กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ 2556 ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยทักษิณที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยแก่นักวิจัยที่เริ่มมีประสบการณ์การทำวิจัย ให้ได้ฝึกประสบการณ์ในการทำวิจัยให้มากขึ้นไปอีก ขอขอบคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ได้ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องสถานที่ สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณทางภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐานดินเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีที่ต้องการในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน

ขอขอบคุณ นายศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และนางสาวซัยนะ เจะสะอิ ผู้ช่วยวิจัยทางด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ นางสาวนภาทิพย์ ภักดี นางสาวมารีนา มีนา นางสาวสุทธินี ช่วยมณี และนางสาวไมมูน เจ๊ะลี นิสิตปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ (วท.ม. ฟิสิกส์) รวมทั้งนิสิตปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ (กศ.บ. วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์) และพนักงานวิทยาศาสตร์ทุกท่าน สังกัดสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด การเตรียมและการอบตัวอย่างดินและทรายชายหาดก่อนทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์และคณะผู้บริหารของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

พฤศจิกายน 2558

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาและตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดจำนวนรวมทั้งสิ้น 693 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณ 6 จังหวัดทางฝั่งทะเลอันดามัน (จังหวัดกระบี่ ภูเก็ต พังงา ระนอง ตรัง และสตูล) ที่เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจทางภาคใต้ของประเทศไทย สำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดทั้งหมดทำได้โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี และใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานดินชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCl และ IAEA/SL-2 ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ที่ต้องการ ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา จากผลการวิจัย พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดบริเวณ 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกระบี่ ภูเก็ต พังงา ระนอง ตรัง และสตูล โดยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 120.53 – 6586.01, 202.29 – 18802.36, 251.49 – 15739.57, 16.03 – 1480.56, 13.05 – 11296.13 และ 292.84 – 17260.59 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 802.54 ± 115.24, 4896.21 ± 288.73, 2471.23 ± 212.45, 254.43 ± 8.05, 2226.40 ± 157.65 และ 4146.73 ± 251.13 Bq/kg ตามลำดับ สำหรับค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra มีค่าระหว่าง 3.05 – 930.59, 24.12 – 830.82, 12.81 – 3390.65, 10.80 – 280.03, 8.21 – 485.30 และ 5.62–812.02 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 65.75 ± 4.95, 240.11 ± 10.79, 228.22 ± 8.41, 49.35 ± 1.22, 93.94 ± 5.59 และ 102.54 ± 7.05 Bq/kg ตามลำดับ ส่วนค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th มีค่าระหว่าง 4.83 – 194.07, 20.23–1014.21, 9.12 – 2466.64, 5.81 – 234.13, 8.70 – 448.68 และ 1.49 – 409.53 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 40.69 ± 3.96, 210.68 ± 9.89, 196.70 ± 7.75, 24.94 ± 0.78, 108.31 ± 3.61 และ 124.46 ± 4.52 Bq/kg ตามลำดับ และค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs มีค่าระหว่าง 0.85 – 9.86, 1.86 – 10.04, 1.32 – 32.91, ND, .039 – 5.26 และ 1.81 – 14.51 Bq/kg มีค่าเฉลี่ยเป็น 2.64 ± 1.42, 5.27 ± 2.62, 8.07 ± 2.83, ND, 1.72 ± 0.83 และ 4.95 ± 2.15 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ได้นำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{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}) ของบริเวณทั้ง 6 จังหวัด และยังได้นำค่าที่คำนวณได้นี้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลของนักวิจัยทางภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก และข้อมูลที่เป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) นอกจากนี้ ยังสามารถนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้นี้ไปสร้างและแสดงเป็นแผนภาพทางรังสี (Radioactive Contour Map: RCM) และสร้างกราฟแสดงการแจกแจงความถี่ (frequency distribution) ของบริเวณที่ศึกษานี้ได้อีกด้วย

