง 1 Bq หมายถึง การสลายตัว 1 ครั้งต่อวินาที (disintegration per sec, dps) แต่หน่วยของกัมมันตภาพที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ คูรี (curie, Ci) ซึ่งกำหนดจากการสลายตัวของ ^{226}Ra หนัก 1 กรัม โดยมีค่าเท่ากับ 3.7×10^{10}dps กัมมันตภาพเป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$A \propto N$$

$$A = \lambda N \qquad (2.3)$$

จากสมการ *(2.3)* เมื่อคูณตลอดด้วย λ จะได้

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

ดังนั้น

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (2.4)$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น $(t = 0)$

A คือ กัมมันตภาพที่เวลา t ใด ๆ

t คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

ครึ่งชีวิต (Half Life : $t_{1/2}$)หมายถึง ระยะเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีสลายตัว แล้วเหลือปริมาณเพียงครึ่งหนึ่งจากของเดิม จากสมการ *(2.2)* เมื่อนิวไคลด์กัมมันตรังสีสลายตัวนานครึ่งชีวิต ทำให้ $N = N_0 / 2$ ดังนั้น

จาก

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

เมื่อ เวลา $t = t_{1/2}$ จะได้

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2}$$

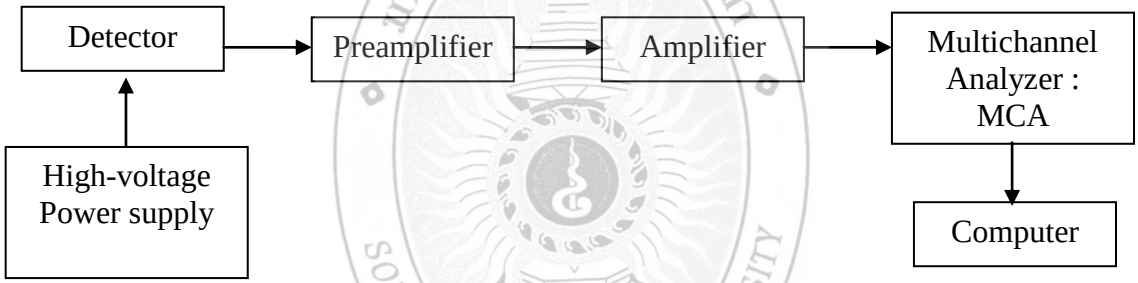
$$-0.693 = -\lambda t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (2.5)$$

การตรวจวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างจากธรรมชาติ

ในการตรวจวัดรังสีแกมมาในธรรมชาติ วิธีการที่ใช้จะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุ ผลที่เกิดขึ้นคือ อะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) หรือถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น (excitation) หัววัดรังสีที่อาศัยหลักการแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ หัววัดแบบก๊าซทุกชนิด และหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ ส่วนหัววัดที่ใช้หลักการกระตุ้น ได้แก่ หัววัดแบบซิลทิลเลชัน สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป สำหรับการตรวจวัดรังสีแกมมา หัววัดรังสีแกมมาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิดคือหัววัดแบบซิลทิลเลชัน (scintillation detector) และหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector) แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ

1. หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ เป็นหัววัดรังสีที่ได้รับความนิยมสูงมาก เนื่องจากเป็นหัววัดที่มีประสิทธิภาพสูง มีอยู่หลายชนิด บางชนิดวัดได้ทั้งรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมาพลังงานต่ำ ตัวอย่างเช่น หัววัดแบบ lithium-drifted silicon หรือ Si(Li) ส่วนหัววัดแบบ lithium-drifted germanium หรือ Ge(Li) เป็นหัววัดที่เหมาะแก่การใช้วัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงๆ



ภาพที่ 2.5 แสดงแผนภาพของหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา

อุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์

2.1 แหล่งจ่ายกำลังศักย์สูง (High voltage Power supply) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักย์ไฟฟ้าทางเอาท์พุตให้คงที่ ณ จุดที่ตั้งไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมหรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์ สำหรับหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำแหล่งจ่ายกำลังศักย์สูงควรปรับค่าได้จาก 0 ถึง 5000 โวลต์ และให้กระแสได้จาก 0 ถึง 100 μA

2.2 ภาคขยายส่วนหน้า (preamplifier) จะทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นจากหัววัด แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ซึ่งมีขนาดที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุ

2.3 ภาคขยายหลัก (amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์จากภาคขยายส่วนหน้าแล้วนำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์

ความสูง อัตราการขยายแรงดัน (voltage gain) มี 2 แบบ คือ อัตราขยายหยาบ (coarse gain) และอัตราขยายละเอียด (fine gain)

2.4 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (multichannel analyzer : MCA) จะบันทึกและเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดความสูง หน่วยเก็บแต่ละหน่วยจะเรียกว่า ช่อง ความสูงของพัลส์จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ในรูปของปฏิภาคกับพลังงานของอนุภาคที่เข้าสู่หัววัด แต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะที่สมนัยกับพลังงานนั้น ๆ การแจกแจงของพัลส์ในช่องก็คือ ภาพของการแจกแจงพลังงานของอนุภาค เมื่อสิ้นสุดเวลาการวัด สเปกตรัมที่ถูกบันทึกจะแสดงผลที่จอภาพของ MCA และแกนระนาบคือหมายเลขช่องหรือพลังงานของอนุภาค ส่วนแกนตั้งจะเป็นจำนวนอนุภาคที่ถูกบันทึกต่อช่อง

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบ HPGe

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี หมายถึง อัตราส่วนจำนวนนับของสารกัมมันตรังสีในช่วงเวลาหนึ่งต่ออัตราการแผ่รังสีจากสารกัมมันตรังสีนั้นในช่วงเวลาเท่ากัน ในการหาปริมาณกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างจำเป็นต้องทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องวัดนั้นเสียก่อน ประสิทธิภาพของเครื่องวัดรังสีจะมีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี พลังงานของรังสี โดยนำเอาสารกัมมันตรังสีมาตรฐานมาทำการตรวจสอบเนื่องจากรู้ค่าพลังงานและกัมมันตภาพหรือความแรงของรังสีที่แน่นอน

ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี คำนวณได้จาก

$$Eff(\xi) = \frac{cps}{dps} \qquad (2.6)$$

โดยที่ อัตรานับสุทธิที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ในการวัด (count per second or “cps”)สามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการ

$$cps = \frac{Area}{t} \qquad (2.7)$$

เมื่อ $Area$ คือ ค่าพื้นที่ใต้พีค

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัด (วินาที)

อัตราการสลายตัวหรือค่ากัมมันตภาพรังสี (disintegration per Second or “dps”) สามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการ

$$dps = A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (2.8)$$

เมื่อ $A(t)$ คือกัมมันตภาพที่เวลา t ใด

A_0 คือกัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น (t=0 วินาที)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว เท่ากับ $0.693/t_{1/2}$

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัว (วินาที)

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific activity : S.A.)

กัมมันตภาพหรือความแรงของรังสี หน่วยที่ใช้วัดคือ คูรี(Curie : Ci) หรือแบ็กเคอเรล (Becquerel : Bq)

1 Ci = 3.7×10^{10} dpsและ 1 Bq = 1 dps

จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่วัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งที่ทำการวัด สามารถหากัมมันตภาพจำเพาะโดยอาศัยความสัมพันธ์จากสัมประสิทธิ์ของหัววัดรังสี

ดังนั้น กัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$S.A. = \frac{cps}{Eff(\xi) \times P_\gamma \times W_t} \qquad (2.9)$$

เมื่อ $S.A.$ คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของตัวอย่างที่ตรวจวัด (Bq/kg)

cps คือ อัตรานับสุทธิ(Peak area/counting time)

$Eff(\xi)$ คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ตรวจวัด(Kg)

P_γ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของรังสีแกมมาที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี (% yield)

ค่าขีดจำกัดของหัววัด (Lower limit of detector, LLD)

ในทางปฏิบัติจะทำการตรวจวัดรังสีจากธรรมชาติ (Background) ก่อนการวัดตัวอย่าง ซึ่งเราสามารถระบุบอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าวัดรังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไหร่ เราเรียกระดับนี้ว่าค่าขีดจำกัดของหัววัด ทั้งนี้เป็นเพราะการวัดค่ารังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 95โดยในการวัดจะได้ผลการวัดจากตัวอย่างมากกว่าค่าขีดจำกัดของหัววัดจึงถือได้ว่าเป็นผลจากการสลายตัวทางรังสีในตัวอย่าง ซึ่งสามารถหาค่าขีดจำกัดของหัววัดได้จากสมการต่อไปนี้

$$LLD = \frac{4.66 \times S_n}{Eff(\xi)} \qquad (2.10)$$

เมื่อ LLD คือ ค่าขีดจำกัดของหัววัด

$Eff(\xi)$ คือ ประสิทธิภาพของหัววัด

S_n คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับที่หัววัดนับได้

โดยที่

$$S_n = \sqrt{S_T^2 + S_B^2}$$

และ

$$S_T^2 = \frac{R_T}{t_c} \quad (2.11)$$

$$S_B^2 = \frac{R_B}{t_c} \quad (2.12)$$

เมื่อ R_B คือ ค่าอัตราการนับในธรรมชาติ (Background Count Rate) ซึ่งเท่ากับ count background/t_c

R_T คือ ค่าอัตราการนับรวม (Gross Count Rate)ซึ่งเท่ากับ countnet/t_c

S_B^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_B

S_T^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_T

t_c คือ ระยะเวลาที่ทำการวัด

ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา (Minimal Detectable Activity, MDA)

ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของนิวไคลด์ใดๆ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ใช้สมการของ Currie's Derivation (Currie, 1968) หนึ่งในกลุ่มสมการชุดดังกล่าว คือ

$$MDA = \frac{LLD}{Weight} \quad (2.13)$$

เมื่อ MDA คือ ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

LLD คือ ค่าขีดจำกัดของหัววัด

$Weight$ คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวัดรังสี (kg)

หน่วยวัดปริมาณรังสี

นอกจากค่ากัมมันตภาพ ซึ่งบอกถึงอัตราการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแล้ว ยังมีหน่วยวัดปริมาณรังสีที่บอกสมบัติอื่น ๆ ของกัมมันตรังสี เช่น ความสามารถก่อไอออน การดูดกลืนพลังงานจากรังสีของตัวกลาง ผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับรังสี หน่วยงานระหว่างประเทศคือ (International Commission on Radiation Unit and Measurement : ICRU) ได้กำหนดหน่วยวัดปริมาณรังสีไว้ ดังนี้

1. ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

กัมมันตภาพ หรือความแรงของสารกัมมันตภาพรังสี เป็นหน่วยกัมมันตภาพรังสี (radioactivity unit) ที่แสดงอัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีโดยมี คูรี (curie, Ci) และรัทเทอร์ฟอร์ด (rutherford) เป็นหน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพ เมื่อ

1 คูรี หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

1 curie = 3.7×10^{10}dps

1 รัทเทอร์ฟอร์ด หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ10^{6} ครั้งต่อวินาที

1 rutherford = 10^{6}dps

สำหรับหน่วยสากล (International System Units, SI units) กำหนด แบ็กเกอแรล (Becquerel, Bq) เป็นหน่วยของกัมมันตภาพ โดยที่

1 แบ็กเกอแรล หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ1 ครั้งต่อวินาที

1 becquerel = 1 dps

2. ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)

ICRU ได้กำหนดให้ เรินต์เกน (roentgen, R) เป็นหน่วยของเอ็กซ์โพเชอร์ ซึ่งหมายถึงการวัดปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อรังสีผ่านไปในอากาศ

ปริมาณรังสี 1 เรินต์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศหนัก 0.001293 กรัม (1ซม.^{3}) ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแตกตัวเกิดประจุไฟฟ้า 1 esu

เรินต์เกนมักใช้กับรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา ซึ่งเป็นการบอกถึงความสามารถของโฟตอนในการแตกตัวเป็นไอออน เนื่องจาก

$$1\ R = 1\ esu/0.001293\ g$$
$$= (1\ esu/0.001293) \times (1\ c/3\times10^{9}\ esu) \times (10^{3}\ g/1\ kg)$$
$$= 2.58 \times 10^{-4}\ C/kg \text{ of standard air}$$

เมื่อคำนึงถึงจำนวนคู่ไอออนที่เกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งประจุที่เกิดจาก 1 คู่ไอออน มีค่า4.8×10^{-10}และพลังงานของโฟตอน34 eVทำให้เกิด 1 คู่ไอออนในอากาศ ดังนั้น

$$1\ R = (1\ esu/1\ cc \text{ of standard air}) \times (1 \text{ ion pair}/4.8\times10^{-10} esu)$$
$$= 2.08 \times 10^{9} \text{ ion pairs/cc of standard air}$$
$$1\ R = (2.08\times10^{9} \text{ion pairs}/0.001293\ g) \times (34\ eV/1 \text{ ion pair}) \times (1.602\times10^{-12}\ erg/eV)$$
$$= 87.7 \times 10^{9}\ erg/g \text{ of standard air}$$

สำหรับ SI unit ใช้C/kg แสดงค่าเอ็กซ์โพเชอร์ โดยที่

$$1\ R = 2.58 \times 10^{-4}\ C/kg$$

3. ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)

แร็ด (rad) ซึ่งเป็นคำย่อจาก radiation absorbed dose หมายถึง ปริมาณพลังงานของรังสีที่ตัวกลางใดๆ ดูดกลืนไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวกลางนั้น เมื่อรังสีผ่านเข้าไป ซึ่งอาจจะเขียนได้ว่า

rad = พลังงานของรังสี/น้ำหนักของตัวกลาง

ปริมาณรังสี 1 แร็ด หมายถึง ปริมาณของรังสีที่ตัวกลางดูดกลืนพลังงานไว้ได้ 100 เอิร์กต่อกรัม ของตัวกลาง

