

## รายงานการวิจัย

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$ ) และที่มนุษย์สร้างขึ้น ( $^{137}\text{Cs}$ ) ในทรายชายหาดหลังจากการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ต โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

*Measurement of Specific Activity of Natural ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{40}\text{K}$ ) and Anthropogenic Radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ) in Beach Sand Samples of Phuket Province After Tsunami Disaster Using Gamma Ray Spectrometry*

ประสงค์ เกษราธิคุณ

อัคร ยังช่วย

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2552

มิถุนายน 2553

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ประจำปีงบประมาณ 2552 ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณทางสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยแก่นักวิจัยที่เริ่มมีประสบการณ์การทำวิจัย ให้ได้ฝึกประสบการณ์ในการทำวิจัยให้มากขึ้นไปอีก ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (องค์การมหาชน) และ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ได้ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องสถานที่ สारกัมมันตรังสีมาตรฐาน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณทางภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐานดินเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีที่ต้องการในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน

ขอขอบคุณ นายศุภวุฒิ เบ็ญจกุล ผู้ช่วยวิจัย นางสาวฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ นางสาวธุมวดี ทองนะ และนายชัยวัฒน์ รัตนสำเนียง นิสิตปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์(วท.ม. ฟิสิกส์) รวมทั้งนิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์(วท.บ. ฟิสิกส์) และพนักงานวิทยาศาสตร์ทุกท่าน สังกัดสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างทราย การเตรียมและการอบตัวอย่างทรายก่อนทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์และคณะผู้บริหารของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และส่งเสริม ในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2553

## บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาและตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีธรรมชาติ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{232}\text{Th}$ ) และนิวไคลด์สารรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น( $^{137}\text{Cs}$ ) ในทรายชายหาด 5 แห่ง (ชายหาดป่าตอง ชายหาดกมลา ชายหาดกะตะ ชายหาดกะรน และ ชายหาดในยาง) ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ต จำนวน 155 ตัวอย่าง สำหรับการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้นและไอโซโทปสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดทำได้โดยใช้ห้วัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ ระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีและแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานดินชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCL และ IAEA/SL-2 ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ที่ต้องการ ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลที่ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์วัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา จากผลการวิจัยพบว่า ค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 671.63–6662.03 Bq/kg สำหรับ  $^{40}\text{K}$ , 3.51–135.06 Bq/kg สำหรับ  $^{226}\text{Ra}$ , 10.15 – 89.34 Bq/kg สำหรับ  $^{232}\text{Th}$  และ 0 – 3.96 Bq/kg สำหรับ  $^{137}\text{Cs}$  และมีค่าเฉลี่ยเป็น  $2459.14 \pm 171.69$  Bq/kg,  $30.79 \pm 3.95$  Bq/kg,  $28.62 \pm 3.30$  Bq/kg และ  $2.19 \pm 0.96$  Bq/kg ตามลำดับ ได้นำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณหาค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (gamma-absorbed dose rate : D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (radium equivalent activity :  $\text{Ra}_{\text{eq}}$ ) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (external hazard index :  $\text{H}_{\text{ex}}$ ) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (annual external effective dose rate) ในบริเวณชายหาดของจังหวัดภูเก็ต และยังได้เปรียบเทียบค่าตรวจวัดและคำนวณได้ในการทำวิจัยครั้งนี้กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยองค์กรเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐศาสตร์และการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development: OECD, 1979) และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) อีกด้วย

## ABSTRACT

Specific activities of natural ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ ) and anthropogenic ( $^{137}\text{Cs}$ ) radionuclides in 155 beach sand samples collected from 5 beaches (Patong beach, Kamala beach, Kata beach, Karon beach and Nai Yang beach) in Phuket province which were effected from 2004 tsunami disaster, 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 beach sand specific activity ranges from 671.63–6662.03 Bq/kg for  $^{40}\text{K}$ , 3.51–135.06 Bq/kg for  $^{226}\text{Ra}$ , 10.15 – 89.34 Bq/kg for  $^{232}\text{Th}$  and 0 – 3.96 Bq/kg for  $^{137}\text{Cs}$  with mean values of  $2459.14 \pm 171.69$  Bq/kg,  $30.79 \pm 3.95$  Bq/kg,  $28.62 \pm 3.30$  Bq/kg and  $2.19 \pm 0.96$  Bq/kg, respectively. Furthermore, the results were also used to evaluate the absorbed dose rates in air (D), the radium equivalent ( $\text{Ra}_{\text{eq}}$ ), the external hazard index ( $\text{H}_{\text{ex}}$ ) and the annual effective dose rate in all beach area. Moreover, experimental results were also compared to the Office of Atoms for Peace (OAP) research data, Thailand and global radioactivity measurements and evaluation. And all of calculated values were also compared with the recommended values which were proposed by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 1979) and United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000)

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
Abstract.....	ง
สารบัญ.....	จ
รายการตาราง.....	ช
รายการภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรังสี.....	6
2.2 กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ.....	7
2.3 ประเภทของรังสี.....	14
2.4 หน่วยวัดปริมาณรังสี.....	17
2.5 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ได้รับจากธรรมชาติ.....	22
2.6 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี.....	23
2.7 กัมมันตภาพ.....	25
2.8 ค่าครึ่งชีวิต.....	25
2.9 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับสสาร.....	27
2.10 ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต.....	30
2.11 การตรวจวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างจากธรรมชาติ.....	33
2.12 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา.....	35
2.13 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา.....	36
2.14 ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (lower limit of detection, LLD).....	38
2.15 สมการสำหรับการคำนวณค่าดัชนีแสดงความเป็นอันตรายทางรังสี.....	38
(radiation hazard index)	
2.16 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง.....	40

บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	42
	3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	43
	3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	46
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	53
	4.1 การเปรียบเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดแบบเจอร์มาเนียม.....	54
	บริสุทธิ์ และระบบการวิเคราะห์แบบเกมมาสเปกโตรเมตรี	
	4.2 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์.....	55
	แบบเกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีเกมมา	
	IAEA/RGU-1 IAEA/RGTh-1 และ KCL	
	4.3 ประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์.....	57
	แบบเกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีเกมมา IAEA/ SL-2	
	4.4 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพ.....	59
	จำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์	
	สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด	
	4.5 การคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสี ในบริเวณชายหาดทั้ง 5 แห่ง.....	85
	ของจังหวัดภูเก็ต โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ	
	ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจาก	
	บริเวณชายหาดป่าตอง ชายหาดกมลา ชายหาดกะตะ ชายหาดกะรน	
	และชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต (ข้อมูลในหัวข้อ 4.4)	
บทที่ 5	สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	87
	5.1 สรุปผลการทดลอง.....	87
	5.2 อภิปรายผลการทดลอง.....	90
	5.3 ข้อเสนอแนะ.....	91
	เอกสารอ้างอิง.....	93
	ภาคผนวก.....	97

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ค่าครึ่งชีวิต ..... และรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาในอนุกรมทอเรียม	9
ตารางที่ 2.2 ชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ค่าครึ่งชีวิต..... และรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาในอนุกรมยูเรเนียม	9
ตารางที่ 2.3 ชนิดของนิวไคลด์ ชื่อเดิมของนิวไคลด์ ค่าครึ่งชีวิต ..... และรังสีส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาในอนุกรมเอกทิเนียม	10
ตารางที่ 2.4 นิวไคลด์เริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิต และนิวไคลด์สุดท้าย..... ของอนุกรมกัมมันตรังสีทั้ง 4 อนุกรมที่มีอยู่ในธรรมชาติ	11
ตารางที่ 2.5 นิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดในธรรมชาติที่ไม่ปรากฏอยู่..... ในอนุกรมกัมมันตรังสีทั้ง 4 อนุกรม	12
ตารางที่ 2.6 นิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดที่เกิดจากรังสีคอสมิก..... ทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์เป้า (target nuclide) ซึ่งเป็นธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศของโลก	13
ตารางที่ 2.7 ค่า <i>RBE</i> สำหรับรังสีชนิดต่างๆ.....	21
ตารางที่ 2.8 ค่า <i>QF</i> สำหรับรังสีชนิดต่างๆ.....	21
ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงการสรุปรูปหน่วยต่างๆที่ใช้วัดปริมาณรังสี.....	21
ตารางที่ 2.10 ค่าปรับเทียบตามชนิดเนื้อเยื่อ (tissue weighting factor) ของอวัยวะต่าง ๆ.....	32
ตารางที่ 2.11 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น.....	33
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขช่องและพลังงาน..... ของรังสีแกมมาในหน่วย (keV)	54
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด ..... IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL	56
ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มานีอัมบริสุทธิและ..... ระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิด รังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL	57
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2.....	57
ตารางที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มานีอัมบริสุทธิและระบบ..... การวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี แกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2	58





	<p>ที่เก็บจากชายหาดในยาง บริเวณอำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต                  จำนวน 50 ตัวอย่าง ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD)</p>	
ตารางที่ 4.26	<p>ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ.....                  นิวไคลด์ <math>^{40}K</math> <math>^{226}Ra</math> <math>^{232}Th</math> และ <math>^{137}Cs</math> ในตัวอย่างทรายชายหาด                  จำนวน 155 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาด 5 แห่ง ได้แก่ ชายหาด                  ป่าตอง ชายหาดกมลา ชายหาดกะตะ ชายหาดกะรน และชายหาดในยาง                  จังหวัดภูเก็ต</p>	83
ตารางที่ 4.27	<p>การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่าง.....                  ทรายชายหาดทั้ง 5 แห่ง ได้แก่ ชายหาดป่าตอง ชายหาดกมลา                  ชายหาดกะตะ ชายหาดกะรน และชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต                  กับข้อมูลที่มีอยู่ของชายหาดต่างๆ ใน 14 จังหวัดภาคใต้</p>	84
ตารางที่ 4.28	<p>การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่าง.....                  ทรายชายหาดทั้ง 5 แห่ง ได้แก่ ชายหาดป่าตอง ชายหาดกมลา                  ชายหาดกะตะ ชายหาดกะรน และชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต                  กับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทย                  และข้อมูลของนักวิจัยที่มีอยู่ทั่วโลก</p>	85
ตารางที่ 4.29	<p>ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ <math>^{226}Ra</math> <math>^{232}Th</math> และ.....  <math>^{40}K</math> ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 155 ตัวอย่างจากบริเวณชายหาด                  5 แห่ง ได้แก่ ชายหาดป่าตอง ชายหาดกมลา ชายหาดกะตะ ชายหาดกะรน                  และชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต ค่าเฉลี่ยรวมของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ                  ที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลของ UNSCEAR (1988, 1993, 2000)                  ค่าปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน(D) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลของเรเดียม (<math>R_{eq}</math>)                  ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (<math>H_{ex}</math>) และค่าปริมาณรังสี                  ยังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี</p>	86

## รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสีของเบคเคอเรล.....	6
ภาพที่ 2.2 แลปพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	14
ภาพที่ 2.3 รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนและ.....	15
รังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน	
ภาพที่ 2.4 อำนาจทะลุทะลวงของอนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา และรังสีแกมมา.....	16
ภาพที่ 2.5 สัดส่วนของปริมาณรังสีในธรรมชาติที่มนุษย์ได้รับต่อปี.....	22
ภาพที่ 2.6 แหล่งที่มาของปริมาณกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ.....	23
ภาพที่ 2.7 กราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี.....	26
ภาพที่ 2.8 แผนภาพการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก.....	27
ภาพที่ 2.9 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก.....	28
ภาพที่ 2.10 การเกิดปรากฏการณ์คอมพ์ตัน.....	29
ภาพที่ 2.11 การเกิดการผลิตสารคู่.....	30
ภาพที่ 2.12 แผนภาพของหัววัดซิลทิลเลชันและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา.....	34
ภาพที่ 2.13 แผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา.....	35
ภาพที่ 2.14 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา.....	36
ภาพที่ 3.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ รุ่น GC 2018.....	44
ภาพที่ 3.2 เครื่องขยายสัญญาณเชิงเส้น (amplifier) .....	45
และเครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply)	
ภาพที่ 3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์.....	45
ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างทรายที่เก็บและผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้ว.....	45
ภาพที่ 3.5 ลักษณะของสารมาตรฐานที่บรรจุในภาชนะ.....	46
ภาพที่ 3.6 พื้นที่ที่เก็บตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดป่าตอง (1) .....	47
ชายหาดกมลา (2) ชายหาดกะตะ (3) ชายหาดกะรน (4) และชายหาดในยาง (5)	
ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์และวิธีการเก็บตัวอย่างทราย.....	48
ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างทรายชายหาดที่ตากไว้ในที่อุณหภูมิห้อง.....	49
ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างทรายชายหาดที่บรรจุในกระป๋องพลาสติกความสูง 3 เซนติเมตร.....	49
ภาพที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบพลังงานหัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และ.....	55
ระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลอง	
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและ.....	59

ระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตริกกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา