

ES04: การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในทรายชายหาดบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

*ประสงค์ เกษราธิคุณ¹ สุพรรณษา ธาณีรัตน์¹ และ อุดร ชัยช่วย²

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

โทรศัพท์ 074-311885-7 ต่อ 2416, 2431 โทรสาร 074-443950 E-Mail : prasong@tsu.ac.th

²สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 16 ถนนวิภาวดีรังสิต

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 02-5795230-4 ต่อ 5112 โทรสาร 02-5614075 E-Mail : youngchuay@yahoo.com

บทคัดย่อ

ทำการตรวจวัดปริมาณและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้น ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่างที่เก็บจากชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีและใช้สารมาตรฐานดินแบบปริมาตร 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 ยังได้นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการรายงานผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลก

คำสำคัญ: กัมมันตภาพจำเพาะ ทรายชายหาด หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ แกมมาสเปกโตรเมตรี

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

*Prasong Kessaratikoon¹, Suphansa Thaneerat¹ and Udorn Youngchuay²

¹ Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

Tel. 074-311885-7 ext. 2416, 2431 Fax 074-443950 ; E-Mail: prasong@tsu.ac.th

²Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), 16 Vibhavadi Rangsit Rd,
Chatuchak, Bangkok, 10900.

Tel. 02-5795230-4 ext. 5112 Fax 02-5614075 ; E-Mail : youngchuay@yahoo.com

Abstract

Specific activities of primordial radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in 40 beach sand samples from Chaweng beach in amphur Ko Samui of Surat Thani province, were measured and analyzed using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma spectrometry analysis system at Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization). The volume standard soil source (IAEA 375-soil) was used to evaluate specific activities. From the experimental data, it was found that the specific activity ranges from 1.09 – 95.37 Bq/kg for ^{226}Ra , 9.55 – 107.97 Bq/kg for ^{232}Th and 233.54 – 675.99 Bq/kg for ^{40}K with mean values of 18.85 ± 1.45 Bq/kg, 23.53 ± 2.40 Bq/kg and 373.30 ± 13.59 Bq/kg, respectively. Moreover, the specific activities of these radionuclides were also compared with Office of Atoms for Peace (OAP) research data, Thailand and global radioactivity measurements and evaluations.

Keywords: Specific Activity, Beach Sand, High-Purity Germanium Detector (HPGe), Gamma Spectrometry

1. บทนำ

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ(natural radioactivity)เกิดมาจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสิ่งแวดล้อมบนพื้นผิวโลกที่เราอาศัยอยู่ร่วมกัน แหล่งกำเนิดรังสีดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่จะเป็นสารกัมมันตรังสีที่สะสมอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วเป็นระยะเวลายาวนานและเกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดของโลก สารกัมมันตรังสีเหล่านี้สามารถตรวจพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมของมนุษย์โลก เช่น อากาศ น้ำ ดิน ทราย และ หิน เป็นต้น ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่าในสิ่งแวดล้อมหรือธรรมชาติรอบๆ ตัวเรามีการสะสมของสารกัมมันตรังสีเหล่านี้อยู่ด้วย ซึ่งปริมาณของสารกัมมันตรังสีเหล่านี้จะมีค่ามากหรือน้อยมักจะขึ้นอยู่กับบริเวณหรือสถานที่ต่างๆ ที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันออกไป จะเห็นได้ว่า มนุษย์โลกที่อาศัยอยู่บนพื้นผิวโลกที่มีการรับประทาน ดื่ม หายใจเข้า-ออก และการทำกิจกรรมอื่นๆ จะมีการรับเอาสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายหรือได้รับผลกระทบจากรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากสารกัมมันตรังสีเหล่านี้เป็นประจำ อาจจะกล่าวได้ว่า “ไม่มีที่ใดบนโลกแห่งนี้ ที่ไม่พบสารกัมมันตรังสีในธรรมชาติและมนุษย์ก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการได้รับผลกระทบจากการมีสารกัมมันตรังสีเหล่านี้ได้”

สำหรับค่ากัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ได้รับมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญอยู่ 2 แหล่งกำเนิด คือ แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติและแหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น

1.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดของโลก ต้นกำเนิดหรือแหล่งกำเนิดรังสีที่ใหญ่ที่สุดในธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถดำรงอยู่ได้ด้วยปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบการหลอมตัวของธาตุเบาหรือปฏิกิริยาแบบ

ฟิวชัน(fusion reaction)ของธาตุไฮโดรเจนและธาตุฮีเลียม นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในธรรมชาติมีมากกว่า 70 ชนิด นิวไคลด์กัมมันตรังสีในกลุ่มนี้ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

ก. นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclide) ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกำเนิดของโลก โดยส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของหิน ดิน และแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นเปลือกโลก ส่วนใหญ่มักจะเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีมวลมาก มีค่าครึ่งชีวิตยาวนานมาก บางนิวไคลด์มีค่าครึ่งชีวิตยาวนานถึงร้อยล้านปี จากการศึกษา พบว่า นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นนี้มีการสลายตัวแบบต่อเนื่องเป็นแบบอนุกรมอยู่ด้วยกัน 4 อนุกรม คือ อนุกรมทอเรียม อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมแอกทิเนียม และ อนุกรมเนปทูเนียม

ข. นิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radionuclide) เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีคอสมิกซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากนอกโลก (extra-terrestrial origin) เข้าทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวไคลด์ที่เสถียรต่างๆ ที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกแล้วก่อให้เกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้ขึ้น โดยส่วนใหญ่จะมีค่าครึ่งชีวิตยาวแต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นแล้วยังมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นกว่ามาก

1.2 แหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น นอกจากมนุษย์จะได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติแล้วยังได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นเองเพื่อใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการแพทย์ อุตสาหกรรม การเกษตร และการเดินเครื่องของปฏิกรณ์ปรมาณูในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละบุคคลจะได้รับปริมาณรังสีในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับหน้าที่การงานและกิจกรรมต่างๆ ที่ได้รับมอบหมายและรับผิดชอบ

ด้วยเหตุนี้ การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติของบริเวณและสถานที่ต่างๆ ที่มีผู้เข้ามาอาศัยอยู่และใช้บริการค่อนข้างหนาแน่น จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบปริมาณกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติเบื้องต้นแก่ผู้คนทั่วไปที่จะได้รับรังสี นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดและนำไปประเมินค่าความเป็นอันตรายต่อการได้รับรังสีของผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นๆ ได้ต่อไปในอนาคต

เนื่องจากในปัจจุบัน ได้มีนักวิจัยในต่างประเทศได้ให้ความสนใจในการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่มากมายหลายท่านด้วยกัน เช่น ในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล และบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกในรัฐโอริสสา(Orissa) ของประเทศอินเดีย เป็นต้น ผลการตรวจวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติหรือผลการวิจัยที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการเป็นค่าอ้างอิงพื้นฐานของระดับรังสีพื้นในธรรมชาติในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเสี่ยงต่อการสะสมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่รั่วไหลสู่ธรรมชาติ ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นหรือค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิด เช่น ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{238}U ในทรายจาก

ชายหาดที่มีค่าระดับรังสีสูงๆ ตัวอย่างเช่น ในประเทศบราซิล (Freitas and Alencar, 2004 ; Alencar and Freitas, 2005; Veiga et. al., 2006) ส่วนการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิด เช่น ^{40}K , ^{232}Th และ ^{238}U ในทรายจากชายหาดที่มีค่าระดับรังสีสูงๆในประเทศอินเดีย (Mohanty et. al. 2004 ; Sengupta et. al., 2005) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อประมาณค่าระดับรังสีดูดกลืน (absorbed dose rate) และระดับรังสียังผล (effective dose rate) ของบริเวณชายหาดที่ทำการเก็บตัวอย่างต่อไป นอกจากนี้ ยังมีการวัดปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างอื่นๆ เช่น ในตัวอย่างดินโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Selvasekarapandian et. al. 2000 ; Singh et. al. 2005) ได้ทำการตรวจวัด ^{40}K , ^{232}Th และ ^{238}U ทั้งนี้ เพื่อศึกษาและคำนวณค่าระดับรังสียังผล (effective dose rate) ของพื้นที่ที่ทำการวิจัย และ ยังได้มีการให้ความสนใจในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติในตัวอย่างทรายตามชายฝั่งทะเลแดงในประเทศอียิปต์ (El-Arabi , 2005) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการด้านท่องเที่ยวเชิงการแพทย์ (medical tourism) อีกด้วย

สำหรับในประเทศไทย ก็มีนักวิจัยและกลุ่มที่ให้ความสนใจทางด้านการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติที่บริเวณต่างๆ อยู่บ้าง โดยเฉพาะทางภาคใต้ของประเทศไทย เช่น การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณและคุณภาพในตัวอย่างดินจากบริเวณอำเภอเมืองจังหวัดสงขลา (นางสาวจริณี เกียงเอีย, 2548) การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณและคุณภาพในทรายชายหาด บริเวณชายหาดชลาทัศน์ในจังหวัดสงขลา (นางสาวจิระพา สุโขวัฒนกิจ, 2548) กัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ เรเดียม-226, ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 ในทรายจากบ่อทรายใน อ. หาดใหญ่ และ อ. นาหม่อม จ. สงขลา (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ, 2548) ค่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างทรายจากบริเวณชายหาดชลาทัศน์และชายหาดสมิหลาในจังหวัดสงขลา (ประสงค์ เกษราธิคุณ และคณะ, 2549) การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต(นางสาวฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ, 2550) การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างทรายก่อสร้างจากบ่อทรายในอำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลาและบริเวณอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง(ประสงค์ เกษราธิคุณ และคณะ, 2551) และการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในทรายชายหาดบริเวณชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง(นายวิษณุ อายุสุข, 2550) เป็นต้น

จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตั้งอยู่ในฝั่งตะวันออกของภาคใต้ โดยมีสภาพภูมิประเทศที่หลากหลายทั้งที่ราบสูง ภูมิประเทศแบบภูเขา รวมทั้งที่ราบชายฝั่ง มีพื้นที่ประมาณ 12,891 ตารางกิโลเมตร หรือ 8,057,125 ไร่ เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่มากที่สุดในภาคใต้และมากเป็นอันดับ 6 ของประเทศ มีพื้นที่ครอบคลุมถึงในบริเวณอ่าวไทยทั้งบริเวณที่เป็นทะเลและเป็นเกาะ พื้นที่เกาะในจังหวัดสุราษฎร์มีทั้ง

ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เกาะขนาดใหญ่เป็นที่รู้จักเช่น เกาะสมุย เกาะพะงัน และหมู่เกาะอ่างทอง เป็นต้น ห่างจากกรุงเทพมหานครโดยทางรถยนต์เป็นระยะทางประมาณ 645 กม. ประชากรส่วนใหญ่นับถือศาสนาพุทธ โดยประกอบอาชีพทางการเกษตรเป็นหลัก โดยใช้พื้นที่ในการทำ การเกษตรประมาณร้อยละ 45 ของพื้นที่ทั้งหมด นอกจากนี้ ยังประกอบอาชีพทางด้านปศุสัตว์ ประมง อุตสาหกรรม รวมทั้งมีการทำเหมืองแร่ด้วย พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด ได้แก่ ยางพารา ปาล์ม น้ำมัน มะพร้าว เงาะ ทุเรียน และกาแฟ นอกจากนี้ จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่มีศักยภาพ ทางด้านการท่องเที่ยวค่อนข้างสูง โดยเฉพาะบริเวณ *อำเภอเกาะสมุย* ซึ่งบริเวณเกาะสมุยมีชายหาดที่สวยงามอยู่หลายแห่งเรียงรายอยู่รอบเกาะ ชายหาดที่นักท่องเที่ยวนิยมไปพักผ่อนกันมาก คือ ชายหาด เลวและชายหาดละไม นอกจากนี้มีชายหาดที่อ่าวบางรัก บ้านบ่อผุด หาดหน้าทอน หาดท้องยาง หาดแม่น้ำ และหาดเชิงมน เป็นต้น *ชายหาดเลว* เป็นหาดที่ยาวที่สุดของอำเภอเกาะสมุย ซึ่งมีท่าเลที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของเกาะสมุย เป็นชายหาดที่ยาวและสวยที่สุดของเกาะสมุย ชายหาดมี ลักษณะโค้งยาวโดยมีความยาวถึง 6 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 4 ช่วงคือ ชายหาดเลวเหนือ ชายหาด เลวกลาง ชายหาดเลวใต้ และชายหาดเลวน้อย เป็นชายหาดที่มีนักท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก เดินทางมาอาบแดดและลงเล่นน้ำทะเล ตัวชายหาดเป็นทรายขาว น้ำทะเลใส ระดับน้ำไม่ลึกมากนัก ซึ่งจัดเป็นหาดทรายที่มีความสวยงามมาก

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติในตัวอย่างทราย ชายหาด จำนวน 40 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดเลว อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี เนื่องจาก ชายหาดเลวเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญอันดับหนึ่งของเกาะสมุย ในแต่ละปีมีนักท่องเที่ยว ทั้งไทยและต่างประเทศเดินทางมาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก โดยทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มา เนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยได้รับความอนุเคราะห์ของ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นอกจากนี้ ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล จากผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติจากรายงานประจำปีของ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลก

2. วัสดุอุปกรณ์

สำหรับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1. หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี
2. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม-137 (Cs-137) และโคบอลต์-60 (Co-60)
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Gamma Version V32)

4. สารมาตรฐานดิน (IAEA 375 Soil)
5. ตัวอย่างทรายที่เก็บจากบริเวณชายหาดเลว อำเภอกะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 40 ตัวอย่าง
6. ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.2 เซนติเมตร สูง 7.5 เซนติเมตร สำหรับบรรจุตัวอย่างทราย
7. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างทราย เช่น จอบ เสียม ถังพลาสติก เป็นต้น
8. ตะแกรงร่อนทรายขนาด 2 มิลลิเมตร
9. เครื่องชั่งสาร
10. เทปหรือกระดาษกาว

3. วิธีการ

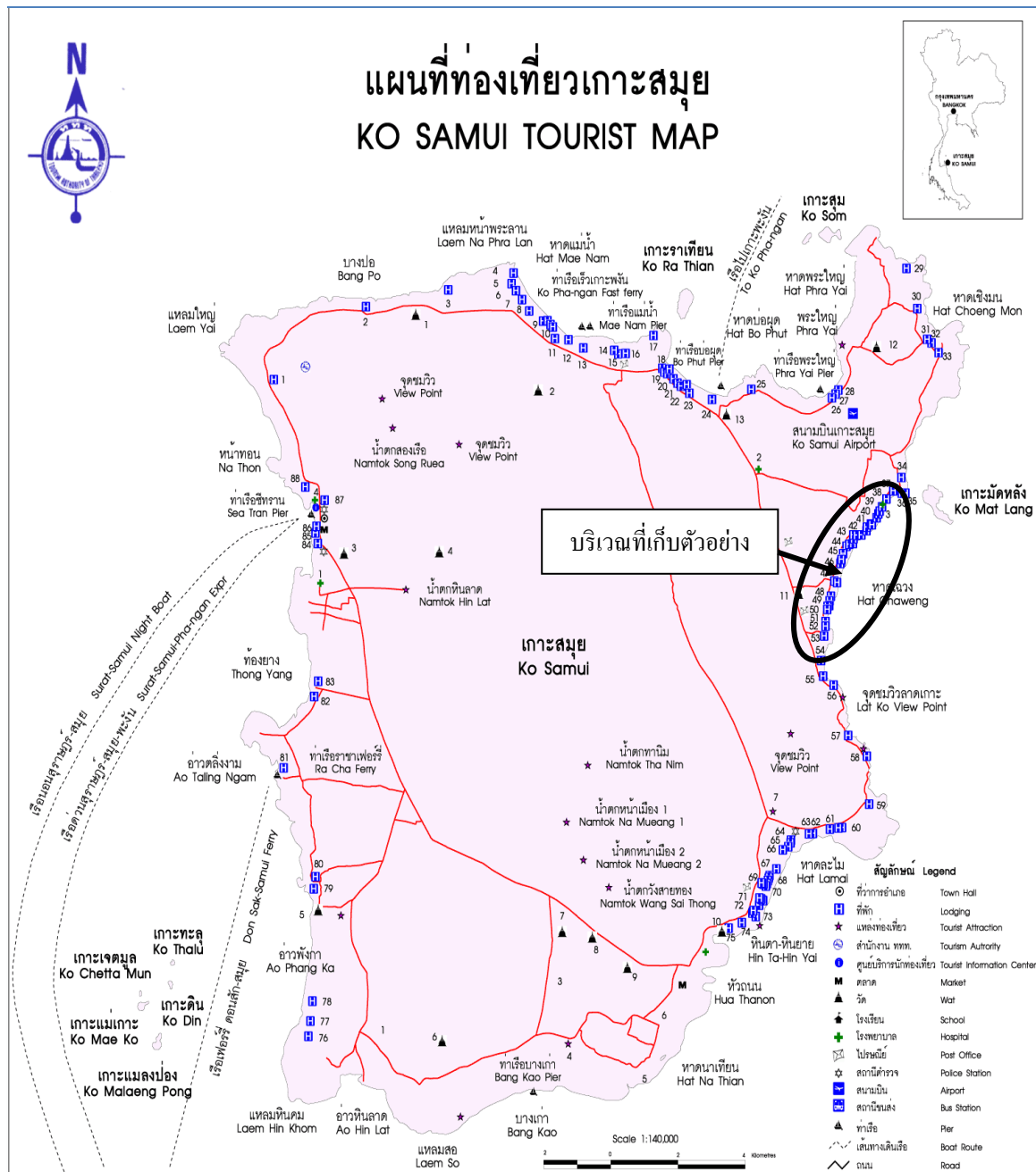
3.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดจากบริเวณชายหาดเลว อำเภอกะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 40 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดแต่ละจุดได้กำหนดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างบนชายหาดตามความยาวของชายหาดเลว โดยแบ่งให้มีระยะห่างที่เท่ากัน และเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ของบริเวณชายหาด จากนั้นนำมาตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจนแห้งสนิท กำจัดเศษรากไม้และหญ้าที่ติดค้างอยู่แล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรเพื่อให้ตัวอย่างทรายชายหาดที่ได้มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แล้วไปบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.2 เซนติเมตร สูง 7.5 เซนติเมตร ให้มีขนาดและปริมาตรใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดต่อไป ทำการปิดผนึกภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุตัวอย่างทรายชายหาดด้วยเทปกาวเพื่อป้องกันการปลดปล่อยแก๊สเรดอน-ทอรอน นำไปเก็บไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือน เพื่อให้เกิดสถานะสมดุลทางกัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาด

3.2 การตรวจวัดรังสีและการวิเคราะห์

หลังจากที่เตรียมตัวอย่างทรายเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้นำตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดไปทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe, EG&G ORTEC Model GEM 20 P4)และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัดจัดวางอยู่ในถ้ำตะกั่วกำบังทางรังสีหนา 10 เซนติเมตร โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม-137 (Cs-137) และโคบอลต์-60 (Co-60) ในการเปรียบเทียบพลังงานของหัววัดและระบบเชื่อมต่อ และใช้สารมาตรฐานดิน (IAEA 375 Soil)ในการวิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทราย

ชายหาดทั้ง 40 ตัวอย่าง ส่วนการวิเคราะห์ฟิสิกพลังงาน(photo peak)จากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Gamma Version V32)



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่และบริเวณของอำเภอเกาะสมุย และบริเวณชายหาดเลขที่เก็บตัวอย่าง
ทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และ ^{232}Th นั้น ใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีรุ่นลูกที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันและเกิดสมมูลทางกัมมันตรังสีโดยที่ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้ฟิสิกพลังงานของรังสีแกมมา

ของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.32 keV สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{208}Tl ที่พลังงาน 583.14 keV ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของตัวเองที่พลังงาน 1460.75 keV ส่วนเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาในทุกตัวอย่างทรายมีค่าเท่ากันคือ 10,000 วินาที นอกจากนี้ ยังได้นำค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในรายงานประจำปีของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติและผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลก

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัย และค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีชนิด ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในหน่วยของ Bq/kg ของตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาดแถว อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัย และค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีชนิด Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาดแถว อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ตัวอย่างที่	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	Ra-226	Th-232	K-40
Sand 1	11.11 ± 1.39	22.36 ± 2.56	414.00 ± 15.31
Sand 2	59.53 ± 2.37	47.67 ± 3.33	300.39 ± 13.06
Sand 3	40.56 ± 1.83	34.55 ± 2.52	281.72 ± 11.00
Sand 4	30.48 ± 1.61	21.79 ± 2.31	258.90 ± 11.01
Sand 5	13.69 ± 1.31	18.50 ± 2.40	385.72 ± 14.14
Sand 6	9.46 ± 1.29	18.18 ± 2.38	385.40 ± 13.51
Sand 7	15.19 ± 1.39	14.42 ± 2.11	279.12 ± 11.54
Sand 8	9.76 ± 1.28	11.72 ± 1.92	316.29 ± 12.55
Sand 9	10.76 ± 1.15	12.42 ± 2.02	305.13 ± 12.93
Sand 10	8.04 ± 1.31	17.73 ± 2.42	409.67 ± 15.54
Sand 11	1.09 ± 1.47^b	17.79 ± 2.56	516.51 ± 16.96
Sand 12	7.51 ± 1.34	17.44 ± 1.99	493.16 ± 16.15

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	Ra-226	Th-232	Ra-226
Sand 13	10.71 ± 1.34	14.94 ± 2.60	468.38 ± 15.82
Sand 14	6.89 ± 1.30	16.31 ± 2.14	500.24 ± 15.95
Sand 15	9.07 ± 1.27	9.55 ± 2.44^b	456.13 ± 15.60
Sand 16	10.28 ± 1.36	9.94 ± 2.26	675.99 ± 18.34^a
Sand 17	10.23 ± 1.16	11.47 ± 2.03	526.19 ± 15.25
Sand 18	11.47 ± 1.37	20.02 ± 2.37	496.97 ± 15.74
Sand 19	11.04 ± 1.19	15.02 ± 2.07	543.56 ± 15.57
Sand 20	12.25 ± 1.25	17.24 ± 2.07	407.16 ± 14.62
Sand 21	10.39 ± 1.27	12.79 ± 2.34	417.83 ± 14.45
Sand 22	12.86 ± 1.32	14.90 ± 2.08	488.00 ± 15.57
Sand 23	13.30 ± 1.23	14.31 ± 1.86	390.70 ± 13.13
Sand 24	12.03 ± 1.12	16.48 ± 1.96	354.52 ± 12.96
Sand 25	13.65 ± 1.29	15.35 ± 2.25	308.99 ± 12.64
Sand 26	12.88 ± 1.48	13.36 ± 2.58	454.74 ± 15.22
Sand 27	10.63 ± 1.34	13.90 ± 2.12	346.68 ± 12.49
Sand 28	12.09 ± 1.23	20.10 ± 2.03	321.36 ± 12.38
Sand 29	13.19 ± 1.38	16.45 ± 2.19	337.57 ± 12.92
Sand 30	25.29 ± 1.45	22.80 ± 2.53	293.34 ± 12.52
Sand 31	15.00 ± 1.26	15.00 ± 1.90	275.72 ± 10.96
Sand 32	52.36 ± 2.16	87.56 ± 3.76	278.66 ± 11.79
Sand 33	27.14 ± 1.68	37.45 ± 2.62	275.65 ± 12.32
Sand 34	19.91 ± 1.53	31.04 ± 2.45	304.50 ± 11.69
Sand 35	13.41 ± 1.26	16.27 ± 2.09	308.88 ± 12.05
Sand 36	23.02 ± 1.54	27.51 ± 2.47	318.06 ± 12.22
Sand 37	19.67 ± 1.68	30.05 ± 2.84	251.66 ± 12.37
Sand 38	31.19 ± 1.58	34.97 ± 2.65	258.98 ± 12.05
Sand 39	95.37 ± 2.75^a	107.97 ± 4.28^a	292.11 ± 12.30

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	Ra-226	Th-232	Ra-226
Sand 40	21.63 ± 1.45	24.04 ± 2.52	233.54 ± 11.14^b
พิสัย	1.09 – 95.37	9.55 – 107.97	233.54 – 675.99
ค่าเฉลี่ย	18.85 ± 1.45	23.53 ± 2.40	373.30 ± 13.59

^a หมายถึง ค่ามากที่สุด ; ^b หมายถึง ค่าน้อยที่สุด

นอกจากนี้ ยังได้แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดได้นี้กับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทย และข้อมูลของนักวิจัยที่มีอยู่ทั่วโลก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานีกับข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่มีอยู่ในประเทศไทยและข้อมูลจากการวิจัยทั่วโลก

รายการ	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย (Bq/kg)		
	Ra-226	Th-232	K-40
ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่างจากบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี	18.85 ± 1.45	23.53 ± 2.40	373.30 ± 13.59
ค่าเฉลี่ยของสนง. ปส. (ภาคใต้)	171.55 ± 3.13	211.19 ± 1.98	511.04 ± 7.04
ค่าเฉลี่ยของสนง.ปส. (ประเทศไทย)	48	40	400
ค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก	35	30	400

เมื่อพิจารณาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่างจากชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง $1.09 - 95.37$ 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

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่าง จากบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในตารางที่ 2 กับข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติได้ตรวจวัดไว้บางบริเวณในภาคใต้ของประเทศไทย(สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2534-2546) ค่าเฉลี่ยที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติได้ตรวจวัดไว้บางบริเวณทั่วประเทศไทย และค่าเฉลี่ยที่นักวิจัยทั่วโลกได้ทำการวิจัยและตรวจวัดไว้ (UNSCEAR, 1993, 2000) พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่าง จากบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าน้อยกว่า ข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะจากแหล่งข้อมูลทั้ง 3 แหล่งดังกล่าวข้างต้น

5. สรุป

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองและวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในทรายชายหาดจำนวน 40 ตัวอย่าง จากบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าน้อยกว่า ข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติได้ตรวจวัดไว้บางบริเวณในภาคใต้ของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติได้ตรวจวัดไว้บางบริเวณทั่วประเทศไทย และค่าเฉลี่ยที่นักวิจัยทั่วโลกได้ทำการวิจัยและตรวจวัดไว้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K จากบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังนั้น ประชาชนทั่วไปและนักท่องเที่ยวมีความปลอดภัยจากการได้รับรังสีจากธรรมชาติบริเวณชายหาดเฉวง อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำโครงการวิทยาศาสตร์ระดับปริญญาตรีแก่นิสิต และอนุมัติให้ใช้วัสดุ อุปกรณ์และครุภัณฑ์ต่างๆของภาควิชาจนทำให้โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดี และใคร่ขอขอบคุณ ผศ. ดร. สมพร จงคำ ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทั้งทางด้านวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดทางรังสี พร้อมทั้งได้เอื้อเฟื้อด้านสถานที่พักแก่นิสิต และท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณ คุณวรุณี เตยโพธิ์ และ คุณสุทธิพงษ์ พลธรรม เป็น

อย่างสูงที่ได้ช่วยดูแลและคอยอำนวยความสะดวกในทุกๆด้านแก่นักลัดที่ขอเข้าใช้เครื่องมือตรวจวัดทางรังสีและสารมาตรฐานทางรังสีของสถาบันฯ เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

1. 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.
2. 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.
3. 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., and Umisedo, N.K., 2006. Measurement natural radioactivity in Brazilian beach sands. *Radiat. Meas.* 41, 189-196.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. จารุณี เกียงเอีย ประสงค์ เกษราธิคุณ สุชิน อุดมสมพร และ วุฒิเดช ทรฤทธิ์. 2548. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณและคุณภาพในตัวอย่างดินจากบริเวณอำเภอมือง จังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2548. วันที่ 31 สิงหาคม 2548. โรงแรม บีพี สมิทลา บีช โฮเต็ล. สงขลา. ประเทศไทย.

10. จิระพา สุโขวัฒนกิจ ประสงค์ เกษราธิคุณ สุชิน อุดมสมพร และ วุฒิเดช ทรฤทธิ. 2548. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณและคุณภาพในตัวอย่างทรายจากบริเวณชายหาดชลาลัยในจังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. วันที่ 18-20 ตุลาคม 2548. เทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. จังหวัดนครราชสีมา. ประเทศไทย.
11. ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และ แพร นิรนาทรังสรรค์. 2548. กัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติเรเดียม-226, ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 ในทรายจากบ่อทรายใน อ. หาดใหญ่ และ อ. นาหม่อม จ. สงขลา. วารสารสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. 6(1), 26-35.
12. ประสงค์ เกษราธิคุณ สุชิน อุดมสมพร และศุภกร กตาทิการกุล. 2549. ค่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างทรายจากบริเวณชายหาดชลาลัยและชายหาดสมิหลาในจังหวัดสงขลา. รายงานวิจัย. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 100 หน้า.
13. ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และประสงค์ เกษราธิคุณ. 2550. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงและคุณภาพในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต. การประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 10. วันที่ 16-17 สิงหาคม 2550. ศูนย์แสดงนิทรรศการและสินค้ากรุงเทพ (ไบเทค). กรุงเทพฯ. ประเทศไทย.
14. ประสงค์ เกษราธิคุณ วิษณุ โพชะเรือง และ รัชดา ทองศรี. 2551. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างทรายก่อสร้างจากบ่อทรายในอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลาและบริเวณอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 1. วันที่ 27-29 สิงหาคม 2551. โรงแรมธรรมรินทร์ธนา. จังหวัดตรัง. ประเทศไทย.
15. วิษณุ อายุสุข และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2551. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในทรายชายหาดบริเวณชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 1. วันที่ 27-29 สิงหาคม 2551. โรงแรมธรรมรินทร์ธนา. จังหวัดตรัง. ประเทศไทย.
16. [http:// www.thaitravelhealth.com](http://www.thaitravelhealth.com)
17. [http:// www.siamfreestyle.com](http://www.siamfreestyle.com)
18. กองการวัดกัมมันตภาพรังสี. รายงานวิชาการประจำปี 2534-2546. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. กระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
19. UNSCEAR, 1988. Sources, effects and risk of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.

20. UNSCEAR, 1993. Exposure from natural sources of radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
 21. UNSCEAR, 2000. Sources, effects and risk of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
-