1 rad = 100 erg/g

= 10^{-2} J/kg

SI unit กำหนดให้ จูลต่อกิโลกรัม หรือเกรย์ (gray, Gy) เป็นหน่วยสำหรับแอบซอร์ดโดส โดยที่

1 J/kg = 1 Gy

1 Gy = 100 rad

เมื่อพิจารณาปริมาณรังสี 1 เรินต์เกน ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงาน 87.7 เอิร์ก ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยอากาศ 1 กรัม เห็นได้ว่า มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณรังสี 1 แร็ด ความสัมพันธ์ของหน่วยเอกโพเชอร์และแอบซอร์โดส จึงประมาณได้ว่า

1 R = 1 rad

4. ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)

แม้ว่ารังสีแต่ละประเภทจะถ่ายเทพลังงานให้กับตัวกลางเท่ากันก็ตาม หากตัวกลางเป็นเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต ผลทางชีวภาพที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกัน เช่น นิวตรอนพลังงาน 0.01 เกรย์ ทำให้เกิดผลทางชีววิทยาได้เท่ากับรังสีแกมมา 0.1 เกรย์ แสดงว่า นิวตรอนทำให้เกิดอันตรายได้มากกว่ารังสีแกมมา 10 เท่า ดังนั้นจำเป็นต้องมีหน่วยโดสอิควิวาเลนต์ เพื่อแสดงผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้น

เรม (rem, radiation equivalent man) เป็นหน่วยของโดสอิควิวาเลนต์ ซึ่งโดยทั่วไป จะใช้ในงานด้านรังสีชีววิทยา (radiation biology) และด้านการป้องกันและความปลอดภัยทางรังสี โดยพิจารณาจากแอบซอร์บโดสร่วมกับปัจจัยทางชีววิทยา คือ การยังผลด้านชีวภาพสัมพัทธ์ (relative biological effectiveness, RBE) ซึ่งเปรียบเทียบผลทางชีววิทยาจากปริมาณรังสีเอกซ์พลังงาน 250 kV กับปริมาณรังสีอื่น ๆ ที่ให้ผลเช่นเดียวกัน ค่า RBE สำหรับรังสีต่างๆ กำหนดไว้ในตาราง 2.5

RBE = (Dose of 250 kV X-rays to produce a certain biological effect)/(Dose of a given radiation to produce the same biological effect)

สำหรับงานด้านความปลอดภัยและการป้องกันอันตรายจากรังสีนั้น ความเป็นอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรับรังสี ไม่เพียงแต่จะขึ้นกับการดูดกลืนพลังงานจากรังสี แต่ยังขึ้นกับความไวต่อรังสี รวมทั้งการส่งผ่านพลังงานของอวัยวะหรือเนื้อเยื่อนั้น ICRU แนะนำให้คำนวณโดสอิควิวาเลนต์จากปัจจัยการแจกจ่าย (distribution factor, DF) ซึ่งแสดงถึงการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในเนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่างๆ และค่าปัจจัยคุณภาพ (quality factor, QF) ซึ่งแสดงคุณภาพของรังสีชนิดต่างๆ ซึ่งกำหนดไว้ในตาราง 2.6จึงอาจคำนวณโดสอิควิวาเลนต์ได้ ดังนี้

dose equivalent (rem) = absorbeb dose (rad) × RBE

= absorbeb dose (rad) × DF × QF

สำหรับหน่วยสากล กำหนดให้ จูลต่อกิโลกรัม หรือซีเวิร์ต (sivert, Sv) เป็นหน่วยของโดสอิควิวาเลนต์ โดยมีความสัมพันธ์กับเรม ดังนี้

1 J/kg = 1 Sv

1 Sv = 100 rem

ตารางที่ 2.5 ค่า RBE สำหรับรังสีชนิดต่างๆ

ชนิดของรังสี	RBE
X-rays , γ-rays	1
β-rays	1
thermal neutron	4-5
fast neutron	10
α-rays	10-20

ตารางที่ 2.6 ค่า QF ของรังสีชนิดต่างๆ

ชนิดของรังสี	RBE
X-rays , γ-rays	1
β-rays (E_{max}>0.003 MeV)	1
β - rays (E_{max}<0.003 MeV)	1.7
neutron, proton, alpha	10
heavy recoil nucleid	20

ตารางที่ 2.7 สรุปหน่วยที่ใช้วัดปริมาณรังสี

ชนิดของรังสี	หน่วยเก่า	SI unit	ความสัมพันธ์
Activity	Ci	Bq	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq
			1 Bq = 2.7×10^{-11} Ci
Exposure dose	R	C/kg	1 C/kg = 3876 R
			1 R = 2.58×10^{-4} C/kg
Absorbed dose	Rad	Gy	1 Gy = 100 rad
			1 rad = 0.01 Gy
Dose equivalent	Rem	Sv	1 Sv = 100 rem
			1 rem = 0.01 Sv

(ที่มา: นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 254: 127-130)

การคำนวณหาค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ

1. กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม

ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) เป็นค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักของกัมมันตภาพรังสีของทั้ง 3 นิวไคลด์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ^{226}Ra ที่มีกัมมันตภาพ 370 Bq/kg จะให้ค่าอัตราปริมาณรังสีเทียบเท่า ^{232}Th กัมมันตภาพ 259 Bq/kg หรือ ^{40}K กัมมันตภาพ 4810 Bq/kg ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียมคำนวณได้จากสมการ

$$Ra_{eq} = 370\left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}\right) = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad .....(2.14)$$

โดยที่ A_{Ra} , A_{Th} และ A_K คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K ตามลำดับ มีหน่วยเป็น Bq/kg สามารถใช้ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra แทนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U ได้ เนื่องจากมีการเข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสีแบบถาวรระหว่าง ^{238}U กับ ^{226}Ra (Veiga *et al.*, 2006)

2. อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลกสำหรับภายนอกบ้านเรือน (outer) ที่วัดเหนือพื้นดิน 1 m ซึ่งคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K โดยสมมติว่านิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิดอื่นที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ^{137}Cs, ^{90}Sr และ ^{235}U มีค่าน้อย

มากจนสามารถละทิ้งได้ โดยอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศสำหรับภายนอกบ้านเรือน คำนวณได้จากสมการ

$$D(nGy/h) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_{K} \quad \text{..... (2.15)}$$

โดยที่ A_{Ra} , A_{Th} และ A_K คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K ตามลำดับ มีหน่วยเป็น Bq/kg (Singh *et al*., 2005)

3. ดัชนีความเสี่ยงรังสีจากภายนอก

ค่าดัชนีอันตรายหรือความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย โดยกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย ส่วนใหญ่จะเป็นรังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูงที่มาจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติภายนอกร่างกาย ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากนอกร่างกายประจำปี (external hazard index : H_{ex}) คำนวณได้จากสมการ (2.16) สมการนี้เป็นรูปแบบจำลอง (conservative model) ของการได้รับอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย เมื่อใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่น หิน ทราย มาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน ซึ่งบ้านที่ก่อสร้างมีความหนาของผนังยาวมีที่สิ้นสุด โดยปราศจากหน้าต่างและประตู คำนวณได้จากสมการ

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_{K}}{4810} \quad \text{.....(2.16)}$$

โดยที่ A_{Ra}, A_{Th}และ A_K คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K ตามลำดับ มีหน่วยเป็น Bq/kg เมื่อค่า $H_{ex} < 1.0$ แสดงว่า อันตรายจากรังสีภายนอกมีน้อยจนละทิ้งได้ ถ้า H_{ex} = 1 ผู้ได้รับสัมผัสรังสีภายนอกจะได้รับปริมาณรังสีดูดกลืนเท่ากับ 1.5 mGy/y และถ้า $H_{ex} > 1.0$ อันตรายจากการได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอกมีมาก ซึ่งไม่ควรจะนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน (Veiga *et al*., 2006)

4. อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี

อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับสามารถหาได้จาก การแปลงอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ โดยใช้ค่าองค์ประกอบสำหรับการแปลงค่า (conversion factor) 0.7 Sv/Gy สำหรับการแปลงค่าปริมาณดูดกลืนรังสีแกมมาในอากาศ เป็นค่าปริมาณรังสีแกมมายังผลที่ได้รับโดยบุคลทั่วไปที่ใช้เวลาอยู่ภายนอกบ้านเรือนประมาณ 20% ของเวลาทั้งหมดใน 1 ปี คำนวณได้ดังสมการ (Singh *et al*., 2005)

$$\text{Annual Effective Dose (mSv/y)} = D\,(nGy/h) \times 8{,}760\ h \times 0.2 \times 0.7\ Sv/Gy \times 10^{-6} \quad \text{...(2.17)}$$

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

มูรณี ดาโอะ (2553: 112-117) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{40}K และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณต่าง ๆ ใน 11 อำเภอ จำนวน 109 ตัวอย่าง ของจังหวัดพัทลุง โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน ^{60}Co, ^{137}Cs และ ^{133}Ba ในการปรับเทียบพลังงาน ใช้สารมาตรฐานชนิด KCl IAEA/RGU–1 และ IAEA/RGTh–1 ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{238}U (หรือ ^{226}Ra) และ ^{232}Th ตามลำดับ และใช้สารมาตรฐาน IAEA/SL-2 ในคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินทั้งหมด ในการตรวจวัดแต่ละตัวอย่างใช้เวลาเป็น 10,800 วินาที จากผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดิน พบว่า มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 148.17 – 11276.78 Bq/kg สำหรับ ^{40}K, 58.29 – 518.45 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra, 8.40 – 236.19 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 0.00 – 12.39 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 3573.35 ± 203.89 Bq/kg, 135.89 ± 6.71 Bq/kg, 76.34 ± 5.32 Bq/kg และ 1.05 ± 0.70 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้คำนวณอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับต่อปี (AED_{out}) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ประเมินความเสี่ยงของการได้รับรังสีจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติของประชาชนโดยทั่วไป โดยใช้ข้อมูลของค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างดินที่ตรวจวัดได้นี้ และยังได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้นี้กับข้อมูลจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ผลงานวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกอีกด้วย

ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และคณะ (2553 : 107-116) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาณ กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดและดินจำนวน 179 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ จังหวัดภูเก็ต พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของตัวอย่างทรายชายหาดของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th มีค่าเป็น 2336.85 Bq/kg, 64.30 Bq/kg และ 63.50 Bq/kg ตามลำดับค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของตัวอย่างดินของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th มีค่าเป็น 4092.29 Bq/kg, 212.55 Bq/kg และ 203.98 Bq/kg และเมื่อนำค่าที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตรวจวัดไว้โดยนักวิจัยทั่วโลก พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกที่ตรวจวัดได้

ประสงค์ เกษราธิคุณ และคณะ (2552) ทำการตรวจวัดปริมาณและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้น ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่าง ที่เก็บจากชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีและใช้สารมาตรฐานดินแบบปริมาตร IAEA 375-soil ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในการเปรียบเทียบเพื่อการ

คำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ต้องการ จากผลการทดลองพบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่คำนวณได้มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 1.09 – 95.37 Bq/kg สาหรับ ^{226}Ra, 9.55 – 107.97 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 233.54 – 675.99 Bq/kg สำหรับ ^{40}K และมีค่าเฉลี่ยเป็น 18.85 ± 1.45 Bq/kg, 23.53 ± 2.40 Bq/kg และ 373.30 ± 13.59 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้นำผลการทดลองที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการรายงานผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลก

Alenacar and Freitas (2007 : 645-647) ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีของทรายในบริเวณชายทะเลทางตะวันออกเฉียงใต้ของบราซิล ซึ่งวัดค่าอัตราการดูดกลืนรังสีแกมมาในอากาศที่ระดับความสูง 1 m ในธรรมชาติ โดยวัดจากชายทะเล 10 แห่ง ใน Ilha Grande โดยเป็นเกาะทางเศรษฐกิจทางตะวันออกเฉียงใต้ของบราซิล มีค่าเป็น 62 nGy/h จาก Dois Rios beach และ 126 nGy/h จาก Preta beach โดยวัดค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีจำเพาะของ ^{40}K, ^{232}Th และ ^{238}U ด้วย gamma – ray spectrometry ในหน่วยของ Bq/kg แล้วนำมาคำนวณหาค่าอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective doses) เพื่อประเมินค่าอันตรายของรังสีได้ 0.15 ± 0.03 mSv/y จาก Preta และ 0.10 ± 0.02 mSv/y จาก Caxadaco beaches ซึ่งเป็นชายทะเล 2 แห่งที่มีค่าสูงจาก 10 ชายทะเลที่ทำการศึกษา ส่วนในอีก 8 ชายทะเลมีค่าประมาณ 0.08 mSv/h ซึ่งชายทะเลทั้ง 10 ไม่มีความเสี่ยงจากรังสี

Othman and Yassine (1995 : 121-123) ได้ศึกษาความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติใน Syrian ซึ่งได้แสดงผลการประเมินกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ โดยค่าเฉลี่ยดัชนีความเสี่ยงรังสีจากภายนอกมีค่าประมาณ 94 ± 8 nGy/h และเปลี่ยนไปบ้างเล็กน้อยในแต่ละตำบลใกล้ๆ กัน ในการวัดค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติในดินต่างชนิดแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่ากัมมันตภาพรังสีที่ต่างกัน และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีจำเพาะของ ^{40}K, ^{232}Th และ ^{226}Ra ในดิน คือ 2.47 ± 100 Bq/kg, 18.43 ± 5 Bq/kg และ 22.2 ± 9 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งได้มีการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในอาหารจากบริเวณต่างๆ ในเมืองก็ได้ผลสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในดินที่วัดได้จากบริเวณนั้นๆ และค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีในดินและพืชมีค่าสูงในทางภาคใต้และตะวันออกเฉียงเหนือของเมือง

Oyedele (2007 : 687-688) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติในบริเวณที่มีสารกัมมันตภาพรังสีสูงของแอฟริกาใต้ และได้ตัดสินใจศึกษาไอโซโทปของ ^{40}K, ^{232}Th และ ^{238}U ในตัวอย่างดินที่มีพลังงานสูง (HESS) ใน Namibia ทำการตรวจวัดโดย HPGe detecter มีค่าดังนี้ คือ 10.8 ± 1.4 – 2.64 ±1.8 Bq/kg จาก ^{238}U , 12.8 ± 2.4 – 52.3 ± 3.7 Bq/kg จาก ^{232}Th และ 212.1 ± 12.1–683.8 ± 27.1 Bq/kg จาก ^{40}K ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราปริมาณรังสีที่

ได้รับต่อปี (annual effective dose equivalent) ที่คำนวณได้ คือ 0.06±0.01 mSv/y ซึ่งน้อยกว่าค่าที่เป็นอันตราย (น้อยกว่า 1 mSv/y) โดยอ้างอิงจาก ICRP

V. Ramasamy, M. Sundarrajan, K. Paramasivam, V.; (21-31 : 2013) การศึกษาการกระจายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ (^{238}U, ^{232}Th และ ^{40}K) ในตัวอย่างทรายชายหาด Kerala ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความเป็นอันตรายต่างๆจากรังสี จากการทดลองพบว่าค่าพิสัย อยู่ในช่วง 1187 ± 21.7 Bq/kg, 5328 ± 23.2 Bq/kg และ 693 ± 31.2 Bq/kg ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีของ ^{238}U, ^{232}Th และ ^{40}K พบว่ามีค่าเท่ากับ 170.4 ± 8.4 Bq/kg, 547.3 ± 10.9 Bq/kg และ 117.2 ± 16.0 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ประเมินค่าความเป็นอันตรายต่างๆ พบว่าบางพื้นที่เกินค่ามาตรฐาน

Z. Korkulu และ N. Özkan , (27-31: 2013) กัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K และกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น ^{137}Cs ในทรายชายหาดจากตัวอย่างทะเลดำชายฝั่งของ Kocaeli (ตุรกี) โดยใช้การวัดวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K และ ^{137}Cs อยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน คือ 4.417±0.03 Bq/kg ถึง 14.04±0.04 Bq/kg , 2.62±0.02 Bq/kg ถึง 16.55±0.03 Bq/kg , 11.60±0.25 Bq/kg ถึง 513.32±3.44 Bq/kg และ 0.56±0.02 Bq/kg ถึง 5.43±0.03 Bq/kg ตามลำดับ ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของ ^{238}U, ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างที่ได้รับ มีประมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 4.10 และ36.80 nGy/h และค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียมของตัวอย่างทรายที่คำนวณพบว่า ต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (< 370 Bq/kg) นอกจากนี้ ยังคำนวณดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก 0.0244 ถึง 0.2019 พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 250 ตัวอย่าง หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จำนวน 50 ตัวอย่าง และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จำนวน 50 ตัวอย่าง แล้วนำมาเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมตามหลักการที่เป็นมาตรฐาน และทำการตรวจวัดปริมาณสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างทราย โดยใช้หัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการทดลองวิจัย อาคาร 1 ชั้น 4 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพมหานคร ซึ่งจะเริ่มทำการปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี ^{60}Co และ ^{137}Cs ซึ่งใช้เวลาในการวัด 1000 วินาที และทำการวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีของสารมาตรฐาน (IAEA-SOIL-6) เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 5,000 วินาที แล้วทำการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างทราย โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 10,000 วินาที และคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity ; S.A.) กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective dose rates; AED_{out}) หลังจากนั้นนำข้อมูลของการวัดค่ากัมมันตรังสีในจังหวัดปัตตานีที่ได้จากการวิจัยไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยจากประเทศต่างๆ ที่ได้มีการวัดค่ากัมมันตรังสีไว้แล้ว และในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทราย ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทราย ขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือวัด ระบบวิเคราะห์ข้อมูล และขั้นตอนการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด
    1.1 แผนที่หาดตะโละกาโปร์
    1.2 เครื่องบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ Gamin รุ่น eTrex Summit HC
    1.3 ถุงพลาสติกบรรจุทรายชายหาด
    1.4 ปากกาเคมี
    1.5 ยางวงรัดของ
    1.6 จอบและช้อนสำหรับตักทรายชายหาด

1.7 บล็อกสำหรับเก็บตัวอย่างทรายชายหาด ขนาด 50×50 เซนติเมตร

2. วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาด

2.1 กระปุกพลาสติกสำหรับบรรจุตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สูง 6.5 เซนติเมตร และตะแกรงร่อนตัวอย่างขนาด 325 เมช (mesh) ดังแสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 กระปุกพลาสติกบรรจุตัวอย่างและตะแกรงร่อนตัวอย่าง

2.2 เครื่องชั่งสารความละเอียด 3 ตำแหน่ง และกะบะตากตัวอย่างทรายชายหาด ดังแสดงในภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 เครื่องชั่งสารและกะบะตากตัวอย่างทรายชายหาด

2.3 ตู้อบตัวอย่างทรายชายหาด และฉลากติดกระปุก ดังแสดงในภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 ตู้อบตัวอย่างทรายชายหาดและฉลากที่ติดกระปุก

2.4 เทปกาวสำหรับปิดผนึกกระปุกบรรจุตัวอย่างทรายชายหาด ดังแสดงในภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.4 เทปกาวสำหรับปิดผนึกกระปุก

3. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาด

3.1 ตัวอย่างทรายที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี

3.2 สารมาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6

3.3 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ^{137}Cs และ ^{60}Co

3.4 หัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe Detector) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างสารมาตรฐาน IAEA-SOIL-6

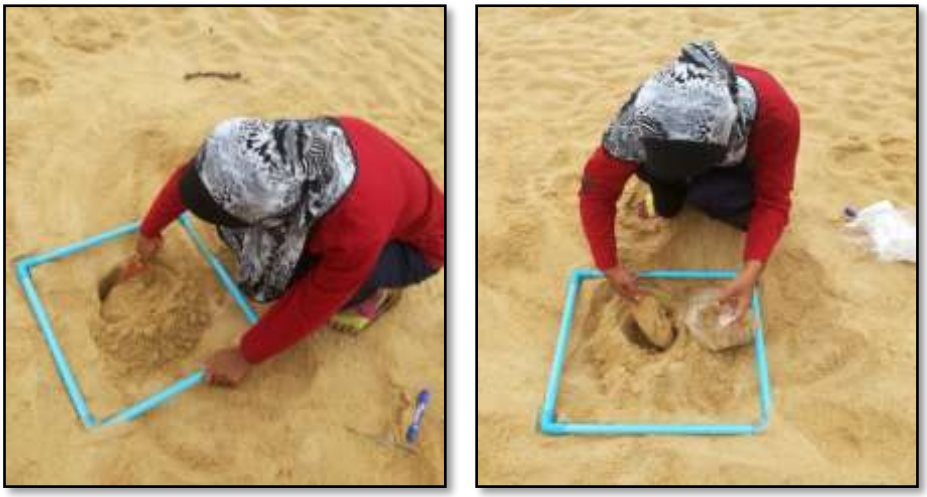
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด

1.1 ศึกษาและสำรวจพื้นที่บริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด ได้แก่ บริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จำนวน 50 ตัวอย่าง หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จำนวน 50 ตัวอย่าง และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยเลือกบริเวณที่เก็บตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวใช้ในการเดินเที่ยวชมชายหาด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณกลางชายหาด

1.2 วางแผนการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด โดยศึกษาจากข้อมูลของลักษณะพื้นที่ จำนวนประชากรและนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวชมชายหาด รวมตัวอย่างทั้งหมด 250 ตัวอย่าง

1.3 ในการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด ทำการเลือกพื้นที่ที่จะเก็บตัวอย่างทรายบริเวณดังกล่าวให้มีขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร และยาว 50 เซนติเมตร เก็บเศษไม้ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก หรือเศษเปลือกหอยที่มีอยู่พื้นที่ดังกล่าวออกไปจนหมด พร้อมทั้งเกลี่ยทรายด้านบนออกไปจากพื้นที่เก็บตัวอย่างลึก 1-2 เซนติเมตร แล้วขุดทรายในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวให้ลึก 10 เซนติเมตร แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน หลักจากนั้นแบ่งเก็บตัวอย่างทรายใส่ถุงพลาสติกให้มีน้ำหนักประมาณ 1500 กรัม ดังแสดงการคลุกเคล้าตัวอย่างทรายชายหาดและการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดดังภาพที่ 3.6 พร้อมทั้งบันทึกพิกัดของจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์



ภาพที่ 3.6 การคลุกเคล้าตัวอย่างทรายชายหาดและการเก็บตัวอย่างทราย

2. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาด

2.1 นำตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บได้ทั้ง 250 ตัวอย่าง มาผึ่งไว้ในภาชนะสำหรับตากตัวอย่าง ณ ที่อุณหภูมิห้อง ใช้ช้อนพลาสติกเกลี่ยตัวอย่างทรายชายหาดกลับไปกลับมาทุกวัน จนตัวอย่างทรายชายหาดเริ่มแห้ง หลังจากนั้น นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างทรายชายหาดที่ตากไว้ ณ ที่อุณหภูมิห้องและการอบไล่ความชื้น

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

2.3 ทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช ที่จัดเตรียมไว้เพื่อเอาเศษไม้ ใบหญ้าแห้ง เศษผงและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ออกร่อนด้วยตะแกรงขนาด 325 เมช ที่จัดเตรียมไว้เพื่อเอาเศษตะกอนต่างๆ ออก นำไปบรรจุลงในกระปุกพลาสติกที่เตรียมไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 การร่อนตัวอย่างทราย

2.4 นำกระปุกพลาสติกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สูง 6.5 เซนติเมตร ไปชั่งหาน้ำหนักกระปุกเปล่า แล้วบันทึกผลที่ได้ หลังจากนั้นนำตัวอย่างทรายที่เก็บและเตรียมไว้ให้แห้งดังกล่าวข้างต้นมาบรรจุลงในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกให้มีน้ำหนักรวม 320 กรัม สำหรับนำไปใช้ในการเปรียบเทียบในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณ

2.5 คำนวณหาน้ำหนักสุทธิของตัวอย่างทราย โดยนำน้ำหนักของภาชนะพลาสติกไปหักออกจากน้ำหนักของตัวอย่างทรายหรือกระปุกพลาสติกที่ชั่งรวมกัน แล้วบันทึกผล

2.6 ใช้เทปกาวใสปิดรอยต่อระหว่างฝาปิดและตัวภาชนะพลาสติกให้แน่นหนา ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการป้องกันไม่ให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างทรายในสถานะแก๊สหลุดลอดออกไปได้ และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 วันเพื่อให้เกิดการสมดุลทางกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆ ในตัวอย่างทรายชายหาดต่อไปและนำตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดที่เตรียมไว้ไปตรวจวัดด้วยหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ดังแสดงในภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 การปิดผนึกกระปุกพลาสติกด้วยเทปกาวและหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

ขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือวัดและระบบวิเคราะห์ข้อมูล

1. ศึกษาคู่มือการใช้ซอฟแวร์ทางคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Maestro และตรวจสอบดูเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยก่อนการใช้งาน

2. ตรวจดูปริมาณสารไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen : LN_2) ที่ใช้หล่อเย็นหัววัดว่ามีเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ ถ้าไม่เพียงพอต้องทำการเติมไนโตรเจนเหลวก่อนใช้หัววัด

3. เปิดเครื่องสำรองไฟและเครื่องคอมพิวเตอร์

4. เปิดสวิตซ์ Power on ที่เครื่อง MCA

5. เปิดสวิตซ์ High Voltage จ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูงให้แก่หัววัด (High Voltage) โดยการหมุนปรับค่าความต่างศักย์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จาก 0 จนมีค่าให้อยู่ที่ 2500 Volt และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5 ชั่วโมง เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องมือให้อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการใช้งาน

6. เปิดโปรแกรม Maestro โดยการคลิ๊กที่ Service >> Sample Description >> ตั้งชื่อตัวอย่างลงในช่อง

7. นำตัวอย่างที่อยู่ในกระปุก ใส่ลงในหัววัด

8. ตั้งค่าจำนวนช่องการวัดเป็น 8,192 ช่อง

9. ตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการวัด 10000 วินาที

10. คลิ๊กที่ปุ่ม Clear Detector และ Go

11. เมื่อครบกำหนด ให้ทำการเคลียร์และมาร์กพีค ตามตาราง Nuclide จนครบ (โดยพีคสีแดงคือ Energy ของ Nuclide ที่ต้องการ)

12. กดแป้นลูกศรซ้าย-ขวา ให้เส้น (1) อยู่ตรงกลางหรือค่าพลังงานที่ต้องการแล้วคลิ๊กที่ปุ่ม Clear ROI และ Mark ROI

13. คลิ๊กที่ปุ่มสัญลักษณ์สีแดงซ้าย-ขวา (2) เพื่อหาพีคสีแดงต่อไป

14. ทำตามขั้นตอนที่ 12 และลำดับที่ 13 จนครบทุกพลังงานที่ต้องการ

15. เมื่อมาร์กครบทุกพลังงานแล้วให้ทำการบันทึกลงในโฟลเดอร์ต่างๆ

16. ปริ้น File >> ROI report >> OK

17. เขียนชื่อตัวอย่างลงด้านบนหัวกระดาษของผลที่ปริ้นออกมา

18. ตรวจเช็คไฟล์ที่บันทึกอีกครั้งก่อนที่จะทำการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง

ขั้นตอนการปิดเครื่อง

1. ปรับลด high voltage โดยการหมุนปรับค่าความต่างศักย์ให้ลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่า 0 โวลต์ แล้วปิดสวิตซ์ high voltage

2. ปิดสวิตซ์เครื่อง MCA

3. ปิดโปรแกรม Maestro

4. ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

5. ปิดเครื่องสำรองไฟ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสี

1. ปรับเทียบพลังงาน (Energy Calibration) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน (Point Source) ^{137}Cs และ ^{60}Co ไปวัดรังสีแกมมาบนหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ ซึ่งใช้เวลาในการวัด 1000 วินาที และเขียนกราฟเปรียบเทียบพลังงาน โดยดูว่าพีคสูงสุดของธาตุแต่ละตัวตรงกับหมายเลขช่อง (Channel) ที่เท่าใด ต่อจากนั้นจึงเขียนกราฟปรับเทียบพลังงานซึ่งเป็นกราฟระหว่างพลังงานของสารกัมมันตรังสีและหมายเลขช่อง (Channel Number)

2. นำสารมาตรฐาน IAEA-SOIL-6 ไปตรวจวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 5000 วินาที บันทึกผล

3. คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

4. ทำการตรวจวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาของตัวอย่างทรายที่เก็บจากบริเวณบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์_อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาวัด 10000 วินาที จนครบทั้ง 250 ตัวอย่าง บันทึกผล

5. ทำการวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 250 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์_อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และ หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น โดยใช้สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่ตรวจวัดได้จากการทดลอง และใช้สมการที่ 2.9

6. คำนวณหาค่าขีดจำกัดของหัววัดรังสี โดยใช้สมการที่ 2.10

7. คำนวณหาค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา โดยใช้สมการที่ 2.13

8. นำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณหาค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) ของบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี

10. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs และค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ในตัวอย่างทรายชายหาด 250 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์_อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537-2545 ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993,2000)

11. สรุปผล วิจารณ์และเสนอแนะผลการวิจัยที่ได้

ภาพที่ 3.10 แผนที่จังหวัดปัตตานี

(ที่มา: http://www2.pattani.go.th)

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการที่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด ในจังหวัดปัตตานี หลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะไดอิชิในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น ชายหาดละ 50 ตัวอย่าง ***รวมทั้งหมด 250 ตัวอย่าง*** โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่มีใช้อยู่ประจำ ณ ห้องปฏิบัติการทดลองวิจัย อาคาร 1 ชั้น 4 ณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพมหานคร หลังจากการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล ทางผู้ทำวิจัยได้นำเสนอผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด ดังมีรายละเอียดของการนำเสนอ ดังต่อไปนี้

1. การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

2. ค่าประสิทธิภาพ (efficiency ; ξ) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6

3. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด

4. การคำนวณหาค่าดัชนีความเป็นอันตรายรังสี ได้แก่ ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate : D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity : Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index : H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate : AED_{out}) ในบริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ จังหวัดปัตตานี ซึ่งประชาชนและนักท่องเที่ยวในบริเวณจังหวัดปัตตานีและจังหวัดใกล้เคียงนิยมมาท่องเที่ยว โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด 250 ตัวอย่าง

5. การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs พร้อมทั้งค่าดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสีทั้ง 4 ค่า ในตัวอย่างทรายชายหาด ทั้งหมด 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ จังหวัดปัตตานี กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้มาข้างต้นกับค่าที่กำหนดไว้โดย

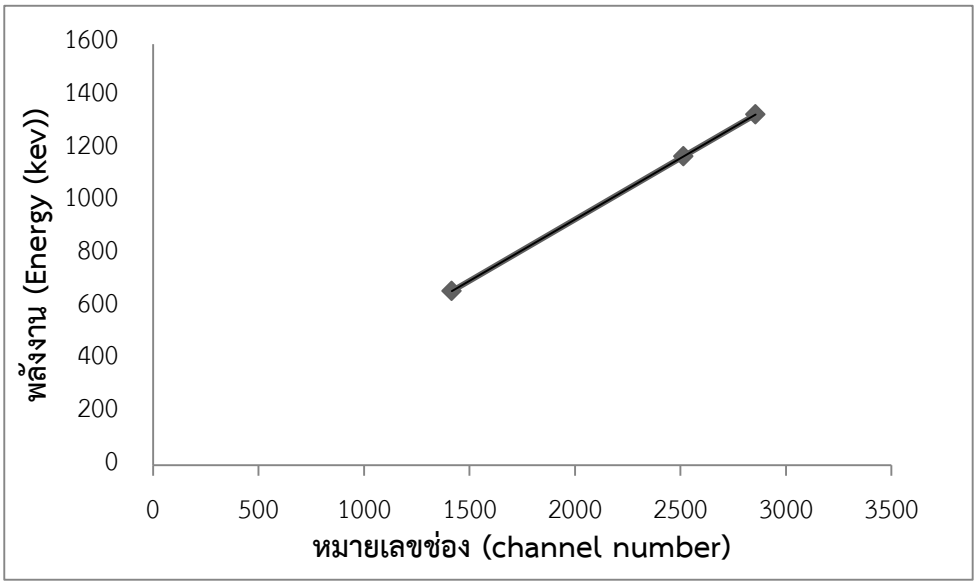
คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

ได้ทำการทดลองเพื่อสร้างกราฟการปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยกราฟที่ได้นี้ได้เขียนขึ้นระหว่างค่าพลังงาน (energy) ของรังสีแกมมาในหน่วยกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) กับค่าหมายเลขช่อง (channel number) ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (multichannel analyzer : MCA) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน 2 แหล่งกำเนิด คือ ^{137}Cs และ ^{60}Co และข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งสองแหล่งกำเนิดในการปรับเทียบ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟการปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมากับหมายเลขช่อง

ชนิดของแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน (standard sources)	หมายเลขช่อง (channel number)	พลังงานของรังสีแกมมา (keV)
^{137}Cs	704	661.7
^{60}Co	1252	1173.2
	1422	1332.5



ภาพที่ 4.1 กราฟการปรับเทียบพลังงานหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลอง

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA-SOIL-6

เป็นที่ทราบกันดีว่า ในการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณในตัวอย่างทรายชายหาด ตัวอย่างดินหรือตัวอย่างอาหาร จะต้องมีการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency ; Eff(ξ)) ของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสีที่ใช้ในการทดลอง โดยจะต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีดังกล่าวแล้วข้างต้น สำหรับแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี คือ แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6 โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 5,000 วินาที และจัดวางไว้ ณ ตำแหน่งบนหัววัด ซึ่งโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ Maestro ที่ได้ติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทำการประมวลผลข้อมูลของพื้นที่ใต้พีค (net count) ของโฟโตพีคที่มีปรากฏอยู่ในสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาที่ตรวจวัดได้ออกมาในรูปของข้อมูลจากการทดลอง หลังจากนั้นได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสี โดยใช้สมการที่ 4.1 และ 4.2 ดังต่อไปนี้

$$\mathrm{Eff}\left(\xi\right) = \frac{\mathrm{cps}}{\mathrm{dps} \times P\gamma} \tag{4.1}$$

โดยที่ cps ซึ่งย่อมาจาก count per second หมายถึง ค่าที่นับได้จากการทดลองวัด

dps ซึ่งย่อมาจาก disintegration per second หมายถึง ค่าที่นับได้จากการคำนวณ หรือค่ากัมมันตภาพของแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลอง

และ

$$dps = A_0 e^{-\lambda t} \tag{4.2}$$

สำหรับข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6 เช่น ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0) ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ) และเวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t) เป็นต้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6

ข้อมูล	ชนิดของไอโซโทป				หมายเหตุ
	^{226}Ra	^{214}Pb	^{214}Bi	^{137}Cs	
ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0)	79.92			53.65	คำนวณไว้เมื่อ พ.ศ.2526
ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) (Day)	584000			10950	
ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ)	1.19×10^{-6}			6.33×10^{-5}	
เวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t)	~ 23 ปี			~ 23 ปี	
ค่ากัมมันตภาพปัจจุบัน (A_t)	78.79			25.05	ทำการคำนวณเมื่อ พ.ศ.2559

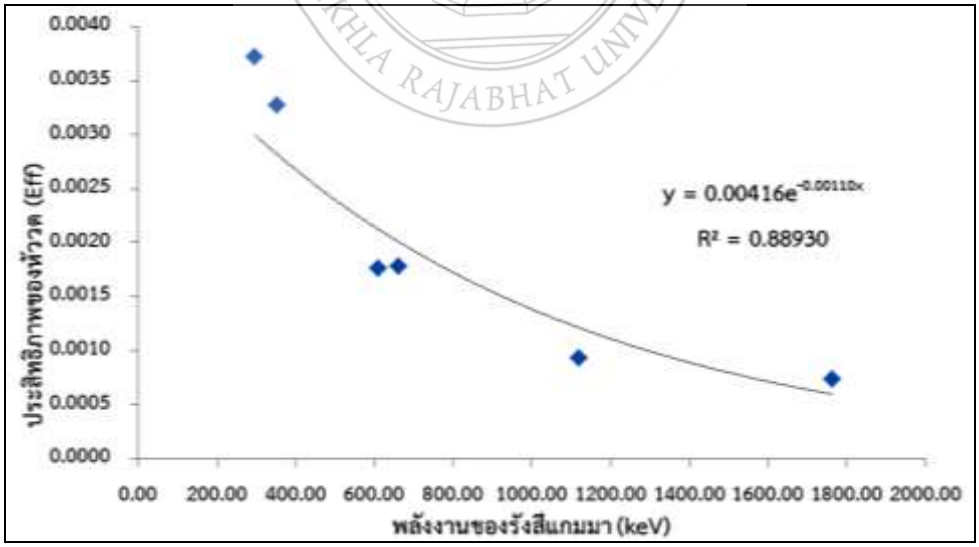
สำหรับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA-SOIL-6 ได้แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6

Series	Isotopes	Energy (keV)	Area	cps	dps	Eff (ξ)	Eff (ξ) (%)
Uranium	^{214}Pb	295.21	266	0.053	78.79	3.72×10^{-3}	0.372
	^{214}Pb	351.92	452	0.090	78.79	3.27×10^{-3}	0.327
	^{214}Bi	609.31	309	0.062	78.79	1.76×10^{-3}	0.176
	^{214}Bi	1120.29	54	0.011	78.79	9.33×10^{-4}	0.093
	^{214}Bi	1764.49	44	0.009	78.79	7.40×10^{-4}	0.074
	^{137}Cs	661.66	190	0.038	25.05	1.78×10^{-3}	0.178
Thorium	^{212}Pb	238.6	-	-	-	3.20×10^{-3}	0.320
	^{40}K	1460.8	-	-	-	8.30×10^{-4}	0.083

หมายเหตุ: สำหรับไอโซโทป ^{212}Pb ซึ่งอยู่ในอนุกรมทอเรียม และไอโซโทป ^{40}K ซึ่งไม่ได้อยู่ในอนุกรมใดๆ จะใช้สมการจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดกับพลังงานของรังสีแกมมา เพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดที่ย่านพลังงานของไอโซโทป ^{212}Pb และไอโซโทป ^{40}K

ต่อจากนั้น ได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.3 มาเขียนกราฟระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-6 กับค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่พิจารณา ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด

โดยการใช้สมการการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity : S.A.) ในบทที่ 2 และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จะสามารถคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific Activity : S.A.) ของไอโซโทปรังสีบางชนิดที่มีอยู่ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด ในจังหวัดปัตตานี จำนวน 250 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจที่จะตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclides) โดยเฉพาะ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ ^{137}Cs เท่านั้น โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 10000 วินาที โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่มีใช้อยู่ประจำ ณ ห้องปฏิบัติการทดลองวิจัย อาคาร 1 ชั้น 4 ณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพมหานคร ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวนี้ได้ใช้โปรแกรม Maestro ที่ได้ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงผลการคำนวณของพื้นที่ใต้พีค (net area) และได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs

ในที่นี้ได้แสดงผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ค่าพิสัยและค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี จำนวน 250 ตัวอย่าง ในตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
RDS – 01	358.75 ± 15.10	<22.52	10.31 ± 2.04	<1.17
RDS – 02	383.16 ± 15.13	<23.75	12.31 ± 1.98	<1.14
RDS – 03	545.86 ± 18.33	<24.74	10.89 ± 2.23	<1.58
RDS – 04	703.20 ± 20.68	24.56 ± 9.97	3.957 ± 2.307	<1.44
RDS – 05	480.08 ± 17.80	<22.81	13.578 ± 1.923	<1.18
RDS – 06	488.30 ± 17.34	<23.54	14.297 ± 1.972	<1.28
RDS – 07	343.14 ± 14.50	<21.67	<5.50	<1.16
RDS – 08	401.01 ± 15.32	<22.90	8.761 ± 2.312	<1.29
RDS – 09	399.21 ± 15.95	<22.22	8.735 ± 2.154	<1.30

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
RDS – 10	322.55 ± 14.12	<22.38	11.44 ± 1.91	<1.10
RDS – 11	345.05 ± 14.12	<22.14	9.53 ± 1.91	<1.26
RDS – 12	377.06 ± 15.03	<23.49	12.54 ± 1.72	<1.24
RDS – 13	390.20 ± 15.13	<22.20	7.93 ± 1.92	<1.21
RDS – 14	292.27 ± 13.27	<22.06	10.63 ± 1.79	<1.02
RDS – 15	296.86 ± 13.74	<21.33	10.17 ± 1.80	<1.10
RDS – 16	277.15 ± 12.98	<21.93	12.58 ± 1.81	<1.40
RDS – 17	246.65 ± 13.24	<20.57	8.10 ± 1.91	<0.94
RDS – 18	270.52 ± 13.79	<21.15	9.61 ± 2.04	<1.03
RDS – 19	290.87 ± 13.26	<22.14	7.66 ± 1.98	<1.24
RDS – 20	200.27 ± 11.96	<21.59	7.18 ± 1.92	<0.98
RDS – 21	289.71 ± 10.38	<22.20	8.37 ± 1.32	<0.97
RDS – 22	333.97 ± 10.78	31.89 ± 6.87	9.47 ± 1.43	<0.95
RDS – 23	310.32 ± 10.83	22.90 ± 6.68	10.47 ± 1.53	<1.04
RDS – 24	393.11 ± 12.60	26.68 ± 7.14	10.83 ± 1.48	<0.95
RDS – 25	299.83 ± 10.42	<21.63	6.12 ± 1.29	<0.98
RDS – 26	430.51 ± 12.39	<23.42	13.07 ± 1.36	<0.99
RDS – 27	591.84 ± 14.65	24.27 ± 7.22	12.46 ± 1.60	<1.23
RDS – 28	395.59 ± 11.67	30.68 ± 6.61	12.50 ± 1.47	<1.03
RDS – 29	322.57 ± 10.92	<23.10	10.51 ± 1.40	<0.79
RDS – 30	592.10 ± 18.44	36.33 ± 10.39	14.06 ± 1.93	<1.75
RDS – 31	509.15 ± 13.88	24.62 ± 7.08	10.24 ± 1.37	<1.08
RDS – 32	446.33 ± 12.84	<28.64	22.79 ± 1.86	<1.08
RDS – 33	358.31 ± 11.38	<22.14	10.57 ± 1.56	<1.07
RDS – 34	496.91 ± 12.83	<23.74	11.29 ± 1.49	<1.06
RDS – 35	370.80 ± 18.48	26.40 ± 6.66	10.06 ± 1.34	<1.05
RDS – 36	468.15 ± 13.22	46.86 ± 7.78	18.81 ± 1.67	<1.26
RDS – 37	275.05 ± 10.30	21.82 ± 6.77	11.49 ± 1.31	<1.07

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
RDS – 38	538.01 ± 14.05	<27.10	11.18 ± 1.74	<1.08
RDS – 39	490.76 ± 14.26	26.96 ± 7.55	10.66 ± 1.77	<1.12
RDS – 40	485.47 ± 14.25	42.13 ± 7.73	13.73 ± 1.71	<1.24
RDS – 41	505.47 ± 14.00	31.97 ± 7.60	11.72 ± 1.58	<1.27
RDS – 42	664.69 ± 15.74	<25.28	14.00 ± 1.62	<1.08
RDS – 43	573.08 ± 14.54	<23.79	8.36 ± 1.70	<1.18
RDS – 44	597.78 ± 15.18	<24.77	9.82 ± 1.80	<1.06
RDS – 45	521.23 ± 14.35	<25.41	12.11 ± 1.78	<1.24
RDS – 46	553.92 ± 14.38	39.88 ± 7.84	10.65 ± 1.78	<1.20
RDS – 47	632.65 ± 15.60	41.25 ± 8.16	13.57 ± 1.70	<1.30
RDS – 48	572.46 ± 14.42	29.56 ± 7.68	11.88 ± 1.75	<1.21
RDS – 49	477.36 ± 13.37	<27.73	19.60 ± 1.84	<1.10
RDS – 50	469.77 ± 13.65	<27.85	18.04 ± 1.78	<1.11
Range	**200.27 – 703.20**	**21.82 – 46.86**	**3.96 – 22.79**	**< LLD**
Average	**427.58 ± 14.09**	**31.10 ± 7.63**	**11.40 ± 1.75**	**< LLD**

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 4.5 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
TKP – 01	1763.39 ± 86.85	78.79 ± 5.13	126.70 ± 5.60	<1.83
TKP – 02	1612.08 ± 83.49	161.94 ± 7.12	344.00 ± 9.09	<2.32
TKP – 03	1510.40 ± 81.16	112.76 ± 6.02	186.98 ± 6.75	<2.03
TKP – 04	1458.56 ± 79.98	61.26 ± 4.61	102.75 ± 5.08	<1.75
TKP – 05	1361.44 ± 77.56	179.91 ± 7.48	366.68 ± 9.37	<2.42
TKP – 06	1444.12 ± 79.54	174.61 ± 7.37	443.27 ± 10.29	<2.47
TKP – 07	1372.53 ± 77.83	86.28 ± 5.34	204.12 ± 7.04	<2.13
TKP – 08	1396.98 ± 78.47	1831.57 ± 23.23	5191.68 ± 34.99	<2.64
TKP – 09	1411.42 ± 78.80	764.60 ± 15.07	2548.72 ± 24.52	<2.55
TKP – 10	1467.01 ± 80.21	374.22 ± 10.63	867.52 ± 14.36	<2.51
TKP – 11	1607.60 ± 83.36	459.57 ± 11.74	1274.20 ± 17.36	<2.53
TKP – 12	1506.83 ± 81.08	135.92 ± 6.56	268.27 ± 8.05	<2.22
TKP – 13	1559.70 ± 82.31	39.55 ± 3.85	65.48 ± 4.12	<1.37
TKP – 14	1542.52 ± 81.85	46.22 ± 4.10	80.91 ± 4.54	<1.41
TKP – 15	1659.26 ± 84.49	35.10 ± 3.68	49.39 ± 3.63	<1.31
TKP – 16	2334.90 ± 98.52	40.15 ± 3.88	57.73 ± 3.89	<1.35
TKP – 17	1600.32 ± 83.21	46.84 ± 4.12	86.62 ± 4.68	<1.39
TKP – 18	1595.21 ± 83.05	40.08 ± 3.87	50.10 ± 3.65	<1.32
TKP – 19	2263.50 ± 97.15	51.88 ± 4.30	84.13 ± 4.62	<1.39
TKP – 20	1387.75 ± 78.20	243.37 ± 8.63	611.72 ± 12.06	<2.44
TKP – 21	1347.67 ± 77.27	147.58 ± 6.82	328.43 ± 8.88	<2.39
TKP – 22	1268.52 ± 75.32	231.35 ± 8.43	606.30 ± 12.01	<2.44
TKP – 23	1463.02 ± 79.99	62.88 ± 4.65	113.58 ± 5.32	<2.00
TKP – 24	1685.66 ± 85.08	42.41 ± 3.96	48.21 ± 3.59	<1.27
TKP – 25	1587.45 ± 82.87	286.63 ± 9.33	744.53 ± 13.29	<2.46
TKP – 26	1471.85 ± 80.24	141.10 ± 6.68	305.04 ± 8.56	<2.41
TKP – 27	1615.04 ± 83.53	151.91 ± 6.91	329.00 ± 8.89	<2.42

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
TKP – 28	1423.79 ± 79.13	319.01 ± 9.83	897.39 ± 14.59	<2.51
TKP – 29	1873.96 ± 89.15	36.27 ± 3.72	46.33 ± 3.53	<1.51
TKP – 30	1683.47 ± 85.08	47.72 ± 4.15	62.15 ± 4.02	<1.44
TKP – 31	531.51 ± 13.86	<21.07	6.78 ± 1.46	<0.97
TKP – 32	421.63 ± 12.33	105.15 ± 11.64	116.10 ± 3.57	<2.01
TKP – 33	379.91 ± 11.38	44.46 ± 8.31	45.22 ± 2.32	<1.27
TKP – 34	456.99 ± 12.92	32.05 ± 7.86	34.44 ± 2.10	<1.43
TKP – 35	448.83 ± 12.52	24.68 ± 6.33	18.09 ± 1.72	<1.23
TKP – 36	297.43 ± 10.62	61.82 ± 8.42	54.58 ± 2.38	<1.29
TKP – 37	384.11 ± 11.58	42.40 ± 7.83	31.07 ± 2.06	<1.16
TKP – 38	319.54 ± 11.38	54.02 ± 8.94	52.90 ± 2.50	<1.35
TKP – 39	428.18 ± 12.42	34.58 ± 9.03	43.62 ± 2.49	<1.43
TKP – 40	539.93 ± 14.30	138.86 ± 14.96	187.62 ± 4.50	<2.23
TKP – 41	147.62 ± 9.99	<29.02	16.71 ± 2.00	<1.26
TKP – 42	393.87 ± 12.16	119.94 ± 11.89	105.12 ± 3.52	<1.80
TKP – 43	125.98 ± 10.29	48.17 ± 8.41	24.18 ± 1.85	<1.38
TKP – 44	142.22 ± 11.74	31.51 ± 7.51	15.43 ± 1.84	<1.27
TKP – 45	377.41 ± 11.56	35.73 ± 6.58	22.19 ± 1.68	<1.16
TKP – 46	347.44 ± 11.42	39.20 ± 8.14	34.64 ± 2.06	<1.31
TKP – 47	342.30 ± 11.69	134.25 ± 13.10	140.65 ± 3.84	<1.88
TKP – 48	420.19 ± 12.42	78.55 ± 9.71	66.78 ± 2.94	<1.71
TKP – 49	448.98 ± 13.33	138.53 ± 14.61	182.07 ± 4.39	<2.28
TKP – 50	300.98 ± 11.40	117.02 ± 12.91	142.27 ± 3.85	<1.81
Range	**125.98 – 2334.90**	**24.68 – 1831.57**	**6.78 – 5191.68**	**< LLD**
Average	**1090.62 ± 54.28**	**160.68 ± 8.07**	**356.65 ± 6.59**	**< LLD**

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
PNR – 01	450.82 ± 14.42	38.18 ± 10.03	15.19 ± 2.33	<1.43
PNR – 02	335.45 ± 11.89	<24.16	14.60 ± 1.77	<1.14
PNR – 03	350.09 ± 11.95	40.75 ± 10.20	32.70 ± 2.28	<1.20
PNR – 04	325.23 ± 11.76	93.22 ± 12.75	78.26 ± 3.32	<1.51
PNR – 05	501.02 ± 13.67	35.73 ± 8.78	18.99 ± 2.21	<1.32
PNR – 06	507.47 ± 13.68	46.53 ± 10.57	38.59 ± 2.51	<1.44
PNR – 07	458.26 ± 12.79	53.18 ± 10.52	40.87 ± 2.71	<1.38
PNR – 08	553.27 ± 15.65	<35.71	36.64 ± 2.76	<1.43
PNR – 09	505.07 ± 14.07	58.56 ± 13.88	81.03 ± 3.31	<1.65
PNR – 10	568.73 ± 15.95	238.05 ± 19.70	210.99 ± 5.06	<2.70
PNR – 11	607.82 ± 15.31	124.32 ± 15.32	98.39 ± 3.86	<2.25
PNR – 12	504.02 ± 13.14	54.55 ± 12.01	61.05 ± 3.08	<1.54
PNR – 13	361.61 ± 11.70	125.83 ± 14.53	94.11 ± 3.67	<1.89
PNR – 14	349.57 ± 13.59	281.42 ± 21.41	251.80 ± 5.54	<2.55
PNR – 15	345.78 ± 11.83	83.28 ± 13.71	88.74 ± 3.43	<1.67
PNR – 16	497.75 ± 13.51	45.65 ± 11.99	50.99 ± 2.84	<1.44
PNR – 17	594.68 ± 14.92	<36.50	50.05 ± 2.75	<1.53
PNR – 18	558.82 ± 13.97	32.02 ± 9.83	33.91 ± 2.29	<1.26
PNR – 19	451.02 ± 12.95	40.93 ± 10.54	38.27 ± 2.53	<1.33
PNR – 20	502.13 ± 14.77	180.71 ± 20.69	209.89 ± 5.08	<2.62
PNR – 21	516.25 ± 14.45	107.66 ± 15.63	117.84 ± 3.81	<2.00
PNR – 22	523.04 ± 13.38	<31.13	28.75 ± 2.34	<1.28
PNR – 23	574.46 ± 13.93	52.04 ± 10.00	37.79 ± 2.51	<1.47
PNR – 24	544.26 ± 14.49	59.81 ± 11.30	49.93 ± 2.76	<1.62
PNR – 25	520.86 ± 16.93	80.04 ± 10.56	53.22 ± 3.05	<1.23
PNR – 26	428.61 ± 18.35	<32.27	18.87 ± 2.40	<0.98
PNR – 27	500.46 ± 16.93	45.06 ± 12.21	55.92 ± 3.05	<1.13