ABSTRACT

Specific activities of natural (^{40}K, ^{226}Ra and ^{232}Th) and anthropogenic (^{137}Cs) radionuclides in 693 surface soil and beach sand samples collected from 6 provinces in Andaman sea coast (Krabi, Phuket, Phang-nga, Ranong, Trang and Satun provinces) which are the tourism and economic centers in the southern part of Thailand, 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 ^{40}K in 6 province were Krabi, Phuket, Phang-nga, Ranong, Trang and Satun provinces ranged from 120.53 – 6586.01, 202.29 – 18802.36, 251.49 – 15739.57, 16.03 – 1480.56, 13.05 – 11296.13 and 292.84 – 17260.59 Bq/kg with mean values of 802.54 ± 115.24, 4896.21 ± 288.73, 2471.23 ± 212.45, 254.43 ± 8.05, 2226.40 ± 157.65 and 4146.73 ± 251.13 Bq/kg, respectively. The specific activities of ^{226}Ra ranged from 3.05 – 930.59, 24.12 – 830.82, 12.81 – 3390.65, 10.80 – 280.03, 8.21 – 485.30 and 5.62–812.02 Bq/kg with mean values of 65.75 ± 4.95, 240.11 ± 10.79, 228.22 ± 8.41, 49.35 ± 1.22, 93.94 ± 5.59 and 102.54 ± 7.05 Bq/kg, respectively. The specific activities of ^{232}Th ranged from 4.83 – 194.07, 20.23 – 1014.21, 9.12 – 2466.64, 5.81 – 234.13, 8.70 – 448.68 and 1.49 – 409.53 Bq/kg with mean values of 40.69 ± 3.96, 210.68 ± 9.89, 196.70 ± 7.75, 24.94 ± 0.78, 108.31 ± 3.61 และ 124.46 ± 4.52 Bq/kg, respectively, and the specific activities of ^{137}Cs ranged from 0.85 – 9.86, 1.86 – 10.04, 1.32 – 32.91, ND, .039 – 5.26 and 1.81 – 14.51 Bq/kg with mean values of 2.64 ± 1.42, 5.27 ± 2.62, 8.07 ± 2.83, ND, 1.72 ± 0.83 and 4.95 ± 2.15 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 (Ra_{eq}), the external hazard index (H_{ex}) and the annual effective dose rate (AED_{out}) 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, global radioactivity measurements and the evaluations and the recommended values which were proposed by United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000). Moreover, the radioactive contour map (RCM) and frequency distribution for the studied areas were also constructed and presented.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	6
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	8
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรังสี	8
2.2 กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ	9
2.3 ประเภทของรังสี	16
2.4 หน่วยวัดปริมาณรังสี	19
2.5 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ได้รับจากธรรมชาติ	24
2.6 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี	25
2.7 กัมมันตภาพ (activity ; *A*)	27
2.8 ค่าครึ่งชีวิต (half-life ; $t_{1/2}$)	27
2.9 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร	28
2.10 ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต	32
2.11 การตรวจวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างจากธรรมชาติ	35
2.12 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา	37
2.13 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา	38
2.14 ค่าขีดจำกัดในการวัด (lower limit of detection ; LLD)	40
2.15 สมการสำหรับการคำนวณค่าดัชนีแสดงความเป็นอันตรายทางรังสี (radiation hazard index)	41

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.16 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	42
	2.17 ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดกระบี่	45
	2.18 ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดภูเก็ต	51
	2.19 ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดพังงา	58
	2.20 ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดระนอง	65
	2.21 ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดตรัง	72
	2.22 ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดสตูล	77
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย	82
	3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	84
	3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	88
บทที่ 4	ผลการทดลอง	95
	4.1 การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	96
	4.2 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl	98
	4.3 ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/SL-2	100
	4.4 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) เกี่ยวกับชนิดของไอโซโทป และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด	102
	4.5 การคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ในบริเวณต่างๆ ของ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามัน โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด	111

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ในบริเวณต่างๆ ของ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามัน กับข้อมูลของนักวิจัยทางภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก และข้อมูลที่เป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) 115

4.7 การสร้างแผนภาพทางรังสี (radioactive contour maps) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ในบริเวณ 6 จังหวัดทางฝั่งทะเลอันดามัน ทางภาคใต้ของประเทศไทย สำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับปริมาณของสารกัมมันตรังสีในภาคใต้ของประเทศไทย 118

4.8 การสร้างกราฟแสดงการแจกแจงความถี่ (frequency distribution) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K, ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณ 6 จังหวัดทางฝั่งทะเลอันดามัน ทางภาคใต้ของประเทศไทย 142

บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 148

5.1 สรุปผลการวิจัย 148

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 170

5.3 ข้อเสนอแนะ 171

เอกสารอ้างอิง 173

ภาคผนวก 177

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ค่าครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาในอนุกรมทอเรียม 11

ตารางที่ 2.2 ชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ค่าครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาในอนุกรมยูเรเนียม 11

ตารางที่ 2.3 ชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ค่าครึ่งชีวิต และรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาในอนุกรมแอกทิเนียม 12

ตารางที่ 2.4 นิวไคลด์เริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิต และนิวไคลด์สุดท้ายของอนุกรมกัมมันตรังสีทั้ง 4 อนุกรมที่มีอยู่ในธรรมชาติ 13

ตารางที่ 2.5 นิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดในธรรมชาติที่ไม่ปรากฏอยู่ในอนุกรมกัมมันตรังสีทั้ง 4 อนุกรม 14

ตารางที่ 2.6 นิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดที่เกิดจากรังสีคอสมิกทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์เป้า (target nuclide) ซึ่งเป็นธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศของโลก 15

ตารางที่ 2.7 ค่า *RBE* สำหรับรังสีชนิดต่างๆ 23

ตารางที่ 2.8 ค่า *QF* สำหรับรังสีชนิดต่างๆ 23

ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงการสรุปหน่วยต่างๆ ที่ใช้วัดปริมาณรังสี 23

ตารางที่ 2.10 ค่าปรับเทียบตามชนิดเนื้อเยื่อ (tissue weighting factor) ของอวัยวะต่างๆ 34

ตารางที่ 2.11 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น 35

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมาในหน่วย keV กับหมายเลขช่อง 97

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl 99

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCl 99

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2 100

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2 101

ตารางที่ 4.6 ชนิดของไอโซโทปที่พบในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยและชายหาดต่างๆ ของ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามันทางภาคใต้ของประเทศไทย 102

ตารางที่ 4.7 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินผิวหน้า จำนวน 114 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของประชาชนและนักท่องเที่ยว ในบริเวณ 8 อำเภอ ของจังหวัดกระบี่ 104

ตารางที่ 4.8 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดิน จำนวน 103 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของประชาชนและนักท่องเที่ยว ในบริเวณ 3 อำเภอ ของจังหวัดภูเก็ต 105

ตารางที่ 4.9 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จำนวน 126 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและบริเวณชายหาดต่างๆ ที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวมาเที่ยวชมชายหาด ในบริเวณ 8 อำเภอ (ยกเว้นอำเภอเกาะยาว) ของจังหวัดพังงา 106

ตารางที่ 4.10 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จำนวน 117 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและบริเวณชายหาดต่างๆ ที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวมาเที่ยวชมชายหาด ในบริเวณ 5 อำเภอ ของจังหวัดระนอง 107

ตารางที่ 4.11 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดิน จำนวน 98 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของประชาชนและนักท่องเที่ยว ในบริเวณ 10 อำเภอ ของจังหวัดตรัง 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.12 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดิน จำนวน 135 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของประชาชนและนักท่องเที่ยว ในบริเวณ 7 อำเภอ ของจังหวัดสตูล 109

ตารางที่ 4.13 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและบริเวณชายหาดต่างๆ ที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวมาเที่ยวชมชายหาด ในบริเวณ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามันทางภาคใต้ของประเทศไทย 110

ตารางที่ 4.14 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้า ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ใน 8 อำเภอ ของจังหวัดกระบี่ 111

ตารางที่ 4.15 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้า ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ใน 3 อำเภอ ของจังหวัดภูเก็ต 112

ตารางที่ 4.16 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ใน 8 อำเภอ (ยกเว้นอำเภอเกาะยาว) ของจังหวัดพังงา 112

ตารางที่ 4.17 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ใน 5 อำเภอ ของจังหวัดระนอง 113

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.18 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้า ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ใน 10 อำเภอ ของจังหวัดตรัง 113

ตารางที่ 4.19 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้า ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ใน 7 อำเภอ ของจังหวัดสตูล 114

ตารางที่ 4.20 ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามันทางภาคใต้ของประเทศไทย 114

ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณต่างๆ ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและบริเวณชายหาดต่างๆ ที่ประชาชนและนักท่องเที่ยวมาเที่ยวชมชายหาด ในบริเวณ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามัน ทางภาคใต้ของประเทศไทย พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ดัชนีความเสี่ยง กับข้อมูลที่มีอยู่ของจังหวัดต่างๆ ในเขตภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทย และข้อมูลของนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก 116

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสีของเบคเคอเรล 8

ภาพที่ 2.2 แถบพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 16

ภาพที่ 2.3 รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน และรังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน 17

ภาพที่ 2.4 อำนาจทะลุทะลวงของอนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา และรังสีแกมมา 18

ภาพที่ 2.5 สัดส่วนของปริมาณรังสีในธรรมชาติที่มนุษย์ได้รับต่อปี 24

ภาพที่ 2.6 แหล่งที่มาของปริมาณกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ 25

ภาพที่ 2.7 กราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี 28

ภาพที่ 2.8 แผนภาพการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก 29

ภาพที่ 2.9 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก 30

ภาพที่ 2.10 การเกิดปรากฏการณ์คอมพ์ตัน 31

ภาพที่ 2.11 การเกิดการผลิตสารคู่ 32

ภาพที่ 2.12 แผนภาพของหัววัดซิลทิลเลชันและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา 36

ภาพที่ 2.13 แผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา 37

ภาพที่ 2.14 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา 38

ภาพที่ 2.15 แผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดกระบี่ 50

ภาพที่ 2.16 แผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดภูเก็ต 57

ภาพที่ 2.17 แผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดพังงา 64

ภาพที่ 2.18 แผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดระนอง 71

ภาพที่ 2.19 แผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดตรัง 76

ภาพที่ 2.20 แผนที่ท่องเที่ยวจังหวัดสตูล 81

ภาพที่ 3.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง รุ่น GC 2018 84

ภาพที่ 3.2 เครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) และเครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply) 85

ภาพที่ 3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GENIE 2000 พร้อมติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์ 85

ภาพที่ 3.4 เครื่องบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ 85

ภาพที่ 3.5 ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุตัวอย่าง 86

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างดินที่เก็บจากจังหวัดบริเวณ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามันทางภาคใต้ของประเทศไทย 86

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.7 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ^{60}Co, ^{137}Cs และ ^{133}Ba 86

ภาพที่ 3.8 ลักษณะของสารมาตรฐานที่บรรจุในภาชนะ 87

ภาพที่ 3.9 ตะแกรงสำหรับร่อนตัวอย่างดิน 87

ภาพที่ 3.10 เครื่องชั่งสาร 87

ภาพที่ 3.11 ตู้อบตัวอย่างดิน 88

ภาพที่ 3.12 พื้นที่ที่เก็บตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดในบริเวณ 6 จังหวัด ทางฝั่งทะเลอันดามัน ทางภาคใต้ของประเทศไทย 89

ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์และวิธีการเก็บตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด 89

ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดที่ตากไว้ ณ ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบไล่ความชื้น 90

ภาพที่ 3.15 การร่อนตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด 90

ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างดินผิวหน้าที่บรรจุในภาชนะพลาสติกความสูง 3 เซนติเมตร 91

ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาดพร้อมสำหรับการตรวจวัด 91

ภาพที่ 4.1 กราฟการปรับเทียบพลังงานหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลอง 97

ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา 101

ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างของสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในตัวอย่างดินผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยของประชาชนและนักท่องเที่ยว ในจังหวัดภูเก็ต 102

ภาพที่ 4.4 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดกระบี่ 119

ภาพที่ 4.5 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดกระบี่ 120

ภาพที่ 4.6 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดกระบี่ 121

ภาพที่ 4.7 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดกระบี่ 122

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.8 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดภูเก็ต 123

ภาพที่ 4.9 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดภูเก็ต 124

ภาพที่ 4.10 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดภูเก็ต 125

ภาพที่ 4.11 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดภูเก็ต 126

ภาพที่ 4.12 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดพังงา 127

ภาพที่ 4.13 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดพังงา 128

ภาพที่ 4.14 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดพังงา 129

ภาพที่ 4.15 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดพังงา 130

ภาพที่ 4.16 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดระนอง 131

ภาพที่ 4.17 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดระนอง 132

ภาพที่ 4.18 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดระนอง 133

ภาพที่ 4.19 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดตรัง 134

ภาพที่ 4.20 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดตรัง 135

ภาพที่ 4.21 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดตรัง 136

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.22 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดตรัง 137

ภาพที่ 4.23 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดสตูล 138

ภาพที่ 4.24 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดสตูล 139

ภาพที่ 4.25 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดสตูล 140

ภาพที่ 4.26 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดสตูล 141

ภาพที่ 4.27 กราฟการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ (a) ^{40}K, (b) ^{226}Ra, (c) ^{232}Th และ (d) ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดกระบี่ 142

ภาพที่ 4.28 กราฟการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ (a) ^{40}K, (b) ^{226}Ra, (c) ^{232}Th และ (d) ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดภูเก็ต 143

ภาพที่ 4.29 กราฟการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ (a) ^{40}K, (b) ^{226}Ra, (c) ^{232}Th และ (d) ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดพังงา 144

ภาพที่ 4.30 กราฟการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ (a) ^{40}K, (b) ^{226}Ra และ (c) ^{232}Th ของตัวอย่างดินผิวหน้าและทรายชายหาด จังหวัดระนอง 145

ภาพที่ 4.31 กราฟการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ (a) ^{40}K, (b) ^{226}Ra, (c) ^{232}Th และ (d) ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดตรัง 146

ภาพที่ 4.32 กราฟการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ (a) ^{40}K, (b) ^{226}Ra, (c) ^{232}Th และ (d) ^{137}Cs ของตัวอย่างดินผิวหน้า จังหวัดสตูล 147

ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{40}K กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 160

ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{226}Ra กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 161

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{232}Th กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 162

ภาพที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{137}Cs กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 163

ภาพที่ 5.5 การเปรียบเทียบอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 165

ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 166

ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 167

ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) กับข้อมูลการวิจัยอื่นๆ 168