



รายงานการวิจัย

การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดจาก อำเภอจะนะ และอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

Measurement and Analysis of Specific Activities ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs in Sand from Chana district and Tapa district in Songkhla province Using Gamma Ray Spectrometry

นางสาวมรรณี ดาโอะ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

พ.ศ. 2558

ชื่องานวิจัย	การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดจาก อำเภอจะนะ และอำเภอเทพา จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี
ผู้วิจัย	นางสาวมูรณี คาโอะ
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปี	2558

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาและตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวนรวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) ของจังหวัดสงขลา สำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดทำได้โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี และใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานดินชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCl และ IAEA/SL-2 ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ที่ต้องการ ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา จากผลการวิจัย พบว่า ค่าพิสัยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณหาดสะกอม มีค่าอยู่ระหว่าง 122.06 – 1925.11 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , 12.97 – 120.74 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 6.47 – 179.63 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 1.18 – 9.91 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1021.37 ± 168.12 Bq/kg, 41.90 ± 3.55 Bq/kg, 39.26 ± 2.26 Bq/kg และ 3.63 ± 1.06 Bq/kg ตามลำดับ ส่วนค่าพิสัยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ มีค่าอยู่ระหว่าง 512.00 – 3955.88 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , 20.11 – 83.18 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 3.75 – 94.68 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 1.77 – 9.30 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs และมีค่าเฉลี่ยเป็น 1983.32 ± 187.39 Bq/kg, 42.67 ± 4.00 Bq/kg, 37.98 ± 2.71 Bq/kg และ 4.19 ± 1.15 Bq/kg ตามลำดับ 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}) ของบริเวณทั้งสองชายหาด และยังได้นำค่าที่คำนวณได้นี้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลของนักวิจัยทางภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลที่เป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)



Research Title	Measurement and Analysis of Specific Activities ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs in Sand from Chana district and Tapa district in Songkhla province Using Gamma Ray Spectrometry
Researcher	Miss. Muranee Daoh
Faculty	Science and Technology
Year	2558

Abstract

Specific activities of natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and anthropogenic (^{137}Cs) radionuclides in 100 beach sand samples collected from Sagom beach Chana districts (50 samples) and Soisawan beach Thepa districts (50 samples) in Songkhla 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/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCl and IAEA/SL-2 which were obtained from Department of Physics Faculty of Science Prince of Songkhla University Hat Yai Campus. Experimental set-up and measurement were operated and carried out at Nuclear and Material Physics Laboratory in Department of Physics Faculty of Science Thaksin University Songkhla Campus. It was found that, the specific activities of Sagom beach sand samples ranged from 122.06 – 1925.11 Bq/kg for ^{40}K , 12.97 – 120.74 Bq/kg for ^{226}Ra , 6.47 – 179.63 Bq/kg for ^{232}Th and 1.18 – 9.91 Bq/kg for ^{137}Cs with mean values of 1021.37 ± 168.12 Bq/kg, 41.90 ± 3.55 Bq/kg, 39.26 ± 2.26 Bq/kg and 3.63 ± 1.06 Bq/kg, respectively. And the specific activities of Soisawan beach sand samples ranged from 512.00 – 3955.88 Bq/kg for ^{40}K , 20.11 – 83.18 Bq/kg for ^{226}Ra , 3.75 – 94.68 Bq/kg for ^{232}Th and 1.77 – 9.30 Bq/kg for ^{137}Cs with mean values of 1983.32 ± 187.39 Bq/kg, 42.67 ± 4.00 Bq/kg, 37.98 ± 2.71 Bq/kg and 4.19 ± 1.15 Bq/kg, respectively. 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 (R_{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

การทำวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีงบประมาณ 2558 ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยแก่นักวิจัยที่เริ่มมีประสบการณ์การทำวิจัย ให้ได้ฝึกประสบการณ์ในการทำวิจัยให้มากขึ้นไปอีก ขอขอบคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ได้ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องสถานที่ สारกัมมันตรังสีมาตรฐาน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณทางภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐานดินเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีที่ต้องการในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน

ขอขอบคุณ นางสาวฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และนางสาวชัชชนะ เจ๊ะสะอ๊ะ ผู้ช่วยวิจัยของหน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ รวมทั้งนักศึกษาปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด การเตรียมและการอบตัวอย่างทรายชายหาด ก่อนทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์และคณะผู้บริหารของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

มูรณี คาโอ๊ะ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
ขอบเขตการวิจัย	5
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	7
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรังสี	7
ประเภทของรังสี	8
ชนิดของรังสี	8
กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ	12
อันตรายของรังสีแกมมากับสสาร	13
การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี	17
หน่วยการวัดรังสี	20
ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต	23
การตรวจวัดรังสีแกมมาและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีโดยใช้หัววัดรังสีแบบ	
สารกึ่งตัวนำและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	26
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 การทดลอง	40
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	40
วิธีดำเนินการวิจัย	45

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	51
การเปรียบเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	52
ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl	54
ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/SL-2	56
การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ⁴⁰ K, ²²⁶ Ra, ²³² Th และ ¹³⁷ Cs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด	57
การคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ในบริเวณชายหาด จังหวัดสงขลา	83
การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (⁴⁰ K, ²²⁶ Ra และ ²³² Th) และนิวไคลด์สารรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (¹³⁷ Cs) พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา กับข้อมูลที่มีอยู่ของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคใต้ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติ เกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988,1993, 2000)	84
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	86
สรุปผลการวิจัย	86
อภิปรายผลการวิจัย	90
ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	97
ประวัติผู้วิจัย	122

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่า RBE สำหรับรังสีชนิดต่าง ๆ	22
ตารางที่ 2.2 ค่า LET , RBE และ QF ของรังสีแต่ละชนิด	23
ตารางที่ 2.3 ค่าปรับเทียบตามชนิดเนื้อเยื่อ (tissue weighting factor) ของอวัยวะต่างๆ	25
ตารางที่ 2.4 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น	26
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมากับหมายเลขช่อง	53
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl	55
ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl	55
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2	57
ตารางที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2	57
ตารางที่ 4.6 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	59
ตารางที่ 4.7 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	62
ตารางที่ 4.8 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	65
ตารางที่ 4.9 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	68
ตารางที่ 4.10 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของ ห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	74
ตารางที่ 4.12 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของ ห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	77
ตารางที่ 4.13 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของ ห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง	80
ตารางที่ 4.14 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและ หาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา จำนวน 100 ตัวอย่าง	82
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ หาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งอัตราปริมาณ รังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และ ค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out})	83
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่าง ทรายชายหาด บริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง กับข้อมูลที่มีอยู่ ของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลของทางสำนักงาน ปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทย และข้อมูลของนักวิจัย ในต่างประเทศทั่วโลก	85

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การค้นพบสารกัมมันตรังสีของอองคววน อองรี เบ็กเคอเรล	7
ภาพที่ 2.2 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแอลฟา	9
ภาพที่ 2.3 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีบีตาลบ	10
ภาพที่ 2.4 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีบีตาบวก	10
ภาพที่ 2.5 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแกมมา	11
ภาพที่ 2.6 ชนิดของรังสี พลังงานรังสีที่แตกต่างกันไป	12
ภาพที่ 2.7 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	14
ภาพที่ 2.8 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน	15
ภาพที่ 2.9 การเกิดการผลิตสารคู่	16
ภาพที่ 2.10 กราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี	19
ภาพที่ 2.11 อุบัติเหตุทางรังสี (Co-60) ในประเทศไทย	24
ภาพที่ 2.12 การต่อสัณยไฟฟ้าแบบตรงและแบบกลับ ให้แก่ไดโอด	27
ภาพที่ 2.13 coaxial ของ p-type และ coaxial ของ n-type	27
ภาพที่ 2.14 ภาคตัดขวางของหัววัดรังสีแบบ coaxial HPGe	28
ภาพที่ 2.15 แผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา	29
ภาพที่ 2.16 สเปกตรัมของอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับสสาร	30
ภาพที่ 2.17 การหาค่า energy resolution จาก full-width-at-half-maximum (FWHM)	32
ภาพที่ 3.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง รุ่น GC 2018	41
ภาพที่ 3.2 เครื่องขยายสัญญาณและเครื่องจ่ายไฟแรงสูง	42
ภาพที่ 3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GENIE-2000 พร้อมติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์	42
ภาพที่ 3.4 เครื่องบอกฟิสิกส์ทางภูมิศาสตร์	42
ภาพที่ 3.5 ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุตัวอย่างทรายชายหาด	43
ภาพที่ 3.6 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ^{60}Co , ^{137}Cs และ ^{133}Ba	43
ภาพที่ 3.7 ลักษณะของสารมาตรฐานที่บรรจุในภาชนะ	43
ภาพที่ 3.8 ตะแกรงสำหรับร่อนตัวอย่างทรายชายหาด	44
ภาพที่ 3.9 เครื่องชั่งสาร	44
ภาพที่ 3.10 ตู้อบตัวอย่างทรายชายหาด	44
ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์และวิธีการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด	45
ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างทรายชายหาดที่ตากไว้ ณ ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบไล่ความชื้น	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.13 การร่อนตัวอย่างทรายชายหาด	46
ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างทรายชายหาดที่บรรจุในภาชนะพลาสติกความสูง 3 เซนติเมตร	47
ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างทรายชายหาดพร้อมสำหรับการตรวจวัด	47
ภาพที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบพลังงานหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลอง	53
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา	56



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีว่า มนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบน โลกได้อาศัยและสัมผัสอยู่กับรังสีและอนุภาคที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (natural radionuclides) อยู่ตลอดเวลา โดยรังสีและอนุภาคดังกล่าวนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากภายในและภายนอกของโลก กล่าวคือ การได้รับรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาตินี้เป็นผลเนื่องมาจากการสลายตัวของนิวไคลด์ของสารรังสีปฐมภูมิ (primordial radionuclides) ของอนุกรมสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในดิน ทราช และหินตามธรรมชาติ จากรังสีคอสมิกที่สามารถส่งผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศของโลก และจากรังสีที่มีอยู่ในอาหาร น้ำดื่มและอากาศที่หายใจเข้าไปทุกวัน สำหรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาตินี้มีแพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามสภาพแวดล้อมของโลก และมักจะมีอยู่ทั่วไปในรูปแบบต่างๆ ทางธรณีวิทยา ซึ่งมีอยู่ในดิน หิน พีช น้ำและอากาศ (Myrick *et al.*, 1983.; Pimpl *et al.*, 1992; Ibrahiem *et al.*, 1993; Kannan *et al.*, 2002; Mireles *et al.*, 2003; Tzotzis *et al.*, 2004; Seddeek *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2005; Viegas *et al.*, 2005; Örgün *et al.*, 2007;) นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในดินและทราชส่วนใหญ่มาจาก ^{226}Ra และ ^{238}U ที่มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม (uranium series) และ ^{232}Th ในอนุกรมทอเรียม (thorium series) รวมไปถึงผลผลิต (product) รุนลูกรุ่นหลานที่เกิดจากการสลายตัวในอนุกรมสารกัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านี้ยังมีมากมาย และนอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วตั้งแต่กำเนิดของโลกมนุษย์ แต่ไม่ได้เป็นสารกัมมันตรังสีที่อยู่ในอนุกรมสารกัมมันตรังสีที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ได้แก่ ^{40}K เป็นต้น ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นก็มีอยู่ในดินและทราชด้วยเช่นกัน เช่น ^{137}Cs ซึ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากฝุ่นกัมมันตรังสีของการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ของประเทศที่มีการสะสมอาวุธนิวเคลียร์ ถ้าปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติจะทำให้ปริมาณโดสของรังสีแกมมาที่ร่างกายของมนุษย์โลกได้รับเข้าไป จะมีปริมาณมากไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการหายใจเอาก๊าซเรดอนและผลิตผลรุ่นลูกหลานเข้าไปสะสมอยู่ที่ปอด อาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ ด้วยเหตุนี้ การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้การนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติไปคำนวณหาค่าปริมาณรังสีแกมมา (gamma radiation dose) จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุด ก็มีความจำเป็นและสำคัญเช่นกัน หลังจากนั้นจึงได้มีการกำหนดให้เป็นค่าปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external dose) ของประชากรโลก (world population) โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ของ

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

กัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ได้รับ มีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ แหล่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น

1. แหล่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม เกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดโลก นิวไคลด์กัมมันตรังสีมีมากกว่า 70 ชนิด ที่พบในธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในดิน น้ำ ทราบ อากาศ และในร่างกาย นิวไคลด์กัมมันตรังสีดังกล่าวนี้แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclide) เป็นแหล่งกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดโลก ส่วนใหญ่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีมวลมาก และมีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก นิวไคลด์ของธาตุกัมมันตรังสี 3 อนุกรม คือ อนุกรมทอเรียม อนุกรมยูเรเนียม และอนุกรมแอกทิเนียม

1.2 นิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radionuclide) เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีคอสมิกที่ส่งผ่านมาจากนอกโลก (extraterrestrial origin) เข้าทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์ต่างๆ ในบรรยากาศโลก ทำให้เกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีมากมาย นิวไคลด์กัมมันตรังสีนี้ครึ่งชีวิตจะสั้นกว่านิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น

2. แหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น

มนุษย์ได้รับรังสีจากการกระทำของตนเอง ซึ่งมีตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สอง ที่มีการนำพลังงานปรมาณูมาใช้ประโยชน์ในการทำสงครามเป็นต้นมา คนทั่วไปเริ่มรู้จักการนำพลังงานทางด้านรังสีมาใช้ประโยชน์ในทางสันติมากขึ้น เช่น เครื่องเอกซเรย์ และเครื่องเร่งอนุภาค เป็นต้น มีการนำสารรังสีมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ การเกษตร ทางทหาร เช่น การทดลองอาวุธนิวเคลียร์และปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งในแต่ละพื้นที่ของพื้นผิวโลกจะมีการสะสมของสารกัมมันตรังสีในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป จากการที่มนุษย์ได้รับกัมมันตภาพรังสีอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นและที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ กัมมันตภาพรังสีเหล่านี้ก็จะพบว่ามีกัมมันตภาพรังสีในดิน น้ำ และอากาศ โดยส่วนใหญ่มนุษย์ก็อาศัยอยู่บนพื้นดิน การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในดินจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นจึงให้ความสำคัญกับการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติในตัวอย่างดินที่เป็นบริเวณบนพื้นผิวโลกเป็นสำคัญ

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษาและตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อย

สวรรค์ อำเภอกงเทพฯ จังหวัดสงขลา จำนวน 100 ตัวอย่าง ทั้งนี้ยังสามารถนำปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U) ในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณหาดสะกอม อำเภอกงจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงเทพฯ จังหวัดสงขลา ไปคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective dose rates; AED_{out}) ของตัวอย่างทรายชายหาดได้อีกด้วย นอกจากนี้ จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บเป็นตัวอย่างนี้ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก รวมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดและคำนวณไว้ดังกล่าวนี้กับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) และข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในบริเวณชายหาด จากหาดสะกอม อำเภอกงจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงเทพฯ จังหวัดสงขลา ต่อไป รวมทั้งการศึกษาถึงโอกาสและความเป็นไปได้ในการป้องกันอันตรายและการสะสมของสารกัมมันตรังสีในบริเวณชายหาด จากหาดสะกอม อำเภอกงจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงเทพฯ จังหวัดสงขลา ได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity ; S.A.) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่มีในธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอกงจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงเทพฯ จังหวัดสงขลา โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe detector) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

2. เพื่อศึกษาและคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective dose rates; AED_{out})

3. เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายชายหาด กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยจากประเทศต่างๆ

4. เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective dose rates; AED_{out}) กับข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยจากประเทศต่างๆ และค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

5. เพื่อให้เกิดการรวมกลุ่มของนักวิจัยและเป็นการสร้างความเข้มแข็งเฉพาะทางให้กับสาขาวิชา คณะ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity; S.A.) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่มีในธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

2. ทำให้ทราบค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (annual effective dose rates ; AED_{out}) จากตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

3. ทำให้มีข้อมูลของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity; S.A.) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่มีในธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดไว้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลการวิจัยของนักวิจัยทั่วโลกที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

4. ทำให้มีข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (absorbed dose rates in air; D) ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activity; Ra_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (external hazard index; H_{ex}) และอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี

(annual effective dose rates ; AED_{out}) จากตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา กับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) เพื่อให้ทราบว่าบริเวณที่ทำการตรวจวัดนั้นมีปริมาณรังสีเกินค่ามาตรฐานหรือไม่

5. ทำให้เกิดเครือข่ายของการทำงานของกลุ่มวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมระหว่างบุคลากรของ ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.เมือง จ.สงขลา และบุคลากรของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ถนนวิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ

6. ได้ผลงานวิจัยที่สามารถนำเสนอต่อที่ประชุมวิชาการในระดับชาติหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 4 เรื่อง

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาปริมาณนิวไคลด์และคำนวณปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (⁴⁰K, ²²⁶Ra และ ²³²Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (¹³⁷Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั่วประเทศ ไทย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) และประเมินปริมาณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

นิยามศัพท์

กัมมันตภาพ (Activity) คือ อัตราการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีหรือจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีในขณะใดขณะหนึ่งที่สลายตัวต่อหน่วยเวลา เป็นตัวชี้บอกความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสีโดยตรง หน่วยสากล (SI Unit) ที่ใช้วัดกัมมันตภาพ คือ เบ็กเคอเรล (Becquerel หรือ Bq) โดยมีคำจำกัดความว่า ถ้านิวไคลด์กัมมันตรังสีหนึ่งสลายตัวหนึ่งครั้งต่อหนึ่งวินาที เราเรียกว่า นิวไคลด์นั้นมีกัมมันตภาพหนึ่งเบ็กเคอเรล อย่างไรก็ตาม ยังมีคนจำนวนมากที่คุ้นเคยกับหน่วยเดิมคือ คูรี ซึ่งมีคำจำกัดความว่า ถ้านิวไคลด์กัมมันตรังสีหนึ่งสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อหนึ่งวินาที นิว

ไคลด์นั้นจะมีกัมมันตภาพหนึ่งคูรี หน่วยคูรีเป็นหน่วยที่ตั้งขึ้นในสมัยค้นพบรังสีใหม่ๆ โดยตั้งชื่อหน่วยเพื่อเป็นเกียรติแก่มาตามคูรีซึ่งเป็นผู้ค้นพบธาตุเรเดียม โดย ^{226}Ra ที่มีมวลหนึ่งกรัมจะสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อหนึ่งวินาที ดังนั้น มวลหนึ่งกรัมของ ^{226}Ra จึงมีความแรงแรงรังสี 3.7×10^{10} แเบ็กเคอเรล หรือหนึ่งคูรี

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ (Natural Radioactivity) คือ นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (Primordial Radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดของโลก โดยเป็นองค์ประกอบของหิน ดิน แร่ธาตุต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นเปลือกโลก ส่วนใหญ่จะเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่หนักๆ มีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก บางนิวไคลด์อาจมีค่าครึ่งชีวิตยาวถึงร้อยล้านปี และนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (Cosmogenic Radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของรังสีคอสมิก (Cosmic Rays) ซึ่งมาจากระบบสุริยะกับนิวไคลด์ในบรรยากาศ

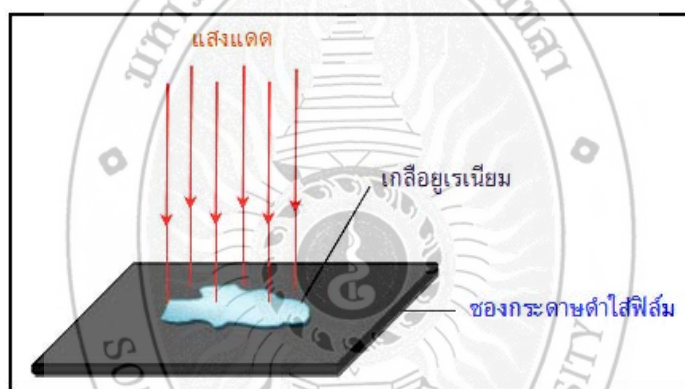
ค่าครึ่งชีวิต (Half Life) หมายถึง ระยะเวลาที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีใช้ในการสลายตัวจนมีค่ากัมมันตภาพเหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของกัมมันตภาพตั้งต้น ค่าครึ่งชีวิตเป็นค่าเฉพาะตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ซึ่งอาจมีค่าเป็นเสี้ยววินาทีหรือหมื่นล้านปีก็ได้ขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีนั้น เช่น ^{18}O มีค่าครึ่งชีวิต 27 วินาที และ ^{232}Th มีค่าครึ่งชีวิต 1.4 หมื่นล้านปี

บทที่ 2

ทฤษฎี

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรังสี

การค้นพบรังสี ในปี ค.ศ. 1896 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ชื่อ อองตวน อองรี เบ็กเคอเรล (Antoine Henri Becquerel, 1852-1908) ได้ค้นพบว่าธาตุบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุที่มีมวลอะตอมมาก สามารถปลดปล่อยรังสีบางชนิดออกมา การค้นพบของเบ็กเคอเรลเป็นการค้นพบโดยบังเอิญ คือ เมื่อนำฟิล์มถ่ายรูปไปไว้ใกล้ๆ เกลือโพแทสเซียมยูเรนิลซัลเฟตและมีกระดาษดำหุ้มปรากฏว่าเกิดรอยดำบนฟิล์มเหมือนถูกแสง ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การค้นพบสารกัมมันตรังสีของอองตวน อองรี เบ็กเคอเรล
(ที่มา : http://thapring.com/Pingpong_web/M&CM2_Web/Content_10.html)

เขาให้เหตุผลกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า จะต้องมียังมีรังสีที่มีพลังงานสูงบางอย่างปล่อยออกมาจากเกลือยูเรเนียมเมื่อไปประกบกับฟิล์มทำให้ฟิล์มกลายเป็นสีดำ และต่อมาเขายังพบว่าอัตราการปล่อยรังสีของเกลือนี้แปรผันตรงกับปริมาณของเกลือ หลังจากนั้นไม่นาน ปีแอร์ คูรี และมารี คูรี ได้ค้นพบว่า โพโลเนียม เรเดียม และทอเรียม ก็สามารถแผ่รังสีได้ ปรากฏการณ์ที่ธาตุแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่องนี้เรียกว่า *กัมมันตภาพรังสี* ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของไอโซโทปที่ไม่เสถียร และเรียกธาตุที่สามารถแผ่รังสีได้ว่า ธาตุกัมมันตรังสี ในเวลาต่อมาพบว่า รังสีที่พบโดยเบ็กเคอเรลเป็นคลื่นชนิดกับรังสีเอกซ์ รังสีดังกล่าวเป็นรังสีที่ปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของธาตุเมื่อนิวเคลียสของธาตุนั้นอยู่ในสภาวะไม่เสถียร ซึ่งสภาวะไม่เสถียรเกิดจากส่วนประกอบภายในของนิวเคลียสไม่เหมาะสม หมายความว่า ในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนซึ่งมีประจุบวก และ

นิวตรอนซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า สัดส่วนของจำนวนโปรตอนต่อจำนวนนิวตรอนไม่เหมาะสมจนทำให้ธาตุนั้นไม่เสถียร ธาตุนั้นจึงปล่อยรังสีออกมาเพื่อปรับตัวให้เสถียร ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

ประเภทของรังสี

รังสี เกิดขึ้นได้ทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยแหล่งที่ก่อให้เกิดรังสีมากที่สุด ได้แก่ รังสีจากธรรมชาติ เช่น จากสารกัมมันตรังสีที่มีในพื้นดิน สินแร่ และสิ่งแวดล้อม จากอากาศที่เราหายใจ แม้กระทั่งในร่างกายและในอาหารที่เราบริโภคซึ่งมีการเจือปนด้วยสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ นอกจากนี้ ในห้วงอวกาศก็มีรังสี ซึ่งนอกจากรังสีของแสงอาทิตย์แล้ว ก็ยังมีรังสีคอสมิก ที่แผ่กระจายอยู่ทั่วจักรวาล แหล่งกำเนิดรังสีที่มาจากการกระทำของมนุษย์มีหลายรูปแบบ ได้แก่ จากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู การระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์ การใช้เครื่องเร่งอนุภาคและเครื่องเอกซเรย์ รวมทั้งการผลิตสารกัมมันตรังสี จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่างๆ อาจจำแนกรังสีดังกล่าวตามคุณสมบัติทางกายภาพได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

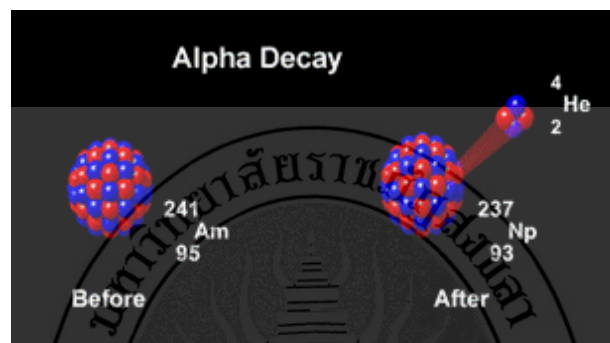
1. รังสีที่ไม่ก่อไอออน (non – ionizing radiation) คือ รังสีที่มีพลังงานต่ำไม่สามารถก่อไอออนในตัวกลาง (พลังงานต่ำไม่สามารถผลักคั่นอิเล็กตรอนออกจากอะตอมได้) ได้แก่ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่ำ เช่น ความร้อน แสง เสียง คลื่นวิทยุ อัลตราไวโอเล็ต และไมโครเวฟ
2. รังสีที่ก่อไอออน (ionizing radiation) คือ รังสีที่มีพลังงานสูง สามารถก่อไอออนในตัวกลางได้ (สามารถผลักคั่นอิเล็กตรอนหลุดจากอะตอม เกิดเป็นไอออนประจุลบ และไอออนประจุบวก) ซึ่งได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และอนุภาคที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีนิวตรอน รังสีในกลุ่มหลังนี้มีผู้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า รังสีปรมาณู (atomic radiation)

ชนิดของรังสี

รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากสารกัมมันตรังสีสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามอำนาจการทะลุทะลวงผ่านเข้าไปในเนื้อสาร การทำให้เกิดสแตกตัวเป็นไอออน และผลของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าต่อรังสีนั้นๆ รังสีที่ได้ออกมาจากสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

1. รังสีแอลฟา (alpha ray) เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีขนาดใหญ่และมีมวลมากเพื่อเปลี่ยนแปลงให้เป็นนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพสูงขึ้น ซึ่งรังสีนี้ถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสด้วยพลังงานต่างๆ กัน รังสีแอลฟาก็คือนิวเคลียสของฮีเลียม แทนด้วย ${}^4_2\text{He}$ มีประจุบวก มีขนาด

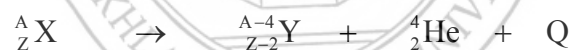
เป็น 2 เท่าของประจุอิเล็กตรอน คือ $+2e$ และมีนิวตรอน อีก 2 นิวตรอน ($2n$) มีมวลเท่ากับนิวเคลียสของฮีเลียม หรือประมาณ 7,000 เท่าของอิเล็กตรอน เนื่องจากมีมวลมากจึงไม่ค่อยเกิดการเบี่ยงเบนง่ายนัก เมื่อวิ่งไปชนสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ผิวหนัง แผ่นกระดาษ จะไม่สามารถผ่านทะลุไปได้ แต่จะถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วแล้วจะถ่ายทอดพลังงานเกือบทั้งหมดออกไป ทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมที่ถูกรังสีแอลฟาชนหลุดออกไป ทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า การแตกตัวเป็นไอออน ดังแสดงในภาพที่ 2.2



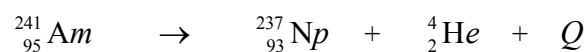
ภาพที่ 2.2 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแอลฟา

(ที่มา : http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_9.ht)

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแอลฟา เป็นดังนี้

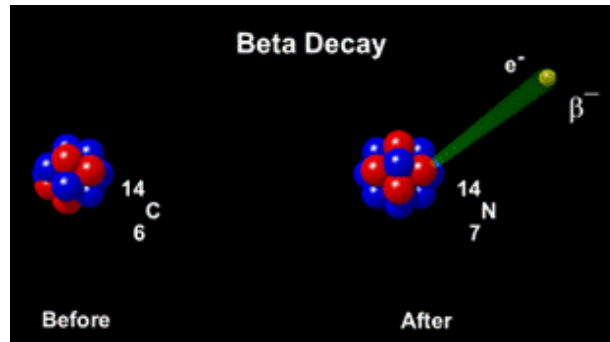


จากภาพที่ 2.2



2. รังสีบีตา (beta ray) เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนมากเกินไป หรือน้อยเกินไป โดยรังสีบีตาแบ่งได้ 2 แบบ คือ

2.1 บีตาลบ หรืออิเล็กตรอน ใช้สัญลักษณ์ β^- หรือ ${}^0_{-1}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีนิวตรอนมากกว่าโปรตอน ดังนั้นจึงต้องลดจำนวนนิวตรอนลง เพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีบีตาลบ

(ที่มา : http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_9.htm)

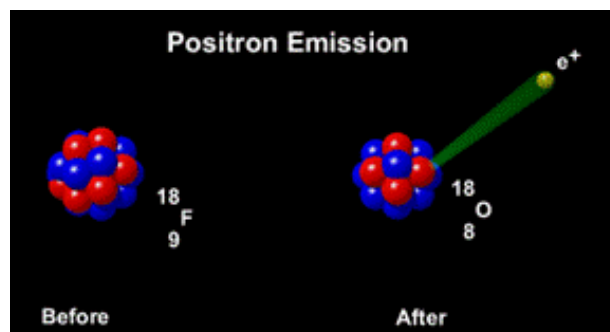
สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแอลฟา เป็นดังนี้



จากภาพที่ 2.3



2.2 บีตาบวกหรือโพสิตรอน ใช้สัญลักษณ์ β^+ หรือ ${}^0_{+1}\text{e}$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีโปรตอนมากกว่านิวตรอน ดังนั้นจึงต้องลดจำนวนโปรตอนลง เพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



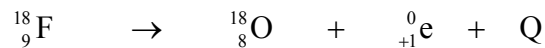
ภาพที่ 2.4 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีบีตาบวก

(ที่มา : http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_9.htm)

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีบีตาบวก เป็นดังนี้

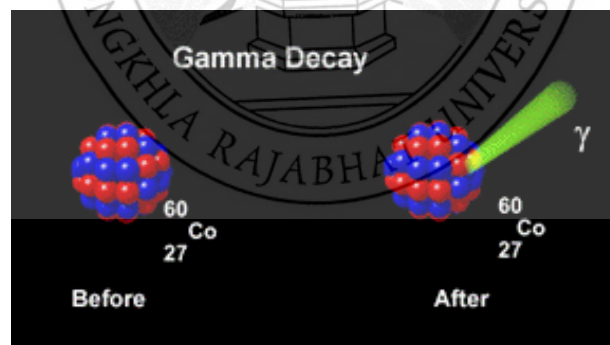


จากภาพที่ 2.4



เนื่องจากอิเล็กตรอนนั้นเบามาก จึงทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเบี่ยงเบนได้ง่าย สามารถเบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้ มีความเร็วสูงมาก คือ มากกว่าครึ่งของความเร็วแสง หรือประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที มีอำนาจในการทะลุทะลวงมากกว่ารังสีแอลฟา แต่น้อยกว่ารังสีแกมมา

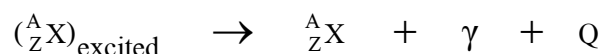
3. รังสีแกมมา (gamma ray) ใช้สัญลักษณ์ γ เกิดจากการที่นิวเคลียสที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้นฐานโดยการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา รังสีแกมมา ก็คือโฟตอนของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอ็กซ์ แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและมีอำนาจในการทะลุทะลวงมากกว่ารังสีเอ็กซ์ ไม่มีประจุไฟฟ้าและมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสง ดังแสดงในภาพที่ 2.5



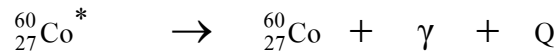
ภาพที่ 2.5 การสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแกมมา

(ที่มา : http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_9.htm)

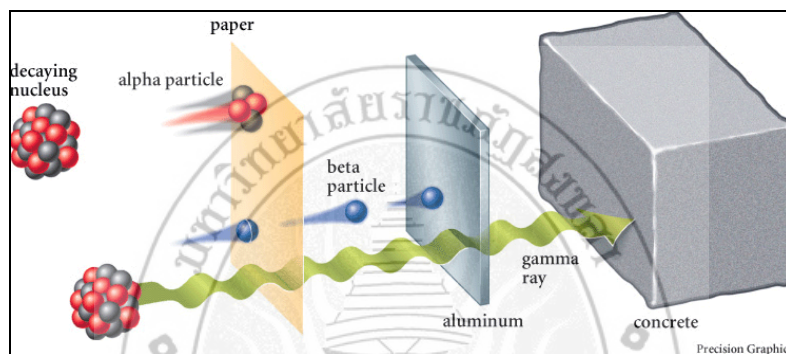
สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมา เป็นดังนี้



จากภาพที่ 2.5



การเปลี่ยนสภาพของนิวเคลียสและมีการแผ่รังสีออกมาโดยที่นิวเคลียสเดิมจะเปลี่ยนเป็นนิวเคลียสใหม่ ซึ่งเรียกว่า การสลายตัว (decay) ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ชนิดของรังสีพลังงานรังสีที่แตกต่างกันไป มีอำนาจทะลุทะลวงต่างกันและต้องการเครื่องกำบังรังสีต่างชนิดกัน



ภาพที่ 2.6 ชนิดของรังสี พลังงานรังสีที่แตกต่างกันไป

(ที่มา : <http://www.medtech.mahidol.ac.th/mtthai/eLearning>)

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ มาจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 แหล่ง คือ นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นกับการกำเนิดของโลก โดยเป็นองค์ประกอบของหิน ดิน แร่ธาตุต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นเปลือกโลก ส่วนใหญ่จะเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่หนักๆ มีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก บางนิวไคลด์อาจมีค่าครึ่งชีวิตยาวถึงร้อยล้านปี และนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของรังสีคอสมิก (cosmic rays) ซึ่งมาจากระบบสุริยะกับนิวไคลด์ในบรรยากาศ

นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่เกิดขึ้นพร้อมกำเนิดโลกนี้ มักมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องเป็นอนุกรมซึ่งอนุกรมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นมี 3 อนุกรม ดังนี้

1. อนุกรมทอริยม (Thorium Series, 4n Series) ชาติกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ${}^{232}\text{Th}$ ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 1.4×10^{10} ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนกระทั่งได้นิวไคลด์เสถียร คือ ${}^{208}\text{Pb}$ ชาติกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขมวลหารด้วย 4 ลงตัว จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า 4n

2. อนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series, $4n+2$ Series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้มีเลขเชิงมวลที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 2 ธาตุที่เริ่มต้นของการสลายตัว คือ ^{238}U มีค่าครึ่งชีวิต 4.4×10^9 ปี สลายตัวต่อเนื่อง จนได้นิวไคลด์เสถียร คือ ^{206}Pb

3. อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium Series, $4n+3$ Series) เลขเชิงมวลของธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 3 เริ่มสลายตัวจาก ^{235}U มีค่าครึ่งชีวิต 7.04×10^8 ปี และสลายตัวต่อเนื่อง จนได้นิวไคลด์เสถียร คือ ^{207}Pb

นอกจากนี้ ยังมีอนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium Series, $4n+1$ Series) ซึ่งมี ^{237}Np เป็นธาตุเริ่มต้น แต่เนื่องจาก ^{237}Np มีค่าครึ่งชีวิตเพียง 14.4 ปี และส่วนใหญ่ นิวไคลด์ที่เกิดอนุกรมนี้มีครึ่งชีวิตไม่ยาวนานนัก ปัจจุบันจึงไม่พบอนุกรมนี้ และยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีการสลายตัวแบบต่อเนื่อง แต่มีไม่มากนัก เช่น ^{40}K , ^{87}Rb , ^{113}Cd และ ^{115}In ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก ที่เป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับสารต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก เช่น การทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนที่มีอยู่ในรังสีคอสมิกกับ ^{14}A แล้วได้ ^{14}C และ นิวตรอนดังกล่าวนี้ทำปฏิกิริยากับ ^6Li แล้วได้ ^3H นอกจากนี้ยังมีนิวไคลด์อื่นๆ อีก เช่น ^7Be , ^{10}Be , ^{18}F , ^{22}N , ^{24}N , ^{26}Al , ^{31}Si , ^{32}Si , ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S , ^{36}S , ^{36}Cl , ^{38}Cl , ^{38}Mg , ^{39}Cl , ^{38}S และ ^{80}Kr ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์มากที่สุด ได้แก่ ^6Be , ^{11}N , ^3H และ ^{14}C

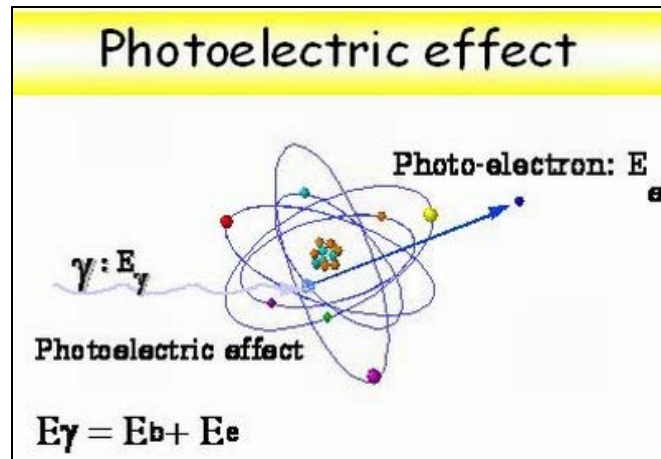
อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับสสาร

เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบและผ่านเข้าไปในเนื้อสารบางชนิด จะเกิดอันตรกิริยาขึ้น โดยอันตรกิริยาที่สำคัญมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton effect) และการผลิตสารคู่ (pair production) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) เป็นการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมา กับอะตอมของสสาร ซึ่งเมื่ออะตอมของสสารถูกชนโดยรังสีแกมมา จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) และอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้มีพลังงานจลน์เท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีแกมมา กับค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม ดังแสดงในภาพที่ 2.7 และสมการที่ 2.1

$$T_e = E_\gamma - B_e \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ	T_e	คือ พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน หน่วย keV
	E_γ	คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบสสาร หน่วย keV
	B_e	คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม หน่วย keV



ภาพที่ 2.7 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
(ที่มา : <http://www.tint.or.th/adv/summer2008>)

การที่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมนี้ทำให้เกิดที่ว่างขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นพลังงานถัดไปตกลงมาแทนที่ที่ว่างนั้น ทำให้เกิดการคายรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristics x-ray) อิเล็กตรอนที่วิ่งเข้ามาแทนที่รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะทำอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นที่สูงกว่าในอะตอม แล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาอีก เรียกว่า ออร์เจอร์อิเล็กตรอน (auger electron) ซึ่งทั้งอิเล็กตรอนและรังสีเอกซ์ที่เป็นผลจากการเกิดอันตรกิริยาดังกล่าว สามารถถูกดูดกลืนได้โดยผลึกที่ใช้เป็นหัววัดรังสี เนื่องจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก อะตอมสามารถดูดกลืนพลังงานของรังสีแกมมาได้หมด จึงนิยมใช้ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกในการอธิบายการดูดกลืนพลังงานของรังสีแกมมาในการทำารทดลอง ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจะมีบทบาทขึ้นอีกในกรณีที่รังสีแกมมาที่เข้ามา มีพลังงานต่ำๆ (น้อยกว่า 250 keV) และความน่าจะเป็นในการเกิดอันตรกิริยาจะขึ้นอยู่กับค่าเลขอะตอมของตัวดูดกลืน

2. การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering) รังสีแกมมาหรือโฟตอนที่มีพลังงาน $h\nu$ จะวิ่งเข้ามาชนอิเล็กตรอนที่อยู่นิ่งในอะตอมของสสารแบบยึดหยุ่น คือ ทั้งโมเมนตัมและพลังงานไม่สูญหาย รังสีแกมมาจะถ่ายทอดพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนที่ถูกชน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา เรียกว่า คอมพ์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) และเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ T_e ในทิศทางทำมุม ϕ กับทิศทางเดิมของอิเล็กตรอน ส่วนรังสีแกมมาที่มีพลังงานลดลงเป็น $h\nu'$ จะเกิดการกระเจิงไปเป็นมุม θ ใดๆ ที่คิดเทียบกับทิศทางเดิมของรังสีแกมมา ดังแสดงในภาพที่ 2.8 เนื่องจากเป็นการชนแบบยึดหยุ่น เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของพลังงานเริ่มต้นของรังสีแกมมา พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิง และพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่ถูกชนได้ดังนี้

$$h\nu = h\nu' + T_e \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม จะได้ว่า ในแนวแกน x

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos \theta + P \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

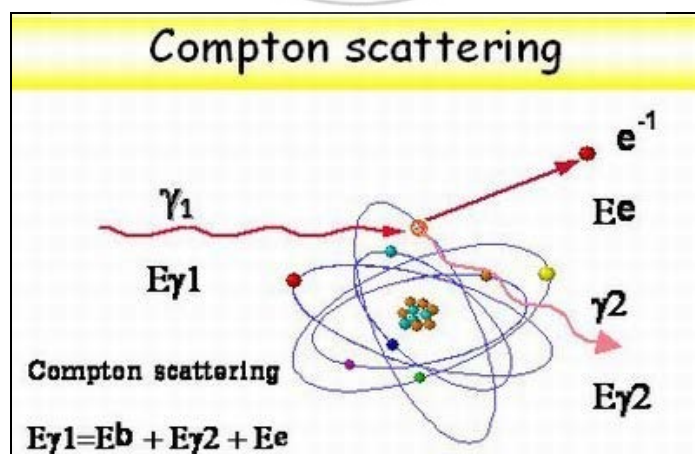
ในแนวแกน y

$$0 = -\left(\frac{h\nu'}{c}\right) \sin \theta + P \sin \theta \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

จากการแก้สมการทั้ง 3 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของพลังงานของรังสีแกมมาที่เข้าชน และพลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกไป ได้ดังต่อไปนี้

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \left(\frac{h\nu}{m_0 c^2}\right) (1 - \cos \theta)} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

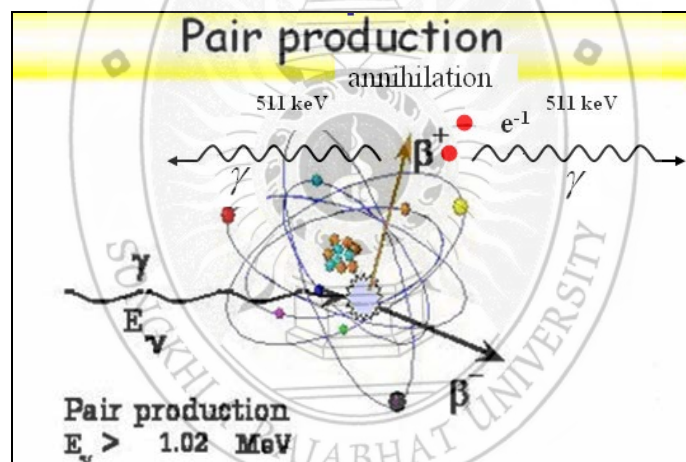
การเกิดการกระเจิงแบบคอมพ์ตันจะมีค่าแปรผันตามอัตราส่วนระหว่างเลขอะตอมกับเลขมวล (Z/A) ของสารที่เป็นตัวดูดกลืน และขึ้นกับค่าพลังงานของโฟตอนอยู่บ้างแต่ไม่มากเท่ากับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก



ภาพที่ 2.8 การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน

(ที่มา : <http://www.tint.or.th/adv/summer2008>)

3. การผลิตสารคู่ (pair production) เกิดขึ้นได้เมื่อรังสีแกมมาที่วิ่งเข้ามามีพลังงานอย่างน้อย 1.02 MeV หรือมีพลังงานเป็น 2 เท่าของพลังงานมวลนิ่งของอิเล็กตรอน ทำอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส ทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน (positron) ขึ้นมาจากโฟตอนที่วิ่งเข้ามาจนแล้วหายไป ถ้ารังสีแกมมาที่วิ่งเข้ามามีพลังงานมากกว่า 1.02 MeV พลังงานส่วนเกินนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน การผลิตสารคู่มักเกิดขึ้นบริเวณใกล้ๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกดึงดูดด้วยนิวเคลียส แต่โพสิตรอนจะถูกผลักรอก โดยปกติแล้วโพสิตรอนที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานจลน์มากกว่าอิเล็กตรอน แต่ทั้งอิเล็กตรอนและโพสิตรอนต่างก็ถูกสกัดกั้นได้อย่างรวดเร็วในผลึกของตัวดูดกลืน ส่งผลให้อิเล็กตรอนและโพสิตรอนกลับมารวมกันเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ที่มีพลังงาน 0.511 MeV ซึ่งเรียกว่า การประลัย (annihilation) รังสีแกมมา 2 ตัวที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งกันและกัน (180 องศา) และอาจจะเกิดหรือไม่เกิดอันตรกิริยากับผลึกของตัวดูดกลืนก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การเกิดการผลิตสารคู่

(ที่มา : <http://www.tint.or.th/adv/summer2008>)

ในผลึกของตัวดูดกลืน การเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 จะขึ้นอยู่กับพลังงานของโฟตอน ดังนี้ การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ส่วนใหญ่จะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่า 250 keV การกระเจิงแบบคอมพ์ตันจะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงาน 300 keV ถึง 5 MeV และการผลิตสารคู่จะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่า 5 MeV

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

ธาตุกัมมันตรังสีประกอบด้วยนิวไคลด์ไม่เสถียรมากมาย ซึ่งต้องมีการสลายตัว (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 แม็กเคอเรล ได้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม พร้อมแยก UX ออกจาก U ได้ และพบว่าค่ากัมมันตภาพของ UX ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป ในขณะที่กัมมันตภาพของ U เพิ่มขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ.1902 รัทเธอร์ฟอร์ดและซอดดี (Soddy) ได้ทำการทดลองกับเกลือทอเรียม (Thorium, Th) ก็พบว่าได้ผลแบบเดียวกัน คือ สามารถแยกตะกอน ThX ออกมาได้ และตะกอน ThX มีกัมมันตภาพลดลงเรื่อย ขณะที่กัมมันตภาพของ Th เพิ่มขึ้น การลดลงของค่ากัมมันตภาพของ UX และ ThX ซึ่งเป็นนิวไคลด์แม่ และการเพิ่มขึ้นของ U และ Th ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกเท่านั้น



- เมื่อ P คือ ธาตุกัมมันตรังสี หรือ นิวไคลด์แม่ (parent nuclide)
- D คือ ธาตุเกิดจากการสลายตัว หรือนิวไคลด์ลูก (daughter nuclide)

ในการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวไคลด์ของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

อัตราการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี \propto จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี
เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยเครื่องหมาย ลบ แสดงการลดลงของจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี (N)

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

$$-\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_{t_0}^t \lambda dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda(t - t_0)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

เมื่อ N_0 คือ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

N คือ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เวลา t ใดๆ

t คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)

กัมมันตภาพ (activity : A) ของธาตุกัมมันตรังสี หมายถึง อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีหรือจำนวนของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวต่อหน่วยเวลา หน่วยรังสี คือ เบ็กเควเรล (becquerel, Bq) ซึ่งกัมมันตภาพเป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$A = \lambda N \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

จากสมการ (2.8) คูณด้วย λ ตลอดจะได้

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

$$\text{ดังนั้น} \quad A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

A คือ กัมมันตภาพที่เวลา t ใดๆ

t คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)

ครึ่งชีวิต (half-life; $t_{1/2}$) หมายถึง ช่วงเวลาที่ปริมาณของสารกัมมันตรังสีสลายตัวจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ครึ่งชีวิตเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละไอโซโทป และสามารถเปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 และ จากสมการ (2.8) เมื่อนิวไคลด์กัมมันตรังสีสลายตัวนานครึ่งชีวิต ทำให้ $N = N_0/2$

จากสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$

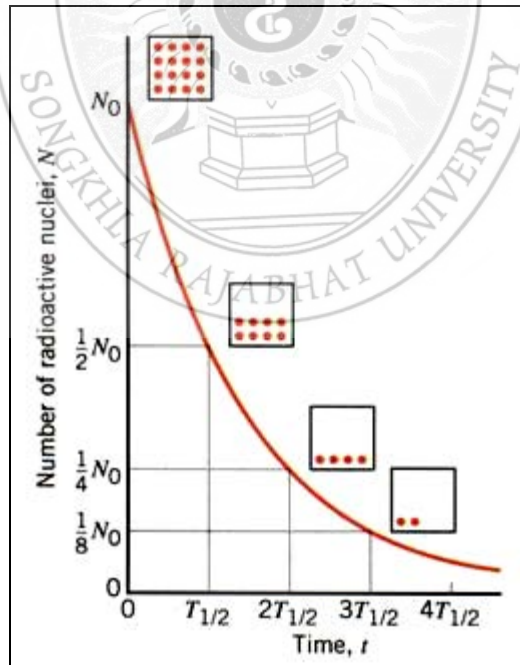
เมื่อ เวลา $t = t_{1/2}$ จะได้ $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$

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

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

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

.....(2.11)



ภาพที่ 2.10 กราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

(ที่มา: http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_12.htm)

หน่วยการวัดรังสี

เมื่อต้องทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี ดังนั้นควรทราบหน่วยวัดรังสี เนื่องจากรังสีชนิดต่างๆ มีผลต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องทุกคนเพื่อให้เกิดความเข้าใจความหมายที่ตรงกัน

1. กัมมันตภาพ (activity) เป็นหน่วยของกัมมันตภาพรังสี (radioactivity unit) ที่แสดงอัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี โดยมี คูรี (curie, Ci) และ รัทเธอร์ฟอร์ด (rutherford) เป็นหน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพ เมื่อ

1 คูรี คือ ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

$$1 \text{ curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps (disintegration per second)}$$

1 รัทเธอร์ฟอร์ด คือ ปริมาณธาตุกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 10^6 ครั้งต่อวินาที

$$1 \text{ rutherford} = 10^6 \text{ dps (disintegration per second)}$$

สำหรับหน่วยสากล (International System of Unit, SI Unit) กำหนดให้แบ็กเคอเรล (Becquerel, Bq) เป็นหน่วยของกัมมันตภาพ โดยที่

1 แบ็กเคอเรล หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัว 1 ครั้งต่อวินาที

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps (disintegration per second)}$$

2. เอกซ์โพเชอร์ (exposure dose) เป็นการวัดปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอากาศจากกระบวนการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อได้รับรังสี ซึ่งใน ค.ศ.1928 กำหนดให้ใช้เพียงรังสีเอกซ์เพียงอย่างเดียว ต่อมาในปี ค.ศ.1937 ก็ให้ใช้กับรังสีแกมมาด้วย โดยใช้รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำจนถึง 3 MeV หน่วยของเอกซ์โพเชอร์ คือ เรินต์เจน (roentgen,R) โดยที่

1 เรินต์เจน คือ ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศหนัก 0.001293 กรัม หรือมีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน แตกตัวเกิดประจุไฟฟ้า 1 esu (electrostatic unit)

สำหรับหน่วยสากลใช้คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดยรังสี 1 เรินต์เจน คือ ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศ 1 กิโลกรัม แตกตัวเป็นไอออนได้ประจุ 2.58×10^{-4} คูลอมบ์ หรือเกิดไอออนคู่ 1.61×10^{15} ดังนั้น

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

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$$

3. แอบซอร์บ โดส (absorbed dose) เป็นปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในวัตถุ (ที่ไม่ใช่อากาศ) คือ จำนวนพลังงานรังสีที่ถ่ายทอดแก่วัตถุต่อหน่วยมวลของวัตถุ ณ ตำแหน่งนั้น หน่วย คือ rad ซึ่งอาจเขียนได้ว่า

$$\text{rad} = \frac{\text{พลังงานของรังสีที่ตัวกลางดูดกลืนไว้}}{\text{น้ำหนักของตัวกลาง}}$$

1 แร็ด คือ ปริมาณรังสีที่ตัวกลางดูดกลืนพลังงานไว้ได้ 100 เอิร์กต่อกรัมของตัวกลาง

$$\begin{aligned} 1 \text{ rad} &= 100 \text{ erg/g} \\ &= 10^{-2} \text{ J/kg} \end{aligned}$$

SI unit กำหนดว่า จูลต่อกิโลกรัม หรือเกรย์ (gray; Gy) เป็นหน่วยของแอบซอร์บ โดส

$$\begin{aligned} 1 \text{ J/kg} &= 1 \text{ Gy} \\ 1 \text{ Gy} &= 100 \text{ rad} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาปริมาณรังสี 1 เรินด์แกน ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงาน 87.7 เอิร์ก ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยอากาศ 1 กรัม เห็นได้ว่า มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณรังสี 1 แร็ด ความสัมพันธ์ของหน่วยเอกโพเซอร์และแอบซอร์บ โดส จึงประมาณได้ว่า

$$1 \text{ R} = 1 \text{ rad}$$

4. โดสอิควิวาเลนต์ (dose equivalent) ใช้ในด้านการศึกษาผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต (radiobiology, radiation biology) และด้านการป้องกันและความปลอดภัยทางรังสี โดยในด้านผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิตนั้น พิจารณาค่าของโดสอิควิวาเลนต์ได้จาก แอบซอร์บ โดสร่วมกับค่ายังผลชีวภาพสัมพัทธ์ (relative biological effectiveness, RBE) เมื่อ

$$\text{RBE} = \frac{\text{ปริมาณรังสีเอกซ์พลังงาน 250 kV ที่ทำให้เกิดผลทางชีวภาพอย่างหนึ่ง}}{\text{ปริมาณรังสีใดๆ ที่ทำให้เกิดผลทางชีวภาพอย่างเดียวกัน}}$$

โดสอิกวิวาเลนต์ มีหน่วยเป็นเรม (rem) ที่มาจากคำเต็มว่า radiation equivalent man ซึ่งหมายถึง ปริมาณรังสีที่ก่อไอออนที่มนุษย์หรือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้รับ แล้วเกิดผลทางชีวภาพ เทียบเท่ากับปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา 1 แร็ด โดยค่าของ RBE แตกต่างกันไปตามชนิดของรังสี ดังแสดงในตารางที่ 1 จึงคำนวณโดสอิกวิวาเลนต์ได้จาก

$$\text{dose equivalent (rem)} = \text{absorbed dose (Rad)} \times \text{RBE}$$

ตารางที่ 2.1 ค่า RBE สำหรับรังสีชนิดต่าง ๆ

(ที่มา : <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront>)

ชนิดและพลังงานของรังสี	RBE
รังสีเอกซ์	1
รังสีแกมมา	1
อนุภาคบีตา 30 keV หรือมากกว่า	1
อนุภาคบีตา ขนาดน้อยกว่า 30 keV	1.7
นิวตรอน (thermal to slow, < 0.02 MeV)	4-5
นิวตรอน (fast , 1-10 MeV)	10 (สำหรับร่างกาย) และ 30 (สำหรับนัยน์ตา)
โปรตอน (1-10 MeV)	10 (สำหรับร่างกาย) และ 30 (สำหรับนัยน์ตา)
อนุภาคแอลฟาจากกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ	10-20

สำหรับงานด้านความปลอดภัยและการป้องกันอันตรายจากรังสีนั้น ICRU ได้แนะนำให้คำนวณโดสอิกวิวาเลนต์จาก ปัจจัยคุณภาพ (quality factor; QF) ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการถ่ายโอนพลังงานเชิงเส้น (linear energy transfer; LET) ซึ่งหมายถึง พลังงานเฉลี่ยของรังสีที่ถ่ายโอนให้กับตัวกลางในปริมาตรที่เจาะจงต่อหน่วยระยะทาง มีหน่วยเป็น keV/ μm รังสีที่มีมวลมาก เช่น รังสีแอลฟามีค่า LET สูง จึงถ่ายเทพลังงานให้กับตัวกลางต่อหน่วยระยะทางได้มาก และสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ระยะทางสั้น แต่ทำให้เกิดคู่อิออนต่อหน่วยระยะทางได้มาก รังสีที่มีสมบัติดังกล่าวจึงมีความเป็นอันตรายสูง ปัจจัยคุณภาพของรังสีแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า LET ที่เพิ่มขึ้น การคำนวณโดสอิกวิวาเลนต์แสดงได้ดังนี้

$$\text{Dose equivalent (rem)} = \text{absorbed dose (rem)} \times \text{QF} \times \text{N}$$

เมื่อ N เป็นปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะนำมาพิจารณาไปด้วย เช่น ปัจจัยการแจกจ่าย (distribution factor) อัตราการรับรังสี (absorbed dose rate) โดยทั่วไปกำหนดให้ $N = 1$ และเพื่อความสะดวกได้มีการกำหนดค่า QF สำหรับรังสีก่อไอออนชนิดต่างๆ ค่าของ LET, RBE และ QF ของรังสีแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.2

สำหรับหน่วยสากลกำหนดให้ J/kg หรือ ซีเวิร์ต (sievert ; Sv) โดยสัมพันธ์กับหน่วยเรม โดยที่ 1 rem คือ ปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดผลทางชีววิทยา เทียบเท่าผลที่เกิดจากรังสีเอกซ์

$$1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

ตารางที่ 2.2 ค่า LET , RBE และ QF ของรังสีแต่ละชนิด

ชนิดของรังสี	LET (keV/micron)	RBE	QF
200 kVp X-ray	3	1	1
^{60}Co gamma ray	0.3	0.7	1
Beta ray	0.3	1	1
Proton	7-23	4-5	2.3
Thermal neutron	7	4-5	10
Fast neutron	20-53	5-10	10
Alpha ray	53-175	10-20	20

ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

เนื่องจากรังสีเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง ดังนั้น เมื่อกระทบวัสดุต่างๆ และสิ่งมีชีวิตก็ย่อมเกิดผลกระทบขึ้นได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของรังสี พลังงานของรังสี ปริมาณของรังสี และชนิดของอวัยวะที่รังสีตกกระทบ ทั้งนี้ โดยที่เซลล์เนื้อเยื่อและอวัยวะแต่ละส่วน ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้น มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อรังสีแตกต่างกันไป รังสีที่แผ่ออกจากธาตุกัมมันตรังสี เมื่อผ่านเข้าไปในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอม ตามแนวทางที่รังสีผ่านไป ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต 2 แบบ คือ

1. ผลชัดเจน (deterministic effect) ผลที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับรังสีปริมาณเกินค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ทำให้เห็นผลกระทบอย่างชัดเจน ผลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับ เช่น เกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนัง ผมร่วง เซลล์ตาย เป็นแผลเปื่อย ภาวะเกิดพังผืดที่ปอด (fibrosis of the

lung) มะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) ต้อกระจก (cataracts) ดังแสดงตัวอย่างอุบัติเหตุในภาพที่ 2.11 ซึ่งร่างกายจะเป็นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ได้รับ ส่วนของร่างกายที่ได้รับรังสี และอายุของผู้ได้รับรังสี กล่าวคือ ผู้ที่ได้รับรังสีหากมีอายุน้อยแล้วอันตรายเนื่องจากรังสีจะมีมากกว่าผู้ที่มีอายุมาก ในทารกแรกเกิดอาจได้รับอันตรายถึงพิการหรือเสียชีวิตได้ ข้อมูลที่ได้จากการใช้ระเบิดนิวเคลียร์ในสงครามโลกครั้งที่ 2 อุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ และการใช้รังสีทางการแพทย์ ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มอาการที่ได้รับรังสีทั่วร่างกายออกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยต้องเกิดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

1.1 ได้รับรังสีภายในระยะเวลาสั้นๆ (นาที)

1.2 ทั่วร่างกายได้รับรังสี

1.3 ต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกายและเป็นรังสีชนิดที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง โดยในกลุ่มอาการทั้ง 3 จะมีระยะของการตอบสนองดังนี้

1.3.1 ระยะเตือนล่วงหน้า (prodromal stage) อาเจียน ผิวหนังเป็นผื่นแดง หายใจไม่สะดวก ตาอักเสบ มีไข้

1.3.2 ระยะแฝง (latent stage) ไม่มีการแสดงผลอาการออกมา

1.3.3 ระยะแสดงผล (manifest stage) มีไข้ ท้องร่วง ทิดเชื้อ เม็ดเลือดลดลง โลหิตออก ผมร่วง ผิวหนังพอง บวม และเป็นแผลลึก ปวดท้องรุนแรง กล้ามเนื้อไม่ทำหน้าที่ร่วมกันดังนั้น แม้มนุษย์ได้รับรังสีทั่วร่างกาย แต่ผลที่เกิดขึ้นต่ออวัยวะต่างๆ จะไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.11 อุบัติเหตุทางรังสี (Co-60) ในประเทศไทย

ที่มา: <http://www.oknation.net/blog/katiya/2008/05/22/entry-2>

ตารางที่ 2.3 ค่าปรับเทียบตามชนิดเนื้อเยื่อ (tissue weighting factor) ของอวัยวะต่างๆ

อวัยวะ	tissue weighting factor
อวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gonad)	0.20
ไขกระดูก (bone marrow)	0.12
ลำไส้ใหญ่ (colon)	0.12
ปอด (lung)	0.12
กระเพาะ (stomach)	0.12
กระเพาะปัสสาวะ (bladder)	0.05
เต้านม (breast)	0.05
ตับ (liver)	0.05
หลอดอาหาร (esophagus)	0.05

*tissue weighting factor หมายถึง ค่าปรับเทียบตามชนิดเนื้อเยื่อ ซึ่งแสดงถึงผลกระทบจากรังสี ที่มีต่อเนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่างๆ (ที่มา : ICRP Publication 60, 1994)

2. ผลไม่ชัดเจน (stochastic effect) เป็นผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของผู้ได้รับรังสีที่ปริมาณน้อยๆ ในระยะเวลาที่นาน ๆ ผลของรังสีต่อร่างกายมนุษย์ในระยะยาวสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 การเกิดมะเร็ง ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากรังสี ได้แก่ มะเร็งของเม็ดเลือดขาว ผิวหนัง กระดูก ปอด ไทรอยด์ เต้านม ซึ่งจะมีระยะแอบแฝงประมาณ 20-30 ปี ยกเว้นมะเร็งเม็ดเลือดขาวซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7-12 ปี และหากเกิน 20 ปีไปแล้วอุบัติการณ์จะเข้าสู่ปกติ

2.2 อายุสั้น ผู้ได้รับรังสีจะมีอายุสั้นกว่าที่ควร

2.3 การถ่ายทอดไปยังลูกหลาน ถ้ามีการผ่าเหล่าเกิดขึ้นกับเซลล์สืบพันธุ์ (germ cells) ก็มีโอกาเป็นไปได้ที่ความผิดปกติจะถ่ายทอดไปยังลูกหลาน

จากการตรวจสอบผลของรังสีจากการทิ้งลูกระเบิดนิวเคลียร์ และการศึกษาวิจัยและปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ รังสี และวัสดุกัมมันตรังสี ตลอดช่วงเวลา 100 ปี ที่ผ่านมา ได้มีการสรุปผลความเสี่ยงและอันตรายของรังสีต่อมนุษย์ และสรุปเป็นเกณฑ์อันตรายของรังสี ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

(ที่มา : <http://www.tint.or.th/nkc/nkc5004>)

ความแรงรังสีระดับ 10,000 มิลลิซีเวิร์ต ในระยะเวลาสั้น ๆ	เกิดการบาดเจ็บทางรังสีทันที และทำให้ถึงแก่ความ ตายใน 2-3 สัปดาห์
ความแรงรังสีระดับ 1,000 มิลลิซีเวิร์ต ใน ระยะเวลาสั้น ๆ	เกิดการบาดเจ็บทางรังสี เช่น คลื่นไส้ อาเจียน แต่ไม่ ถึงขั้นเสียชีวิต และอาจเกิดเป็นมะเร็งในระยะหลัง
ความแรงรังสีระดับ 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี	เกณฑ์ความปลอดภัยทางรังสี สำหรับผู้ปฏิบัติงานใน สถานปฏิบัติงานทางรังสี
ความแรงรังสีระดับ 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี	ระดับรังสีปกติในธรรมชาติ
ความแรงรังสีระดับ 0.05 มิลลิซีเวิร์ต	ระดับรังสีสูงสุด ที่ยอมให้มืออยู่ ณ รอบบริเวณสถาน ปฏิบัติงานนิวเคลียร์

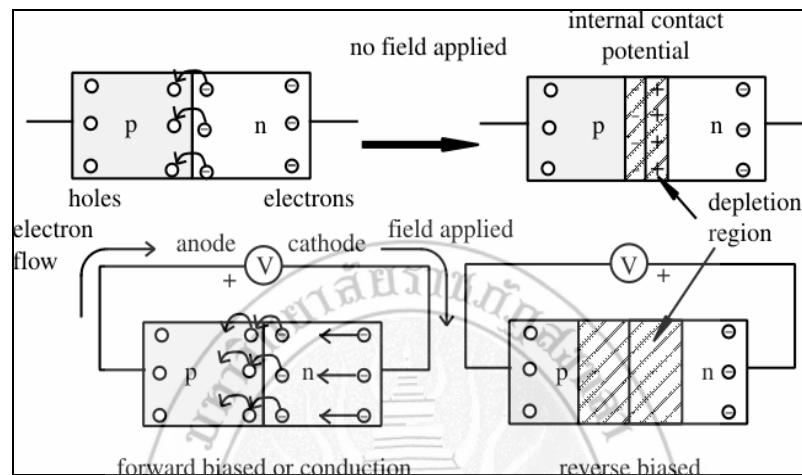
การตรวจวัดรังสีแกมมาและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสี โดยใช้หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำและระบบวิเคราะห์แบบเกมมาสเปกโตรเมตรี

ในการตรวจวัดรังสีแกมมาในธรรมชาติ วิธีการที่ใช้จะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุ ผลที่เกิดขึ้นก็คือ อะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) หรือถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น (excitation) หัววัดรังสีที่อาศัยหลักการแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ หัววัดแบบก๊าซทุกชนิดและหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ ส่วนหัววัดที่ใช้หลักการกระตุ้น ได้แก่ หัววัดแบบซิลทิลเลชัน สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป สำหรับการตรวจวัดรังสีแกมมา หัววัดรังสีแกมมาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิดคือ หัววัดแบบซิลทิลเลชัน (scintillation detector) และหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector) แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ

1. หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector)

ถ้านำผลึกของสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมชนิดพี กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมาต่อกัน เรียกว่า ไดโอด อิเล็กตรอนตรงบริเวณใกล้ๆ รอยต่อ (junction) จากผลึกชนิดเอ็น จะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปรวม กับโฮลในผลึกชนิดพี ขณะเดียวกันโฮลในผลึกชนิดพีจะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ ไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนในผลึกชนิดเอ็น ทำให้เกิดเป็นบริเวณที่เรียกว่า depletion region เมื่อต่อสัคย์ไฟฟ้าแบบตรง (forward bias) depletion region จะหายไปและเกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อ ถ้าให้สัคย์ไฟฟ้าแบบกลับขั้ว (reverse bias) อิเล็กตรอนและโฮล จะเคลื่อนที่กลับทิศ คือ ด้าน p-type จะต่อกับขั้วลบ และ n-type จะต่อกับขั้วบวก ทำให้เกิดบริเวณตรงกลางของแต่ละข้างที่เรียกว่า depletion region ซึ่ง

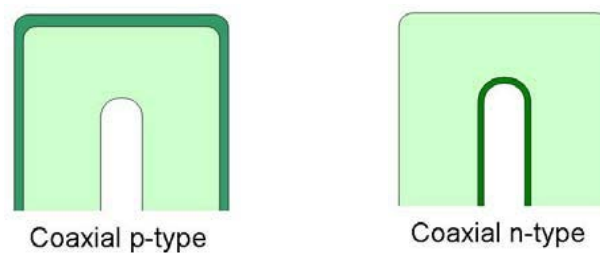
บริเวณนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ของ hole และ อิเล็กตรอน ทำให้ไม่มีการรวมตัวกันของประจุทั้งสอง และไม่มีกระแสไหลผ่าน ดังนั้นเมื่อรังสีเข้ามาทำปฏิกิริยาในบริเวณ depletion region ทำให้เกิด excitation ของอิเล็กตรอน และมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น โดยขนาดของกระแสขึ้นกับพลังงานของรังสีที่เข้ามาทำปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การต่อศักย์ไฟฟ้าแบบตรงและแบบกลับ ให้แก่ไดโอด
(ที่มา : http://www.tint.or.th/adv/phys_oap)

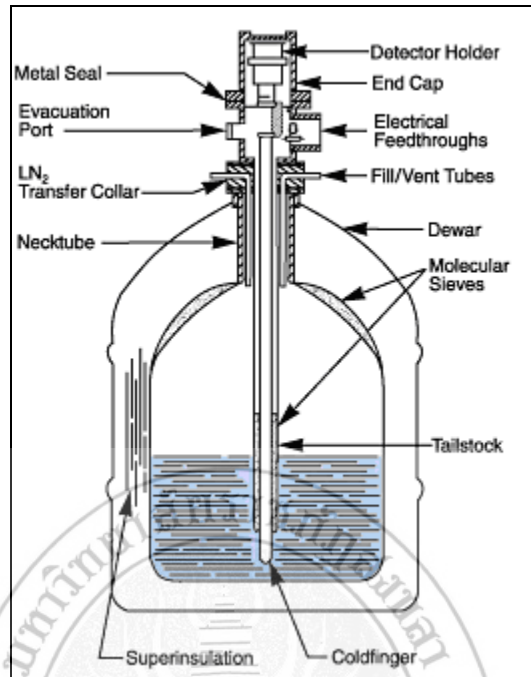
2. หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (high purity germanium detector ; HPGe)

หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ทำขึ้นจากผลึกเจอร์มาเนียมรูปทรงกระบอก ที่ผิวด้านนอกจะแพร์ด้วยลิเทียม ส่วนด้านในปลูกไอออนของโบรอน เรียกว่า หัววัดรังสีชนิดพี (p-type) หรือเป็นผลึกเจอร์มาเนียมรูปทรงกระบอก ซึ่งแพร์ด้วยลิเทียมไว้ที่ผิวด้านใน ส่วนด้านนอกปลูกไอออนของโบรอน เรียกว่า หัววัดรังสีชนิดเอ็น (n-type) ดังแสดงในภาพที่ 2.13 และ 2.14



ภาพที่ 2.13 coaxial ของ p-type และ coxial ของ n-type

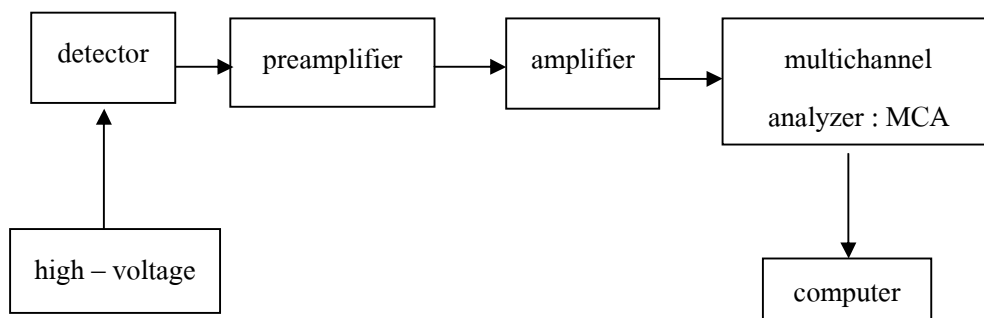
(ที่มา : http://www.tint.or.th/adv/phys_oap)



ภาพที่ 2.14 ภาคตัดขวางของหัววัดรังสีแบบ coaxial HPGe

(ที่มา : http://www.tint.or.th/adv/phys_oap)

หลักการโดยย่อของหัววัดหัววัดแบบ Lithium-drifted Germanium ต้องแช่ไว้ในโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ 77°K เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในผลึก จะทำให้เกิดไอออนที่มีประจุบวกและประจุลบ ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล ที่มีจำนวนเท่าๆ กัน และเมื่อนำขั้วไฟฟ้าสองขั้วมาต่อเข้ากับผลึกคนละด้านแล้วมีกระแสไฟฟ้าผ่าน จะทำให้ผลึกนั้นมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ไอออนหรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้นก็จะถูกดึงดูดไปยังขั้วไฟฟ้า ไอออนที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับพลังงานที่สูญเสียไปในผลึก และเมื่อต่อหัววัดชนิดนี้เข้ากับระบบขยายสัญญาณและ MCA ดังแสดงในภาพที่ 2.15 ก็จะสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีได้ ข้อมูลที่ตรวจวัดออกมาในรูปของกราฟที่เขียนขึ้นระหว่าง จำนวนช่องของ MCA และจำนวนนับที่นับได้จากหัววัดในแต่ละช่องของ MCA เรียกว่า “สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา”



ภาพที่ 2.15 แผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา

3. อุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์

3.1 แหล่งจ่ายกำลังศักย์สูง (high voltage power supply) จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักย์ไฟฟ้าทางเอาต์พุตให้คงที่ ณ จุดที่ตั้งไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อมหรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์สำหรับหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ แหล่งจ่ายกำลังศักย์สูงควรปรับค่าได้จาก 0 ถึง 5,000 โวลต์ และให้กระแสได้จาก 0 ถึง 100 A

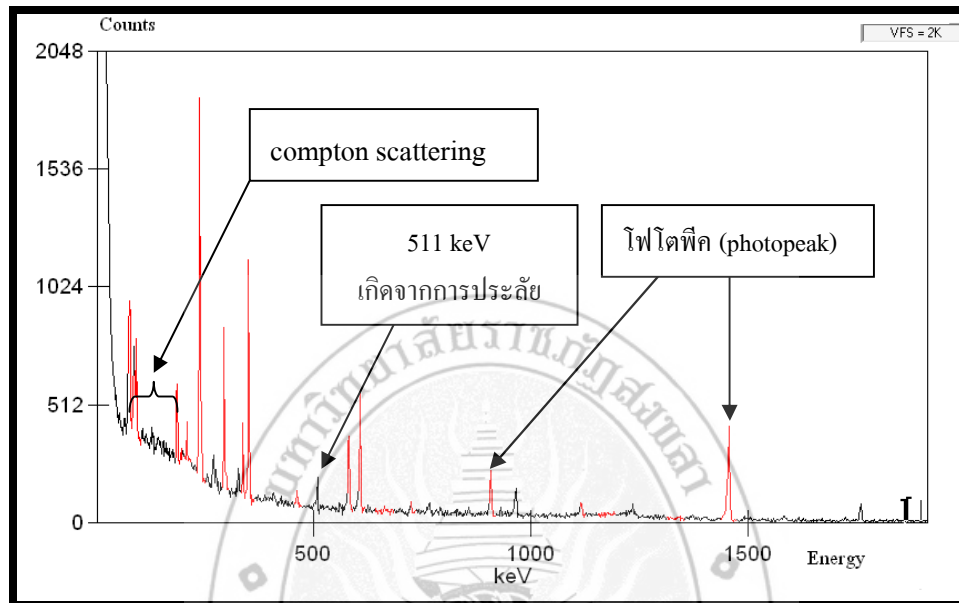
3.2 ภาคขยายส่วนหน้า (preamplifier) จะทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นจากหัววัด แล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ซึ่งมีขนาดที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุ

3.3 ภาคขยายหลัก (amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์จากภาคขยายส่วนหน้า แล้วนำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะกับการนำไปวิเคราะห์ ความสูง อัตราการขยายแรงดัน (voltage gain) มี 2 แบบ คือ อัตราขยายหยาบ (coarse gain) และ อัตราขยายละเอียด (fine gain)

3.4 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (multichannel analyzer; MCA) จะบันทึก และเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดความสูง หน่วยเก็บแต่ละหน่วยจะเรียกว่าช่อง ความสูงของพัลส์จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ในรูปของปฏิภาคกับพลังงานของอนุภาคที่เข้าสู่หัววัด แต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะ ที่สมนัยกับพลังงานนั้นๆ การแจกแจงของพัลส์ในช่องก็คือ ภาพของการแจกแจงพลังงานของอนุภาค เมื่อสิ้นสุดเวลาการวัด สเปกตรัมที่ถูกบันทึกจะแสดงผลที่จอภาพของ MCA และแกนนอน คือ หมายเลขช่องหรือพลังงานของอนุภาค ส่วนแกนตั้งจะเป็นจำนวนอนุภาคที่ถูกบันทึกต่อช่อง

การตรวจวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ จะเห็นได้ว่า ลักษณะของสเปกตรัมของรังสีแกมมานั้น จะเริ่มต้นจากรังสีที่มีพลังงานต่ำๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตรวจวัด ได้แก่ รังสีเอกซ์ โฟตอนสะท้อนกลับ บริเวณต่อเนื่องแบบคอมพัตัน ซึ่งส่วนที่สำคัญที่จะนำมาวิเคราะห์ คือ

ฟลักพลังงานของรังสีแกมมาจริง ที่จะทำการวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแกมมา โดยใช้พีคที่เรียกว่า โฟโตพีค (photopeak) หรือที่เป็นพีคสีแดงที่ได้จากการปรับเทียบนั่นเอง ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 สเปกตรัมของอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับสสาร
(ที่มา : จากผลการทดลองของตัวอย่างดิน จังหวัดพัทลุง)

4. ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบ HPGe

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี หมายถึง อัตราส่วนจำนวนนับของสารกัมมันตรังสีในช่วงเวลาหนึ่งต่ออัตราการแผ่รังสีจากสารกัมมันตรังสีนั้น ในช่วงเวลาเท่ากัน ในการหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง จำเป็นต้องทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องวัดนั้นเสียก่อน ประสิทธิภาพของเครื่องวัดรังสีจะมีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี พลังงานของรังสี โดยนำเอาสารกัมมันตรังสีมาตรฐานมาทำการตรวจสอบ เนื่องจากรู้ค่าพลังงานและกัมมันตภาพหรือความแรงของรังสีที่แน่นอน

ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี คำนวณได้จาก

$$\text{Eff}(\zeta) = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

โดยที่ อัตรานับสุทธิต่อเวลาที่ใช้ในการวัด (count per second or “cps”) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$\text{cps} = \frac{\text{area}}{t} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

เมื่อ area คือ ค่าพื้นที่ใต้พีค

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัด (วินาที)

อัตราการสลายตัวหรือค่ากัมมันตภาพรังสี (disintegration per second or “dps”) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$\text{dps} = A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

เมื่อ A(t) คือ กัมมันตภาพที่เวลา t ใดๆ

A₀ คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น (t=0 วินาที)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว เท่ากับ 0.693/ T_{1/2}

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัว (วินาที)

5. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity : S.A.)

กัมมันตภาพหรือความแรงของรังสี หน่วยที่ใช้วัด คือ คูรี (curie : Ci) และเบคเคอเรล (becquerel : Bq)

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps} \text{ และ } 1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่วัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งที่ทำกรวัด สามารถหา กัมมันตภาพจำเพาะโดยอาศัยความสัมพันธ์จากสัมประสิทธิ์ของหัววัดรังสี ดังนั้นกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\text{S.A} = \frac{\text{cps}}{\zeta \times P_y \times W_t} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

เมื่อ S.A. คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ในสารตัวอย่าง (Bq/kg)

cps คือ อัตรานับสุทธิ (peak area/counting time)

ζ คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวัดรังสี (kg)

P_y คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี (%yield)

6. กำลังแยกพลังงาน (energy resolution)

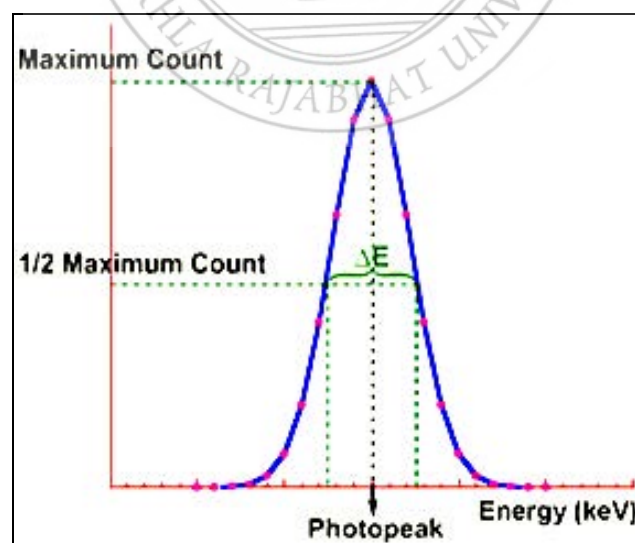
เป็นค่าที่แสดงความสามารถของระบบการนับวัดในการแยกรายละเอียดของพลังงานต่างๆ ออกจากกันโดยแยกตามพลังงานหรือระยะห่างของพลังงาน photopeak ยิ่งกว้างบ่งบอกถึงความสามารถในการแยกพลังงานได้ไม่ดี ดังนั้น ค่าของกำลังแยกพลังงาน คำนวณจาก full width at half maximum (FWHM) ของ photopeak ดังแสดงในภาพที่ 2.17

การหา FWHM ทำได้โดยวัดค่านับวัดสูงสุดที่ยอดของ photopeak และอ่านค่าพลังงาน ณ ตำแหน่งนี้ (energy ที่ photopeak) จากนั้นหาดำแหน่งของพลังงานที่มีค่านับวัดเป็นครึ่งหนึ่งของค่านับวัดของ photopeak ซึ่งค่าพลังงานที่ได้จะมี 2 ค่าคือค่าที่อยู่ด้านซ้ายและด้านขวาของ photopeak และจะได้ค่าความแตกต่างของพลังงานที่มีค่านับวัดเป็นครึ่งหนึ่งของค่านับวัด (ΔE) เพราะฉะนั้น คำนวณหาค่า FWHM ได้จากสมการที่ 2.16 ดังนี้

$$\% \text{ energy resolution} = \frac{\Delta E \text{ ที่ FWHM}}{\text{energy ที่ photopeak}} \times 100 \quad \dots\dots(2.16)$$

เมื่อ % energy resolution คือ กำลังแยกของหัววัด (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์)

FWHM คือ ค่าความกว้างของโฟโตพีคที่ครึ่งหนึ่งของค่านับสูงสุด หรือค่าความกว้างของ FEP



ภาพที่ 2.17 การหาค่า energy resolution จาก full-width-at-half-maximum (FWHM)

(ที่มา:<http://www.medtech.mahidol.ac.th/mtthai/eLearning/instrumentation>)

7. ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (lower limit of detector, LLD)

ในทางปฏิบัติ จะทำการตรวจวัดรังสีจากธรรมชาติ (background) ก่อนการวัดตัวอย่าง ซึ่งเราสามารถระบุบอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าวัดรังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไร เราเรียกระดับนี้ว่า ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด ทั้งนี้เป็นเพราะการวัดค่ารังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 95 โดยในการวัดจะต้องได้ผลการวัดจากตัวอย่างมากกว่าค่าขีดจำกัดของห้วงวัดจึงถือได้ว่าเป็นผลจากการสลายตัวของรังสีในตัวอย่าง ซึ่งสามารถหาค่าขีดจำกัดของห้วงวัดได้จากสมการต่อไปนี้

$$LLD = \frac{4.66 \times S_n}{\xi} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

เมื่อ LLD คือ ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด
 ξ คือ ค่าประสิทธิภาพของห้วงวัด
 S_n คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับที่ห้วงวัดนับได้

โดยที่

$$S_n = \sqrt{S_T^2 + S_B^2} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

และ

$$S_T^2 = \frac{R_T}{t_c} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

$$S_B^2 = \frac{R_B}{t_c} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

เมื่อ R_B คือ ค่าอัตราการนับในธรรมชาติ (background count rate)
 ซึ่งเท่ากับ $\frac{\text{count background}}{t_c}$

R_T คือ ค่าอัตราการนับรวม (gross count rate) ซึ่งเท่ากับ $\frac{\text{count net}}{t_c}$

S_B^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_B

S_T^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_T

t_c คือ ระยะเวลาที่ทำการตรวจวัด

8. อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ

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

$$D(\text{nGy/h}) = 0.462A_{\text{Ra}} + 0.604A_{\text{Th}} + 0.0417A_{\text{K}} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

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)

9. 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

$$Ra_{\text{eq}} = 370 \left(\frac{A_{\text{Ra}}}{370} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} + \frac{A_{\text{K}}}{4810} \right) = A_{\text{Ra}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \quad \dots\dots(2.22)$$

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)

10. ดัชนีความเสี่ยงรังสีจากภายนอก

ค่าดัชนีอันตรายหรือความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย โดยกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย ส่วนใหญ่จะเป็นรังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง ที่มาจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติภายนอกร่างกาย ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากนอกร่างกายประจำปี (external hazard index : H_{ex}) คำนวณได้จากสมการ (2.23) สมการนี้เป็นรูปแบบจำลอง

(conservative model) ของการได้รับอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย เมื่อใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่น หิน ทราย มาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน ซึ่งบ้านที่ก่อสร้างมีความหนาของผนังยาวมีที่สิ้นสุด โดยปราศจากหน้าต่างและประตู คำนวณได้จากสมการ

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \dots\dots\dots(2.23)$$

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)

11. อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี

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

$$\text{Annual Effective Dose (mSv/y)} = D \text{ (nGy/h)} \times 8,760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-6} \dots\dots\dots(2.24)$$

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ (2549 : 50-53) ได้ทำการวัดปริมาณและคุณภาพของกัมมันตภาพรังสีในทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยใช้ห้ววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโกปี โดยทำการวัดและเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานดิน (IAEA Soil 6) และแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน Eu-152 ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยใช้เวลาในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของแต่ละตัวอย่าง 10,000 วินาที จากผลที่ได้ พบว่า มีไอโซโทปรังสีของ ^{210}Pb , ^{228}Ac , ^{208}Tl , ^{214}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{232}Th และ ^{40}K ปรากฏอยู่ในตัวอย่างทรายชายหาดดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K พบว่า ปริมาณที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ปกติ

รัชดา ทองศรี (2550 : 63-64) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายแม่น้ำจากบริเวณอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง จำนวน 2 แห่ง ๆ ละ 20 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 40 ตัวอย่าง โดยใช้ห้ววัดแบบเจอร์มานีเยมบริสุทธิ และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยทำการวัดและเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานดิน (IAEA 375-Soil) และใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน ^{137}Cs และ ^{60}Co ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก ในการปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ในการตรวจวัดในแต่ละตัวอย่างใช้เวลาเป็น 10,000 วินาที จากผลที่ได้ พบว่ามีไอโซโทปรังสีของ ^{212}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{228}Ac , ^{208}Tl , ^{238}U , ^{232}Th และ ^{40}K ปรากฏอยู่ในตัวอย่างทรายแม่น้ำทั้ง 2 แห่ง นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K พบว่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U ที่พลังงาน 609.32 keV ของ ^{214}Bi มีพิสัยอยู่ในช่วง 21.24-40.71 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 30.33 ± 0.83 Bq/kg ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ที่พลังงาน 911.07 keV ของ ^{228}Ac มีพิสัยอยู่ในช่วง 18.50-42.34 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 30.52 ± 0.98 Bq/kg และกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ที่พลังงาน 1460.75 keV มีพิสัยอยู่ในช่วง 288.63-592.81 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 440.17 ± 0.95 Bq/kg ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงเกณฑ์ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติของประเทศไทยและของโลก

ประสงค์ เกษราธิคุณ และคณะ (2552 : 8-11) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้น ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่าง ที่เก็บจากชายหาดแฉวง อำเภอเกาะสมุย ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้ห้ววัดรังสีแบบเจอร์มานีเยมบริสุทธิและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีและใช้สารมาตรฐานดินแบบปริมาตร IAEA 375-soil ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในการเปรียบเทียบเพื่อการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ต้องการ จากผลการทดลองพบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่คำนวณได้มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 1.09-95.37 Bq/kg สำหรับ ^{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 ยังได้นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการรายงานผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลก

นุรีมาลย์ บือซา (2551 : 15-17) ได้ทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดินจำนวน 60 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา จำนวน 30 ตัวอย่าง และเก็บจากบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยใช้ห้ววัดเจอร์มานีเยมบริสุทธิและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่ห้องปฏิบัติการของสถาบัน

เทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) พบว่า ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณวิทยาเขตสงขลา มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 8.90–42.08 Bq/kg, 17.41–146.24 Bq/kg และ 443.05–1455.84 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 24.43 ± 1.35 , 55.89 ± 4.56 และ 949.63 ± 26.03 Bq/kg ตามลำดับ และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 5.97–34.36 Bq/kg, 14.49–123.95 Bq/kg และ 46.13–1000.57 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 18.60 ± 0.92 , 67.24 ± 4.61 และ 298.35 ± 14.58 Bq/kg ตามลำดับ และได้นำผลที่คำนวณได้นี้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของนักวิจัยไทยและข้อมูลของงานวิจัยทั่วโลก นอกจากนี้ยังได้คำนวณปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) และค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอกร่างกาย (external hazard index : H_{ex}) โดยใช้ข้อมูลของตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลาและพัทลุง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (< 370 Bq/kg) และยังพบว่าตัวอย่างดินทั้งสองแห่งมีค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (< 1) เช่นกัน อีกทั้งยังได้ทำการประเมินอัตราปริมาณรังสีซึ่งผลในอากาศต่อปี แล้วนำค่าที่ได้จากการประเมินนี้มาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดเป็นมาตรฐานความปลอดภัยของการได้รับรังสี ($100 \mu\text{Sv/y}$) อีกด้วย

ศุภวุฒิ เบ็ญกุล และคณะ (2550 : 95-107) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างดินจำนวน 40 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th มีค่าเป็น 1029.36 Bq/kg, 68.41 Bq/kg และ 96.48 Bq/kg ตามลำดับ และเมื่อนำค่าที่ได้ขึ้นไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตรวจวัดไว้โดยนักวิจัยทั่วโลก พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกที่ตรวจวัดได้

ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และคณะ (2553 : 107-116) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{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 และเมื่อนำค่าที่ได้ขึ้นไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตรวจวัดไว้โดยนักวิจัยทั่วโลก พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกที่ตรวจวัดได้

ฐุมวดี ทองนะ (2552 : 118-122) ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างดินบริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช 180

ตัวอย่าง พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th มีค่าเป็น 4313.18 Bq/kg, 108.55 Bq/kg และ 73.95 Bq/kg ตามลำดับ และเมื่อนำค่าที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตรวจวัดไว้โดยนักวิจัยทั่วโลก พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกที่ตรวจวัดได้

ชัยวัฒน์ รัตนสำเนียง (2552 : 102-105) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติในตัวอย่างดินจำนวน 16 ตัวอย่าง ที่เก็บจาก 16 อำเภอ ในจังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่า ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดิน มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 279.40 – 17523.33 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , 0.00 – 997.27 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 3.84 – 192.98 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 0.00 – 6.15 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 3562.14 ± 223.56 Bq/kg, 107.28 ± 6.74 Bq/kg, 51.53 ± 5.02 Bq/kg และ 0.38 ± 0.20 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้คำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) โดยใช้ข้อมูลของตัวอย่างดิน ที่เก็บจาก 16 อำเภอ ในจังหวัดสงขลา พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (< 370 Bq/kg) และเมื่อประเมินความเสี่ยงการได้รับสัมผัสรังสีของประชาชนด้วยค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) พบว่า ตัวอย่างที่เก็บจาก 16 อำเภอ ในจังหวัดสงขลา มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอกที่มากกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (< 1) นอกจากนี้ ยังได้ทำการประเมินปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศสำหรับภายนอกอาคารบ้านเรือน โดยใช้ข้อมูลของตัวอย่างที่เก็บจาก 16 อำเภอ ในจังหวัดสงขลา พบว่า ได้ค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของประเทศไทย (> 77 nGy/h)

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

Seddeek *et.al.* (2005 : 47) ได้ทำการศึกษาตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีบริเวณชายทะเลและทรายตามสถานที่ต่างๆ ใน Al-Arish city และบริเวณใกล้เคียง North Sinai Egypt และทำการเก็บตัวอย่างบริเวณท่าเรือ หุบเขา Al-Arish และในเขตคุ่มกันอุตสาหกรรม

Zaranik ผลที่วัดได้ คือ ค่าความเข้มข้นของรังสีของ ^{232}Th , ^{226}Ra บริเวณท่าเรือและตามชายฝั่งมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีของ ^{232}Th บริเวณชายทะเลอยู่ในช่วง 2.3–506.5 Bq/kg (เฉลี่ย 83.4 Bq/kg) และจากเนินทรายบริเวณต่างๆ มีค่า 2.2–151 Bq/kg (เฉลี่ย 6.4 Bq/kg) และค่าความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีของ ^{226}Ra บริเวณชายทะเลอยู่ในช่วง 2.9–261.5 Bq/kg (เฉลี่ย 56.0 Bq/kg) และจากเนินทรายบริเวณต่างๆ มีค่า 3.0–14.7 Bq/kg (เฉลี่ย 6.5 Bq/kg)

Veiga *et al.* (2006 : 193-195) ได้ศึกษาการกระจายของรังสีแกมมาในธรรมชาติและค่ายังผลรายปีของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th โดยได้เก็บตัวอย่างทรายริมทะเลจากประเทศบราซิล (4 แหล่ง) คือ Sao Paulo(SP), Riode Janeiro(RJ), Espirito Santo(ES) และ Bahia(BA) โดยเจาะจงเลือกเฉพาะบริเวณริมทะเล ได้ค่าอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีหรือค่าที่ใช้วัดความอันตรายของรังสี ซึ่งมีบางบริเวณ มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยโลก ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานจาก Organization for Economic Cooperation and Development for building materials และค่าเฉลี่ยความอันตรายของรังสีแกมมา (radium equivalent activity) ในบริเวณที่พบว่าเป็นอันตราย คือ 696 Bq/kg ใน Mambucaba (RJ), 1621 Bq/kg ใน Buena (RJ), 2289 Bq/kg ใน Serra (ES), 3240 Bq/kg ใน Sao Mateus (ES), 3075 Bq/kg ใน Porto Segura (BA) และ 1841 Bq/kg ใน Itacare (BA)

Kannan *et al.* (2002 : 111-117) ได้ทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีปฐมภูมิชนิด ^{232}Th , ^{238}U และ ^{40}K และนิวไคลด์ที่มนุษย์สร้างขึ้น ชนิด ^{137}Cs โดยใช้หัววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และเทคนิคทางการวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ในตัวอย่างดินที่เก็บจากชายฝั่ง Kalpakkam ตั้งอยู่ตอนใต้ของเมืองเชนไน (Chennai) ทางฝั่งตะวันออกของประเทศอินเดีย พบว่า ค่าพิสัยความเข้มข้นของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{40}K มีค่าเป็น 5-71 Bq/kg, 15-776 Bq/kg และ 200-854 Bq/kg ตามลำดับ ส่วนค่าพิสัยความเข้มข้นของ ^{137}Cs มีค่า ≤ 1.0 -2.8 Bq/kg

Singh *et al.* (2005 : 538-541) ได้ทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K โดยใช้เทคนิคทางการวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ในตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่บางแห่งของรัฐปัญจาบ (Punjab) และรัฐฮิมาจัลประเทศ (Himachal Pradesh) ในประเทศอินเดีย พบว่า มีค่าพิสัยของค่าความเข้มข้นของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มีค่าเป็น 18.22-90.30 Bq/kg, 34.80-124.68 Bq/kg และ 80.42-181.41 Bq/kg ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเป็น 57 Bq/kg, 87 Bq/kg และ 143 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าที่คำนวณได้นี้มีค่าที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดไว้ โดยนักวิจัยทั่วโลก และนอกจากนี้ยังได้คำนวณค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (radium equivalent activities) ค่าระดับรังสีดูดกลืนแกมมาจากภายนอกร่างกาย (outdoor gamma-absorbed dose rate) และค่าโดสยังผลรายปีจากภายนอกร่างกาย (outdoor annual effective dose) อีกด้วย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ทางภาคใต้ของประเทศไทย ทรายหาดละ 50 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง แล้วนำมาเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมตามหลักการที่เป็นมาตรฐาน และทำการตรวจวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ ห้อง SC618 อาคารปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์ (เดิม) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ^{60}Co , ^{137}Cs และ ^{133}Ba ในการปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) แก่เครื่องมือและระบบตรวจวัดที่ใช้ในการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งทำการตรวจวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีของสารมาตรฐาน (IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCl และ IAEA/SL-2) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 6 ชั่วโมง หรือ 21,600 วินาที แล้วทำการตรวจวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีของตัวอย่างทรายชายหาด โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง หรือ 10,800 วินาที จากนั้นใช้ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองในรูปแบบของสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาทำการตรวจสอบและวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อศึกษาชนิดของสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity : S.A.) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของกัมมันตรังสี (concentration of radioactivity) ของสารกัมมันตรังสีที่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclide) โดยเน้นเฉพาะนิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดที่สำคัญ ได้แก่ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th เป็นต้น และรวมไปถึงการคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ ^{137}Cs ที่สะสมในตัวอย่างทรายหาดดังกล่าว หลังจากนั้นนำผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณหาค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอก ร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และค่าปริมาณรังสีขั้วผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) ของบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ และยังได้เปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดและคำนวณได้ในการทำวิจัยครั้งนี้กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงาน

ปริมาณเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) อีกด้วย สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัยที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด 2. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาด 3. ขั้นตอนการเตรียมหัววัดและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่เป็นระบบคอมพิวเตอร์ และ 4. ขั้นตอนการวิเคราะห์และขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีประกอบด้วย

1.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงของบริษัท Canberra Industries เป็นหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำชนิด Standard Electrode Coaxial Ge Detectors (SEGe) รุ่น GC 2018 ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง รุ่น GC 2018

1.2 เครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) Model 2025 ดังแสดงในภาพที่ 3.2

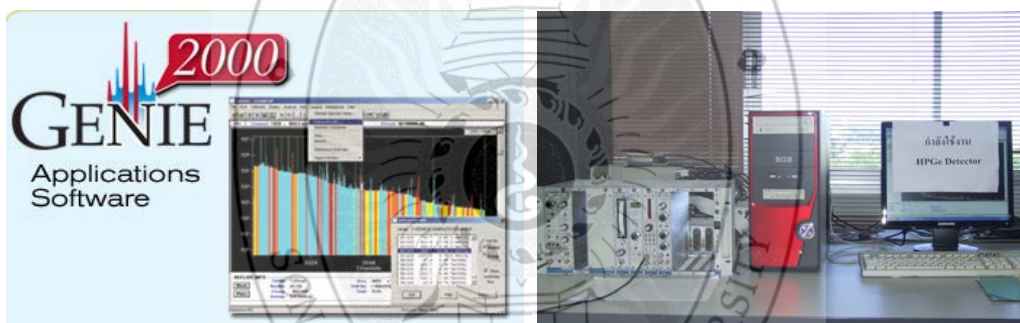
1.3 เครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply) Model 3102D ดังแสดงในภาพที่

3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) และเครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply)

1.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GENIE-2000 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (multichannel analyzer : MCA) พร้อมติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับแสดงและวิเคราะห์ผล ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GENIE-2000 พร้อมติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์

2. เครื่องบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ Garmin รุ่น eTrex Summit HC ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์

3. ภาชนะพลาสติกบรรจุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุตัวอย่างทรายชายหาด

4. ซ้อนพลาสติกและถุงพลาสติกบรรจุตัวอย่างทรายชายหาด
5. ตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา จำนวนทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง
6. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ^{60}Co , ^{137}Cs และ ^{133}Ba เพื่อใช้ในการปรับเทียบพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ^{60}Co , ^{137}Cs และ ^{133}Ba

7. สารมาตรฐาน IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCl และ IAEA/SL-2 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ลักษณะของสารมาตรฐานที่บรรจุในภาชนะ

8. ตะแกรงร่อนตัวอย่าง ขนาด 325 mesh ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ตะแกรงสำหรับร่อนตัวอย่างทรายชายหาด

9. เครื่องชั่งสารความละเอียด 2 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 เครื่องชั่งสาร

10. ตู้อบตัวอย่างทรายชายหาด ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ตู้อบตัวอย่างทรายชายหาด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด

- 1.1 ศึกษาและสำรวจพื้นที่บริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด ได้แก่ บริเวณหาด สะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา โดยเลือก บริเวณที่เก็บตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวที่ เดินทางมาท่องเที่ยวใช้ในการเดินเที่ยวชมชายหาดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณกลาง ชายหาด
- 1.2 วางแผนการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด โดยศึกษาจากข้อมูลของลักษณะพื้นที่ จำนวน ประชากรและนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวชมชายหาด รวมตัวอย่างทั้งหมด 100 ตัวอย่าง
- 1.3 ในการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด ทำการเลือกพื้นที่ที่จะเก็บตัวอย่างทรายบริเวณ ดังกล่าวให้มีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร เก็บเศษไม้ ใบหญ้าแห้ง เศษพงและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่มีอยู่บนพื้นที่ดังกล่าวออกไปจนหมด พร้อมทั้ง เก็บทรายด้านบนออกไปจากพื้นที่เก็บตัวอย่างลึก 1-2 เซนติเมตร แล้วขุดทรายใน บริเวณพื้นที่ดังกล่าวให้ลึก 10 เซนติเมตร โดยประมาณ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน หลังจากนั้นแบ่งเก็บตัวอย่างทรายชายหาดใส่ถุงพลาสติกให้มีน้ำหนักประมาณ 1000-1500 กรัม ดังแสดงการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์และวิธีการเก็บตัวอย่างทรายชายหาด

2. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาด

- 2.1 นำตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บได้ทั้ง 100 ตัวอย่าง มาผึ่งไว้ในภาชนะสำหรับตาก ตัวอย่าง ณ ที่อุณหภูมิห้อง ใช้ช้อนพลาสติกเกลี่ยตัวอย่างทรายชายหาดกลับไป กลับมาทุกวัน จนตัวอย่างทรายชายหาดเริ่มแห้ง หลังจากนั้น นำไปอบไล่ความชื้นที่ อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่

3.12 แล้วจึงทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 325 mesh ที่จัดเตรียมไว้เพื่อเอาเศษไม้ ใบหญ้าแห้ง เศษผงและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ออก ดังแสดงในภาพที่ 3.13

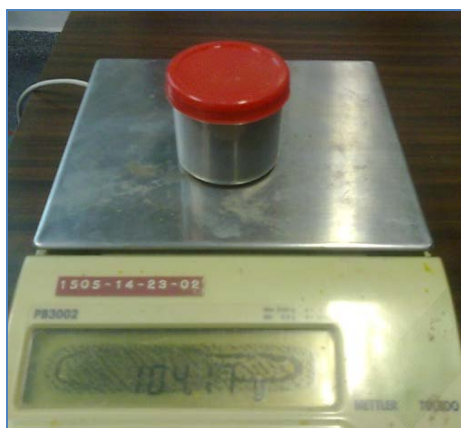


ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างทรายชายหาดที่ตากไว้ ณ ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบไล่ความชื้น



ภาพที่ 3.13 การร่อนตัวอย่างทรายชายหาด

- 2.2 นำภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ไปชั่งหาน้ำหนักของภาชนะเปล่า แล้วบันทึกผลที่ได้
- 2.3 นำตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บและเตรียมไว้ให้แห้งดังกล่าวข้างต้นมาบรรจุลงในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกให้มีความสูงประมาณ 3 เซนติเมตร สำหรับนำไปใช้ในการเปรียบเทียบในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณ แล้วคำนวณหาน้ำหนักสุทธิของตัวอย่างทรายชายหาด ดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างทรายชายหาดที่บรรจุในภาชนะพลาสติกความสูง 3 เซนติเมตร

- 2.4 ใช้เทปกาวปิดรอยต่อระหว่างฝาปิดและตัวภาชนะพลาสติกให้แน่นหนา ทั้งนี้เนื่องจากการป้องกันไม่ให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างทรายชายหาดในสถานะแก๊สหลุดรอดออกไปได้ และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อทำให้เกิดการสมมูลกัมมันตรังสีในรูปแบบต่างๆ ขึ้นได้ อันจะเป็นประโยชน์ในการตรวจวัดและคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆ ในตัวอย่างทรายชายหาดต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างทรายชายหาดพร้อมสำหรับการตรวจวัด

- 2.5 นำถุงพลาสติกชนิดที่มีการปิดปากถุงแบบ ziplock ไปบรรจุภาชนะพลาสติกที่บรรจุตัวอย่างทรายชายหาด ก่อนนำไปตรวจวัด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและหลุดรั่วของตัวอย่างทรายชายหาดลงบนหัววัดที่ต้องใช้งานอยู่เป็นประจำ

2.6 นำตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดที่เตรียมได้ขึ้นไปตรวจวัดโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีต่อไป

3. ขั้นตอนการเตรียมหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่เป็นระบบการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์

3.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีเป็นระบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ได้รับการติดตั้งและเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยสายเคเบิลเฉพาะทางโดยพนักงานวิทยาศาสตร์และผู้ช่วยวิจัยของห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ และเมื่อต้องการใช้จะต้องเตรียมเครื่องมือชุดดังกล่าวนี้ให้มีระเบียบและขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1.1 ตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen : LN₂) สำหรับหล่อเลี้ยงหัววัดว่ามีเพียงพอหรือไม่ ถ้าไม่เพียงพอต้องทำการเติมไนโตรเจนเหลวก่อนใช้หัววัด

3.1.2 เปิดเครื่องสำรองไฟ และเครื่องคอมพิวเตอร์

3.1.3 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

3.1.4 ตรวจสอบเช็คค่า Amplifier ดังนี้

Fine gain	5.72
Coarse gain	100
Input	Positive

3.1.5 ปรับปุ่ม high voltage โดยหมุนเพิ่ม voltage อย่างช้าๆ จาก 0 จนถึง 600 Volt (positive) ปล่อยให้ไว้ประมาณ 20 - 30 นาที เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการใช้งาน

3.1.6 ติดตั้งโปรแกรม GENIE-2000 ที่มีความละเอียด 2048 ช่อง ให้ตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมาได้ประมาณ 2 MeV (หรือมีความละเอียด 0.936 keV / 1 ช่อง)

3.1.7 ตั้งค่าเวลาที่ต้องการใช้ในการตรวจวัด

4. ขั้นตอนการวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น

4.1 ทำการเปรียบเทียบพลังงานโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs และ ¹³³Ba ใช้เวลาในการตรวจวัด 1,000 วินาที

- 4.2 ทำการตรวจวัดรังสีพื้นฐาน (background radiation) โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ใช้เวลาในการตรวจวัด 10,800 วินาที
- 4.3 นำสารมาตรฐาน IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCI และ IAEA/SL-2 ไปตรวจวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาที
- 4.4 คำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency : ξ) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (โดยใช้สมการที่ 2.12 ในบทที่ 2)
- 4.5 ตรวจวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาของตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บมาจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาตรวจวัด 10,800 วินาที จนครบทั้ง 100 ตัวอย่าง
- 4.6 ทำการวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 100 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา โดยใช้สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่ตรวจวัดได้จากการทดลอง และใช้สมการที่ 2.15
- ข้อสังเกต**** ในการวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 100 ตัวอย่าง มีหลักการในการวิเคราะห์ กล่าวคือ สำหรับ ^{40}K จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 1460.80 keV จากเส้นสเปกตรัมพลังงานของ ^{40}K , ^{226}Ra จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 351.90 keV จากเส้นสเปกตรัมพลังงานของ ^{214}Pb ส่วน ^{232}Th จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 238.60 keV ในเส้นสเปกตรัมพลังงานของ ^{212}Pb และสำหรับ ^{137}Cs จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 661.70 keV จากเส้นสเปกตรัมพลังงานของ ^{137}Cs
- 4.7 นำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) ของบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา
- 4.8 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด 100 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจาก

บริเวณหาดตะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะ
ในตัวอย่างดินที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537-2545
ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยัง
ได้เปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กร
สหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on
the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993,2000)

4.9 สรุปผล วิเคราะห์และเสนอแนะผลการวิจัยที่ได้



บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการที่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) จังหวัดสงขลา รวมทั้งหมด 100 ตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่มีชื่ออยู่ประจำ ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ ชั้น 6 ห้อง SC618 อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (เดิม) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา หลังจากการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลทางผู้ทำวิจัยได้นำเสนอผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด ดังมีรายละเอียดของการนำเสนอ ดังต่อไปนี้

1. การเปรียบเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

2. ค่าประสิทธิภาพ (efficiency ; ξ) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl

3. ค่าประสิทธิภาพ (efficiency ; ξ) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2

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

5. การคำนวณหาค่าดัชนีความเป็นอันตรายรังสี ได้แก่ ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate : D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity : Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index : H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate : AED_{out}) ในบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา ซึ่งประชาชนและนักท่องเที่ยว ในบริเวณจังหวัดสงขลาและจังหวัดใกล้เคียงนิยมมาท่องเที่ยว โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด 100 ตัวอย่าง

6. การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs พร้อมทั้งค่าดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสีทั้ง 4 ค่า ในตัวอย่างทรายชายหาด ทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ

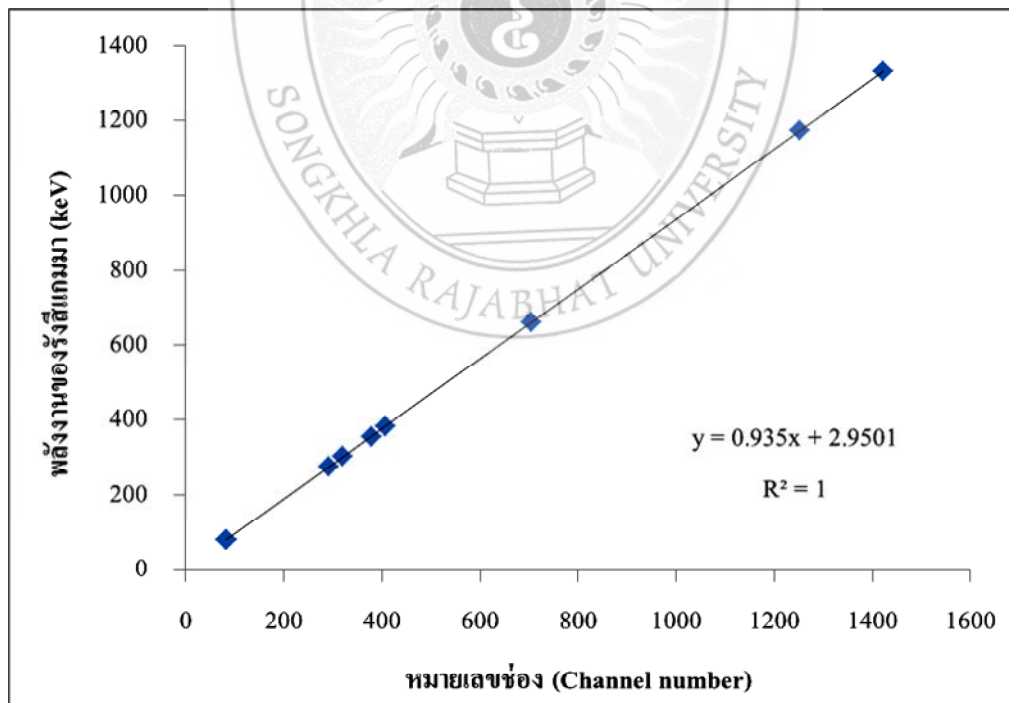
หาคะดงและหาคะร้อยสวรร์ค จ้งหว่าดสงขลล กัปลค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงนปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในประเทไทยและต่างประเทท่วโลก และการเปรียบเทียบผลการ ทดลองที่ได้มาข้างต้นกับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชชชาติ เกียกกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

ได้ทำการทดลองเพื่อสร้างกราฟการปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยกราฟที่ได้นี้ได้เขียนขึ้น ระหว่างค่าพลังงาน (energy) ของรังสีแกมมาในหน่วยกิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (keV) กับค่าหมายเลข ช่อง (channel number) ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (multichannel analyzer : MCA) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน 3 แหล่งกำเนิด คือ ซีเซียม-137 (^{137}Cs) โคบอลต์-60 (^{60}Co) และแบเรียม-133 (^{133}Ba) และข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งสาม แหล่งกำเนิดในการปรับเทียบ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟการปรับเทียบ พลังงานของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมา กับหมายเลขช่อง

ชนิดของแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน (standard sources)	หมายเลขช่อง (channel number)	พลังงานของรังสีแกมมา (keV)
^{133}Ba	82	79.6
	84	81.1
	292	276.4
	321	302.8
	378	356.0
	407	383.9
^{137}Cs	704	661.7
^{60}Co	1252	1173.2
	1422	1332.5



ภาพที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบพลังงานหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลอง

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมา สเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl

เป็นที่ทราบกันดีว่า ในการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณในตัวอย่างทรายชายหาด ตัวอย่างดินหรือตัวอย่างอาหาร จะต้องมีการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency ; $\text{Eff}(\xi)$) ของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสีที่ใช้ในการทดลอง โดยจะต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีดังกล่าวแล้วข้างต้น สำหรับแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมา สเปกโตรเมตรี คือ แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาที และจัดวางไว้ ณ ตำแหน่งบนหัววัด ซึ่งโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ GENIE-2000 ที่ได้ติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทำการประมวลผลข้อมูลของพื้นที่ได้ฟิค (net count) ของโฟโตฟิคที่มีปรากฏอยู่ในสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาที่ตรวจวัด ได้ออกมาในรูปของข้อมูลจากการทดลอง หลังจากนั้นได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสี โดยใช้สมการที่ 4.1 และ 4.2 ดังต่อไปนี้

$$\text{Eff}(\xi) = \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \quad (4.1)$$

โดยที่ cps ซึ่งย่อมาจาก count per second หมายถึง ค่าที่นับได้จากการทดลองวัด
 dps ซึ่งย่อมาจาก disintegration per second หมายถึง ค่าที่นับได้จากการคำนวณหรือค่ากัมมันตภาพของแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลอง

และ

$$\text{dps} = A_0 e^{-\lambda t} \quad (4.2)$$

สำหรับข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl เช่น ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0) ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ) และเวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t) เป็นต้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl

ข้อมูล	ชนิดของไอโซโทป			หมายเหตุ
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	
ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0)	61.794 Bq	2.526 Bq	1.625 Bq	คำนวณไว้เมื่อ พ.ศ.2530
ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)	1.28×10^9 ปี	4.47×10^9 ปี	1.405×10^{10} ปี	
ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ)	$1.72 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}$	$4.92 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$	$1.56 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$	
เวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t)	~ 26 ปี	~ 26 ปี	~ 26 ปี	
ค่ากัมมันตภาพปัจจุบัน (A_t)	61.794 Bq	2.526 Bq	1.625 Bq	ทำการคำนวณเมื่อ พ.ศ.2556

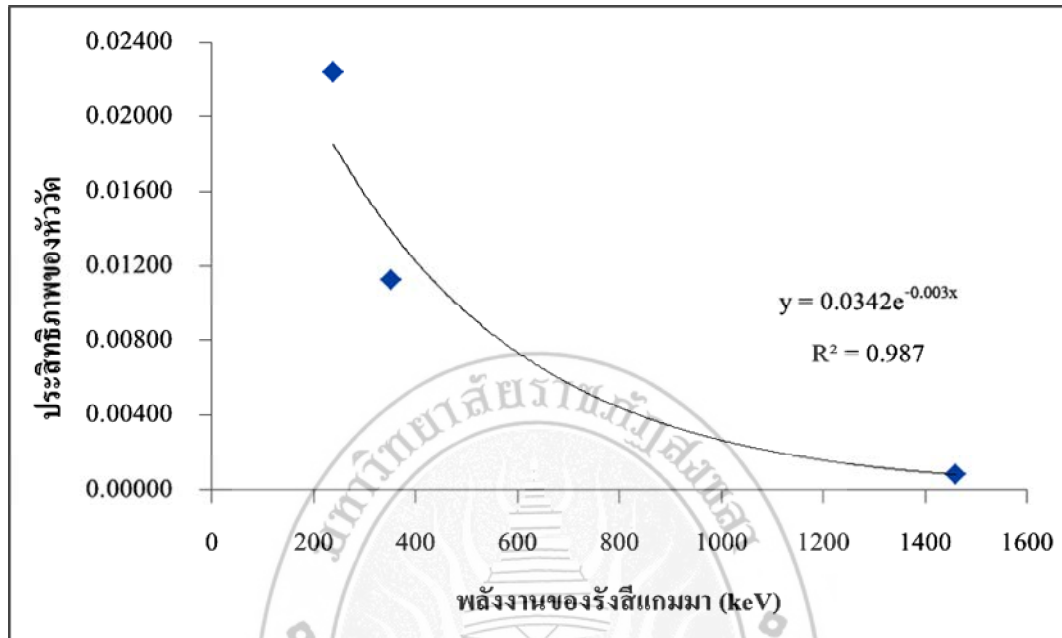
สำหรับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl ได้แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl

Isotopes	Energy (keV)	Area	cps	dps	Eff (ξ)	Eff (ξ) (%)
⁴⁰ K	1460.80	1108	0.051	61.794	8.301×10^{-4}	0.083
²²⁶ Ra	351.90	616	0.028	2.526	1.129×10^{-2}	1.129
²³² Th	238.60	786	0.036	1.625	2.239×10^{-2}	2.239

ต่อจากนั้น ได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.3 มาเขียนกราฟระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิด

รังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl กับค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่พิจารณา ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตริกกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริก โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/SL-2

สำหรับการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณชายหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2 จะต้องทำการทดลองเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ (efficiency ; $\text{Eff}(\xi)$) ของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสี ที่ใช้ในการทดลองเช่นเดียวกัน โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาที สำหรับผลจากการตรวจวัดและคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสีที่ได้จากการใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2

ข้อมูล	ชนิดของไอโซโทป	หมายเหตุ
	^{137}Cs	
ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0)	0.6 Bq	คำนวณไว้เมื่อ พ.ศ.2530
ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)	30.2 ปี	
ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ)	$7.28 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$	
เวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t)	~ 26 ปี	
ค่ากัมมันตภาพปัจจุบัน (A_t)	0.330 Bq	ทำการคำนวณเมื่อ พ.ศ.2556

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA/SL-2 ได้แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2

Isotopes	Energy (keV)	Area	cps	dps	Eff (ξ)	Eff (ξ) (%)
^{137}Cs	661.70	59	2.7×10^{13}	0.330	8.267×10^{-3}	0.827

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 ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา จำนวน 100 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจที่จะตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclides) โดยเฉพาะ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ ^{137}Cs เท่านั้น โดยแต่ละ

ตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 10,800 วินาที หรือ 3 ชั่วโมง โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่มีใช้อยู่ประจำ ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ ชั้น 6 ห้อง SC618 อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (เดิม) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวนี้ได้ใช้โปรแกรม GENIE-2000 ของบริษัท Canberra ที่ได้ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงผลการคำนวณของพื้นที่ใต้พีค (net area) และได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปคำนวณหาปริมาณัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ตามลำดับ ในที่นี้จะขอนำเสนอผลการทดลองและผลวิเคราะห์ปริมาณัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ได้แสดงผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย และค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ที่มีอยู่ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง ในตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ และปริมาณัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย และค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD) ที่มีอยู่ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง ในตารางที่ 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.6 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-1	92.24	105.00 ± 12.44	1189.98 ± 141.01	7.31
SG-2	91.77	169.00 ± 14.79	1925.11 ± 168.45	8.37
SG-3	95.20	126.00 ± 14.20	1383.57 ± 155.93	7.30
SG-4	100.27	153.00 ± 13.37	1595.10 ± 139.41	8.12
SG-5	99.99	167.00 ± 14.18	1745.94 ± 148.23	8.46
SG-6	98.12	166.00 ± 14.97	1768.56 ± 159.52	8.20
SG-7	102.01	133.00 ± 14.74	1362.94 ± 151.01	7.83
SG-8	99.60	163.00 ± 14.30	1710.79 ± 150.04	8.32
SG-9	102.17	187.00 ± 14.29	1913.32 ± 146.18	8.68
SG-10	100.96	134.00 ± 13.56	1387.47 ± 140.41	7.51
SG-11	101.96	52.00 ± 9.31	533.14 ± 95.43	5.79
SG-12	94.34	53.00 ± 8.88	587.28 ± 98.43	5.83
SG-13	99.39	40.00 ± 9.46	420.71 ± 99.46	5.83
SG-14	93.26	35.00 ± 8.37	392.32 ± 93.76	5.57
SG-15	98.04	96.00 ± 11.41	1023.62 ± 121.71	7.11
SG-16	98.90	49.00 ± 8.65	517.93 ± 91.47	5.72
SG-17	96.15	55.00 ± 8.99	597.97 ± 97.77	6.19
SG-18	102.77	12.00 ± 9.98	122.06 ± 101.54	4.88
SG-19	93.25	31.00 ± 6.95	347.52 ± 77.88	5.43
SG-20	103.51	96.00 ± 12.08	969.52 ± 121.97	6.99
SG-21	101.55	36.00 ± 9.24	370.59 ± 95.09	5.22
SG-22	101.48	56.00 ± 9.84	576.87 ± 101.41	6.53
SG-23	93.77	39.00 ± 9.86	434.78 ± 109.87	5.62
SG-24	103.19	47.00 ± 10.26	476.13 ± 103.89	5.81

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-25	101.37	32.00 ± 11.67	330.00 ± 120.38	5.76
SG-26	102.80	34.00 ± 12.22	345.74 ± 124.26	5.55
SG-27	100.48	63.00 ± 12.15	655.44 ± 126.43	6.26
SG-28	103.86	53.00 ± 11.35	533.45 ± 114.27	5.79
SG-29	92.20	76.00 ± 9.65	861.69 ± 109.43	6.55
SG-30	103.21	74.00 ± 10.73	749.51 ± 108.68	6.32
SG-31	102.32	46.00 ± 12.22	469.97 ± 124.82	6.15
SG-32	101.33	114.00 ± 13.45	1176.08 ± 138.78	7.37
SG-33	97.20	134.00 ± 14.78	1441.14 ± 158.96	7.55
SG-34	93.68	98.00 ± 10.73	1093.57 ± 119.75	7.20
SG-35	101.04	71.00 ± 12.47	734.57 ± 129.06	6.30
SG-36	98.99	44.00 ± 10.54	464.65 ± 111.28	6.13
SG-37	91.57	78.00 ± 12.04	890.45 ± 137.49	6.41
SG-38	96.18	90.00 ± 12.87	978.20 ± 139.88	6.90
SG-39	98.74	162.00 ± 14.26	1715.11 ± 150.93	8.22
SG-40	90.97	90.00 ± 11.46	1034.22 ± 131.66	6.68
SG-41	96.38	118.00 ± 12.96	1279.86 ± 140.53	7.09
SG-42	100.51	146.00 ± 14.60	1518.49 ± 151.85	8.02
SG-43	95.93	142.00 ± 12.27	1547.40 ± 133.70	7.80
SG-44	98.91	133.00 ± 12.93	1405.66 ± 136.63	7.67
SG-45	99.88	178.00 ± 13.97	1862.99 ± 146.24	8.51
SG-46	91.00	93.00 ± 11.29	1068.34 ± 129.70	7.05
SG-47	91.49	99.00 ± 12.54	1131.18 ± 143.32	7.05
SG-48	98.24	124.00 ± 15.07	1319.48 ± 160.32	7.44

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัวใจ (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG - 49	93.40	154.00 ± 15.43	1723.62 ± 172.71	8.14
SG - 50	97.41	129.00 ± 13.38	1384.38 ± 143.56	7.67
พิสัย			122.06 – 1925.11 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			1021.37 ± 128.29 Bq/kg	



ตารางที่ 4.7 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

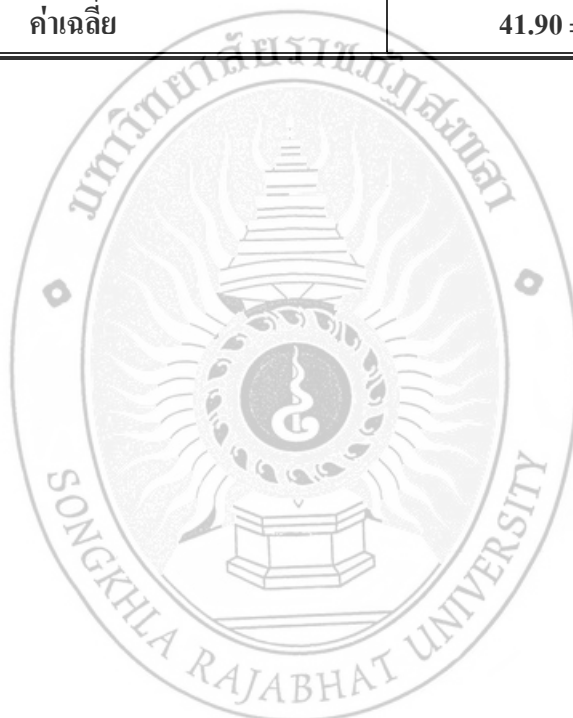
Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach) 50 ตัวอย่าง				
SG-1	92.24	115.00 ± 13.23	27.49 ± 3.16	0.43
SG-2	91.77	117.00 ± 12.86	28.11 ± 3.09	0.42
SG-3	95.20	77.00 ± 11.20	17.83 ± 2.59	0.35
SG-4	100.27	59.00 ± 10.36	12.97 ± 2.28	0.27
SG-5	99.99	69.00 ± 11.70	15.21 ± 2.58	0.33
SG-6	98.12	109.00 ± 12.27	24.49 ± 2.76	0.43
SG-7	102.01	124.00 ± 13.62	26.80 ± 2.94	0.45
SG-8	99.60	94.00 ± 12.88	20.81 ± 2.85	0.40
SG-9	102.17	116.00 ± 12.88	25.03 ± 2.78	0.42
SG-10	100.96	107.00 ± 12.39	23.37 ± 2.71	0.40
SG-11	101.96	101.00 ± 11.22	21.84 ± 2.43	0.40
SG-12	94.34	83.00 ± 10.62	19.40 ± 2.48	0.35
SG-13	99.39	76.00 ± 9.62	16.86 ± 2.13	0.35
SG-14	93.26	66.00 ± 10.75	15.60 ± 2.54	0.33
SG-15	98.04	164.00 ± 14.79	36.88 ± 3.33	0.50
SG-16	98.90	73.00 ± 10.54	16.27 ± 2.35	0.37
SG-17	96.15	79.00 ± 10.75	18.12 ± 2.47	0.37
SG-18	102.77	200.00 ± 15.80	42.91 ± 3.39	0.55
SG-19	93.25	96.00 ± 11.51	22.70 ± 2.72	0.38
SG-20	103.51	84.00 ± 12.58	17.89 ± 2.68	0.35
SG-21	101.55	110.00 ± 11.33	23.88 ± 2.46	0.43
SG-22	101.48	184.00 ± 18.03	39.98 ± 3.92	0.52
SG-23	93.77	377.00 ± 24.54	88.64 ± 5.77	0.75
SG-24	103.19	294.00 ± 20.34	62.82 ± 4.35	0.66

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-25	101.37	304.00 ± 22.37	66.12 ± 4.87	0.67
SG-26	102.80	522.00 ± 26.57	111.95 ± 5.70	0.88
SG-27	100.48	320.00 ± 22.94	70.22 ± 5.03	0.69
SG-28	103.86	341.00 ± 20.60	72.39 ± 4.37	0.71
SG-29	92.20	235.00 ± 16.29	56.20 ± 3.89	0.59
SG-30	103.21	405.00 ± 24.58	86.52 ± 5.25	0.77
SG-31	102.32	331.00 ± 21.42	71.32 ± 4.61	0.70
SG-32	101.33	385.00 ± 25.06	83.77 ± 5.45	0.75
SG-33	97.20	295.00 ± 19.23	66.91 ± 4.36	0.66
SG-34	93.68	204.00 ± 17.38	48.01 ± 4.09	0.55
SG-35	101.04	306.00 ± 21.14	66.77 ± 4.61	0.67
SG-36	98.99	208.00 ± 17.26	46.33 ± 3.85	0.56
SG-37	91.57	134.00 ± 13.92	32.26 ± 3.35	0.46
SG-38	96.18	97.00 ± 11.84	22.24 ± 2.71	0.39
SG-39	98.74	147.00 ± 14.20	32.82 ± 3.17	0.47
SG-40	90.97	115.00 ± 12.37	27.87 ± 3.00	0.44
SG-41	96.38	82.00 ± 11.97	18.76 ± 2.74	0.35
SG-42	100.51	119.00 ± 14.51	26.10 ± 3.18	0.44
SG-43	95.93	134.00 ± 13.00	30.80 ± 2.99	0.46
SG-44	98.91	178.00 ± 14.99	39.68 ± 3.34	0.53
SG-45	99.88	169.00 ± 15.02	37.31 ± 3.32	0.50
SG-46	91.00	112.00 ± 12.45	27.14 ± 3.02	0.41
SG-47	91.49	331.00 ± 22.21	79.77 ± 5.35	0.70
SG-48	98.24	538.00 ± 29.54	120.74 ± 6.63	0.89

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG - 49	93.40	168.00 ± 16.14	39.66 ± 3.81	0.50
SG - 50	97.41	210.00 ± 17.03	47.53 ± 3.85	0.56
พิสัย			12.97 – 120.74 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			41.90 ± 3.55 Bq/kg	



ตารางที่ 4.8 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-1	92.24	214.00 ± 18.64	21.51 ± 1.87	0.30
SG-2	91.77	253.00 ± 20.32	25.57 ± 2.05	0.30
SG-3	95.20	167.00 ± 16.68	16.27 ± 1.63	0.28
SG-4	100.27	193.00 ± 16.93	17.85 ± 1.57	0.27
SG-5	99.99	172.00 ± 18.11	15.95 ± 1.68	0.25
SG-6	98.12	170.00 ± 16.66	16.07 ± 1.57	0.26
SG-7	102.01	164.00 ± 18.89	14.91 ± 1.72	0.25
SG-8	99.60	180.00 ± 16.85	16.76 ± 1.57	0.27
SG-9	102.17	141.00 ± 17.67	12.80 ± 1.60	0.23
SG-10	100.96	156.00 ± 16.13	14.33 ± 1.48	0.26
SG-11	101.96	128.00 ± 15.23	11.64 ± 1.39	0.22
SG-12	94.34	120.00 ± 13.82	11.80 ± 1.36	0.25
SG-13	99.39	120.00 ± 15.10	11.20 ± 1.41	0.24
SG-14	93.26	141.00 ± 15.43	14.02 ± 1.53	0.23
SG-15	98.04	331.00 ± 21.85	31.31 ± 2.07	0.35
SG-16	98.90	69.00 ± 14.75	6.47 ± 1.38	0.18
SG-17	96.15	183.00 ± 15.83	17.65 ± 1.53	0.27
SG-18	102.77	346.00 ± 21.83	31.22 ± 1.97	0.36
SG-19	93.25	126.00 ± 16.23	12.53 ± 1.61	0.23
SG-20	103.51	254.00 ± 17.68	22.76 ± 1.58	0.31
SG-21	101.55	267.00 ± 18.85	24.38 ± 1.72	0.31
SG-22	101.48	461.00 ± 26.65	42.13 ± 2.43	0.41
SG-23	93.77	983.00 ± 39.42	97.21 ± 3.90	0.60
SG-24	103.19	712.00 ± 32.75	63.98 ± 2.94	0.51

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-25	101.37	916.00 ± 36.91	83.80 ± 3.38	0.58
SG-26	102.80	1080.00 ± 40.93	97.42 ± 3.69	0.63
SG-27	100.48	837.00 ± 35.74	77.25 ± 3.30	0.56
SG-28	103.86	625.00 ± 31.31	55.80 ± 2.80	0.48
SG-29	92.20	354.00 ± 22.83	35.60 ± 2.30	0.36
SG-30	103.21	876.00 ± 36.18	78.71 ± 3.25	0.57
SG-31	102.32	760.00 ± 34.88	68.88 ± 3.16	0.53
SG-32	101.33	1071.00 ± 39.73	98.01 ± 3.64	0.63
SG-33	97.20	565.00 ± 29.44	53.90 ± 2.81	0.46
SG-34	93.68	447.00 ± 27.36	44.25 ± 2.71	0.41
SG-35	101.04	786.00 ± 33.80	72.14 ± 3.10	0.54
SG-36	98.99	440.00 ± 25.78	41.22 ± 2.42	0.40
SG-37	91.57	215.00 ± 19.46	21.77 ± 1.97	0.29
SG-38	96.18	237.00 ± 17.94	22.85 ± 1.73	0.30
SG-39	98.74	354.00 ± 21.49	33.25 ± 2.02	0.36
SG-40	90.97	221.00 ± 20.27	22.53 ± 2.07	0.29
SG-41	96.38	141.00 ± 17.03	13.57 ± 1.64	0.23
SG-42	100.51	208.00 ± 18.80	19.19 ± 1.73	0.28
SG-43	95.93	209.00 ± 17.39	20.20 ± 1.68	0.29
SG-44	98.91	341.00 ± 23.73	31.97 ± 2.23	0.36
SG-45	99.88	307.00 ± 22.63	28.50 ± 2.10	0.34
SG-46	91.00	184.00 ± 18.82	18.75 ± 1.92	0.27
SG-47	91.49	790.00 ± 34.05	80.07 ± 3.45	0.54
SG-48	98.24	1903.00 ± 52.14	179.63 ± 4.92	0.84

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG - 49	93.40	417.00 ± 26.10	41.40 ± 2.59	0.39
SG - 50	97.41	549.00 ± 27.78	52.26 ± 2.64	0.45
พิสัย			6.47 – 179.63 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			39.26 ± 2.26 Bq/kg	



ตารางที่ 4.9 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

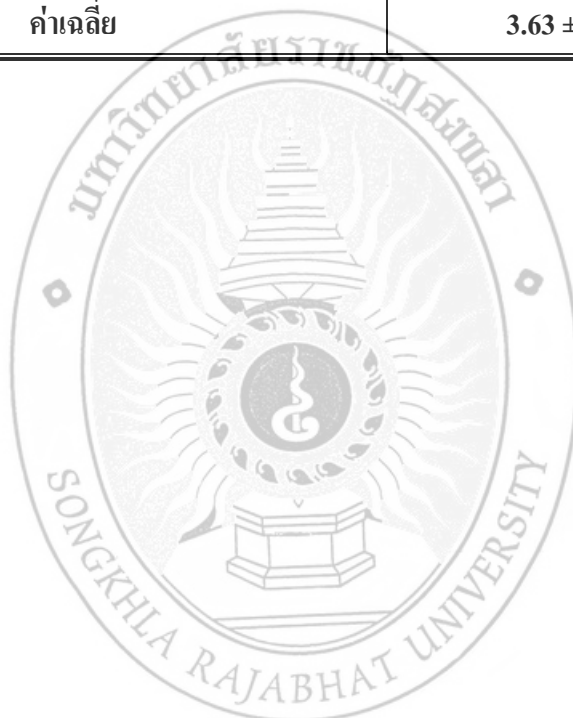
Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-1	219.93	48.00 ± 14.52	2.87 ± 0.87	0.35
SG-2	216.81	93.00 ± 15.70	5.64 ± 0.95	0.44
SG-3	207.73	9.00 ± 14.95	ND ± ND	0.18
SG-4	211.19	4.00 ± 14.34	ND ± ND	0.00
SG-5	223.94	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-6	214.43	24.00 ± 14.38	1.47 ± 0.88	0.00
SG-7	212.71	51.00 ± 14.34	3.15 ± 0.89	0.22
SG-8	224.07	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-9	208.02	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-10	207.03	63.00 ± 12.80	4.00 ± 0.81	0.32
SG-11	224.63	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-12	221.42	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-13	212.14	19.00 ± 11.72	1.18 ± 0.73	0.00
SG-14	218.68	35.00 ± 10.58	2.11 ± 0.64	0.26
SG-15	212.69	97.00 ± 12.64	6.00 ± 0.78	0.55
SG-16	215.52	52.00 ± 11.77	3.17 ± 0.72	0.31
SG-17	221.12	23.00 ± 10.03	1.37 ± 0.60	0.00
SG-18	220.68	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-19	218.07	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-20	215.96	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-21	216.29	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-22	206.99	38.00 ± 16.02	2.42 ± 1.02	0.15
SG-23	215.63	79.00 ± 23.78	4.82 ± 1.45	0.38
SG-24	205.14	59.00 ± 19.45	3.78 ± 1.25	0.29

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG-25	218.17	20.00 ± 24.57	ND ± ND	0.00
SG-26	210.99	86.00 ± 27.03	5.36 ± 1.69	0.40
SG-27	209.15	52.00 ± 23.15	3.27 ± 1.46	0.26
SG-28	217.32	45.00 ± 21.64	2.72 ± 1.31	0.22
SG-29	222.23	8.00 ± 17.42	ND ± ND	0.00
SG-30	215.43	68.00 ± 22.11	4.15 ± 1.35	0.35
SG-31	211.83	40.00 ± 21.54	2.48 ± 1.34	0.18
SG-32	207.75	113.00 ± 20.95	7.16 ± 1.33	0.48
SG-33	204.06	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-34	192.59	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-35	206.76	56.00 ± 19.50	3.56 ± 1.24	0.28
SG-36	207.10	82.00 ± 14.03	5.21 ± 0.89	0.42
SG-37	210.20	26.00 ± 14.35	1.63 ± 0.90	0.00
SG-38	204.44	35.00 ± 13.83	2.25 ± 0.89	0.24
SG-39	206.72	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-40	207.01	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-41	200.94	48.00 ± 14.52	3.14 ± 0.95	0.23
SG-42	206.70	61.00 ± 11.12	3.88 ± 0.71	0.47
SG-43	216.75	50.00 ± 13.21	3.04 ± 0.80	0.27
SG-44	212.08	10.00 ± 17.93	ND ± ND	0.17
SG-45	208.71	33.00 ± 16.56	2.08 ± 1.04	0.00
SG-46	205.69	54.00 ± 16.69	3.45 ± 1.07	0.26
SG-47	208.28	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SG-48	211.21	159.00 ± 33.52	9.91 ± 2.09	0.60

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสะกอม (Sagom beach)				
SG - 49	209.60	17.00 ± 17.87	ND ± ND	0.00
SG - 50	201.55	9.00 ± 20.12	ND ± ND	0.00
พิสัย			1.18 – 9.91 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			3.63 ± 1.06 Bq/kg	



ตารางที่ 4.10 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 1	79.37	82.00 ± 11.09	1080.01 ± 146.12	6.84
SS - 2	91.31	160.00 ± 14.48	1831.77 ± 165.78	7.97
SS - 3	85.99	109.00 ± 12.25	1325.10 ± 148.94	7.01
SS - 4	82.83	64.00 ± 12.56	807.72 ± 158.47	6.34
SS - 5	89.72	72.00 ± 9.89	838.90 ± 115.18	6.08
SS - 6	73.45	70.00 ± 12.44	996.27 ± 177.04	6.30
SS - 7	95.27	89.00 ± 12.14	976.57 ± 133.20	6.86
SS - 8	87.56	129.00 ± 11.73	1540.11 ± 140.00	7.78
SS - 9	83.43	74.00 ± 12.94	927.21 ± 162.17	6.37
SS - 10	92.58	105.00 ± 14.39	1185.61 ± 162.43	7.24
SS - 11	87.49	105.00 ± 13.44	1254.58 ± 160.59	6.95
SS - 12	74.29	99.00 ± 14.18	1393.07 ± 199.49	6.84
SS - 13	82.96	106.00 ± 13.80	1335.69 ± 173.91	6.97
SS - 14	82.72	96.00 ± 13.76	1213.19 ± 173.85	6.93
SS - 15	94.35	68.00 ± 14.21	753.42 ± 157.46	6.24
SS - 16	93.49	144.00 ± 14.53	1610.15 ± 162.46	7.90
SS - 17	80.23	141.00 ± 14.13	1837.18 ± 184.09	7.74
SS - 18	92.64	134.00 ± 14.78	1512.08 ± 166.78	7.60
SS - 19	79.41	60.00 ± 12.76	789.85 ± 167.92	6.13
SS - 20	97.51	104.00 ± 11.39	1114.94 ± 122.09	7.13
SS - 21	91.35	164.00 ± 14.63	1876.74 ± 167.41	8.05
SS - 22	81.89	225.00 ± 16.83	2872.24 ± 214.84	9.06
SS - 23	80.58	238.00 ± 16.97	3087.58 ± 220.14	9.41
SS - 24	74.45	139.00 ± 12.50	1951.73 ± 175.46	7.67

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 25	82.87	154.00 ± 15.99	1942.64 ± 201.65	8.12
SS - 26	82.08	163.00 ± 16.01	2075.96 ± 203.86	8.27
SS - 27	78.64	121.00 ± 14.33	1608.46 ± 190.44	7.22
SS - 28	81.31	184.00 ± 16.38	2365.61 ± 210.54	8.38
SS - 29	82.29	122.00 ± 14.37	1549.82 ± 182.57	7.42
SS - 30	78.57	175.00 ± 16.10	2328.36 ± 214.21	8.23
SS - 31	94.85	244.00 ± 19.23	2689.19 ± 211.91	9.36
SS - 32	96.47	188.00 ± 15.96	2037.20 ± 172.96	8.70
SS - 33	83.20	277.00 ± 18.31	3480.37 ± 230.05	9.85
SS - 34	99.54	141.00 ± 15.02	1480.78 ± 157.70	7.67
SS - 35	80.10	291.00 ± 18.48	3797.78 ± 241.16	10.01
SS - 36	74.86	227.00 ± 17.14	3169.90 ± 239.33	9.27
SS - 37	79.69	211.00 ± 16.67	2767.88 ± 218.66	8.99
SS - 38	79.24	235.00 ± 18.52	3100.22 ± 244.30	9.36
SS - 39	85.13	275.00 ± 19.80	3376.91 ± 243.14	9.92
SS - 40	79.47	156.00 ± 14.93	2052.06 ± 196.38	7.99
SS - 41	93.65	243.00 ± 17.11	2712.48 ± 190.96	9.56
SS - 42	78.22	296.00 ± 19.71	3955.88 ± 263.46	10.07
SS - 43	84.38	293.00 ± 18.28	3629.92 ± 226.51	10.08
SS - 44	92.64	165.00 ± 15.23	1861.89 ± 171.85	8.15
SS - 45	81.67	40.00 ± 9.91	512.00 ± 126.82	9.18
SS - 46	83.10	182.00 ± 17.78	2289.49 ± 223.68	8.62
SS - 47	83.74	190.00 ± 17.27	2371.86 ± 215.60	8.49
SS - 48	81.01	244.00 ± 18.35	3148.62 ± 236.78	9.40

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 49	89.98	191.00 ± 16.85	2218.99 ± 195.72	8.53
SS - 50	88.84	215.00 ± 17.31	2529.87 ± 203.65	9.02
พิสัย			512.00 – 3955.88 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			1983.32 ± 187.39 Bq/kg	



ตารางที่ 4.11 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

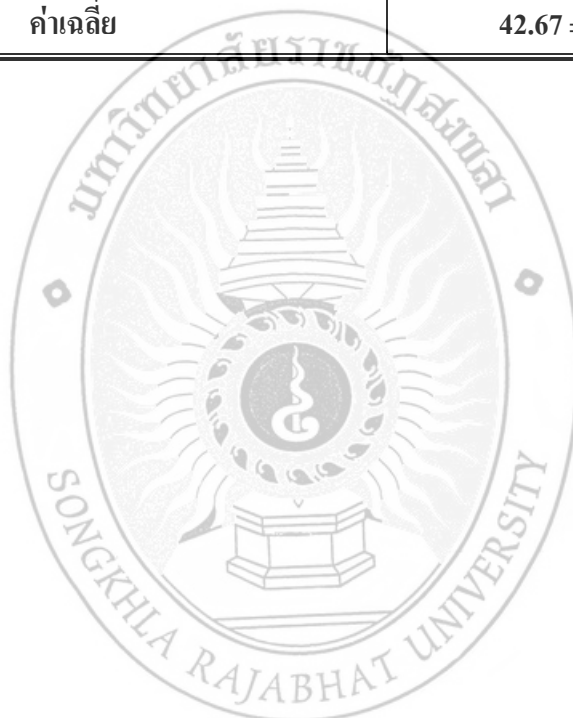
Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 1	79.37	96.00 ± 11.80	26.67 ± 3.28	0.43
SS - 2	91.31	90.00 ± 11.54	21.73 ± 2.79	0.38
SS - 3	85.99	112.00 ± 13.84	28.72 ± 3.55	0.43
SS - 4	82.83	138.00 ± 13.88	36.73 ± 3.70	0.46
SS - 5	89.72	139.00 ± 13.00	34.16 ± 3.19	0.48
SS - 6	73.45	119.00 ± 12.47	35.72 ± 3.74	0.45
SS - 7	95.27	98.00 ± 12.37	22.68 ± 2.86	0.41
SS - 8	87.56	103.00 ± 11.74	25.94 ± 2.96	0.41
SS - 9	83.43	123.00 ± 14.64	32.50 ± 3.87	0.44
SS - 10	92.58	150.00 ± 14.25	35.72 ± 3.39	0.50
SS - 11	87.49	205.00 ± 18.57	51.66 ± 4.68	0.56
SS - 12	74.29	218.00 ± 17.88	64.70 ± 5.31	0.57
SS - 13	82.96	313.00 ± 22.50	83.18 ± 5.98	0.68
SS - 14	82.72	250.00 ± 19.45	66.63 ± 5.18	0.61
SS - 15	94.35	206.00 ± 17.10	48.14 ± 4.00	0.57
SS - 16	93.49	196.00 ± 15.68	46.22 ± 3.70	0.56
SS - 17	80.23	250.00 ± 19.10	68.70 ± 5.25	0.61
SS - 18	92.64	344.00 ± 22.29	81.87 ± 5.31	0.72
SS - 19	79.41	245.00 ± 18.64	68.02 ± 5.18	0.61
SS - 20	97.51	263.00 ± 20.09	59.47 ± 4.54	0.63
SS - 21	91.35	131.00 ± 14.65	31.62 ± 3.53	0.45
SS - 22	81.89	173.00 ± 15.90	46.58 ± 4.28	0.52
SS - 23	80.58	118.00 ± 14.51	32.29 ± 3.97	0.43
SS - 24	74.45	122.00 ± 14.02	36.13 ± 4.15	0.44

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 25	82.87	184.00 ± 15.40	48.95 ± 4.10	0.53
SS - 26	82.08	200.00 ± 17.36	53.72 ± 4.66	0.55
SS - 27	78.64	125.00 ± 12.64	35.05 ± 3.54	0.45
SS - 28	81.31	105.00 ± 14.43	28.47 ± 3.91	0.41
SS - 29	82.29	221.00 ± 19.16	59.21 ± 5.13	0.58
SS - 30	78.57	123.00 ± 13.58	34.52 ± 3.81	0.46
SS - 31	94.85	149.00 ± 14.51	34.63 ± 3.37	0.49
SS - 32	96.47	88.00 ± 12.74	20.11 ± 2.91	0.38
SS - 33	83.20	129.00 ± 13.93	34.18 ± 3.69	0.45
SS - 34	99.54	313.00 ± 21.47	69.33 ± 4.76	0.69
SS - 35	80.10	126.00 ± 14.11	34.68 ± 3.88	0.44
SS - 36	74.86	225.00 ± 15.66	66.27 ± 4.61	0.58
SS - 37	79.69	150.00 ± 17.37	41.50 ± 4.81	0.48
SS - 38	79.24	157.00 ± 15.01	43.68 ± 4.18	0.49
SS - 39	85.13	146.00 ± 13.58	37.81 ± 3.52	0.48
SS - 40	79.47	78.00 ± 11.81	21.64 ± 3.28	0.35
SS - 41	93.65	86.00 ± 11.58	20.25 ± 2.73	0.39
SS - 42	78.22	152.00 ± 13.80	42.84 ± 3.89	0.50
SS - 43	84.38	90.00 ± 13.47	23.52 ± 3.52	0.38
SS - 44	92.64	140.00 ± 12.39	33.32 ± 2.95	0.50
SS - 45	81.67	4.00 ± 15.29	ND ± ND	0.45
SS - 46	83.10	153.00 ± 14.64	40.59 ± 3.88	0.49
SS - 47	83.74	167.00 ± 16.83	43.97 ± 4.43	0.51
SS - 48	81.01	124.00 ± 13.91	33.75 ± 3.79	0.44

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 49	89.98	242.00 ± 18.61	59.30 ± 4.56	0.60
SS - 50	88.84	177.00 ± 14.44	43.93 ± 3.58	0.53
พิสัย			20.11 – 83.18 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			42.67 ± 4.00 Bq/kg	



ตารางที่ 4.12 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

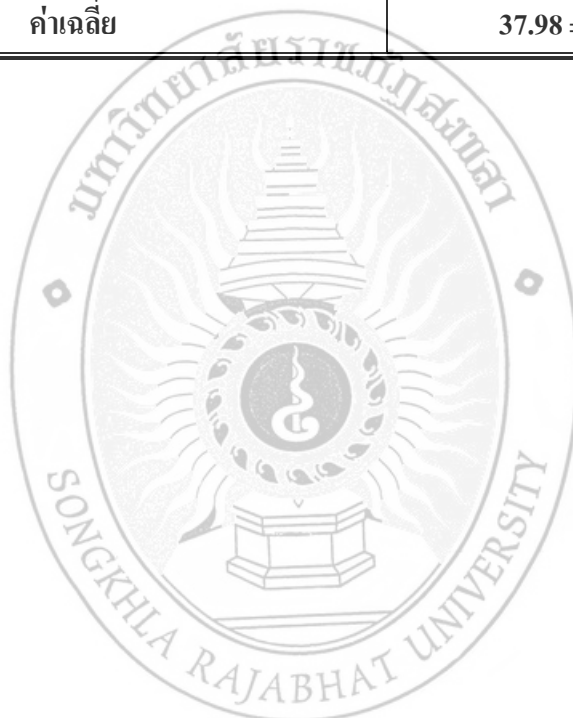
Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 1	79.37	231.00 ± 18.30	26.99 ± 2.14	0.15
SS - 2	91.31	112.00 ± 18.50	11.37 ± 1.88	0.26
SS - 3	85.99	209.00 ± 21.57	22.54 ± 2.33	0.32
SS - 4	82.83	276.00 ± 22.94	30.90 ± 2.57	0.36
SS - 5	89.72	255.00 ± 21.96	26.36 ± 2.27	0.35
SS - 6	73.45	256.00 ± 21.27	32.32 ± 2.69	0.35
SS - 7	95.27	192.00 ± 17.64	18.69 ± 1.72	0.31
SS - 8	87.56	186.00 ± 18.79	19.70 ± 1.99	0.31
SS - 9	83.43	335.00 ± 26.36	37.24 ± 2.93	0.39
SS - 10	92.58	223.00 ± 21.81	22.34 ± 2.18	0.33
SS - 11	87.49	561.00 ± 29.62	59.46 ± 3.14	0.48
SS - 12	74.29	517.00 ± 29.88	64.53 ± 3.73	0.47
SS - 13	82.96	847.00 ± 37.86	94.68 ± 4.23	0.58
SS - 14	82.72	597.00 ± 32.42	66.93 ± 3.63	0.50
SS - 15	94.35	477.00 ± 28.91	46.88 ± 2.84	0.45
SS - 16	93.49	255.00 ± 25.19	25.29 ± 2.50	0.34
SS - 17	80.23	583.00 ± 31.13	67.39 ± 3.60	0.49
SS - 18	92.64	918.00 ± 37.91	91.89 ± 3.80	0.60
SS - 19	79.41	496.00 ± 30.21	57.92 ± 3.53	0.46
SS - 20	97.51	758.00 ± 35.32	72.09 ± 3.36	0.55
SS - 21	91.35	285.00 ± 23.11	28.93 ± 2.35	0.36
SS - 22	81.89	335.00 ± 23.72	37.94 ± 2.69	0.39
SS - 23	80.58	343.00 ± 23.63	39.47 ± 2.72	0.39
SS - 24	74.45	310.00 ± 24.21	38.61 ± 3.02	0.37

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 25	82.87	407.00 ± 25.60	45.54 ± 2.86	0.42
SS - 26	82.08	376.00 ± 25.94	42.48 ± 2.93	0.41
SS - 27	78.64	249.00 ± 19.82	29.36 ± 2.34	0.34
SS - 28	81.31	304.00 ± 19.91	34.67 ± 2.27	0.38
SS - 29	82.29	584.00 ± 31.07	65.81 ± 3.50	0.49
SS - 30	78.57	228.00 ± 22.59	26.91 ± 2.67	0.33
SS - 31	94.85	305.00 ± 23.52	29.82 ± 2.30	0.37
SS - 32	96.47	303.00 ± 22.54	29.13 ± 2.17	0.37
SS - 33	83.20	216.00 ± 21.30	24.07 ± 2.37	0.32
SS - 34	99.54	760.00 ± 34.28	70.80 ± 3.19	0.55
SS - 35	80.10	166.00 ± 21.53	19.22 ± 2.49	0.29
SS - 36	74.86	323.00 ± 24.23	40.01 ± 3.00	0.38
SS - 37	79.69	414.00 ± 27.03	48.18 ± 3.15	0.42
SS - 38	79.24	251.00 ± 24.35	29.37 ± 2.85	0.34
SS - 39	85.13	179.00 ± 21.05	19.50 ± 2.29	0.30
SS - 40	79.47	134.00 ± 20.31	15.64 ± 2.37	0.27
SS - 41	93.65	114.00 ± 19.24	11.29 ± 1.91	0.26
SS - 42	78.22	203.00 ± 19.53	24.07 ± 2.32	0.31
SS - 43	84.38	223.00 ± 20.23	24.51 ± 2.22	0.33
SS - 44	92.64	170.00 ± 18.87	17.02 ± 1.89	0.30
SS - 45	81.67	33.00 ± 22.66	3.75 ± 2.57	0.33
SS - 46	83.10	393.00 ± 24.84	43.86 ± 2.77	0.41
SS - 47	83.74	418.00 ± 29.22	46.29 ± 3.24	0.42
SS - 48	81.01	362.00 ± 24.22	41.44 ± 2.77	0.40

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 49	89.98	448.00 ± 29.34	46.17 ± 3.02	0.44
SS - 50	88.84	285.00 ± 21.86	29.75 ± 2.28	0.36
พิสัย			3.75 – 94.68 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			37.98 ± 2.71 Bq/kg	



ตารางที่ 4.13 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงหรา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 1	194.59	30.00 ± 13.87	2.03 ± 0.94	0.21
SS - 2	193.43	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 3	207.85	43.00 ± 12.93	2.72 ± 0.82	0.22
SS - 4	215.60	15.00 ± 16.08	ND ± ND	0.00
SS - 5	221.12	65.00 ± 16.33	3.87 ± 0.97	0.41
SS - 6	206.92	12.00 ± 16.46	ND ± ND	0.00
SS - 7	187.68	14.00 ± 14.04	ND ± ND	0.09
SS - 8	205.34	37.00 ± 12.69	2.37 ± 0.81	0.00
SS - 9	215.32	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 10	193.21	26.00 ± 15.09	1.77 ± 1.03	0.00
SS - 11	182.54	129.00 ± 18.83	9.30 ± 1.36	0.52
SS - 12	182.84	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 13	206.59	33.00 ± 27.96	2.10 ± 1.78	0.12
SS - 14	204.74	68.00 ± 20.24	4.37 ± 1.30	0.33
SS - 15	189.61	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 16	202.11	73.00 ± 16.11	4.75 ± 1.05	0.39
SS - 17	205.55	11.00 ± 22.73	ND ± ND	0.00
SS - 18	191.79	44.00 ± 25.11	3.02 ± 1.72	0.21
SS - 19	203.55	46.00 ± 19.70	2.97 ± 1.27	0.22
SS - 20	197.26	67.00 ± 23.44	4.47 ± 1.56	0.33
SS - 21	194.17	80.00 ± 17.90	5.42 ± 1.21	0.39
SS - 22	214.40	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 23	197.59	13.00 ± 18.11	ND ± ND	0.00
SS - 24	202.71	71.00 ± 16.96	4.61 ± 1.10	0.37

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 25	210.95	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 26	200.96	35.00 ± 21.89	2.29 ± 1.43	0.14
SS - 27	203.13	45.00 ± 14.14	2.91 ± 0.92	0.33
SS - 28	206.40	9.00 ± 14.95	ND ± ND	0.00
SS - 29	206.57	44.00 ± 19.17	2.80 ± 1.22	0.24
SS - 30	210.66	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 31	210.87	66.00 ± 16.35	4.12 ± 1.02	0.41
SS - 32	196.52	132.00 ± 14.81	8.84 ± 0.99	0.55
SS - 33	212.62	92.00 ± 17.81	5.69 ± 1.10	0.45
SS - 34	193.20	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 35	196.31	84.00 ± 16.90	5.63 ± 1.13	0.39
SS - 36	190.86	58.00 ± 19.56	4.00 ± 1.35	0.29
SS - 37	197.37	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 38	196.14	111.00 ± 18.08	7.45 ± 1.21	0.49
SS - 39	210.75	3.00 ± 22.62	ND ± ND	0.00
SS - 40	205.93	33.00 ± 14.57	2.11 ± 0.93	0.26
SS - 41	196.85	54.00 ± 14.73	3.61 ± 0.98	0.26
SS - 42	199.27	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 43	191.53	98.00 ± 14.58	6.73 ± 1.00	0.43
SS - 44	184.36	0.00 ± 0.00	ND ± ND	0.00
SS - 45	207.69	12.00 ± 16.94	ND ± ND	0.00
SS - 46	209.20	44.00 ± 19.65	2.77 ± 1.24	0.21
SS - 47	204.71	15.00 ± 23.79	ND ± ND	0.00
SS - 48	204.82	64.00 ± 15.56	4.11 ± 1.00	0.30

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหน่วยวัด (LLD) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

Sample	Weight (g)	Net Area	Specific Activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
หาดสร้อยสวรรค์ (Soisawan beach)				
SS - 49	202.79	13.00 ± 18.64	ND ± ND	0.00
SS - 50	209.18	72.00 ± 15.03	4.53 ± 0.95	0.40
พิสัย			1.77 – 9.30 Bq/kg	
ค่าเฉลี่ย			4.19 ± 1.15 Bq/kg	

สำหรับค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในหน่วยของ Bq/kg ของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา จำนวน 100 ตัวอย่าง ได้สรุปผลไว้ในตารางที่ 4.14 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.14 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา จำนวน 100 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง ทรายชายหาด	ค่าพิสัยและค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย (Bq/kg)			
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
1. หาดสะกอม (50 ตัวอย่าง)	122.06 – 1925.11 1021.37 ± 128.29	12.97 – 120.74 41.90 ± 3.55	6.47 – 179.63 39.26 ± 2.26	1.18 – 9.91 3.63 ± 1.06
2. หาดสร้อยสวรรค์ (50 ตัวอย่าง)	512.00 – 3955.88 1983.32 ± 187.39	20.11 – 83.18 42.67 ± 4.00	3.75 – 94.68 37.98 ± 2.71	1.77 – 9.30 4.19 ± 1.15
ค่าพิสัย	122.06 – 3955.88	12.97 – 120.74	3.75 – 179.63	1.18 – 9.91
ค่าเฉลี่ย (2 ชายหาด)	1502.34 ± 157.84	42.29 ± 3.77	38.62 ± 2.48	3.91 ± 1.10

การคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ในบริเวณชายหาด จังหวัดสงขลา โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา (ข้อมูลในหัวข้อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ)

สำหรับค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในบริเวณหรือพื้นที่ต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการหรือสูตรที่ได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์ที่มีความรู้และความสนใจทางด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติทั่วโลก ในที่นี้จะใช้ข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยในหน่วยของ Bq/kg ของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.14 ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในพื้นที่บริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ตามลำดับ จำนวนทั้งหมด 4 ดัชนีความเสี่ยง ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) โดยใช้สมการที่ 2.21, 2.22, 2.23 และ 2.24 ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในบทที่ 2 ในการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ค่า ตามลำดับ และได้แสดงผลที่ได้ไว้ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out})

สถานที่	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย ของตัวอย่างทรายชายหาด (Bq/kg)			D (nGy/h)	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex}	AED_{out} (mSv/y)
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th				
1. หาดสะกอม (50 ตัวอย่าง)	1021.37	41.90	39.26	86.06	176.70	0.48	0.11
2. หาดสร้อยสวรรค์ (50 ตัวอย่าง)	1983.32	42.67	37.98	127.12	253.01	0.68	0.16
ค่าเฉลี่ย (2 ชายหาด)	1502.34	42.29	38.62	106.59	214.85	0.58	0.13

การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์สารรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา กับข้อมูลที่มีอยู่ของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคใต้ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับค่าที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (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 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate : D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity : Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index : H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate : AED_{out}) โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทย และข้อมูลของนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง กับข้อมูลที่มีอยู่ของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลของทาง สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทย และข้อมูลของนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก

สถานที่	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย ของตัวอย่างทรายชายหาด (Bq/kg)				D (nGy/h)	Ra _{eq} (Bq/kg)	H _{ex}	AED _{out} (mSv/y)
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs				
หาดสะกอม สงขลา	1021.37	41.90	39.26	3.63	86.06	176.70	0.48	0.11
หาดสร้อยสวรรค์ สงขลา	1983.32	42.67	37.98	4.19	127.12	253.01	0.68	0.16
หาดชลาทัศน์ สงขลา (ประสงค์ เกษราธิคุณ, 2556)	186.72	65.79	100.52	2.87	100.68	223.91	0.60	0.12
หาดสมิหลา สงขลา (ประสงค์ เกษราธิคุณ, 2556)	868.51	30.50	23.31	- *	64.54	130.71	0.35	0.08
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้)	511.04	171.55	211.19	1.13	231.81	512.90	1.39	0.28
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 ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) จังหวัดสงขลา รวมทั้งหมด 100 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

เมื่อพิจารณาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ดังแสดงในตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 122.06 – 1925.11 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , 12.97 – 120.74 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 6.47 – 179.63 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 1.18 – 9.91 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 1021.37 ± 128.29 Bq/kg, 41.90 ± 3.55 Bq/kg, 39.26 ± 2.26 Bq/kg และ 3.63 ± 1.06 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงผลโดยสรุป ในตารางที่ 4.14

และเมื่อพิจารณาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ดังแสดงในตารางที่ 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 512.00 – 3955.88 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , 20.11 – 83.18 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 3.75 – 94.68 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ 1.77 – 9.30 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 1983.32 ± 187.39 Bq/kg, 42.67 ± 4.00 Bq/kg, 37.98 ± 2.71 Bq/kg และ 4.19 ± 1.15 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงผลโดยสรุป ในตารางที่ 4.14 เช่นกัน

โดยปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{40}K มีค่ามากที่สุดที่ หาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา คือ 1983.32 ± 187.39 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่ หาดสะกอม อำเภอจะนะ คือ 1021.37 ± 128.29 Bq/kg

ส่วนปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{226}Ra มีค่ามากที่สุดที่ หาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา คือ 42.67 ± 4.00 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่ หาดสะกอม อำเภอจะนะ คือ 41.90 ± 3.55 Bq/kg

สำหรับปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{232}Th มีค่ามากที่สุดที่ หาดสะกอม อำเภอจะนะ คือ 39.26 ± 2.26 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่ หาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา คือ 37.98 ± 2.71 Bq/kg

และปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{137}Cs มีค่ามากที่สุดที่ หาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา คือ 4.19 ± 1.15 Bq/kg และมีค่าน้อยที่สุดที่ หาดสะกอม อำเภอจะนะ คือ 3.63 ± 1.06 Bq/kg

2. ผลการวิเคราะห์ดัชนีความเสี่ยงทางรังสี บริเวณชายหาดของจังหวัดสงขลา โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาด

สำหรับค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีในบริเวณต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ โดยการนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในหน่วยของ Bq/kg ของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.14) ไปคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายทางรังสีบริเวณชายหาดจังหวัดสงขลา ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) เพื่อประเมินความเป็นอันตรายจากการได้รับรังสีในธรรมชาติของประชาชนและนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวในบริเวณดังกล่าว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15 พบว่า

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ของหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 106.59 nGy/h โดยมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่หาดสร้อยสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 127.12 nGy/h และมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดที่หาดสะกอม มีค่าเท่ากับ 86.06 nGy/h

ส่วนค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ของหาดสะกอมและหาดสร้อยสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 214.85 Bq/kg พบว่า มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่หาดสร้อยสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 253.01 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดที่หาดสะกอม มีค่าเท่ากับ 176.70 Bq/kg

สำหรับค่าเฉลี่ยของดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ของภาคตะกอมและหาดทรายสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 0.58 พบว่า มีค่าเฉลี่ย**มากที่สุด**ที่หาดทรายสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 0.68 และมีค่าเฉลี่ย**น้อยที่สุด**ที่ภาคตะกอม มีค่าเท่ากับ 0.48

และค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out}) ของภาคตะกอมและหาดทรายสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 0.13 mSv/y พบว่า มีค่าเฉลี่ย**มากที่สุด**ที่หาดทรายสวรรค์ มีค่าเท่ากับ 0.16 mSv/y และมีค่าเฉลี่ย**น้อยที่สุด**ที่ภาคตะกอม มีค่าเท่ากับ 0.11 mSv/y

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างทรายชายหาดกับข้อมูลที่มีอยู่ของชายหาดต่างๆ ในเขตภาคใต้ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณภาคตะกอม อำเภอจะนะ และหาดทรายสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา กับข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของนักวิจัยในประเทศไทยและค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.14 และ 4.16 พบว่า

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณภาคตะกอม อำเภอจะนะ และหาดทรายสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (1021.37 และ 1983.32 Bq/kg ตามลำดับ) มีค่า**มากกว่า** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ค่าที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้) และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณภาคตะกอม อำเภอจะนะ และหาดทรายสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (41.90 และ 42.67 Bq/kg ตามลำดับ) มีค่า**มากกว่า** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จากหาดสมิหลา และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) แต่มีค่า**น้อยกว่า** ค่าที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จากหาดชลาทัศน์ และค่าที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

สำหรับค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณภาคตะกอม อำเภอจะนะ และหาดทรายสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (39.26 และ 37.98 Bq/kg ตามลำดับ) มีค่า**มากกว่า** ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จากหาดสมิหลา และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

แต่มีค่าน้อยกว่า ค่าที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จากหาดชลาทัศน์ และค่าที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

และค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (3.63 และ 4.19 Bq/kg ตามลำดับ) มีค่ามากกว่า ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จากหาดชลาทัศน์และค่าที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะเขตภาคใต้)

4. ผลการเปรียบเทียบดัชนีความเสี่ยงทางรังสีบริเวณชายหาดของจังหวัดสงขลา กับข้อมูลที่มีอยู่ของชายหาดต่างๆ ในเขตภาคใต้ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก

เมื่อทำการเปรียบเทียบดัชนีความเสี่ยงทางรังสี จำนวน 4 ดัชนี ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate: D) กัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity: Ra_{eq}) ดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index: H_{ex}) และปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate: AED_{out}) ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา กับข้อมูลที่มีอยู่ของชายหาดต่างๆ ในเขตภาคใต้ ข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก เพื่อใช้ในการประเมินการได้รับรังสีจากภายนอกประจำปีโดยนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.16 พบว่า

ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ที่คำนวณได้จากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา (86.06 nGy/h) มีค่าสูงกว่า ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (55 nGy/h) แต่มีค่าต่ำกว่า ค่าที่คำนวณได้จากหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา และค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ส่วนหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (127.12 nGy/h) มีค่าสูงกว่า ค่าที่คำนวณได้จากหาดชลาทัศน์ หาดสมิหลา จังหวัดสงขลา และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (55 nGy/h) แต่มีค่าต่ำกว่า ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ส่วนค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ที่คำนวณได้จากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา (176.70 Bq/kg) มีค่าสูงกว่า ค่าที่คำนวณได้จากหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา แต่มีค่าต่ำกว่า ค่าที่คำนวณได้จากหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (370 Bq/kg)

ส่วนหาคสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทอง จังหวัดสงขลา (253.01 Bq/kg) มีค่า**สูงกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคชลาทัศน์และหาคสมิหลา จังหวัดสงขลา แต่มีค่า**ต่ำกว่า** ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (370 Bq/kg)

สำหรับค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ที่คำนวณได้จากบริเวณหาคสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา (0.48) มีค่า**สูงกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคสมิหลา จังหวัดสงขลา แต่มีค่า**ต่ำกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (น้อยกว่า 1) ส่วนหาคสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทอง จังหวัดสงขลา (0.68) มีค่า**สูงกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคชลาทัศน์และหาคสมิหลา จังหวัดสงขลา แต่มีค่า**ต่ำกว่า** ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (น้อยกว่า 1)

และค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out}) ที่คำนวณได้จากบริเวณหาคสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา (0.11 mSv/y) มีค่า**สูงกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคสมิหลา จังหวัดสงขลา แต่มีค่า**ต่ำกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (0.48 mSv/y) ส่วนหาคสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทอง จังหวัดสงขลา (0.16) มีค่า**สูงกว่า** ค่าที่คำนวณได้จากหาคชลาทัศน์และหาคสมิหลา จังหวัดสงขลา แต่มีค่า**ต่ำกว่า** ค่าที่คำนวณได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (0.48 mSv/y)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการพิจารณาข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการวิจัยในบทที่ 4 และสรุปผลที่ได้จากการวิจัยในบทที่ 5 จะเห็นได้ว่า

ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาคสะกอม อำเภोजะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาคสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทอง (50 ตัวอย่าง) มีค่า**สูงกว่า** ข้อมูลที่ตรวจวัดในหาคชลาทัศน์ หาคสมิหลา จังหวัดสงขลา ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย) และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก

ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาคสะกอม อำเภोजะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาคสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทอง (50 ตัวอย่าง) มีค่า**สูงกว่า** ข้อมูลที่ตรวจวัดในหาคสมิหลา และค่า

มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก แต่มีค่าต่ำกว่า ข้อมูลที่ตรวจวัดในภาคชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา และค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย)

และค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) มีค่าสูงกว่า ข้อมูลที่ตรวจวัดในภาคชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา และค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) ดังกล่าวนี้ ไปคำนวณอัตราปริมาณรังสีแกมมา ดูดกลืน (D) พบว่า มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) ดังกล่าวนี้ ไปคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (R_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{ann}) พบว่า มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000)

จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 2 ชายหาด มีค่าสูงกว่าข้อมูลที่ตรวจวัดในชายหาดต่างๆ ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเฉพาะในเขตภาคใต้ของประเทศไทย และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก และเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (R_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{ann}) ที่คำนวณได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกที่เผยแพร่โดย UNSCEAR (1988, 1993, 2000)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 100 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง) ในการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงของการได้รับอันตรายจากรังสี โดยเฉพาะค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจาก

ภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) สามารถกล่าวได้ว่า ประชาชนที่อาศัยอยู่และนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยว บริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา มีความเสี่ยงในการได้รับค่ากัมมันตภาพรังสีจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยใครขอเสนอแนะให้แก่ผู้ที่สนใจในการทำวิจัยในรูปแบบดังกล่าวนี้ ไว้เป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1. ควรให้ความสำคัญกับการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดอย่างยิ่ง โดยจะต้องมีการวางแผนและเตรียมการที่ดี ผู้วิจัยควรศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการเก็บตัวอย่างเป็นอย่างดี จะทำให้สามารถเก็บตัวอย่างทรายชายหาดได้อย่างรวดเร็วและมีปัญหาในการเก็บตัวอย่างให้น้อยที่สุด
2. ศึกษาและเรียนรู้วิธีการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาดอย่างมีมาตรฐานสากล โดยในการเตรียมตัวอย่างทรายชายหาดเพื่อทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของไอโซโทปรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดจะต้องมีลักษณะและรูปร่าง (geometry) คล้ายกันกับลักษณะและรูปร่างของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดให้มากที่สุด เช่น ภาชนะบรรจุตัวอย่างทรายชายหาดต้องมีลักษณะและขนาดที่เท่ากัน ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง หรือการจัดวางตัวอย่างอยู่ที่ระยะห่างจากหัววัดเหมาะสมและเท่ากันทุกครั้ง จะทำให้ได้ผลการทดลองที่ดีและถูกต้อง
3. จะต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลจากซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ การใช้สมการเพื่อคำนวณค่าต่างๆ และการจัดการข้อมูลที่ได้อย่างเป็นระบบเพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดของข้อมูล
4. ผู้ศึกษาและวิจัยจะต้องมีความอดทนและตั้งใจจริงในการเก็บข้อมูลจากการทดลองที่ต้องใช้เวลานานๆ

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2529. การป้องกันอันตรายจากรังสี. กรุงเทพฯ.
สำนักพิมพ์กระทรวงสาธารณสุข.
- กองการวัดกัมมันตภาพรังสี. 2547. รายงานวิชาการประจำปี 2534-2546. สำนักงานปรมาณูเพื่อ
สันติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- ชัยวัฒน์ รัตนสำเนียง. 2552. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ
(^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจากจังหวัดสงขลา (ประเทศ
ไทย). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ธวัช ชิตตระการ. 2541. การตรวจและการวัดรังสี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธุมวดี ทองนะ. 2552. การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติบริเวณจังหวัด
นครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. 2545. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 334 หน้า.
- นุริมาลย์ บือชา อาชียัน อาแว และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2551. “การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ
ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดิน จากบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยา
เขตสงขลา และวิทยาเขตพัทลุง”. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานมหาวิทยาลัย
ทักษิณ ประจำปี 2551, โรงแรมกรีนเวิลด์ พาเลซสงขลา, 25-26 กันยายน 2551.
- ปวีตรา หมดสะอะ. 2547. การศึกษาและการวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณสารกัมมันตรังสีในตัวอย่าง
อาหาร และสิ่งแวดล้อมในจังหวัดสงขลาทางภาคใต้ของประเทศไทย. โครงการงาน วิทยา
ศาสตรบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2533. คู่มือการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์พื้นฐาน. สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
- ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์. สงขลา : ภาควิชา
ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา. 261 หน้า.
- ประสงค์ เกษราธิคุณ. (2553). การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K ,
 ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{238}U) และมนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในทรายชายหาดหลังจากการเกิดลิ้น
น้ำในจังหวัดภูเก็ต โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา.

ประสงค์ เกษราธิคุณ . 2556. “การแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารกัมมันตรังสีธรรมชาติและค่าดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดอ่าวนาง จังหวัดกระบี่ ประเทศไทย”. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23, ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, 22–25 พฤษภาคม 2556.

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

ศุภวดี เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2550. “การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติเชิงปริมาณบริเวณเขตเทศบาล อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา”. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2550, โรงแรมกรีนเว็ลด์ สงขลา, 20-21 กันยายน 2550.

A.I. AbdEl-mageed, A.H.El-Kamel, A.Abbady, S.Harb, A.M.M.Youssef, I.I.Saleh., 2011. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen. **Radiat. Phys. Chem.** 80, 710-715.

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.

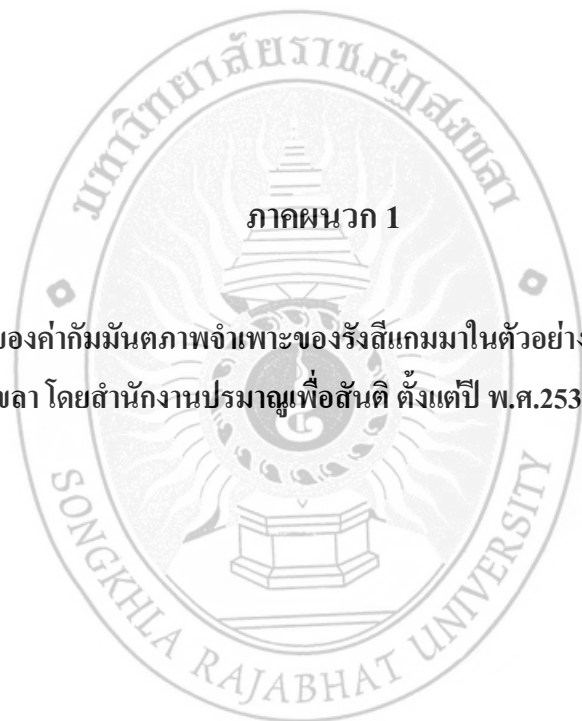
El-Arabi, A.M., 2005. Natural radioactivity in sand used in the thermal therapy at the Red Sea Coast. **J. Environ. Radioact.** 81, 11-19.

- 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.
- 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.
- 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 Zacatecas 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.
- Myrick, T.E., Berven, B.A. and Haywood, E.F. 1983. Determination of the concentration of selected radioactivity in surface soil in USA. **Health Phys.** 45, 361.
- Örgün, Y., Altinsoy, N., Sahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., Karahan, G. and Karacik, Z. 2007. Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Canakkale), Western Anatolia, Turkey. **Appl. Radiat. Isotopes.** 65, 739-747.
- Pimpl, M., Yoo, B. and Yordanova, I. 1992. Optimization of a radioanalytical procedure for the determination of uranium isotopes in the environmental samples. **J. Radioanal. Nucl. Chem.** Articles 161, 437.
- 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. Characteristics, 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.



ภาคผนวก



ภาคผนวก 1

ตารางข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของรังสีแกมมาในตัวอย่างดินที่เก็บในบริเวณ
จังหวัดสงขลา โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 ถึงปี พ.ศ.2545

ตารางที่ ๑ 1-1 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของรังสีแกมมาเฉลี่ยในตัวอย่างดินที่เก็บในบริเวณจังหวัดสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 ถึง ปี พ.ศ.2545

ตัวอย่าง	ปีที่เก็บ	สถานที่เก็บตัวอย่าง	กัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)			
			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
ดิน	2537	บริเวณจังหวัดสงขลา	489.44 ± 7.97	129.31 ± 3.52	94.28 ± 2.12	0.93 ± 0.33
ดิน	2539	บริเวณจังหวัดสงขลา	695.17 ± 7.07	48.83 ± 2.22	36.10 ± 1.25	0.84 ± 0.16
ดิน	2542	บริเวณจังหวัดสงขลา	43.41 ± 2.69	37.09 ± 1.97	37.40 ± 1.30	1.36 ± 0.27
ดิน	2545	บริเวณจังหวัดสงขลา	816.13 ± 8.81	470.97 ± 4.25	676.99 ± 2.83	1.38
ดิน	2537-2545	ค่าเฉลี่ย บริเวณจังหวัดสงขลา	511.04 ± 7.04	171.55 ± 3.13	211.19 ± 1.98	1.13 ± 0.49

ตารางที่ ผ 1-2 ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของรังสีแกมมาในตัวอย่างดินที่เก็บในบริเวณจังหวัดสงขลาตามสถานที่ต่างๆ และค่าเฉลี่ยในแต่ละปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2545

วัน เดือน ปี ที่เก็บ	สถานที่เก็บตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่าง	กัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/Kg)			
			^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs
18 เม.ย. 2537	ดินจากสวนสาธารณะ จ. สงขลา	361.67	489.44 ± 7.97	129.31 ± 3.52	94.28 ± 2.12	0.93 ± 0.33
	เฉลี่ย		489.44 ± 7.97	129.31 ± 3.52	94.28 ± 2.12	0.93 ± 0.33
23 พ.ค. 2539	ดินจากสวนสาธารณะ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา	457.82	84.67 ± 2.89	18.67 ± 1.40	25.13 ± 0.93	0.71 ± 0.14

ตารางที่ ผ 1-2 (ต่อ)

วัน เดือน ปี ที่เก็บ	สถานที่เก็บตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่าง	กัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)			
			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
23 เม.ย. 2542	ดินจากสถานี อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ ฝั่งตะวันออก อ.เมือง จ. สงขลา	457.82	1330.04 ± 11.67	86.93 ± 3.34	57.20 ± 1.84	0.90 ± 0.04
	ดินจาก มศว. สงขลา อ.เมือง จ. สงขลา	457.82	670.80 ± 6.66	40.89 ± 1.90	25.97 ± 0.97	0.92 ± 0.18
	เฉลี่ย		695.17 ± 7.07	48.83 ± 2.22	36.10 ± 1.25	0.84 ± 0.16
	ดินจากที่ว่าการ อำเภอคลองหอยโข่ง จ. สงขลา	361.67	43.41 ± 2.69	37.09 ± 1.97	37.40 ± 1.30	1.36 ± 0.27
	เฉลี่ย		43.41 ± 2.69	37.09 ± 1.97	37.40 ± 1.30	1.36 ± 0.27

ตารางที่ ผ 1-2 (ต่อ)

วัน เดือน ปี ที่เก็บ	สถานที่เก็บตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่าง	กัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)			
			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
16 มี.ค.2545	ดินจากบริเวณ สวนตุล อ. เมือง จ. สงขลา	474.86	1297.00 ± 9.09	71.35 ± 2.51	38.38 ± 1.14	0.66
	ดินจากสถานี อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ ฝั่งตะวันออก อ.เมือง จ. สงขลา	322.65	396.95 ± 7.29	31.47 ± 2.39	55.15 ± 1.67	0.76
17 มี.ค. 2545	ดินจากบ้านเลขที่ 35 ม.2 ต.ทุ่งขม อ. นาทม่อม จ. สงขลา	803.50	212.57 ± 7.84	1676.06 ± 8.96	2554.74 ± 6.87	3.255

ตารางที่ ผ 1-2 (ต่อ)

วัน เดือน ปี ที่เก็บ	สถานที่เก็บตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่าง	กัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)			
			⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
	ดินจากบ้านเลขที่ 71/1 ม.5 ต. คลองหรั่ง อ. นาหม่อม จ. สงขลา	525.09	1358.01 ± 11.03	84.98 ± 3.15	59.71 ± 1.64	0.85
	เฉลี่ย		816.13 ± 8.81	470.97 ± 4.25	676.99 ± 2.83	1.38



ภาคผนวก 2

**ใบรับรองการวิเคราะห์ (Certificate of analysis) และภาพของเส้นสเปกตรัมพลังงานของรังสี
แกมมาในแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน IAEA/RGU-1 IAEA/RGTh-1 KCl และ IAEA/SL-2**



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

REFERENCE MATERIAL FOR GAMMA-RAY SPECTROMETRIC ANALYSIS OF GEOLOGICAL MATERIALS

IAEA/RGTh-1 CERTIFICATE OF ANALYSIS

COMPONENT	CONCENTRATION*	CONFIDENCE INTERVAL**
Thorium	800 µg/g	± 16 µg/g
Uranium	6.3 µg/g	± 0.4 µg/g
Potassium	0.02%	± 0.01%

*Expressed on dry weight basis (constant weight at 130°C)
**At a significance level of 0.05

DESCRIPTION OF MATERIAL

RGU-1, RGTh-1 and RGK-1 are intended for use in calibrating laboratory gamma-ray spectrometers for the determination of U, Th and K in geological materials. RGTh-1 was prepared by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) under a contract with the International Atomic Energy Agency. The material was prepared by dilution of Canada Certified Reference Material Project (CCRMP) thorium ore OKA-2 (2.89% Th, 219 µg/g U) with a floated silica powder of similar grain size distribution. The agreement between radiometric and chemical measurements of thorium and uranium in OKA-2 shows both series to be in radioactive equilibrium. The complete description of the preparation and certification of RGTh-1 may be found in the reference.

REFERENCE

Preparation of Gamma-ray Spectrometry Reference Materials RGU-1, RGTh-1 and RGK-1 Report - IAEA/RL/148, Vienna, 1987

This report may be obtained from:
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Agency's Laboratories
Analytical Quality Control Services
P.O. Box 100
A-1400 Vienna, AUSTRIA



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

REFERENCE MATERIAL FOR GAMMA-RAY SPECTROMETRIC ANALYSIS OF GEOLOGICAL MATERIALS

IAEA/RGU-1 CERTIFICATE OF ANALYSIS

COMPONENT	CONCENTRATION*	CONFIDENCE INTERVAL**
Uranium	400 µg/g	± 2 µg/g
Thorium	less than 1 µg/g	---
Potassium	less than 20 µg/g	---

* Expressed on dry weight basis (constant weight at 130°C)
** At a significance level of 0.05

DESCRIPTION OF MATERIAL

RGU-1, RGTh-1 and RGK-1 are intended for use in calibrating laboratory gamma-ray spectrometers for the determination of U, Th and K in geological materials. RGU-1 was prepared by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) under a contract with the International Atomic Energy Agency. The material was prepared by dilution of Canada Certified Reference Material Project (CCRMP) uranium ore BL-5 (7.09% U) with a floated silica powder of similar grain size distribution. BL-5 has been certified for uranium, ^{226}Ra and ^{210}Pb confirming that it is in radioactive equilibrium. The complete description of the preparation and certification of RGU-1 may be found in the reference.

REFERENCE

Preparation of Gamma-ray Spectrometry Reference Materials
RGU-1, RGTh-1 and RGK-1 Report - IAEA/RL/148, Vienna, 1987

This report may be obtained from:
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Agency's Laboratories
Analytical Quality Control Services
P.O.Box 100
A-1400 Vienna, AUSTRIA



International Atomic Energy Agency
Analytical Quality Control Services
 Wagramer Strasse 5, P.O.Box 100, A-1400 Vienna, Austria

REFERENCE SHEET

REFERENCE MATERIAL

IAEA-SL-2

RADIONUCLIDES IN LAKE SEDIMENT

Date of issue: September 1999[®]

Recommended Values
 (Based on dry weight)

Reference Date for decay correction: 31st January 1986

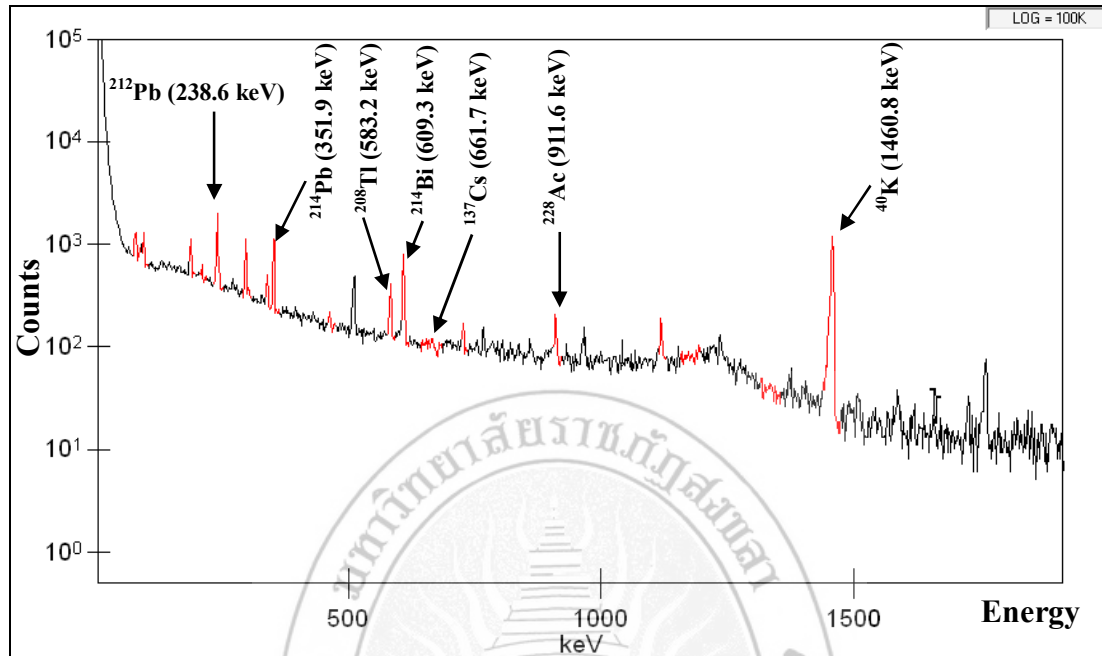
Element	Recommended Value Bq/kg	95% Confidence Interval Bq/kg	N*
⁴⁰ K	240	216 – 264	16
¹³⁷ Cs	2.4	2.1 – 2.7	13

* Number of accepted laboratory means which were used to calculate the recommended values and confidence intervals.

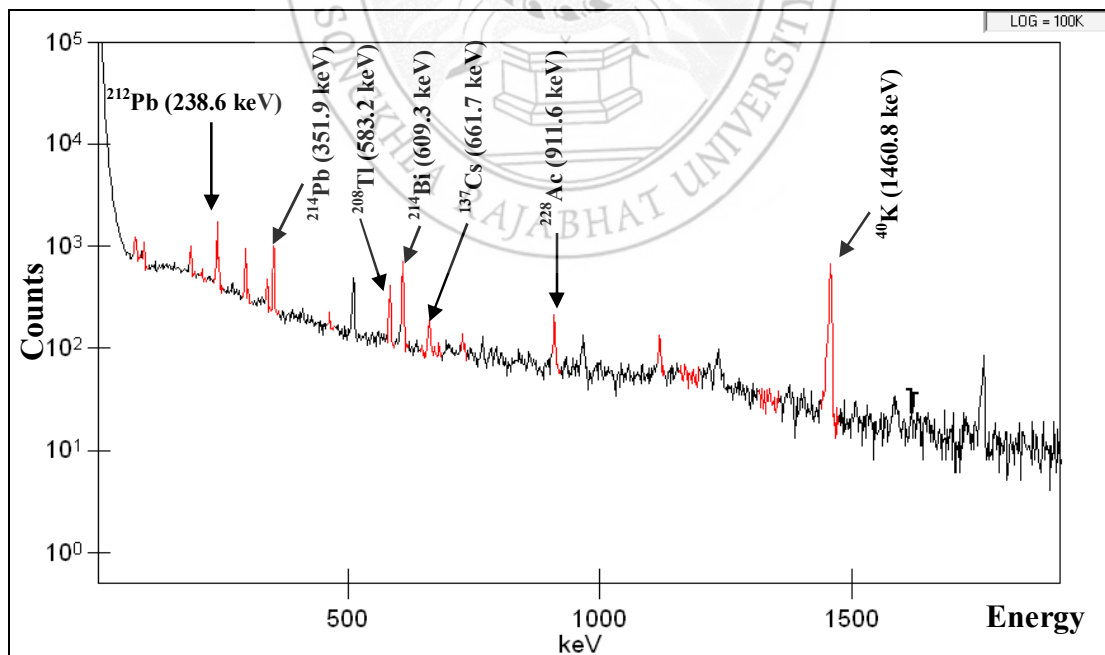
[®] Revision of the original reference sheet dated May 1987

The values listed above were established on the basis of statistically valid results submitted by laboratories which had participated in an international intercomparison exercise organized during 1986-1987. The details concerning the criteria for qualification as a recommended value can be found in the report (IAEA/RL/142) "Report on the Intercomparison Run IAEA-SL-2: Radionuclides in Lake Sediment" [1]. This report is available free of charge upon request.

ภาพที่ ผ 2-1 เส้นสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน IAEA/RGU-1 IAEA/RGTh-1 และ KCl



ภาพที่ ผ 2-2 เส้นสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน IAEA/SL-2

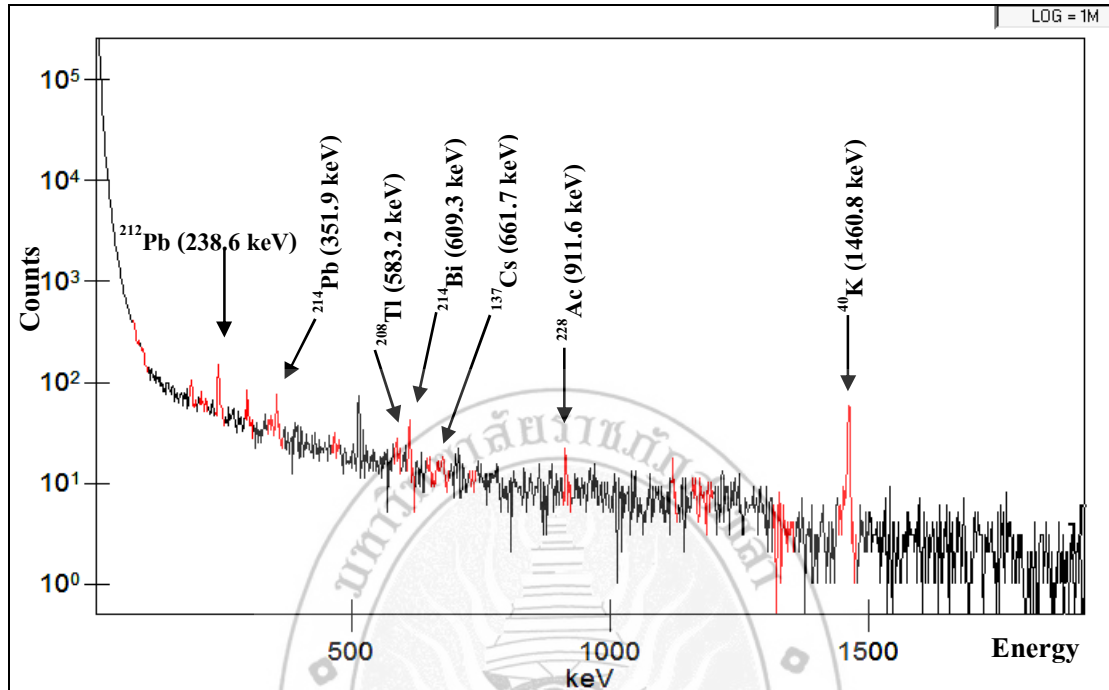




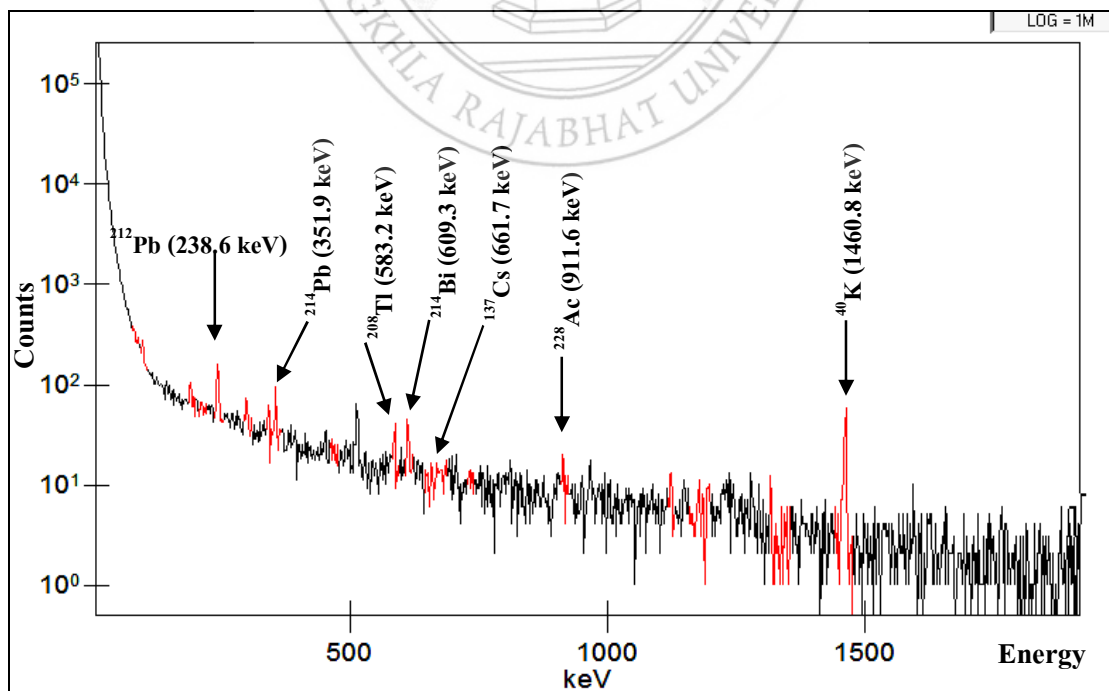
ภาคผนวก 3

**สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภอจะนะ
และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา (บางตัวอย่าง) จำนวน 10 ตัวอย่าง**

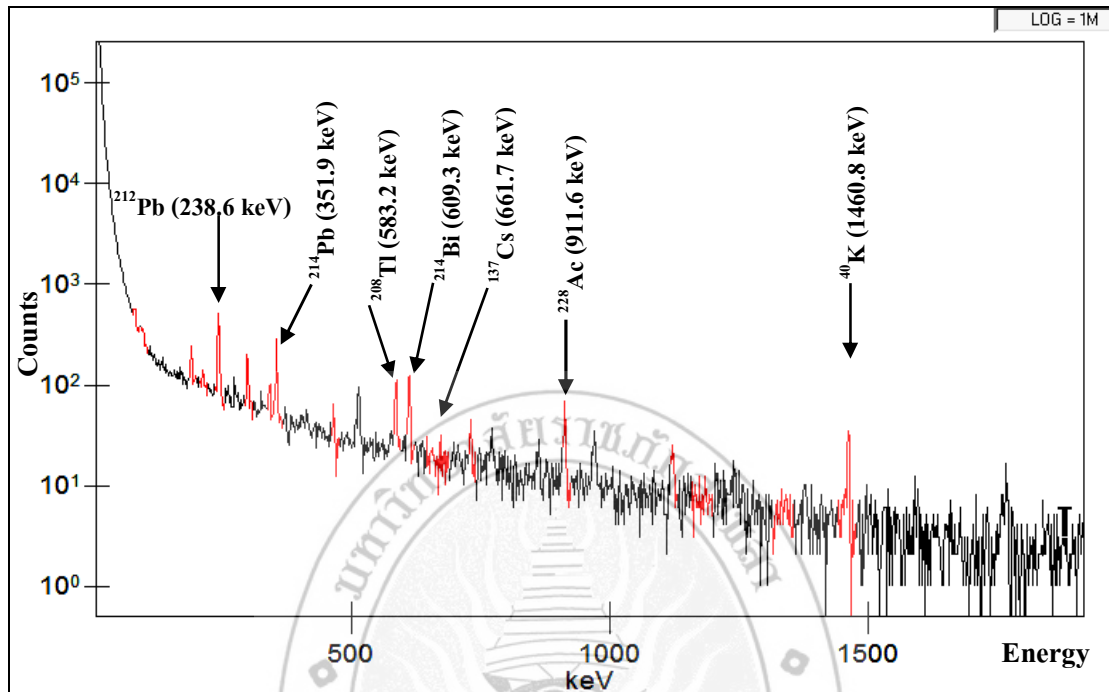
ภาพที่ 3-1 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SG-10 ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา



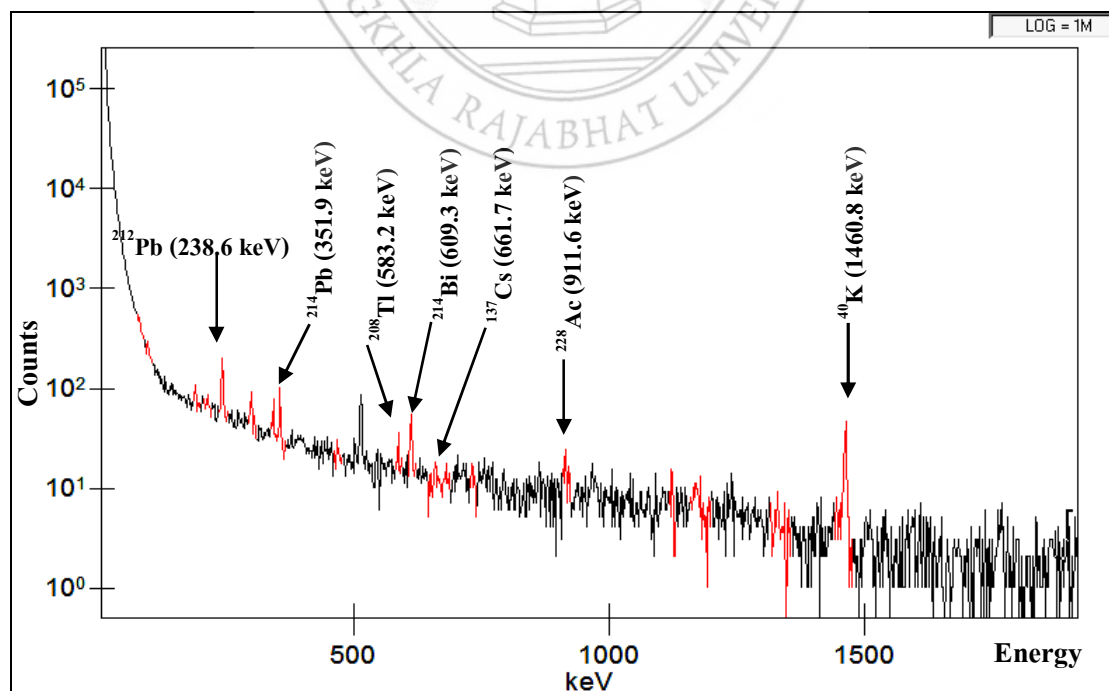
ภาพที่ 3-2 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SG-20 ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา



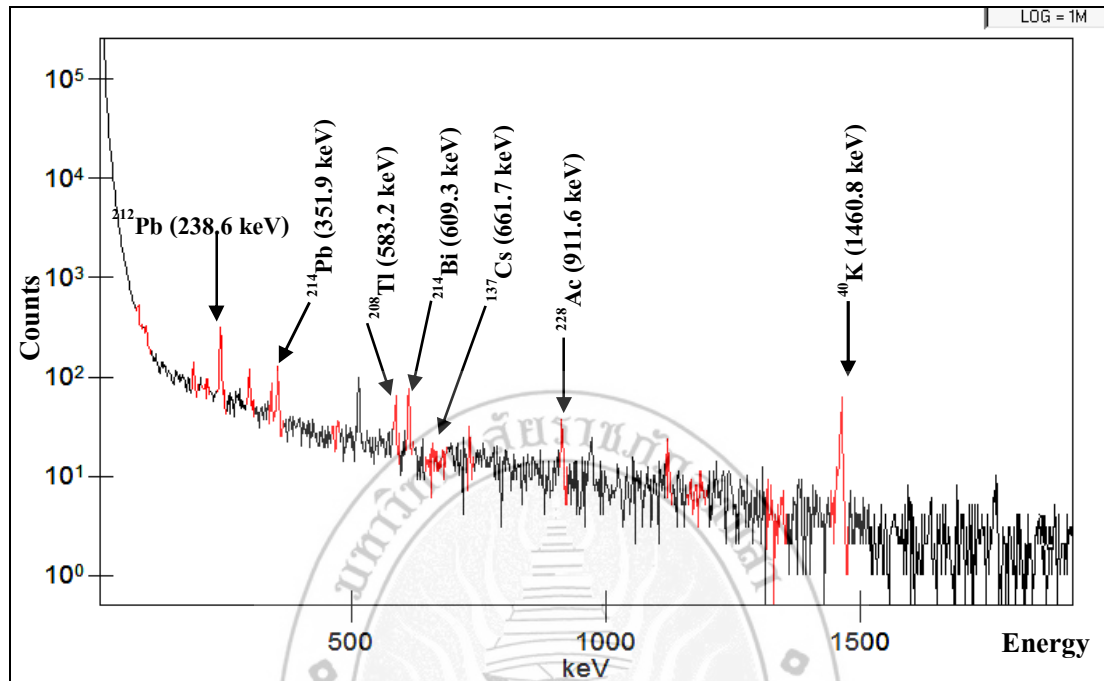
ภาพที่ 3-3 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SG-30 ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา



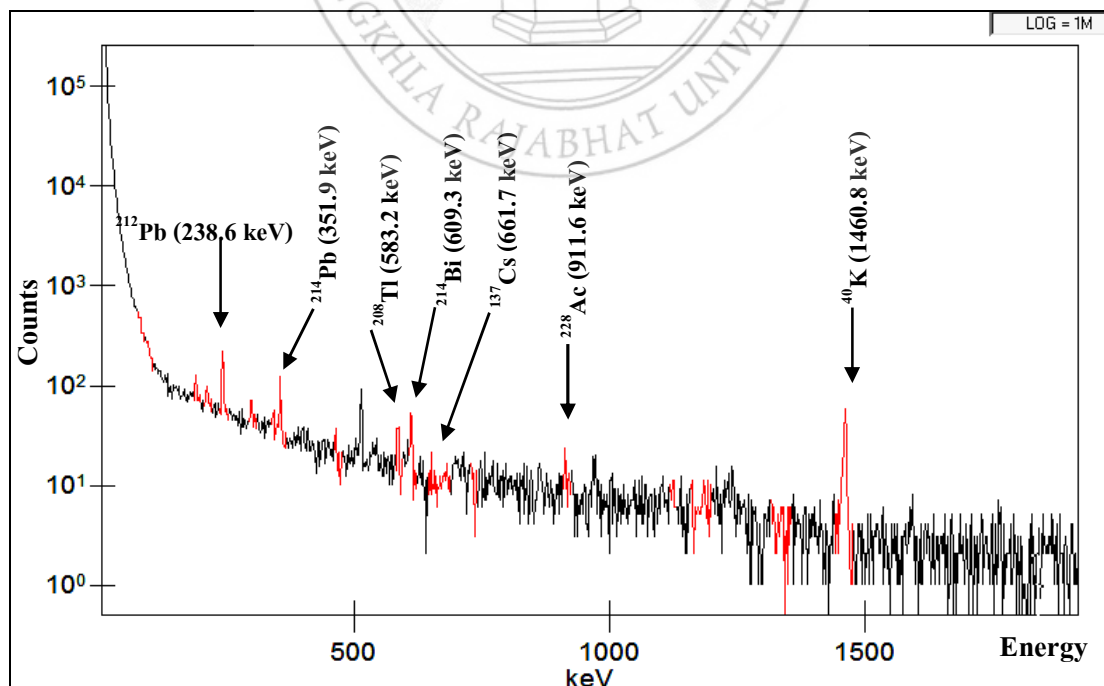
ภาพที่ 3-4 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SG-40 ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา



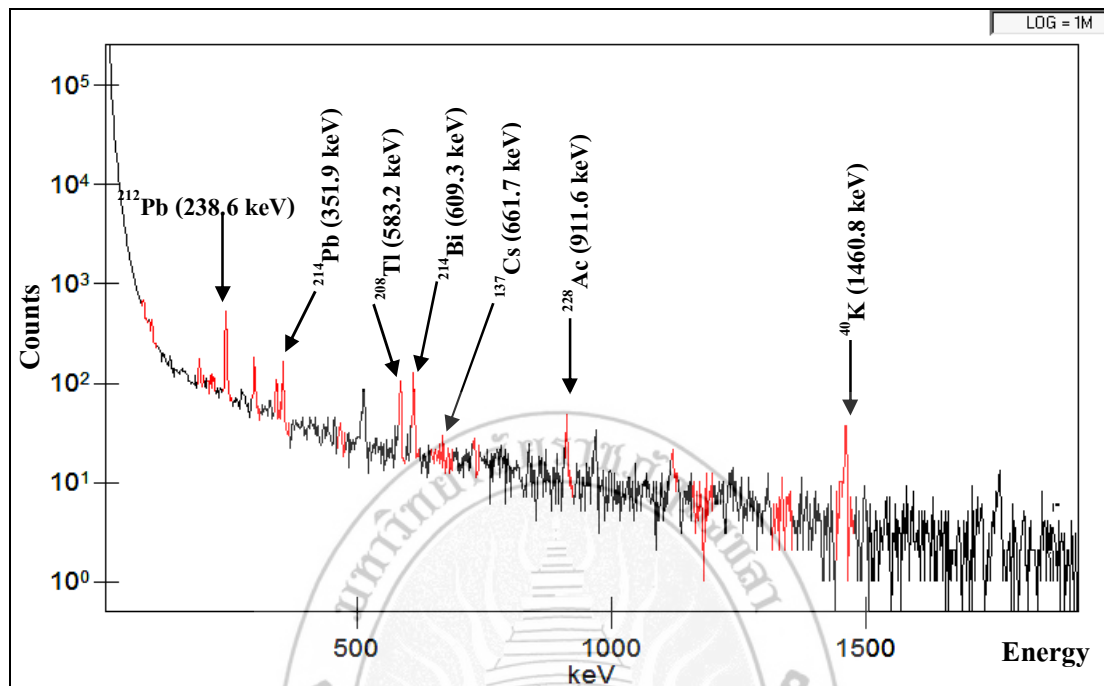
ภาพที่ 3-5 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SG-50 ที่เก็บจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา



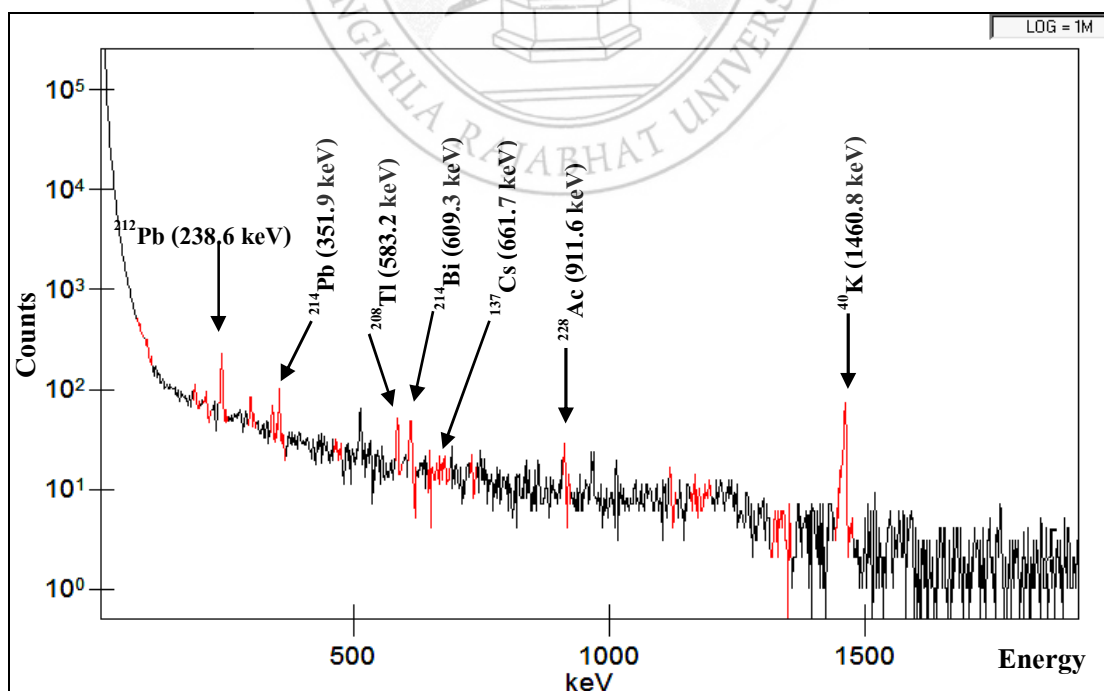
ภาพที่ 3-6 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SS-10 ที่เก็บจากหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา



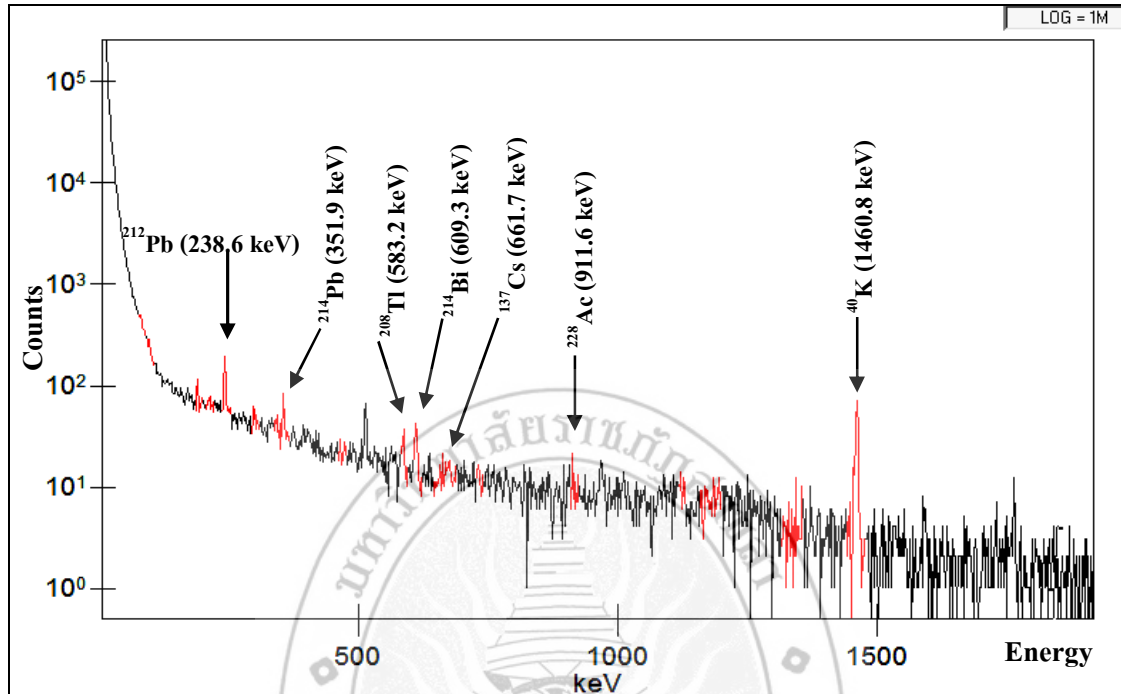
ภาพที่ ผ 3-7 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SS-20 ที่เก็บจากหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทม จังหวัดสงขลา



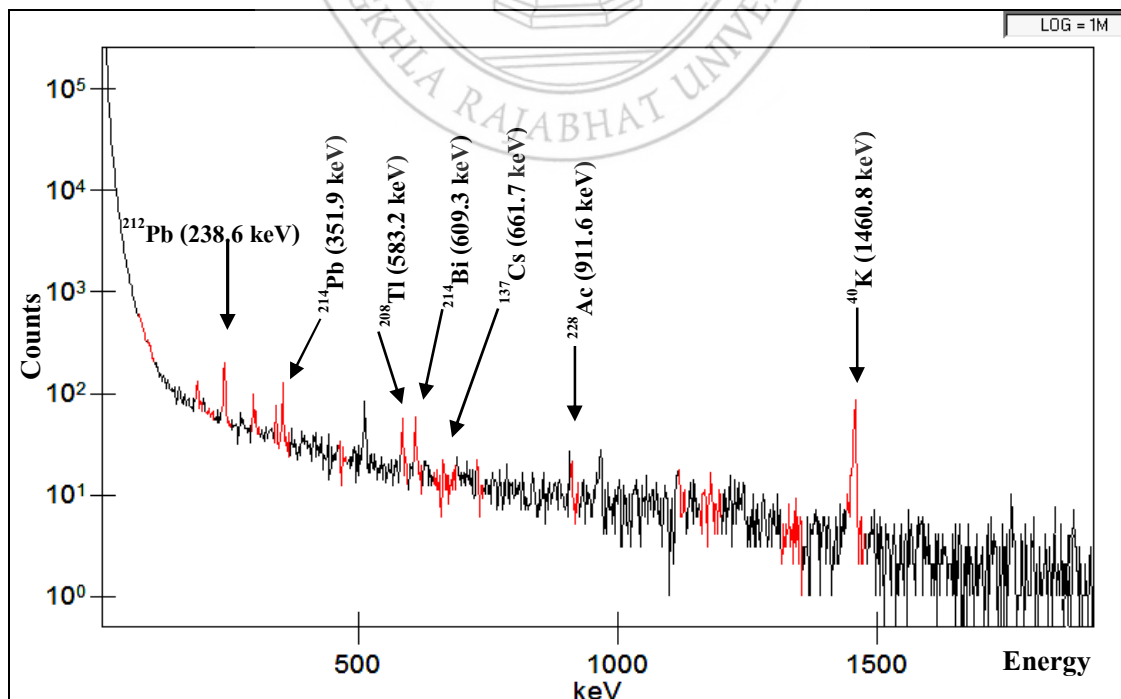
ภาพที่ ผ 3-8 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SS-30 ที่เก็บจากหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทม จังหวัดสงขลา



ภาพที่ 3-9 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SS-40 ที่เก็บจากหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงหรา จังหวัดสงขลา



ภาพที่ 3-10 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างทรายชายหาด หมายเลข SS-50 ที่เก็บจากหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงหรา จังหวัดสงขลา





ภาคผนวก 4

**นำหนักและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ
หาดสะกอม อำเภอจะนะ (50 ตัวอย่าง) และหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา (50 ตัวอย่าง)
จังหวัดสงขลา รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง**

ตารางที่ พ 4-1 น้ำหนักและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาด สะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างทรายชายหาด		พิกัดทางภูมิศาสตร์
	กระปุกเล็ก (กรัม)	กระปุกใหญ่ (กรัม)	
SG-1	92.24	219.93	47N 0701970 0768956
SG-2	91.77	216.81	47N 0701986 0768958
SG-3	95.20	207.73	47N 0701996 0768958
SG-4	100.27	211.19	47N 0702005 0768954
SG-5	99.99	223.94	47N 0702014 0768953
SG-6	98.12	214.43	47N 0702020 0768951
SG-7	102.01	212.71	47N 0702030 0768950
SG-8	99.60	224.07	47N 0702039 0768949
SG-9	102.17	208.02	47N 0702047 0768948
SG-10	100.96	207.03	47N 0702057 0768947
SG-11	101.96	224.63	47N 0705241 0769054
SG-12	94.34	221.42	47N 0705249 0769049
SG-13	99.39	212.14	47N 0705258 0769050
SG-14	93.26	218.68	47N 0705262 0769046
SG-15	98.04	212.69	47N 0705271 0769039
SG-16	98.90	215.52	47N 0705279 0769034
SG-17	96.15	221.12	47N 0705281 0769029
SG-18	102.77	220.68	47N 0705286 0769022
SG-19	93.25	218.07	47N 0705296 0769016
SG-20	103.51	215.96	47N 0705301 0769012

ตารางที่ พ 4-1 (ต่อ) น้ำหนักและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ
หาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างทรายชายหาด		พิกัดทางภูมิศาสตร์
	กระปุกเล็ก (กรัม)	กระปุกใหญ่ (กรัม)	
SG – 21	101.55	216.29	47N 0707043 0767431
SG – 22	101.48	206.99	47N 0707053 0767425
SG – 23	93.77	215.63	47N 0707061 0767419
SG – 24	103.19	205.14	47N 0707067 0767413
SG – 25	101.37	218.17	47N 0707075 0767408
SG – 26	102.80	210.99	47N 0707080 0767404
SG – 27	100.48	209.15	47N 0707089 0767399
SG – 28	103.86	217.32	47N 0707095 0767392
SG – 29	92.20	222.23	47N 0707100 0767387
SG – 30	103.21	215.43	47N 0707082 0767404
SG – 31	102.32	211.83	47N 0707751 0766814
SG – 32	101.33	207.75	47N 0707756 0766808
SG – 33	97.20	204.06	47N 0707763 0766804
SG – 34	93.68	192.59	47N 0707769 0766799
SG – 35	101.04	206.76	47N 0707775 0766793
SG – 36	98.99	207.10	47N 0707783 0766787
SG – 37	91.57	210.20	47N 0707789 0766782
SG – 38	96.18	204.44	47N 0707797 0766775
SG – 39	98.74	206.72	47N 0707805 0766770
SG – 40	90.97	207.01	47N 0707803 0766767

ตารางที่ พ 4-1 (ต่อ) น้ำหนักและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสะกอม อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างทรายชายหาด		พิกัดทางภูมิศาสตร์
	กระปุกเล็ก (กรัม)	กระปุกใหญ่ (กรัม)	
SG - 41	96.38	200.94	47N 0711096 0763932
SG - 42	100.51	206.70	47N 0711110 0763929
SG - 43	95.93	216.75	47N 0711119 0763926
SG - 44	98.91	212.08	47N 0711129 0763914
SG - 45	99.88	208.71	47N 0711132 0763909
SG - 46	91.00	205.69	47N 0711138 0763908
SG - 47	91.49	208.28	47N 0711146 0763902
SG - 48	98.24	211.21	47N 0711151 0763898
SG - 49	93.40	209.60	47N 0711152 0763898
SG - 50	97.41	201.55	47N 0711159 0763890

ตารางที่ พ 4-2 น้ำหนักและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาด สร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา จำนวน 50 ตัวอย่าง

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างทรายชายหาด		พิกัดทางภูมิศาสตร์
	กระปุกเล็ก (กรัม)	กระปุกใหญ่ (กรัม)	
SS - 1	79.37	194.59	47N 0711941 0763314
SS - 2	91.31	193.43	47N 0711950 0763310
SS - 3	85.99	207.85	47N 0711957 0763307
SS - 4	82.83	215.60	47N 0711963 0763300
SS - 5	89.72	221.12	47N 0711969 0763296
SS - 6	73.45	206.92	47N 0711976 0763291
SS - 7	95.27	187.68	47N 0711983 0763286
SS - 8	87.56	205.34	47N 0711981 0763283
SS - 9	83.43	215.32	47N 0711996 0763276
SS - 10	92.58	193.21	47N 0711994 0763282
SS - 11	87.49	182.54	47N 0713456 0762224
SS - 12	74.29	182.84	47N 0713465 0762218
SS - 13	82.96	206.59	47N 0713474 0762215
SS - 14	82.72	204.74	47N 0713480 0762210
SS - 15	94.35	189.61	47N 0713486 0762207
SS - 16	93.49	202.11	47N 0713493 0762201
SS - 17	80.23	205.55	47N 0713501 0762196
SS - 18	92.64	191.79	47N 0713506 0762192
SS - 19	79.41	203.55	47N 0713512 0762187
SS - 20	97.51	197.26	47N 0713514 0762185

ตารางที่ ๔-2 (ต่อ) น้ำหนักและฟักัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณ
หาดสร้อยสวรรค์ อำเภอนาทม จังหวัดสงขลา

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างทรายชายหาด		ฟักัดทางภูมิศาสตร์
	กระปุกเล็ก (กรัม)	กระปุกใหญ่ (กรัม)	
SS – 21	91.35	194.17	47N 0714160 0761770
SS – 22	81.89	214.40	47N 0714167 0761775
SS – 23	80.58	197.59	47N 0714175 0761771
SS – 24	74.45	202.71	47N 0714183 0761767
SS – 25	82.87	210.95	47N 0714190 0761763
SS – 26	82.08	200.96	47N 0714196 0761758
SS – 27	78.64	203.13	47N 0714204 0761754
SS – 28	81.31	206.40	47N 0714209 0761750
SS – 29	82.29	206.57	47N 0714215 0761745
SS – 30	78.57	210.66	47N 0714223 0761741
SS – 31	94.85	210.87	47N 0715343 0761061
SS – 32	96.47	196.52	47N 0715352 0761056
SS – 33	83.20	212.62	47N 0715355 0761052
SS – 34	99.54	193.20	47N 0715360 0761048
SS – 35	80.10	196.31	47N 0715367 0761045
SS – 36	74.86	190.86	47N 0715373 0761040
SS – 37	79.69	197.37	47N 0715380 0761037
SS – 38	79.24	196.14	47N 0715387 0761034
SS – 39	85.13	210.75	47N 0715390 0761027
SS – 40	79.47	205.93	47N 0715401 0761024

ตารางที่ ๗ 4-2 (ต่อ) น้ำหนักและพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอกงเทพา จังหวัดสงขลา


ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักของตัวอย่างทรายชายหาด		พิกัดทางภูมิศาสตร์
	กระปุกเล็ก (กรัม)	กระปุกใหญ่ (กรัม)	
SS - 41	93.65	196.85	47N 0716428 0760643
SS - 42	78.22	199.27	47N 0716430 0760637
SS - 43	84.38	191.53	47N 0716434 0760629
SS - 44	92.64	184.36	47N 0716439 0760624
SS - 45	81.67	207.69	47N 0716447 0760618
SS - 46	83.10	209.20	47N 0716454 0760610
SS - 47	83.74	204.71	47N 0716462 0760606
SS - 48	81.01	204.82	47N 0716469 0760602
SS - 49	89.98	202.79	47N 0716476 0760597
SS - 50	88.84	209.18	47N 0716482 0760598





ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวมูรณี คาโอะ	
คุณวุฒิ/สาขา	วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ	
ตำแหน่งทางวิชาการ	อาจารย์	
สถานที่ทำงาน	โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทร. 074-336949 โทรสาร 074-336950 E-mail : murnee.daoh@gmail.com	
ที่อยู่อาศัย	8/2 หมู่ 3 ตำบลสะบ้าย้อย อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา 90210 มือถือ (087) 3939033	

ตำรา/เอกสารประกอบการสอน

1. มูรณี คาโอะ 2555. เอกสารประกอบการสอนวิชาชีวิตกับพลังงาน. สงขลา : โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา.
2. มูรณี คาโอะ. 2557. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์ 1. สงขลา : โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา.
3. มูรณี คาโอะ 2557. เอกสารประกอบการสอนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์ 1. สงขลา : โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา.
4. มูรณี คาโอะ. 2557. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน. สงขลา : โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา.
5. มูรณี คาโอะ. 2557. เอกสารประกอบการสอนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐาน. สงขลา : โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา.

งานวิจัยที่เสร็จแล้ว :

1. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงคุณภาพในตัวอย่างถ่านหินที่เก็บจากบริเวณบ้านจะแหน อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา.2550 ; หัวหน้าโครงการวิจัย
2. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจาก 11 อำเภอ ของจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. 2553 ; หัวหน้าโครงการวิจัย
3. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี.2556 ; หัวหน้าโครงการวิจัย
4. อายุคาบสมุทรสทิงพระ จังหวัดสงขลา โดยการหาอายุของเปลือกหอยด้วยเทคนิค C^{14} . 2554 ; ผู้ร่วมโครงการวิจัย
5. การวิเคราะห์ธาตุ K, Mn, Zn และ Fe ในตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิครังสีเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF).2556 ผู้ร่วมโครงการวิจัย

งานวิจัยที่กำลังทำ :

1. การประเมินค่าความเป็นอันตรายทางรังสี ในทรายชายหาดบริเวณ จังหวัดปัตตานี.2558 ;หัวหน้าโครงการวิจัย
2. ลักษณะทางกายภาพเชิงฟิสิกส์ของหินบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.2556 ;ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผลงานตีพิมพ์วารสาร:

ภาษาไทย

1. มูรณี ดาโอะ สุชิน อุดมสมพร ศุภวุฒิ เบญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจาก 6 อำเภอ ของจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 14(1) : 19-29.
2. บรรจง ทองสร้าง และมูรณี ดาโอะ. 2554. อายุคาบสมุทรสทิงพระ จังหวัดสงขลา โดยการหาอายุของเปลือกหอยด้วยเทคนิค C^{14} . วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 14(3) ฉบับพิเศษ : 146-150

ผลงานเสนอสัมมนาวิชาการ

ภาษาไทย

1. มูรณี คาโอะ และลักษณา ธรรมรัตน์. 2550. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงคุณภาพในตัวอย่างถ่านหินที่เก็บจากบริเวณบ้านจะแหน อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา. งานสัมมนาวิชาการฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไปมหาวิทยาลัยราชภัฏ เขตภูมิศาสตร์ภาคใต้ ครั้งที่ 8 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
2. มูรณี คาโอะ สุชิน อุดมสมพร ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจาก 6 อำเภอ ของจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20, โรงแรมเจบี หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, 16-18 กันยายน 2553.
3. บรรจง ทองสร้าง และมูรณี คาโอะ. 2554. อายุคาบสมุทรสทิงพระ จังหวัดสงขลา โดยการหาอายุของเปลือกหอยด้วยเทคนิค C^{14} . การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21, 25-28 พฤษภาคม 2554 ณ หอประชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
4. มูรณี คาโอะ ประสงค์ เกษราธิคุณ และสุชิน อุดมสมพร. 2554. การตรวจวัดและวิเคราะห์กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินจากจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิเวศวิทย ครั้งที่ 12, 6-7 กรกฎาคม 2554 ณ โรงแรม แชนกรี-ลา บางรัก กรุงเทพฯ,
5. บรรจง ทองสร้าง และมูรณี คาโอะ. 2556. การวิเคราะห์ธาตุ K, Mn, Zn และ Fe ในตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิครังสีเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF). การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23, 22-25 พฤษภาคม 2556 ณ หอประชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
6. มูรณี คาโอะ มาริเยาะ หนีจับมัด และมัยฮิเดห์ บาเหม. 2556. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23, 22-25

พฤษภาคม 2556 ณ หอประชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

7. มูรณี คาโอะ สุกัญญา ลัสมาน มาริสา มูเก็มฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และประสงค์ เกษราธิคุณ. 2558. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 2, 4 พฤษภาคม 2558 ณ หอประชุม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
8. มูรณี คาโอะ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และประสงค์ เกษราธิคุณ. 2558. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดจากหาดสะกอม อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25, 10-12 มิถุนายน 2558 ณ หอประชุมปาริชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา จังหวัดสงขลา
9. มูรณี คาโอะ นางสาวแวนะ อาแวบาโง นางสาวชูชน มะสะ. 2558. การประเมินค่าความเป็นอันตรายของปูนซีเมนต์ โดยใช้การวิเคราะห์รังสีแกมมาสเปกโตรเมตรี การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 2, 4 พฤษภาคม 2558 ณ หอประชุม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา.
10. มูรณี คาโอะ นางสาวรอชีติ๊ะห์ มามะ , นางสาวอาติลา รูปายี, ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ และ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ. 2558. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างดิน น้ำ และอาหารประเภทผัก ในบริเวณสถานีปฏิบัติการพืชสวน มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 2, 4 พฤษภาคม 2558 ณ หอประชุม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

ภาษาอังกฤษ

1. Daoh, M., S. Udomsomporn and P. Kessaratikoon. 2011. Measurement of Specific Activity of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from Phthalung Province (Thailand) Using Gamma Ray Spectrometry. **The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society**

- (**SPC 2011**), 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
2. Daoh, M., Kessaratikoon, P., and Udomsomporn, S., 2011, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Soil Samples from in Phatthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry. **The 37th Congress on Science and Technology of Thailand**, 10-12 October 2011, Centara Grand at Central World, Bangkok, Thailand.
 3. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., Kessaratikoon, P., Daoh M., Meena, M. and Ratanasumeniang, C. 2012, Measurement of Specific Activities of Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) Radionuclides (^{137}Cs) in soil Samples from 4 Provinces (Phuket, Songkhla, Satun and Phatthalung) in the South of Thailand, **The 38th Congress on Science and Technology of Thailand**, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
 4. Daoh, M., Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples from Rajabhat Songkhla University (Thailand), **The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)**, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 5. M. Daoh, R. Boonkrongcheep and P. Kessaratikoon Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Beach Sand Samples from Soisawan Beach of Thepha District in Songkhla Province (Thailand) **The 10th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2015)**, 20-22 March, 2015, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล

นายประสงค์ เกษราธิคุณ

คุณวุฒิ/สาขา

กศ.บ. (ฟิสิกส์) เกียรตินิยมอันดับสอง มศว.บางแสน

วท.ม. (ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M.S. (Physics) Old Dominion University U.S.A.

Ph.D. (Plasma Physics) Old Dominion University U.S.A

ตำแหน่งทางวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สถานที่ทำงาน

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา

อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

โทร. (074) 311885-7 ต่อ 2115 โทรสาร (074) 443946

E-mail : prasong_mi@hotmail.com และ prasong@tsu.ac.th

ที่อยู่อาศัย

741/117 หมู่ 2 ตำบลพะวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90100

โทร. (074) 335339 มือถือ (081) 5423598

ผลงานทางวิชาการ

ตำรา/เอกสารประกอบการสอน

1. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2533. คู่มือการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์พื้นฐาน. สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
2. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์. สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา.
3. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. คู่มือการสอนวิชาฟิสิกส์ 0209292 (ปฏิบัติการฟิสิกส์ สำหรับครู) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา.



(กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการ)

บทความทางวิชาการ

1. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2532. ข้อวินิจฉัยจากการพิจารณาปัญหาฝาแฝด. วิทยาศาสตร์ มศว. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2. 130
2. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2536. การก่อตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย. ปาริชาติฉบับวิทยาศาสตร์. มศว ภาคใต้. ปีที่ 7 ฉบับที่ 1. 51
3. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2536. การสำรวจความเห็นเกี่ยวกับการก่อตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย. ปาริชาติฉบับวิทยาศาสตร์. มศว ภาคใต้. ปีที่ 7 ฉบับที่ 1. 63
4. สุนทร โกมลศุภร์ และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2539. ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต. ปาริชาติฉบับวิทยาศาสตร์. มศว ภาคใต้. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1. 75
5. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2549. ป้อนอายุกับสมการโฟโตอิเล็กทริก. วารสารปาริชาติ. มหาวิทยาลัยทักษิณ. ปีที่ 18. ฉบับที่ 2. 73

ผลงานวิจัย

บทความวิจัย (ลงตีพิมพ์ในวารสาร)

1. Popovic, S., P. Kessaratikoon, A. Markhotok, G. Brooke IV, and L. Vuskovic, “**Shock Wave Propagation and Dispersion in a Microwave Cavity Discharge**”, AIAA 2002-2279, 2002.
2. Kessaratikoon, P., A. Markhotok, G. Brook IV, S. Popovic, and L. Vuskovic “**Shock Wave Dispersion in Microwave Discharge**”, Bull. Am. Phys. Soc., 47(7), 43, 2002.
3. Vuskovic, L., P. Kessaratikoon, and S. Popovic, “**Energy Pooling Processes in Partially Ionized Argon**”, Bull. Am. Phys. Soc. , 48(3), 39, 2003.
4. Popovic S., P. Kessaratikoon, and L. Vuskovic, “**Diagnosics of Microwave Cavity Discharges Modified by Weak Shock Waves**”, Bull. Am. Phys. Soc. , 48(6), 37, 2003.
5. Kuo, S. P., Blvolaru, D., Lai, H., Lai, W. and Kessaratikoon, P., 2004, “*Characteristics of an Arc-Seeded Microwave Plasma Torch*”, IEEE Transactions on Plasma Science, 32(4), pp. 1734-1741.
6. อาหาหมัด แมเราะ และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2548. *การศึกษาการกำบังทางรังสีโดยใช้*

คอนกรีต. ว. วิทยาศาสตร์ทักษิณ, 2(1) : 93-108.

7. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, “*Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands*”, Kasetsart Journal (Natural Science), 41, pp.157-164. (in English).
8. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2008, “*Quantitative Analysis of Specific Activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from the Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma-Ray Spectrometry*”, Thai Journal of Physics, Series 3, pp.99-102 (in English).
9. Kessaratikoon, P. and Awaeketchi, S., 2008. “*Natural radioactivity measurement in soil samples collected from municipal area of Hat Yai district in Songkhla province, Thailand*”, KMITL Science Journal, 8(2), pp. 45-51. (in English).
10. ประสงค์ เกษราธิคุณ และ อูคร ยังช่วย. 2552. “การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในทรายชายหาดหลังการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ตโดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี”, วารสารสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 9(1) : 9-22.
11. Kessaratikoon, P., Ayusuk, W. and Youngchaury, U., 2009. “*Natural radioactivity in beach sands of the Pakmeng beach in Trang province, Thailand*”, Thai Journal of Physics, Series 5, pp. 284-289. (in English)
12. ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล เจนจิรา งามเพียร หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. ค่ากัมมันตภาพจำเพาะและแผนภาพทางรังสีของเรเดียม-226 (^{226}Ra) ทอเรียม-232 (^{232}Th) และ โพแทสเซียม (^{40}K) ในตัวอย่างดินบริเวณจังหวัดตรัง, ประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12(3) : 38-51.
13. Klaywittaphat, P., Onjun, T., Kessaratikoon, P. and Picha, R., 2010. “*Study of NGS pellet ablation rate in ITER based on two different pellet ablation rate models using 1.5D BALDUR code*”. Thammasat Int. J. Sc. Tech., 15(4), pp. 49-53. (in English)
14. Kessaratikoon, P. and Youngchaury, U., 2010. “*Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Beach Sand Samples from Patong Beach in Phuket Province, Thailand*”, Thai Journal of Physics, Series 6, pp. 163-165. (in English)

15. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010. "Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang Districts in Phuket Province, Thailand", Thai Journal of Physics, Series 6, pp. 163-165. (in English)
16. ชัยวัฒน์ รัตนสำเนียง สุชิน อุดมสมพร ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินบริเวณจังหวัดสงขลา (ประเทศไทย). วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 13(3) : 49-61.
17. ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในดินบริเวณจังหวัดภูเก็ต. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 13(3) : 62-70.
18. มูรณี คาโอ๊ะ สุชิน อุดมสมพร ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจาก 6 อำเภอ ของจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 14(1) : 19-29.
19. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and U. Youngchaury, 2013. "Specific activities and radioactive contour maps of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after tsunami disaster in Phuket province, Thailand", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (J Radioanal Nucl Chem), DOI 10.1007/s10967-012-2384-8.
20. S. Chauymanee, P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and U. Youngchaury, 2013. "Specific Activity and Radioactive Contour Map of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Samples from Chumphon Province, Thailand", Advanced Materials Research (AMR).
21. N. Phakdee, P. Kessaratikoon and D. Peekhantod, 2013. "Quantitative Measurement of Gamma Activities of Radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in Human

Urine Samples Collected from Residents in Southern Region of Thailand”,
Advanced Materials Research (AMR).

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

1. โครงการวิจัย เรื่อง การประเมินค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาในดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดชุมพรและสุราษฎร์ธานีก่อนการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในภาคใต้ของประเทศไทย โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณแผ่นดิน 2555) เป็นหัวหน้าโครงการ

2. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาตกดินในอากาศบริเวณจังหวัดสงขลาหลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา (งบรายได้ 2555) เป็นผู้ร่วมวิจัย

3. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณแผ่นดิน 2555) เป็นผู้ร่วมวิจัย

4. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีบีตาในปัสสาวะของคนไทยจาก 4 จังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทยเป็นโครงการวิจัยประเภท ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ของนางสาวนภาพิพย์ ภักดี นิลิตปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ (วท.ม. ฟิสิกส์) โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ (ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555) เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

5. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินและทรายชายหาดจากบริเวณฝั่งทะเลอันดามัน (กระบี่ ภูเก็ต พังงา ระนอง ตรังและ สตูล) ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณแผ่นดิน 2556) เป็นหัวหน้าโครงการ

การประชุมทางวิชาการและเสนอผลงานวิจัย

ปี พ.ศ. 2543 มีจำนวน 1 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Popovic, S., Kessaratikoon, P., and Vuskovic, L., 2000, "Ionization/ Recombination Model for the Initial Stage of Pulsed Discharges", *The 53th Annual Gaseous Electronics Conference*, 24-27 October. Houston, Texas U.S.A.

ปี พ.ศ. 2545 มีจำนวน 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Popovic S., Kessaratikoon, P., Markhotok, A., Brooke IV, G. and Vuskovic, L., 2002, "Shock Wave Propagation and Dispersion in a Microwave Cavity Discharge", *The 33rd Plasmadynamics and Lasers Conference*, 20-23 May. Maui, Hawii, U.S.A.
2. Kessaratikoon P., Markhotok, A., Brook IV, G., Popovic, S. and Vuskovic, L., 2002, "Shock Wave Dispersion in Microwave Discharge", *The 55th Annual Gaseous Electronics Conference*, 15-18 October. Minneapolis, Minnesota, U.S.A.

ปี พ.ศ. 2546 มีจำนวน 3 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Vuskovic L., Kessaratikoon, P. and Popovic, S., 2003, "Energy Pooling Processes in Partially Ionized Argon", *The 2003 Meeting of the Division of Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 20-24 May. Boulder, Colorado, U.S.A.
2. Kessaratikoon, P., Popovic, S. and Vuskovic, L., 2003, "Mode structure and dispersion of shock wave in microwave cavity discharges", *The 34th AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference*, 23-26 June 2003, Orlando, Florida, U.S.A.
3. Popovic S., Kessaratikoon, P. and Vuskovic, L., 2003, "Diagnostics of Microwave Cavity Discharges Modified by Weak Shock Waves", *The 56th Annual Gaseous Electronics Conference*, 21-24 October. San Francisco, California, U.S.A.

ปี พ.ศ. 2547 มีจำนวน 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon P., Markhotok A., Popovic S. and Vuskovic L., 2004, "Dispersion and Propagation of Weak Shock Waves through Microwave Cavity Discharges", *the 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting*, 6-8 January 2004, Reno, Nevada, U.S.A.

2. Kuo, S.P., Blvolaru, D., Lai, H., Lai, W. and Kessaratikoon, P., 2004, "Characteristics of an Arc-Seeded Microwave Plasma Torch", *IEEE Transactions on Plasma Science*, 32(4), pp.1734-1741.

ปี พ.ศ. 2548 มีจำนวน 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kiangai, J., Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Thorarit, W., 2005, "Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Soil Samples from Muang District in Songkhla Province", *the 2005 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 31 August. BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
2. Sukhowattanakit, J., Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Thorarit, W., 2005, "Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Sand Samples from Chalatat Beach in Songkhla Province", *The 31st Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2005. Nakhon Ratchasima, Thailand.

ปี พ.ศ. 2549 มีจำนวน 5 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2006, Measurement of natural radioactivity in Songkhla beach sands, *The 10th Annual GLOBE Conference: The New Decade for Globe Sustainable Development*, 30 July - 4 August 2006, Phuket, Thailand.
2. Benjakul, S., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Quantitative Measurement of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th Concentration in Soil Samples from Muang District in Songkhla Province, *The 2006 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 16 August 2006, BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
3. Meesa, I., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Sand Samples from Samila Beach in Songkhla Province, *The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 October, 2006, at Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.

4. Benjakul, S., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Natural Radionuclide Distribution in Soil From Muang District in Songkhla Province, *The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 October 2006, at Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
5. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2006, ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th Analysis in Songkhla Beach Sands Using Gamma Ray Spectrometry, *The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 October 2006, at Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.

ปี พ.ศ. 2550 มีจำนวน 11 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, Distribution of natural radionuclides and gamma-absorbed dose rates in Songkhla beach sands, *The 45th Annual Conference of Kasetsart University*, 30 January – 2 February 2007, Bangkok, Thailand.
2. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, “Quantitative Analysis of Specific Activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma Ray Spectrometry”, *The Siam Physics Congress 2007 : Physics and Technologies for Self-Reliance*, 22-24 March 2007, The Rose Garden Riverside, Nakorn Pathom, Thailand.
3. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, “Gamma-absorbed dose rate and distribution of natural radionuclides in Songkhla beach sands”, *The 10th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Energy of the World*, 16-17 August 2007, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand. (in Thai)
4. Boonkroongcheep, R., and Kessaratikoon, P., 2007, “Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Beach Sand from Patong Beach in Phuket Province”, *The 10th Conference on Nuclear Science and Technology:*

- Nuclear Energy of the World*, 16-17 August 2007, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand. (in Thai)
5. Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2007, "Quantitative Assessment of Natural Radioactivity in Municipal Area of Muang District in Songkhla Province", *The 2007 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 20-21 September 2007, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 6. Boonkroongcheep, R. and Kessaratikoon, P., 2007, "Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Beach Sand from Patong Beach in Phuket Province", *The 2007 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 20-21 September 2007, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 7. Intaratat, W. and Kessaratikoon, P., 2007, "Study on Successive Decay and Radioactive Equilibrium Using Computer Programming", *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat, Thailand.
 8. Tongrueng, L. and Kessaratikoon, P., 2007, "Study on Binding Energy per Nucleon Using Computer Programming", *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat, Thailand.
 9. Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Katathikarnkul, S., 2007, "Radioactivity of Sand Samples from the Chalatat And Samila Beaches in Songkhla Province", *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat, Thailand.
 10. Boonkroongcheep, R. and Kessaratikoon, P., 2007, "Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Beach Sand from Patong Beach in Phuket Province", *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat,

Thailand.

11. Kessaratikoon, P., Tongrueng, L. and Intaratat,W., 2007, “Study on Successive Decay Radioactive Equilibrium and Binding Energy per Nucleon in Nuclear Physics Course Using Computer Programming”, *The 1st International Conference on Science Education in the Asia-Pacific*, 28-29 November, 2007 at Sofitel Centara Grand Bangkok Hotel, Thailand.

ปี พ.ศ. 2551 มีจำนวน 10 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P., 2008, “Specific Activity and Antropogenic Radionuclides in Beach Sand Samples of Patong Beach in Phuket Province (Thailand) Using Hyper-pure Germanium (HPGe) Gamma Ray Spectroscopy, *The Siam Physics Congress 2008 : Physics for Life*, 20-22 March 2008, Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand.
2. Jakkrich, M., Chyjan, R., Funklin, R. and Kessaratikoon, P., 2008, Measurement of Specific Activity in Ceramic Plates Using High-purity Germanium Detector and Gamma-Ray Spectroscopy Analysis System, *The Siam Physics Congress 2008 : Physics for Life*, 20-22 March 2008, Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand.
3. Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Katathikarnkul, S., 2008, Distribution of Primordial Radionuclides, Gamma Dose Rate and Annual Effective Dose Equivalent in Beach Sands of Songkhla, Thailand, *The Siam Physics Congress 2008 : Physics for Life*, 20-22 March 2008, Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand.
4. Kessaratikoon, P., Pocharuang, W. and Thongsri, R., 2008, Measurement of Specific Activity of the Natural Radionuclides Ra-226, Th-232 and K-40 in Construction Sand from Quarries in Rattaphum District Songkhla Province and in Pak Phayun District Phthalung Province, *The 1st Academic Conference of Rajamangala University of Technology*, 27-29 August 2008, Thammarin Tana Hotel, Trang, Thailand. (in Thai)
5. Ayusuk, W. and Kessaratikoon, P., 2008, Quantitative Measurement of Natural

- Radioactivity in Beach Sand Samples from the Pakmeng Beach in Trang Province, *The 1st Academic Conference of Rajamangala University of Technology*, 27-29 August 2008, Thammarin Tana Hotel, Trang, Thailand. (in Thai)
6. Buesa, N., Awae, A. and Kessaratikoon, P., 2008, Measurement of Specific Activity of Natural Radioactivities in Soil Samples from Thaksin University Songkhla and Phatthalung Province, *The 18th Thaksin University Annual Conference: The Research and National Crisis Solutions*, 25-26 September 2008, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 7. Ratanasumniang, C., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2008, Research Proposal : Measurement of Specific Activity of Natural and Antropogenic Radionuclides in Soil Samples in Songkhla Province (Thailand), *The 18th Thaksin University Annual Conference: The Research and National Crisis Solutions*, 25-26 September 2008, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 8. Kessaratikoon, P. and Awaekuchi, S., 2008, : Natural Radioactivity Measurement in Soil Samples Collected from Municipal Area of Hat Yai District in Songkhla Province, Thailand, *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand, 31 October – 2 November 2008*, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
 9. Pukkem, P., Kajornrith, V. and Kessaratikoon, P., 2008, Neutron Flux Measurement in Accessory Irradiation Facility of Thai Research Reactor-1/Modification 1, *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand*, 31 October – 2 November 2008, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
 10. Waharag, Y. and Kessaratikoon, P., Study on Mechanics Problems Using MATLAB Computer Program, *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand*, 31 October – 2 November 2008, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.

ปี พ.ศ. 2552 มีจำนวน 9 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Ayusuk, W. and Youngchaury, U., 2009, Natural Radioactivity in Beach Sands of the Pakmeng Beach in Trang Province, Thailand, *The Siam Physics Congress 2009 : Physics for Dynamic Society*, 19-21 March 2009, Methavalai Hotel, Cha-amBeach, Petchaburi, Thailand.
2. Hengpiya, T., Kessaratikoon, P. Udomsomporn, S. and Saigern, T. , 2009, Measurement of Gross Alpha and Beta Radioactivity of Tab Water in Songkhla Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2009 : Physics for Dynamic Society*, 19-21 March 2009, Methavalai Hotel, Cha-amBeach, Petchaburi, Thailand.
3. Kessaratikoon P., Ngampein, J., Uthaiwankaew, H. and Youngchaury, U., 2009, Assessment of Radioactivity in Soil from Trang Province. *The 11th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Technology for Thai Society*, 2-3 July, 2009, The Siam Commercial Bank Main Office, Chatuchak, Bangkok, Thailand. (in Thai)
4. Kessaratikoon P., Thaneerat S. and Youngchaury, U., 2009, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in Beach Sand Samples from Chaweng Beach Ko Samui District Surat Thani Province. *The 11th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Technology for Thai Society*, 2-3 July, 2009, The Siam Commercial Bank Main Office, Chatuchak, Bangkok, Thailand. (in Thai)
5. Benjakul, S., Ngampein, J., Uthaiwankaew, H. and Kessaratikoon, P., 2009, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Radium-226 (^{226}Ra) Thrium-232 (^{232}Th) and Potassium-40 (^{40}K) in Soil Samples from Trang Province, Thailand. *The 19th Thaksin University Annual Conference: Research and Development for Thai Society*, 24-25 September 2009, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
6. Maimoon J. and Kessaratikoon, P., 2009, Quantitative Measurement of Specific Activity ^{40}K in Rice Sample from Rice Research Center in the South of

Thailand Using Gamma Spectrometry Technique. *The 19th Thaksin University Annual Conference: Research and Development for Thai Society*, 24-25 September 2009, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)

7. Hengpiya, T. and Kessaratikoon, P., 2009, Measurement of Gross Alpha and Beta Radioactivity of Tap Water in Songkhla Province Using Gas Flow Proportional Counter. *The 19th Thaksin University Annual Conference: Research and Development for Thai Society*, 24-25 September 2009, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
8. Kessaratikoon, P., Thaneerat, S. and Youngchay, U., 2009, Measurement of Natural Radioactivity in Beach sand Samples from Chaweng Beach Amphur Ko Samui Surat Thani Province, *The 35th Congress on Science and Technology of Thailand*, 15-17 October, 2009, the Tide Resort (Bangsean Beach), Chonburi, Thailand.
9. Kessaratikoon, P., Ngampein, J., Uthaiwankaew, H. and Youngchay, U., 2009, Specific Activities of Natural Radioactivity in Soil Samples Collected from Trang Province, Thailand. *The 35th Congress on Science and Technology of Thailand*, 15-17 October, 2009, the Tide Resort (Bangsean Beach), Chonburi, Thailand.

ปี พ.ศ. 2553 มีจำนวน 14 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P. and Youngchay, U., 2010, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Beach Sand Samples from Patong Beach in Phuket Province, Thailand, *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
2. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang District in Phuket Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel,

Kanchanaburi, Thailand.

3. Thongna, T., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from 6 Districts in Nakhon Si Thammarat Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
4. Ratanasumniang, C., Phakdee, N., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples Collected from 4 Districts in the North of Songkhla Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
5. Soedsaen, T., Boonkrongcheep, R., Thongna, T., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Natural Radioactivity in Beach Sands of the Naiyang Beach in Phuket Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010: Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
6. Klaywittaphat, P., Onjun, T., Kessaratikoon, P., Picha, R., and Poolyarat, N., 2010, Simulations of Pellet Injection in ITER using NGS Model. *The Siam Physics Congress 2010: Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
7. Klaywittaphat, P., Onjun, T., Kessaratikoon, P., Picha, R., and Poolyarat, N., 2010, The Simulations of ITER during Pellet Injection. *The 37th European Physical Society (EPS) Conference on Plasma Physics*, 21-25 June, 2010, Dublin, Ireland.
8. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Quatitative Measurement of Specific Activities of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soil Samples in Phuket Province. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.

(in Thai)

9. Ratanasumeniang, C., Udomsomporn, S., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Soil from Songkhla Province (Thailand). *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
10. Daoh, M., Udomsomporn, S., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Soil from 6 Districts in Phthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
11. Dearamae, R., Kessaratikoon, P., and Khongratana, P., 2010, Thermal Analysis of Ranong Kaolin, Narathiwat Kaolin and Nakhon Si Thammarat Ballclay with Differential Thermal Analysis (DTA) and Thermogravimetry Analysis (TGA) Techniques. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
12. Thongna, T., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Natural Radioactivity Assessment in Nakhon Si Thammarat Province. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
13. Kessaratikoon, P., and Youngchaoy, U., 2010, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Patong Beach Sand Samples after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. *The 36th Congress on Science and Technology*

of Thailand, 26-28 October, 2010, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand.

14. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Soil Samples in Phuket Province, Thailand. *The 36th Congress on Science and Technology of Thailand*, 26-28 October, 2010, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand.

ปี พ.ศ. 2554 มีจำนวน 12 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P. and Youngchaay, U., 2011, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Kata and Karon Beach Sand Samples after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
2. Daoh, M., Udomsomporn, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Measurement of Specific Activity of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from Phthalung Province (Thailand) Using Gamma Ray Spectrometry. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
3. Mina, M., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Measurement of Natural and Anthropogenic Radioactivities in Soil Samples from Muang, Khuan Don, Khuan Kalong and Manang Districts in Satun Province, Thailand. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
4. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Specific Activities and Radioactive Contour Maps Of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Beach Sand Samples From Muang District in Phuket Province (Thailand). *The 6th*

- Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
5. Dearamae, R., Kessaratikoon, P., and Khongratana, P., 2011, A Study on Chemical compositions of Ranong Kaolin, Narathiwat Kaolin and Nakhon Si Thammarat Ball Clay for a White Pigment Production under ASTM Standard Using X-ray Fluorescence Spectrometry techniques. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
 6. Kessaratikoon, P., Tunsuwan, K., and Chumruksa., C., 2011 Potential Development in CAI Electronic Media Construction of Science Teachers from Three Southernmost Provinces of Thailand. *The 21st Thaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 7. Kessaratikoon, P. and Youngchay, U., 2011, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Beach Sand Samples of Phuket Province after Tsunami Disaster Using Gamma Ray Spectrometry. *The 21st Thaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 8. Mina, M., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Assessment of Natural and Anthropogenic Radioactivities in Soil Samples from Satun Province, Thailand. *The 21st Thaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla,

Thailand. (in Thai)

9. Dearamae, R., Kessaratikoon, P., and Khongratana, P., 2011, Mineralogical Analyses of Ranong Kaolin, Narathiwat Kaolin and Nakhon Si Thammarat Ball Clay Before and After Calcinations Using X-ray diffraction (XRD) Technique. *The 21st Thaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
10. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., and Youngchaui, U., 2011, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Beach Sand Samples Collected from Nai Yang Beach of Phuket Province After Tsunami Disaster. *The 12th Conference on Nuclear Science and Technology (NST12): Half Century and Upcoming Decade of Nuclear Technology in Thailand*, 6-7 July, 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai)
11. Mina, M., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Radioactivity Assessment of Natural and Artificial Radionuclides in Soil Samples from Tha Phae, La-ngu and Thung Wa Districts in Satun Province, Thailand. *The 12th Conference on Nuclear Science and Technology (NST12): Half Century and Upcoming Decade of Nuclear Technology in Thailand*, 6-7 July, 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai)
12. Daoh, M., Kessaratikoon, P., and Udomsomporn, S., 2011, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Soil Samples from in Phatthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry. *The 12th Conference on Nuclear Science and Technology (NST12): Half Century and Upcoming Decade of Nuclear Technology in Thailand*, 6-7 July, 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai)

ปี พ.ศ. 2555 มีจำนวน 11 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U., 2012, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural and Anthropogenic Radionuclides in 5 Beach Sand Samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. *The 10th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences (NAMLS10)*. 15–20 January, 2012, Swissotel Park Nai Lert, Bangkok, Thailand.
2. Thawonsuwan, A., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2012, Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province, Thailand, after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan. *The 7th Annual Conference of the Thai Physics Society “Past, Present and Future of Physics” (SPC 2012)*, 9-12 May, 2012, The Krungsri River Hotel, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand.
3. Thawonsuwan, A., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2012, Monitoring and Quantitative Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province, Thailand since March to December, 2011 after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan. *The 22nd Thaksin University Annual Conference: Thai - ASEAN: Path of Collaboration*, 23-26 May, 2012, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
4. Kessaratikoon, P. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U. 2012, Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples Collected from Surat Thani Province in the South of Thailand. *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
5. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., Kessaratikoon, P., Daoh' M., Meena³, M. and

- Ratanasumeniang, C. 2012, Measurement of Specific Activities of Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) Radionuclides (^{137}Cs) in soil Samples from 4 Provinces (Phuket, Songkhla, Satun and Phatthalung) in the South of Thailand, *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
6. Jhelee, M., Chuaymanee, S. and Kessaratikoon, P. 2012, Quantitative Measurement of Natural Radionuclides in Soil Samples from Yala Province, Thailand, *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
7. Phakdee, N., Peekhuntoed, D. and Kessaratikoon, P. 2012, Quantitative Measurement of Activities of Radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in Human Urine of Thai People Collected from Surat Thani and Nakhon Si Thammarat Provinces in the South of Thailand, *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
8. Jhelee, M., Chuaymanee, S. and Kessaratikoon, P. 2012, Quantitative Measurement of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Soil Samples from Yala Province, Thailand, *The 8th SRU National Research Conference: Integrated Research for Community and Local Development*, 15-16 November, 2012, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand. (in Thai)
9. Chuaymanee, S., Jhelee, M., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R. and Benjakul, S. 2012, Assessment of Natural Radioactivity in Surface Soil from Muang Chumphon, Sawi and Thung Tako districts in Chumphon Province, Thailand, *The 8th SRU National Research Conference: Integrated Research for Community and Local Development*, 15-16 November, 2012, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand. (in Thai)
10. Jhelee, M., Chuaymanee, S. and Kessaratikoon, P. 2012, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from Yala

Province, Thailand, *The 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference of*, 6 – 7 December 2012, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pratom, Thailand. (in Thai)

11. Chuaymanee, S., Jhelee, M., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R. and Benjakul, S. 2012, Assessment of Natural Radioactivity in Surface Soil in Chumporn Province, Thailand, *The 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference of*, 6 – 7 December 2012, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pratom, Thailand. (in Thai)

ปี พ.ศ. 2556 มีจำนวน 15 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchay, U. 2013, Measurement and Analysis of Specific Activity of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Sample from Surat Thani Province, Thailand, *The 51st Annual Conference of Kasetsart University*, 5 – 7 February 2013, Bangkok, Thailand.
2. Chauymanee, S., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchay, U. 2013. Specific Activity and Radioactive Contour Map of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Samples from Chumporn Province, Thailand, *International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2013)*, 20-22 February 2013, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand.
3. Phakdee, N., Kessaratikoon, P. and Peekhantod, D. 2013. Quantitative Measurement of Gamma Activities of Radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in Human Urine Samples Collected from Residents in Southern Region of Thailand, *International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2013)*, 20-22 February 2013, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand.
4. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchay, U. 2013. Assessment and Radioactive Contour Maps of Specific Activities of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Surface

- Soil Samples from Surat Thani Province, Thailand, *The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)*, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
5. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P. 2013. Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Radiological Hazard Indices in Surface Soil Samples from Phuket Province, Thailand, *The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)*, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 6. Thawonsuwan, A., Jeasai, S., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement of Specific activity of ^{226}Ra in bottled mineral and drinking water products in Songkhla province, Thailand, *The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)*, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 7. Daoh, M., Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples from Rajabhat Songkhla University (Thailand), *The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)*, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 8. Kessaratikoon, P., Rhian-nui, J. and Boonkrongcheep' R. 2013. Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides and Radiological Hazard Indices in Beach Sand Samples from Ao Nang Beach Krabi Province, Thailand, *The 23rd Thaksin University Annual Conference “Green Society: Food and Energy Security”*, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai

- Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
9. Phakdee, N., Kessaratikoon, P. and Peekhantod, D. 2013. Measurement of Beta and Alpha Activities in Human Urine Samples of Thai Residents in Southern Region of Thailand, *The 23rd Thaksin University Annual Conference "Green Society : Food and Energy Security"*, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
10. Chuaymanee, S., Kessaratikoon, P. and Boonkroongcheep, R. 2013. Specific Activity and Radioactive Contour Map of Natural Radionuclides in Soil Samples from Chumphon Province, Thailand, *The 23rd Thaksin University Annual Conference "Green Society : Food and Energy Security"*, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
11. Daoh, M., Nijibulad, M., Bahem, M., Boonkroongcheep, R. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Surface Soil Samples from Songkhla Rajabhat University using Gamma Spectrometry Technique, *The 23rd Thaksin University Annual Conference "Green Society: Food and Energy Security"*, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
12. P. Kessaratikoon, N. Choosiri, P. Kongratana, R. Boonkroongcheep and U. Youngchauly. 2013, Frequency Distribution and Radiological Hazard Assessment of Specific Activities of Natural Anthropogenic Radionuclides in Beach Sand from Patong and Naiyang Beaches in Phuket Province, Thailand, *The 39th Congress on Science and Technology of Thailand "Innovative Sciences for a Better life"*, 21-23 October, 2013, Bangkok

International Trade and Exhibition Center (BITEC), Bangkok, Thailand.

13. R. Boonkrongcheep, S. Benjakul, P. Kessaratikoon, B. Waeuma, J. Suwalak and K. Mama. 2013, Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples from Krabi Province in the South of Thailand and Associated Radiological Hazard Evaluations, **The 39th Congress on Science and Technology of Thailand “Innovative Sciences for a Better life”**, 21-23 October, 2013, Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC), Bangkok, Thailand.

14. T. Hengpiya, S. Poshyachinda, B. Soonthornthum and P. Kessaratikoon. 2013, Period Variation of W UMa Type Eclipsing Binary V701 Sco, **The 39th Congress on Science and Technology of Thailand “Innovative Sciences for a Better life”**, 21-23 October, 2013, Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC), Bangkok, Thailand.

15. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and S. Udomsomporn. 2013, Specific Activity and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Surface Soil Samples from Phang Nga Province, Thailand, **5th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference 2013 (ISEEC 2013)**, 18-20 December 2013, Pavillion Rim Kwai Resort, Kanchanaburi, Thailand.

ปี พ.ศ. 2557 มีจำนวน เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and S. Udomsomporn, 2014, Measurement of Specific Activity of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th), Radiological Hazard Assessment and Radioactive Contour Maps in Surface Soil Samples Collected from Trang Province, Thailand, **The 9th Annual Conference of the Thai Physics Society “High-Speed Physics” (SPC 2014)**, 26-29 March 2014, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand.

2. A. Prabtan, R. Boonkrongcheep and P. Kessaratikoon, 2014, Measurement of Specific Activity of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Surface Water Samples Collected from Thale Noi in

- Phatthalung Province, Thailand, **The 9th Annual Conference of the Thai Physics Society “High-Speed Physics” (SPC 2014)**, 26-29 March 2014, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand.
3. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and S. Udomsomporn, 2014, Specific Activity of Natural and Anthropogenic Radionuclides and Radiological Hazard Assessment in Surface Soil Samples Collected along the Andaman Sea Coast in Southern Thailand, **International Nuclear Science and Technology Conference 2014 (INST2014)**, 28–30 August 2014, Centara Grand at Central Plaza, Ladprao, Bangkok, Thailand.

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2548. การวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีของสิ่งแวดล้อม : จากข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเฉพาะบริเวณจังหวัดสงขลา. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 94 หน้า.
2. ประสงค์ เกษราธิคุณ สุชิน อุดมสมพร และ ศุภกร กตาทิการกุล. 2549. ค่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างทรายจากบริเวณชายหาดชลาทัศน์และชายหาดสมิหลาในจังหวัดสงขลา. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 100 หน้า.
3. ประสงค์ เกษราธิคุณ และ อุดร ยังช่วย. 2553. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในทรายชายหาดหลังจากการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ต โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 128 หน้า.
4. ประสงค์ เกษราธิคุณ เกษม ต้นสุวรรณ และ ชัชวาล ชุมรักษา. 2554. การพัฒนาศักยภาพด้านเทคโนโลยีการผลิตสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับครูวิทยาศาสตร์ในระดับช่วงชั้นที่ 3 ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 117 หน้า.
5. ประสงค์ เกษราธิคุณ และ อุดร ยังช่วย. 2555. การประเมินค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาในดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดชุมพรและสุราษฎร์ธานีก่อนการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในภาคใต้ของประเทศไทย. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 356 หน้า.