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
PNR – 28	415.63 ± 15.28	35.58 ± 9.64	35.20 ± 2.52	<0.93
PNR – 29	415.63 ± 16.56	55.79 ± 11.02	48.61 ± 2.87	<0.97
PNR – 30	461.00 ± 17.38	56.39 ± 10.39	39.77 ± 2.72	<0.92
PNR – 31	417.39 ± 15.16	47.37 ± 11.16	51.30 ± 2.96	<1.06
PNR – 32	414.28 ± 16.23	52.43 ± 12.47	64.59 ± 3.35	<1.31
PNR – 33	472.57 ± 17.65	46.29 ± 11.21	47.31 ± 3.10	<1.25
PNR – 34	461.12 ± 16.17	92.01 ± 14.26	110.40 ± 4.25	<1.52
PNR – 35	495.29 ± 17.90	84.36 ± 14.29	96.47 ± 4.14	<1.35
PNR – 36	582.03 ± 14.59	110.65 ± 21.33	151.07 ± 4.21	<2.07
PNR – 37	524.90 ± 13.76	42.79 ± 7.06	22.80 ± 1.90	<1.21
PNR – 38	528.54 ± 14.14	154.14 ± 20.46	157.06 ± 4.08	<2.15
PNR – 39	498.43 ± 13.08	53.39 ± 8.80	44.55 ± 2.40	<1.50
PNR – 40	443.16 ± 12.55	63.50 ± 13.61	53.37 ± 2.57	<1.51
PNR – 41	264.31 ± 10.31	200.10 ± 21.99	185.19 ± 4.59	<2.16
PNR – 42	288.13 ± 9.91	42.67 ± 12.20	39.70 ± 2.17	<1.26
PNR – 43	251.16 ± 9.86	42.21 ± 8.78	50.51 ± 2.43	<1.30
PNR – 44	251.23 ± 11.13	326.47 ± 29.09	354.43 ± 5.86	<2.84
PNR – 45	474.46 ± 13.22	<29.68	38.01 ± 2.19	<1.30
PNR – 46	538.63 ± 13.46	47.81 ± 7.38	27.20 ± 1.99	<1.34
PNR – 47	555.35 ± 13.72	69.03 ± 12.38	41.78 ± 2.34	<1.21
PNR – 48	572.20 ± 14.65	51.86 ± 14.01	47.53 ± 2.54	<1.48
PNR – 49	448.36 ± 12.67	44.63 ± 8.55	48.41 ± 2.39	<1.52
PNR – 50	487.01 ± 13.48	77.18 ± 9.95	62.37 ± 2.79	<1.83
Range	**251.16 – 607.82**	**32.02 – 326.47**	**14.60 – 354.43**	**< LLD**
Average	**463.95 ± 14.06**	**84.41 ± 13.09**	**74.50 ± 3.07**	**< LLD**

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
WS – 01	565.26 ± 14.70	<5.99	12.22 ± 1.93	<1.07
WS – 02	558.61 ± 14.13	29.17 ± 7.52	17.53 ± 1.71	<1.03
WS – 03	597.39 ± 14.50	31.61 ± 7.15	11.59 ± 1.40	<1.04
WS – 04	632.24 ± 14.73	<24.34	15.32 ± 1.63	<1.02
WS – 05	657.06 ± 14.92	<24.72	14.65 ± 1.59	<1.03
WS – 06	534.69 ± 14.01	<23.40	7.77 ± 1.60	<1.02
WS – 07	508.64 ± 15.96	30.09 ± 9.33	17.13 ± 1.98	<1.23
WS – 08	511.10 ± 13.87	49.05 ± 8.25	28.86 ± 2.05	<1.22
WS – 09	494.07 ± 16.82	<23.86	17.14 ± 2.13	<1.19
WS – 10	564.45 ± 18.73	23.26 ± 8.92	10.48 ± 2.05	<1.18
WS – 11	516.34 ± 16.46	<24.50	16.61 ± 1.99	<1.21
WS – 12	492.15 ± 18.46	<2.908	11.27 ± 2.26	<1.051
WS – 13	574.55 ± 14.37	28.55 ± 7.47	12.98 ± 1.70	<1.11
WS – 14	458.99 ± 16.59	<21.33	10.34 ± 1.72	<1.22
WS – 15	494.52 ± 16.96	<23.94	6.93 ± 2.11	<1.11
WS – 16	511.66 ± 17.00	<21.99	10.83 ± 2.12	<1.31
WS – 17	564.26 ± 13.96	<24.79	18.23 ± 1.64	<1.00
WS – 18	522.20 ± 13.62	31.00 ± 7.21	14.40 ± 1.50	<1.14
WS – 19	424.55 ± 15.65	<24.46	5.82 ± 2.40	<1.18
WS – 20	392.90 ± 11.89	<22.28	9.47 ± 1.40	<1.04
WS – 21	329.64 ± 14.73	<22.69	16.38 ± 2.11	<1.24
WS – 22	423.62 ± 15.69	<24.21	13.65 ± 1.88	<1.01
WS – 23	408.26 ± 11.96	54.37 ± 8.52	26.23 ± 1.97	<1.57
WS – 24	482.41 ± 13.46	25.44 ± 7.34	15.80 ± 1.58	<1.12
WS – 25	518.49 ± 13.59	<24.78	16.53 ± 1.59	<1.27
WS – 26	419.03 ± 12.09	<27.05	20.63 ± 1.75	<1.12
WS – 27	474.59 ± 13.06	27.95 ± 7.27	13.86 ± 1.61	<0.99

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
WS – 28	423.21 ± 15.59	<24.72	10.65 ± 1.87	<1.24
WS – 29	468.60 ± 12.97	<23.47	11.49 ± 1.47	<1.09
WS – 30	375.99 ± 15.16	<23.51	19.65 ± 1.87	<1.30
WS – 31	414.45 ± 12.37	35.80 ± 7.47	16.57 ± 1.61	<0.84
WS – 32	438.57 ± 12.52	28.79 ± 7.80	16.61 ± 1.68	<1.11
WS – 33	408.89 ± 12.37	40.44 ± 7.07	16.60 ± 1.56	<1.03
WS – 34	396.53 ± 12.22	23.64 ± 7.17	13.48 ± 1.49	<1.06
WS – 35	407.10 ± 11.94	28.97 ± 7.41	12.97 ± 1.59	<1.26
WS – 36	362.86 ± 11.56	39.71 ± 8.69	29.89 ± 2.15	<1.63
WS – 37	399.36 ± 12.17	34.79 ± 7.79	25.50 ± 1.77	<1.33
WS – 38	433.18 ± 12.55	25.81 ± 7.17	14.50 ± 1.59	<1.18
WS – 39	402.84 ± 12.12	<24.54	< 8.72	<1.09
WS – 40	323.92 ± 10.77	53.39 ± 8.37	28.79 ± 2.03	<1.19
WS – 41	381.44 ± 11.68	<28.26	26.36 ± 1.85	<1.29
WS – 42	264.29 ± 12.69	<28.15	28.32 ± 2.28	<1.15
WS – 43	407.77 ± 12.65	<24.40	9.83 ± 1.41	<0.98
WS – 44	393.45 ± 12.02	46.77 ± 7.69	20.97 ± 1.84	<1.04
WS – 45	366.98 ± 11.51	25.06 ± 7.35	16.77 ± 1.67	<1.11
WS – 46	362.08 ± 11.42	<23.97	13.04 ± 1.38	<1.05
WS – 47	413.12 ± 12.64	<21.54	11.75 ± 1.32	<0.97
WS – 48	317.09 ± 14.67	<23.52	14.80 ± 1.98	<1.14
WS – 49	290.04 ± 13.03	<20.32	13.62 ± 1.70	<1.14
WS – 50	369.94 ± 11.51	<25.50	21.13 ± 1.77	<1.07
Range	**264.29 – 657.06**	**23.26 – 54.37**	**5.82 – 29.89**	**< LLD**
Average	**449.07 ± 13.80**	**33.98 ± 7.76**	**16.04 ± 1.78**	**< LLD**

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
PM – 01	434.61 ± 12.12	44.34 ± 10.12	36.96 ± 2.50	<1.25
PM – 02	542.11 ± 14.32	38.33 ± 7.81	20.57 ± 1.88	<1.12
PM – 03	632.26 ± 19.32	43.80 ± 11.12	22.31 ± 2.46	<1.70
PM – 04	410.89 ± 12.39	<24.69	24.35 ± 1.75	<1.24
PM – 05	391.52 ± 11.94	39.65 ± 9.59	31.23 ± 2.25	<1.20
PM – 06	391.05 ± 12.24	<25.45	15.75 ± 1.78	<1.18
PM – 07	438.51 ± 12.37	<25.55	14.85 ± 1.93	<1.25
PM – 08	345.98 ± 11.53	50.25 ± 9.97	40.53 ± 2.42	<1.22
PM – 09	381.22 ± 11.72	29.52 ± 8.56	20.46 ± 1.93	<1.08
PM – 10	388.76 ± 11.79	34.22 ± 9.05	30.57 ± 2.13	<1.18
PM – 11	401.36 ± 12.14	30.84 ± 8.42	16.08 ± 1.95	<1.22
PM – 12	377.31 ± 11.72	25.24 ± 7.71	16.14 ± 1.75	<1.19
PM – 13	410.40 ± 12.22	<26.41	14.97 ± 1.96	<1.01
PM – 14	372.15 ± 11.65	<23.00	8.73 ± 1.92	<0.95
PM – 15	391.44 ± 11.74	<26.75	17.83 ± 1.94	<1.06
PM – 16	452.15 ± 12.97	<24.68	8.24 ± 2.12	<1.23
PM – 17	371.72 ± 11.96	34.27 ± 8.74	24.63 ± 2.06	<1.11
PM – 18	548.68 ± 15.19	<24.46	6.54 ± 1.87	<1.27
PM – 19	420.22 ± 12.96	40.61 ± 10.71	37.20 ± 2.63	<1.30
PM – 20	342.75 ± 11.25	34.35 ± 9.57	29.39 ± 2.34	<1.34
PM – 21	368.45 ± 11.79	<29.12	28.26 ± 2.04	<1.18
PM – 22	354.93 ± 11.56	30.81 ± 8.69	18.70 ± 2.05	<1.14
PM – 23	377.18 ± 12.17	<27.38	27.63 ± 2.23	<1.29
PM – 24	408.09 ± 11.89	35.93 ± 8.47	17.77 ± 1.96	<1.16
PM – 25	408.60 ± 12.68	42.75 ± 8.56	20.96 ± 2.07	<1.16
PM – 26	378.94 ± 12.30	<26.48	17.87 ± 1.92	<1.08
PM – 27	397.89 ± 12.17	35.87 ± 8.43	18.44 ± 1.95	<1.16

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
PM – 28	460.79 ± 13.08	40.26 ± 8.60	15.70 ± 2.14	<1.07
PM – 29	517.79 ± 13.40	28.17 ± 7.71	9.13 ± 1.89	<1.08
PM – 30	464.02 ± 12.98	38.94 ± 8.10	13.68 ± 1.97	<1.02
PM – 31	452.56 ± 12.70	29.65 ± 9.45	16.47 ± 1.61	<1.27
PM – 32	418.00 ± 12.37	34.44 ± 7.92	17.98 ± 1.84	<1.08
PM – 33	455.16 ± 12.73	<27.37	9.79 ± 1.61	<1.09
PM – 34	451.06 ± 12.75	58.23 ± 11.82	35.78 ± 2.22	<1.36
PM – 35	470.87 ± 13.09	37.94 ± 8.39	16.83 ± 1.90	<1.10
PM – 36	491.31 ± 13.29	<25.49	9.34 ± 1.41	<0.72
PM – 37	559.39 ± 14.21	<27.00	13.43 ± 1.72	<1.00
PM – 38	528.54 ± 14.14	154.14 ± 20.46	157.06 ± 4.08	<2.15
PM – 39	587.47 ± 14.89	<27.73	10.94 ± 1.53	<1.19
PM – 40	524.49 ± 13.99	<26.87	15.37 ± 1.54	<1.03
PM – 41	961.57 ± 22.61	<36.24	10.43 ± 2.41	<1.59
PM – 42	594.98 ± 14.99	<27.75	11.08 ± 1.67	<1.16
PM – 43	369.26 ± 12.40	96.51 ± 18.88	132.54 ± 3.78	<1.99
PM – 44	357.57 ± 11.56	43.84 ± 11.51	36.42 ± 2.15	<1.36
PM – 45	335.94 ± 11.05	52.54 ± 12.39	45.29 ± 2.39	<1.29
PM – 46	312.83 ± 10.77	44.17 ± 7.29	32.66 ± 1.94	<1.27
PM – 47	307.68 ± 11.25	48.06 ± 12.40	42.75 ± 2.34	<1.20
PM – 48	297.43 ± 10.92	49.36 ± 12.40	42.94 ± 2.24	<1.27
PM – 49	318.97 ± 10.85	40.63 ± 12.11	33.21 ± 2.14	<1.23
PM – 50	297.66 ± 10.38	33.67 ± 10.45	27.43 ± 1.83	<1.04
Range	**297.43 – 961.57**	**25.24 – 154.14**	**6.54 – 157.06**	**< LLD**
Average	**433.49 ± 12.77**	**44.42 ± 10.17**	**26.86 ± 2.08**	**< LLD**

สำหรับค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในหน่วยของ Bq/kg ของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี จำนวน 250 ตัวอย่าง ได้สรุปผลไว้ในตารางที่ 4.9 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี จำนวน 250 ตัวอย่าง

ตัวอย่างทรายชายหาด	**ค่าพิสัยและค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย (Bq/kg)**			
	^{40}K	**^{226}Ra**	**^{232}Th**	**^{137}Cs**
1. หาดรัชดาภิเษก	200.27 – 703.20	21.82 – 46.86	3.96 – 22.79	< LLD
	427.58 ± 14.09	31.10 ± 7.63	11.40 ± 1.75	< LLD
2. หาดตะโละกาโปร์	125.98 – 2334.90	24.68 – 1831.57	6.78 – 5191.68	< LLD
	1090.62 ± 54.28	***160.68 ± 8.07***	***356.65 ± 6.59***	< LLD
3. หาดปะนาเระ	251.16 – 607.82	32.02 – 326.47	14.60 – 354.43	< LLD
	463.95 ± 14.06	84.41 ± 13.09	74.50 ± 3.07	< LLD
4. หาดวาสุกรี	264.29 – 657.06	23.26 – 54.37	5.82 – 29.89	< LLD
	449.07 ± 13.80	33.98 ± 7.76	16.04 ± 1.78	< LLD
5. หาดป่าไหม้	297.43 – 961.57	25.24 – 154.14	6.54 – 157.06	< LLD
	433.49 ± 12.77	44.42 ± 10.17	26.86 ± 2.08	< LLD

การคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ในบริเวณชายหาด จังหวัดปัตตานี โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี (ข้อมูลในหัวข้อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ)

สำหรับค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในบริเวณหรือพื้นที่ต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการหรือสูตรที่ได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้และความสนใจทางด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติทั่วโลก ในที่นี้จะใช้ข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยในหน่วยของ Bq/kg ของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในพื้นที่บริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ จังหวัดปัตตานี จำนวนทั้งหมด 4 ดัชนีความเสี่ยง ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัด

ความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) โดยใช้สมการที่ 2.14, 2.15, 2.16 และ 2.17 ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในบทที่ 2 ในการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ค่า ตามลำดับ และได้แสดงผลที่ได้ไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี พร้อมทั้งอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})

สถานที่	**ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของตัวอย่างทรายชายหาด (Bq/kg)**			**D (nGy/h)**	**Ra_{eq} (Bq/kg)**	**H_{ex}**	**AED_{out} (mSv/y)**
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th				
1. หาดรัชดาภิเษก	427.58	31.10	11.40	41.47	93.11	0.25	0.05
2. หาดตะโละกาโปร์	***1090.62***	***160.68***	***356.65***	***351.66***	***687.17***	***1.86***	***0.43***
3. หาดปะนาเระ	463.95	84.41	74.50	108.10	236.62	0.64	0.13
4. หาดวาสุกรี	449.07	33.98	16.04	45.81	101.77	0.27	0.06
5. หาดป่าไหม้	433.49	44.42	26.86	58.23	128.38	0.35	0.07

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้มาข้างต้นกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

ได้แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในหน่วยของ Bq/kg ของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ จังหวัดปัตตานี พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate : D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity : Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index : H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate : AED_{out}) โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้มาข้างต้นกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง กับข้อมูลที่มีอยู่ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก

สถานที่	**ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของตัวอย่างทรายชายหาด (Bq/kg)**				**D (nGy/h)**	**Ra_{eq} (Bq/kg)**	**H_{ex}**	**AED_{out} (mSv/y)**
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs				
หาดรัชดาภิเษก	427.58	31.10	11.40	<LLD	41.47	93.11	0.25	0.05
หาดตะโละกาโปร์	***1090.62***	***160.68***	***356.65***	<LLD	***351.66***	***687.17***	***1.86***	***0.43***
หาดปะนาเระ	463.95	84.41	74.50	<LLD	108.10	236.62	0.64	0.13
หาดวาสุกรี	449.07	33.98	16.04	<LLD	45.81	101.77	0.27	0.06
หาดป่าไหม้	433.49	44.42	26.86	<LLD	58.23	128.38	0.35	0.07
หาดชลาทัศน์ จ.สงขลา (ประสงค์ เกษราธิคุณ, 2558)	488.05	28.58	30.11	2.08	52.14	109.21	0.29	0.06
หาดสมิหลา จ.สงขลา (ประสงค์ เกษราธิคุณ, 2558)	868.51	30.50	23.31	–*	64.54	130.71	0.35	0.08
หาดเฉวง จ.สุราษฎร์ธานี (ประสงค์ เกษราธิคุณ, 2552)	373.30	18.85	23.53	-*	38.80	81.24	0.22	0.05
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้)	511.04	171.55	211.19	1.13	231.81	512.90	1.39	0.28
North east coast of Tamilnadu, India (SureshGandi et al., 2014)	349.60	35.12	713.60	–*	504.75	1081.86	2.92	0.62
Xiamen Island, China (Huang, Y.,2015)	396.40	14.60	10.90	–*	29.86	60.71	0.16	0.04
Jing Jin Ji, China (Ye Zhao et al., 2012)	–*	–*	–*	*12.90*	–*	–*	–*	–*
UNSCEAR (1988, 1993, 2000)	400.00	35.00	30.00	– *	55.00	370.00	1.00	0.48

* ไม่มีข้อมูล

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะของการวิจัย

จากผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น ชายหาดละ 50 ตัวอย่าง ***รวมทั้งหมด 250 ตัวอย่าง*** ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางต่างๆ ในบทที่ 4 แล้วนั้น ทำให้สามารถสรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผลการทำวิจัยที่ได้ และนอกจากนี้ยังได้นำเสนอข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ได้จากประสบการณ์การทำวิจัยในครั้งนี้ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณชายหาด จำนวน 5 ชายหาด ในจังหวัดปัตตานี ได้แก่ หาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้

เมื่อพิจารณาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ**หาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี** ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 200.27 – 703.20 Bq/kg สำหรับ ^{40}K, 21.82 – 46.86 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra, 3.96 – 22.79 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ <LLD สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 427.58 ± 14.09 Bq/kg, 31.10 ± 7.63 Bq/kg, 11.40 ± 1.75 Bq/kg และ <LLD ตามลำดับ

ส่วนปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ**หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี** ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 125.98 – 2334.90 Bq/kg สำหรับ ^{40}K, 24.68 – 1831.57 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra, 6.78 – 5191.68 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ <LLD สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 1090.62 ± 54.28 Bq/kg, 160.68 ± 8.07 Bq/kg, 356.65 ± 6.59 Bq/kg และ <LLD ตามลำดับ

ส่วนปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ**หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ จังหวัดปัตตานี** ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 251.16 – 607.82 Bq/kg สำหรับ ^{40}K, 32.02 – 326.47

Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra, 14.60 – 354.43 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ <LLD สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 463.95 ± 14.06 Bq/kg, 84.41 ± 13.09 Bq/kg, 74.50 ± 3.07 Bq/kg และ <LLD ตามลำดับ

สำหรับปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ**หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี** ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 264.29 – 657.06 Bq/kg สำหรับ ^{40}K, 23.26 – 54.37 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra, 5.82 – 29.89 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ <LLD สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 449.07 ± 13.80 Bq/kg, 33.98 ± 7.76 Bq/kg, 16.04 ± 1.78 Bq/kg และ <LLD ตามลำดับ

และปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ**หาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี** ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 297.43 – 961.57 Bq/kg สำหรับ ^{40}K, 25.24 – 154.14 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra, 6.54 – 157.06 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ <LLD สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 433.49 ± 12.77 Bq/kg, 44.42 ± 10.17 Bq/kg, 26.86 ± 2.08 Bq/kg และ <LLD ตามลำดับ

โดย**ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{40}K** มีค่ามากที่สุดที่บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** คือ 1090.62 ± 54.28 Bq/kg รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ มีค่าเฉลี่ยเป็น 463.95 ± 14.06 Bq/kg, หาดวาสุกรี มีค่าเฉลี่ยเป็น 449.07 ± 13.80 Bq/kg, หาดป่าไหม้ มีค่าเฉลี่ยเป็น 433.49 ± 12.77 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่บริเวณ**หาดรัชดาภิเษก** คือ 427.58 ± 14.09 Bq/kg

ส่วน**ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{226}Ra** มีค่ามากที่สุดที่บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** คือ 160.68 ± 8.07 Bq/kg รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ มีค่าเฉลี่ยเป็น 84.41 ± 13.09 Bq/kg, หาดป่าไหม้ มีค่าเฉลี่ยเป็น 44.42 ± 10.17 Bq/kg, หาดวาสุกรี มีค่าเฉลี่ยเป็น 33.98 ± 7.76 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่บริเวณ**หาดรัชดาภิเษก** คือ 31.10 ± 7.63 Bq/kg

สำหรับ**ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{232}Th** มีค่ามากที่สุดที่บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** คือ 356.65 ± 6.59 Bq/kg รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ มีค่าเฉลี่ยเป็น 74.50 ± 3.07 Bq/kg, หาดป่าไหม้ มีค่าเฉลี่ยเป็น 26.86 ± 2.08 Bq/kg, หาดวาสุกรี มีค่าเฉลี่ยเป็น 16.04 ± 1.78 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่บริเวณ**หาดรัชดาภิเษก** คือ 11.40 ± 1.75 Bq/kg

และ**ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{137}Cs** มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่หัววัดสามารถนับวัดได้ (< LLD) ทุกชายหาด

2. ผลการวิเคราะห์ดัชนีความเสี่ยงทางรังสี บริเวณชายหาดของจังหวัดปัตตานี โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณชายหาด จำนวน 5 ชายหาด ในจังหวัดปัตตานี

สำหรับค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในบริเวณต่างๆ สามารถคำนวณได้ โดยการนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในหน่วยของ Bq/kg ของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 – 4.8) ไปคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายทางรังสีบริเวณชายหาดจังหวัดสงขลา ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) เพื่อประเมินความเป็นอันตรายจากการได้รับรังสีในธรรมชาติของประชาชนและนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวในบริเวณดังกล่าว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 พบว่า

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) มีค่า***มากที่สุด***บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** มีค่าเฉลี่ยเป็น 351.66 nGy/h รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ หาดป่าไหม้ หาดวาสุกรี และหาดรัชดาภิเษก มีค่าเฉลี่ยเป็น 108.10 , 58.23 , 45.81 และ 41.47 nGy/h ตามลำดับ

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})** มีค่า***มากที่สุด***บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** มีค่าเฉลี่ยเป็น 687.17 Bq/kg รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ หาดป่าไหม้ หาดวาสุกรี และหาดรัชดาภิเษก มีค่าเฉลี่ยเป็น 236.62 , 128.38 , 101.77 และ 93.11 Bq/kg ตามลำดับ

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** มีค่า***มากที่สุด***บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.86 รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ หาดป่าไหม้ หาดวาสุกรี และหาดรัชดาภิเษก มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.64 , 0.35 , 0.27 และ 0.25 ตามลำดับ

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** มีค่า***มากที่สุด***บริเวณ**หาดตะโละกาโปร์** มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.43 mSv/y รองลงมา คือ บริเวณหาดปะนาเระ หาดป่าไหม้ หาดวาสุกรี และหาดรัชดาภิเษก มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.13 , 0.07 , 0.06 และ 0.05 mSv/y ตามลำดับ

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างทรายชายหาด กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้มาข้างต้นกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณ 5 ชายหาด จังหวัดปัตตานี ได้แก่ หาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ กับข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของนักวิจัยในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่า

1. บริเวณ<u>หาดรัชดาภิเษก</u>

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K (427.58 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา และข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra** (31.1 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในประเทศจีน แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th** (11.4 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs** (<LLD) มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน

2. บริเวณ<u>หาดตะโละกาโปร์</u>

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K (1090.62 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra** (160.68 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th** (356.65 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs** (<LLD) มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน

3. บริเวณ<u>หาดปะนาเระ</u>

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K (463.95 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา และข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra** (84.41 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th** (74.5 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่ว

โลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs** (<LLD) มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน

4. บริเวณ<u>หาดวาสุกรี</u>

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K (449.07 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา และข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra** (33.98 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th** (16.04 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs** (<LLD) มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน

5. บริเวณ<u>หาดป่าไหม้</u>

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K (433.49 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดเฉวง ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา และข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra** (44.42 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา หาดเฉวง

ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th** (26.86 Bq/kg) มีค่า***มากกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดสมิหลา หาดเฉวง และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน แต่มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs** (<LLD) มีค่า***น้อยกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากประเทศจีน

4. ผลการเปรียบเทียบดัชนีความเสี่ยงทางรังสีบริเวณชายหาดของจังหวัดปัตตานี กับข้อมูลที่มีอยู่ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

เมื่อทำการเปรียบเทียบดัชนีความเสี่ยงทางรังสี จำนวน 4 ดัชนี ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) กัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี กับข้อมูลที่มีอยู่ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) เพื่อใช้ในการประเมินการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่า

1. บริเวณ<u>หาดรัชดาภิเษก</u>

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) (41.47 nGy/h) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***<u>ต่ำกว่า</u>*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และ<u>ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก</u>* ***<u>(55 nGy/h)</u>***

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})** (93.11 Bq/kg) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (370 Bq/kg)*

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** (0.25) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (น้อยกว่า 1)*

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** (0.05 mSv/y) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (0.48 mSv/y)*

2. บริเวณหาดตะโละกาโปร์

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) (351.66 nGy/h) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก **(55 nGy/h)** แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย*

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})** (687.17 Bq/kg) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก **(370** Bq/kg) แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย*

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** (1.86) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก **(น้อยกว่า 1)** แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย*

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** (0.43 mSv/y) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (0.48 mSv/y)*

3. บริเวณหาดปะนาเระ

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) (108.10 nGy/h) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง ประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ

ทั่วโลก ***(55 nGy/h)*** แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย*

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})** (236.62 Bq/kg) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(370*** *Bq/kg)*

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** (0.64) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(น้อยกว่า 1)***

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** (0.13 mSv/y) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(0.48*** *mSv/y)*

4. บริเวณหาดวาสุกรี

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) (45.81 nGy/h) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(55 nGy/h)***

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})** (101.77 Bq/kg) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(370*** *Bq/kg)*

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** (0.27) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(น้อยกว่า 1)***

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** (0.06 mSv/y) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก* ***(0.48*** *mSv/y)*

5. บริเวณ<u>หาดป่าไหม้</u>

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) (58.23 nGy/h) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดชลาทัศน์ หาดเฉวง ประเทศจีน และ<u>ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก **(55 nGy/h)**</u> แต่มีค่า***<u>ต่ำกว่า</u>*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย*

ส่วน**ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})** (128.38 Bq/kg) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***<u>ต่ำกว่า</u>*** *ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย <u>และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก **(370** Bq/kg)</u>*

สำหรับ**ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** (0.35) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***<u>ต่ำกว่า</u>*** *ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย <u>และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก **(น้อยกว่า 1**)</u>*

และ**ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** (0.06 mSv/y) มีค่า***สูงกว่า*** ค่าที่คำนวณได้จากหาดชลาทัศน์ หาดเฉวง และประเทศจีน แต่มีค่า***<u>ต่ำกว่า</u>*** *ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ค่าที่คำนวณได้จากประเทศอินเดีย <u>และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (**0.48** mSv/y)</u>*

อภิปรายผลการวิจัย

จากการพิจารณาข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการวิจัยในบทที่ 4 และสรุปผลที่ได้จากการวิจัยในบทที่ 5 จะเห็นได้ว่า

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี ชายหาดละ 50 ตัวอย่าง ***รวมทั้งหมด 250 ตัวอย่าง*** มีค่า***สูงกว่า*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากหาดเฉวง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าที่ตรวจวัดได้จากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR) แต่มีค่า<u>*ต่ำกว่า*</u> ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากหาดชาทัศน์ หาดมิหลา จังหวัดสงขลา และข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย) *ยกเว้น* ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้จากหาดตะโละกาโปร์ มีค่า*สูงกว่า*ทุกบริเวณที่นำมาเปรียบเทียบ

ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี มีค่า***สูงกว่า***

ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา หาดเฉวง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าที่ตรวจวัดได้จากประเทศอินเดีย จีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย)

สำหรับค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}**Th** ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี มีค่า***ใกล้เคียงกับ*** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากหาดสมิหลา หาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา หาดเฉวง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าที่ตรวจวัดได้จากประเทศจีน และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก แต่มีค่า***ต่ำกว่า*** ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย) และค่าที่ตรวจวัดได้จากประเทศอินเดีย *ยกเว้น* ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้จากหาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง มีค่า*สูงกว่า*ทุกบริเวณที่นำมาเปรียบเทียบ แต่มีค่า*ต่ำกว่า* ค่าที่ตรวจวัดได้จากประเทศอินเดีย

และค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}**Cs** ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก หาดตะโละกาโปร์ อำเภอยะหริ่ง หาดปะนาเระ อำเภอปะนาเระ หาดวาสุกรี อำเภอสายบุรี และหาดป่าไหม้ อำเภอไม้แก่น จังหวัดปัตตานี มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของหัววัดที่สามารถนับวัดได้ (<LLD) ซึ่งกล่าวได้ว่า มีปริมาณน้อยมากๆ

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ ดังกล่าวนี้ ไปคำนวณ**อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D)** พบว่า มีค่า***สูงกว่า***ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000) *ยกเว้น* หาดรัชดาภิเษกและหาดวาสุกรี มีค่า***ต่ำกว่า*** ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR

สำหรับ**ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) และค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex})** ของบริเวณชายหาด จำนวน 5 ชายหาด ดังกล่าวนี้ พบว่า มีค่า***ต่ำกว่า*** ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000) *ยกเว้น* บริเวณหาดตะโละกาโปร์ มีค่า***สูงกว่า*** ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR

และ**ค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})** ของบริเวณชายหาด จำนวน 5 ชายหาด ดังกล่าวนี้ พบว่า มีค่า***ต่ำกว่า*** ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000)

จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 5 ชายหาด มีค่า***ใกล้เคียง***กับข้อมูลที่ตรวจวัดในชายหาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก ยกเว้น หาดตะโละกาโปร์ มีค่า*สูงกว่า* ทุกบริเวณที่นำมาเปรียบเทียบ และเป็น***ปัจจัยหลัก***ที่ทำให้ค่าอัตราปริมาณรังสี

แกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ที่คำนวณได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ มีค่า***เพิ่มมากขึ้น*** โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ที่มีค่า***สูงกว่า*** ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 250 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก หาดตะโละกาโปร์ หาดปะนาเระ หาดวาสุกรี และหาดป่าไหม้ ในการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงของการได้รับอันตรายจากรังสี โดยเฉพาะค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) และปริมาณของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดได้นี้มีค่าไม่แตกต่างไปจากค่าที่ตรวจวัดได้โดยนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้น เราสามารถกล่าวได้ว่า **"การเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะ ไดอิชิ ในประเทศญี่ปุ่น ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอันตรายในประเทศไทยแต่อย่างใด** ทั้งนี้เนื่องจากเราไม่ได้สำรวจปริมาณทางกายภาพทางรังสีก่อนการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้า เราสำรวจหลังเกิดอุบัติเหตุ ทำให้เราไม่ทราบว่าแตกต่างกันหรือไม ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแสดงว่าอุบัติเหตุดังกล่าวมีผลกระทบต่อประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามหลังเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะ ไดอิชิ ในประเทศญี่ปุ่น ประเทศไทยก็ยังอยู่ในขั้นปลอดภัย

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอเสนอแนะให้แก่ผู้ที่สนใจในการทำวิจัยในรูปแบบดังกล่าวนี้ ไว้เป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1. ควรให้ความสำคัญกับการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดอย่างยิ่ง โดยจะต้องมีการวางแผนและเตรียมการที่ดี ผู้วิจัยควรศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการเก็บตัวอย่างเป็นอย่างดี จะทำให้สามารถเก็บตัวอย่างทรายชายหาดได้อย่างรวดเร็วและมีปัญหาในการเก็บตัวอย่างให้น้อยที่สุด

2. ศึกษาและเรียนรู้วิธีการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาดอย่างมีมาตรฐานสากล โดยในการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาดเพื่อทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของไอโซโทปรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดจะต้องมีลักษณะและรูปร่าง (geometry) คล้ายกันกับลักษณะและรูปร่างของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดให้มากที่สุด เช่น ภาชนะบรรจุตัวอย่างทรายชายหาดต้องมีลักษณะและขนาดที่เท่ากัน ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง หรือการจัดวางตัวอย่างอยู่ที่ระยะห่างจากหัววัดเหมาะสมและเท่ากันทุกครั้ง จะทำให้ได้ผลการทดลองที่ดีและถูกต้อง

3. จะต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลจากซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ การใช้สมการเพื่อคำนวณค่าต่างๆ และการจัดการข้อมูลที่ได้อย่างเป็นระบบเพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดของข้อมูล

4. ผู้ศึกษาและวิจัยจะต้องมีความอดทนและตั้งใจจริงในการเก็บข้อมูลจากการทดลองที่ต้องใช้เวลานานๆ

5. ควรมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณดังกล่าวนี้ โดยใช้วิธีทางเคมีและวิธีการวิจัยในรูปแบบอื่นๆ โดยเฉพาะปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลให้อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) มีค่าค่อนข้างสูง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2529). **การป้องกันอันตรายจากรังสี.** กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์กระทรวงสาธารณสุข.

กองการวัดกัมมันตภาพรังสี. (2547). **รายงานวิชาการประจำปี 2534-2546.** สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

ธวัช ชิตตระการ. (2541). **การตรวจและการวัดรังสี.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธุมวดี ทองนะ. (2552). **การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติบริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ. (2545). **วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์.** ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 334 หน้า.

ปวิตรา หมะสะอะ. (2547). **การศึกษาและการวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างอาหาร และสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสงขลาทางภาคใต้ของประเทศไทย.** โครงงานวิทยาศาสตรบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2533). **คู่มือการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์พื้นฐาน.** สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.

ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2549). **เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์.** สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา. 261 หน้า.

ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2552). **การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ (^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{40}K) ในทรายชายหาดบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี.** สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และคณะ. (2553). **การตรวจวัดนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) และนิวไคลด์รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินและทรายชายหาดในจังหวัดภูเก็ต.** สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

มูรณี ดาโอะ. (2553). **การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{40}K และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินจากจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2550). การวัดปริมาณและคุณภาพของค่ากัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาดบริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต **การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 10** วันที่ 16-17 สิงหาคม 2550 ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค (BITEC) บางนา กรุงเทพฯ ประเทศไทย

ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ. (2552). **การตรวจวัดนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินและทรายชายหาดในจังหวัดภูเก็ต.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2550). “การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติเชิงปริมาณบริเวณเขตเทศบาล อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา”. **การประชุมวิชาการและเสนอผลงานมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2550,** โรงแรมกรีนเวิลด์ สงขลา, 20-21 กันยายน 2550.

Ahmad-Matiullah, N., Khatibeh, A.J.A.H., Maly, A., Kenawy, M.A. (1997). “Measurement of Natural Radioactivity in Jordanian Sand”. **Radiation Measurement**. 28,341-344.

Alencar, A.S. and Freitas, A.C., (2005). Reference levels of natural radioactivity for the beach sands in a Brazilian southeastern coastal region. **Radiat. Meas.** 40, 76-83.

Beretka, J. and Mathew, P.J., (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. **Health Phys.** 48, 87-95.

El-Arabi, A.M., 2005. Natural radioactivity in sand used in the thermal therapy at the Red Sea Coast. **J. Environ. Radioact.** 81, 11-19.

Freitas, A.C., and Alencar, A.S., (2004). Gamma dose rates and distribution of natural radionuclides in sand beaches – Ilha Grande, Southeastern Brazil. **J. Environ. Radioact.** 75, 211 – 223.

Huang, Y., Lu, X., Ding, X. and Feng, T. (2015). Natural radioactivity level in beach sand along the coast of Xiamen Island, China. **Marine Pollution Bulletin**. 91, 357-361.

Ibrahiem, N.M., Abdel-Ghani, A.H., Shawky, S.M., Ashraf, E.M. and Farouk, M.A., (1993). Measurement of radioactivity levels in soil in the Nile Delta and Middle Egypt. **Health Phys.** 64 , 620-627.

Kannan, V., Rajan, M. P., Iyengar, M.A.R. and Ramesh, R., (2002). Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam (India) using hyperpure germanium (HeGe) gamma ray spectrometry. **Appl. Radiat. Isot.** 57, 109-119.

Miah, F.K., Roy, S., Touhiduzzaman, M. and Alam, B (1997). “Distribution of radionuclides in soil samples in and around Dhaka city”. **Appl. Radiat. Isot**. 49, 133-137.

Mireles, F., Davilla, J. I., Quirino, L. L., Lugo, J. F., Pinedo, J. L. and Rios, C., (2003). Natural soil gamma radioactivity levels and resultant population dose in the cities of Zacatacas and Guadalupe, Zacatecas, Mexico. **Health Phys.** 84, 368-372.

Mohanty, A.K., Sengupta, D., Das, S.K., Vijayan, V., and Saha, S.K., 2004. Natural radioactivity in the newly discovered high background radiation area on the eastern coast of Orissa, India. **Radiat. Meas.** 38, 153- 165.

Prasong Kessaratikoon, Ruthairat Boonkrongcheep, Nikom Choosiri, Nureda Taehdeng and Suchin Udomsomporn. (2015). Specific activities of natural radionuclides in beach sand samples from Samila beach in Songkhla province (Thailand) after Nuclear Power Plant accident in Japan. **International Journal of Environmental Science and Development.** 6(9), 706-709.

Seddeek, M.K., Badran, H.M., Sharshar, T. and Elnimr, T. 2005. Characterictics, spatial distribution and vertical profile of gamma-ray emitting radionuclides in the coastal environment of North Sinai. **J. Environ. Radioact.** 84, 21-50.

Selvasekarapandian, S., Sivakumar, R., Manikandan, N.M., Meenakshisundaram, V., Raghunath. V.M., and Gajendran, V., 2000. Natural radionuclide distribution in soils of Gugalore, India. **Appl. Radiat. Isot.** 52, 299-306.

Sengupta, D., Mohanty, A. K., Das, S.K. and Saha, S.K., 2005. Natural radioactivity in the high background radiation area at Erasama beach placer deposit of Orissa, India. **International Congress Series.** 1276, 210-211.

Singh, S., Singh, B. and Kumar, A. (2003). Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India. **Radiat. Meas.** 36, 547-549.

Singh, S., Rani, A. and Mahajan, R. K. (2005). ^{226}Ra, ^{232}Th and ^{40}K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. **Radiat. Meas.** 39, 431-439.

Tzortzis, M. and Tsertos, H. (2004). Determination of thorium, uranium and potassium elemental concentrations in surface soils in Cyprus. **J. Environ. Radioact.** 77, 325-338.

UNSCEAR, (1988). **Exposures from Natural Sources of Radiation.** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

UNSCEAR, (1993). **Sources and Effects of Ionizing Radiation.** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

UNSCEAR, (2000). **Sources and Effects of Ionizing Radiation.** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

Veiga, R., Sanches, N.Anjos, R.M., Macario, K.,Bastos,J., Iguatemy,M., Aguiar,J.G., Santos, A.M.A., Mosquera, B., Carvalho, C., Baptista Filho, M., Umisedo, N.K., (2006). "Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands," **Radiat. Meas.** 41(2), 189-196.

Zhao, Y., Yan, D., Zhang, Q., Zhan, J. and Hu, H. (2012). Spatial distributions of ^{137}Cs in surface soil in Jing-Jin-Ji Region, North China. **Journal of Environment Radioactivity.** 113, 1-7.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY