



ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในทรายชายหาดของอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา

ไตรภพ ผ่องสุวรรณ* และฮานาฟี เหมตระกูลวงศ์

Radionuclide Content in Beach Sand in Ta Kua Pa District, Phang Nga Province

Tripob Bhongsuwan* and Hanafee Hemtrakoonwong

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90110

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai 90110.

* Corresponding author. E-mail address: tripob.b@psu.ac.th

Received: 2 February 2016; Accepted: 25 April 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในทรายชายหาดของอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา และพื้นที่ใกล้เคียงในการศึกษาโดยใช้เทคนิคสเปกโทรเมตรีรังสีแกมมาชนิดตัววัดเจมาเนียมบริสุทธิ์สูง HPGe ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 10 จุด พบว่า กัมมันตภาพจำเพาะ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในทรายชายหาดขนาดอนุภาค > 0.3 มม. มีค่าในช่วง $9 - 78 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 25 Bqkg^{-1}), $12 - 121 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 36 Bqkg^{-1}) และ $47 - 436 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 132 Bqkg^{-1}) ตามลำดับ ในตัวอย่างทรายขนาดอนุภาค $0.3 - 0.106$ มม. มีค่าในช่วง $9 - 79 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 25 Bqkg^{-1}), $9 - 124 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 36 Bqkg^{-1}) และ $44 - 502 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 138 Bqkg^{-1}) ตามลำดับ และในตัวอย่างทรายขนาด < 0.106 มม. มีค่าในช่วง $49 - 91 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 70 Bqkg^{-1}), $93 - 137 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 115 Bqkg^{-1}) และ $190 - 724 \text{ Bqkg}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย 457 Bqkg^{-1}) คิดเป็นปริมาณรังสีสมมูลประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีเมื่อนำทรายมาใช้ก่อสร้างบ้านเรือนจากตัวอย่างทรายขนาด > 0.3 มม., $0.3 - 0.106$ มม. และ < 0.106 มม. พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $73-624 \mu\text{Sv y}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $191 \mu\text{Sv y}^{-1}$), $74 - 649 \mu\text{Sv y}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $192 \mu\text{Sv y}^{-1}$) และ $427 - 760 \mu\text{Sv y}^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $594 \mu\text{Sv y}^{-1}$) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีต่อปีที่ได้รับการปกอาศัยอยู่ในอาคารบ้านเรือนซึ่งเฉลี่ยจากทั่วโลกมีค่าเท่ากับ $280 \mu\text{Sv y}^{-1}$ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีต่อปีที่ได้รับจากภายในอาคารบ้านเรือนที่สร้างจากตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเล็กเท่านั้น ที่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 ขนาด พบว่ามีปริมาณซิลิกาสมมูลต่ำกว่า 88 % จึงสรุปได้ว่า ทรายชายหาดในพื้นที่ศึกษาไม่เหมาะสมที่จะเป็นแหล่งทรายป้อนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม พบว่าทรายชายหาดหมายเลข 8 (หาดท่าเทียบเรือบ้านใหม่) มีปริมาณทอเรียมสูงสุด เท่ากับ 30 mg kg^{-1} หรือ 30 g ton^{-1} โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: ทรายชายหาด, ตะกั่วป่า, นิวไคลด์กัมมันตรังสี, แกมมาสเปกโตรมิเตอร์

Abstract

This work aims to study the radionuclide content in beach sand from Takua Pa District, Phang Nga Province and neighborhood, by using a high purity germanium (HPGe) gamma spectrometer. Analysis of the specific activities of natural radionuclides in beach sand samples collected from 10 sites shows that the ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K contents in beach sand fractions of sized > 0.3 mm. are in the range of $9 - 78 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 25 Bqkg^{-1}), $12 - 121 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 36 Bqkg^{-1}) and $47 - 436 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 132 Bqkg^{-1}) Bqkg^{-1} , respectively, sand fractions of sized $0.3 - 0.106$ mm. contain $9 - 79 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 25 Bqkg^{-1}), $9 - 124 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 36 Bqkg^{-1}) and $44 - 502 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 138 Bqkg^{-1}), respectively whereas sand fraction of sized < 0.106 mm. contains $49 - 91 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 70 Bqkg^{-1}), $93 - 137 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 115 Bqkg^{-1}) and $190 - 724 \text{ Bqkg}^{-1}$ (mean 457 Bqkg^{-1}), respectively. These estimate to receive the annual effective dose equivalent, AEDE of the values ranged $73-624 \mu\text{Sv y}^{-1}$ (mean $191 \mu\text{Sv y}^{-1}$), $74 - 649 \mu\text{Sv y}^{-1}$ (mean $192 \mu\text{Sv y}^{-1}$) and $427 - 760 \mu\text{Sv y}^{-1}$ (mean $594 \mu\text{Sv y}^{-1}$) for the sands fractions of > 0.3 mm., $0.3 - 0.106$ mm. and < 0.106 mm., respectively, when using these sand as constructing material to build houses. Comparing with the world average in-door AEDE of $280 \mu\text{Sv y}^{-1}$, it shows that the AEDE for living in houses built by only fine sand fraction (< 0.106 mm.) is higher than the world average. Equivalent silica contents in all beach sand samples of all sizes are lower than 88% indicating no commercial value for related industries. The result shows that beach sand sample BS8 contains the highest specific activity of thorium of 30 mg kg^{-1} or 30 g ton^{-1} .

Keywords: beach sand, Takua Pa, radionuclides, gamma spectrometer



ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มติชนออนไลน์ (17 กันยายน 2552) ได้รายงานข่าว บริษัทเอกชนไทย อาสาชุดลอกสันดอนทรายที่ปากแม่น้ำตะกั่วป่า จังหวัดพังงา โดยอาสาจะขนไปทิ้งไกลถึงประเทศเพื่อนบ้านที่เป็นเกาะอยู่ทางตอนใต้ โดยอ้างว่าการขนไปทิ้งไกล ๆ ก็เพื่อไม่ให้ทรายดังกล่าวหากทิ้งไว้ในพื้นที่ใกล้เคียงเป็นเวลานาน ต่อไปอาจไหลกลับมาเกิดเป็นสันดอนขึ้นที่ปากแม่น้ำตะกั่วป่าอีก และให้ข่าวด้วยว่า ทรายดังกล่าวนี้ไม่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ คณะวิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิจัยองค์ประกอบของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในทรายดังกล่าว ตลอดจนมูลค่าทางเศรษฐกิจของซิลิกาที่มีอยู่ในทรายดังกล่าวในแง่การเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมแก้วด้วย

สำหรับพื้นที่จังหวัดพังงา เคยได้ชื่อว่าเป็นแหล่งผลิตแร่ดีบุกสำคัญระดับโลก มีเหมืองแร่ดีบุกจำนวนมากทุกพื้นที่ทั้งบนบก และในทะเล แม้ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าธุรกิจการทำเหมืองแร่ดีบุกได้สิ้นสุดลงอย่างสิ้นเชิงแล้ว แต่มูลดินทรายที่เกิดจากการทำเหมืองในอดีตก็ยังคงพบเห็นได้ทั่วไปในลำน้ำลำคลองโดยเฉพาะอย่างยิ่ง แม่น้ำตะกั่วป่าที่มีต้นกำเนิดจากทิวเขาในเขต อ.กะปง ไหลผ่าน อ.ตะกั่วป่า ออกสู่ทะเลอันดามัน มีความยาวประมาณ 30 กิโลเมตร

นอกเหนือจากแร่ดีบุกที่เคยมีอยู่อย่างสมบูรณ์ในพื้นที่ อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา ยังมีรายงานการตรวจพบแร่อื่นที่เป็นเพื่อนแร่เกิดร่วมกับแร่ดีบุกอีกจำนวนมาก ตัวอย่างแร่บางชนิดที่มีมูลค่าสูงได้แก่ Columbite/tantalite [(Fe, Mn)(Nb, Ta)₂O₆] และบางชนิดมีกัมมันตภาพรังสีสูงเนื่องจากมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีจำพวกยูเรเนียม และทอเรียม ปะปนอยู่ในปริมาณมาก เช่น Samarskite [(Fe,Y,U)₂(Nb,Ti,Th)₂O₇] Fergusonite [(Y,Ca,U,Th)(Nb,Ta)O₄] และ Monazite [CePO₄] เป็นต้น สำหรับธาตุประกอบสำคัญที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจในแร่กลุ่มที่เกิดร่วมกับแร่ดีบุกในพื้นที่นี้ ที่เคยมีการตรวจพบ ได้แก่ niobium, tantalum, rare earths, gold, diamond, thorium และ uranium (Garson, Young, Mitchell, & Tait, 1975) แม้ว่าธาตุมีค่าส่วนใหญ่จะถูกแยกสกัดออกไปแล้วในขั้นตอนการทำเหมือง และการถลุงแร่ อย่างไรก็ตาม

ดินทรายที่ถูกคัดทิ้งในการทำเหมืองในอดีตจะมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นในอนาคตอย่างแน่นอน อาจถึงขั้นสามารถนำมาสกัดเป็นวัสดุนิวเคลียร์ยูเรเนียมและทอเรียมได้

สำหรับในพื้นที่อื่น ๆ ในภาคใต้ของประเทศไทย เช่น ที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา นั้นเคยเป็นพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตเช่นกัน และเคยมีรายงานการพบแร่กัมมันตรังสีชนิด Torbermite [Cu(UO₂)₂(PO₄)₂·8-12H₂O] (Pungrassami, 1984) ผู้วิจัย (Bhongsuwan & Neeranatrangsan, 2005) ได้ศึกษาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในทรายที่เก็บจากชุมชนเหมืองแร่ดีบุกเก่าในพื้นที่ อ.นาหม่อม พบว่ามีปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติสูงผิดปกติ 2 - 6 เท่า เมื่อเทียบกับทรายจากบ่อทรายเขตคลองอู่ตะเภาของ อ.หาดใหญ่ โดยพบว่า กัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K และ Ra_{eq} ของทรายจาก อ.นาหม่อม มีค่าอยู่ในช่วง 34-90 Bqkg⁻¹, 19-124 Bqkg⁻¹, 377-1421 Bqkg⁻¹ และ 106-330 Bqkg⁻¹ ตามลำดับ ทรายจาก อ.หาดใหญ่ มีค่า 12-21 Bqkg⁻¹, 13-18 Bqkg⁻¹, 166-215 Bqkg⁻¹ และ 48-60 Bqkg⁻¹ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ตรวจพบการปนเปื้อนนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ในพื้นที่ อ.นาหม่อม เช่น การปนเปื้อน ²²⁶Ra ในดิน และในน้ำบ่อต้น (Wutthisasna, Chittrakam, Bhongsuwan, & Bhongsuwan, 2006; Atiphan, 2007) และการปนเปื้อน ²²⁶Ra ในผักพื้นบ้าน (Angkunrat, Bhongsuwan, Chittrakam, & Bhongsuwan, 2007) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเน้นศึกษาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีทั้งชนิดที่มีตามธรรมชาติและชนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น ที่อาจมีอยู่ในทรายชายหาดของ จ.พังงา ที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนของเหลือทิ้งจากการทำเหมืองแร่ในอดีต เนื่องจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ปนเปื้อนอยู่ในทรายแม้เพียงเล็กน้อย อาจส่งผลกระทบต่อในหลายด้าน ได้แก่

- 1) ด้านมูลค่าของทราย เนื่องจากนิวไคลด์กัมมันตรังสียูเรเนียมและทอเรียมเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ยุคปัจจุบัน แม้มีอยู่ในทรายในปริมาณน้อยแต่ก็อาจจะเพิ่มมูลค่าให้กับทรายได้เป็นอย่างมาก



2) ด้านสุขภาพอนามัยของประชาชน เนื่องจากนิวไคลด์กัมมันตรังสียูเรเนียมและทอเรียมสลายตัวกลายเป็น นิวไคลด์กัมมันตรังสีอื่น ๆ อีกมากมาย ที่สลายตัวให้รังสีแอลฟา บีตา และแกมมา การที่ร่างกายของคนเราได้รับปริมาณรังสีนิวเคลียร์ดังกล่าวในปริมาณที่สูงเกินไปย่อมไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพ (UNSCEAR, 2000)

3) ด้านการนำทราไปใช้ประโยชน์ กัมมันตรังสีเรดอนและโพรตอนที่สลายตัวมาจากแร่กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในทราที่มีสถานะเป็นก๊าซและเป็นสารก่อมะเร็งปอด (Lung cancer carcinogen) (BEIR, 1999) หากตรวจพบว่ามิแร่กัมมันตรังสีสูงในทรา และหากมีการนำทราไปใช้ประโยชน์ เช่น เป็นวัสดุก่อสร้างบ้านเรือน คนที่อยู่อาศัยในบ้านก็อาจจะได้รับปริมาณรังสีจากการสูดหายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าไปมากผิดปกติ ทำให้เพิ่มโอกาสการเกิดมะเร็งปอดของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้ ดังนั้นหากทราบปริมาณแร่กัมมันตรังสีในทราทำให้สามารถกำหนดรูปแบบการใช้ประโยชน์ของทราดังกล่าวได้อย่างชัดเจน เช่น ควรใช้เฉพาะภายนอกอาคาร หรือควรผสมกับวัสดุก่อสร้างอื่นเพื่อลดกัมมันตภาพจำเพาะกัมมันตรังสีก่อนนำไปใช้ภายในอาคาร เป็นต้น

ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างทราชายหาด
ศึกษาพื้นที่จากแผนที่ภูมิประเทศ เอกสารอ้างอิง ข้อมูลธรณีวิทยา ข้อมูลแหล่งแร่ เพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่างทราชายหาด บริเวณปากแม่น้ำตะกั่วป่าใน อ. ตะกั่วป่า ไปจนถึงเขต จ.ระนอง (รูปที่ 1) โดยมีตัวอย่างที่เก็บในจังหวัดพังงาจำนวน 9 ตัวอย่าง และอยู่ในเขตจังหวัดระนองจำนวน 1 ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างทราชายหาด ครอบคลุมบริเวณปากแม่น้ำตะกั่วป่า บันทึกจุดเก็บตัวอย่างที่แน่นอนด้วยเครื่องบอกพิกัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning System, GPS) เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C คัดแยกขนาดเป็น 3 ขนาดคือ ขนาดใหญ่ >0.3 มม. ขนาดกลาง 0.3 – 0.106 มม. และขนาดเล็ก <0.106 มม. ชั่งน้ำหนักแล้วบรรจุกระปุก ปิดผนึกทิ้งไว้นาน 1 เดือน เพื่อให้เข้าสู่สมดุลกัมมันตรังสี แล้วจึง

วิเคราะห์ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาต่อไป

การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด HPGe

สเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างทราชายหาด จะถูกวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา (Gamma-ray Spectrometer) ชนิดหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe; Canberra, Model GC1319 USA) ซึ่งอยู่ภายในถ้ำกำบังรังสีภูมิหลัง (Canberra, Model 747, USA) หัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA 8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA) หัววัดรังสีแกมมามีประสิทธิภาพสัมพัทธ์เท่ากับ 13.9% และมีกำลังแยกเท่ากับ 1.75 keV ที่พลังงานรังสีแกมมา 1332 keV และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพ์ตันเท่ากับ 44.8 : 1

ในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และ ^{232}Th ใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีลูกที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันและเกิดสมดุลกัมมันตรังสี โดยที่ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra สามารถคำนวณจากพื้นที่ใต้ยอดของพลังงานรังสีแกมมาที่ 295.2, 351.9 keV (^{214}Pb), 609.3, 1120.3 และ 1764.3 keV (^{214}Bi) ขณะที่ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th คำนวณจากพื้นที่ใต้ยอดพลังงานรังสีแกมมาที่ 338.3, 911.6 และ 969.1 keV (^{228}Ac) และกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K คำนวณจากพื้นที่ใต้ยอดพลังงานรังสีแกมมาที่พลังงาน 1460.8 keV โดยทุกตัวอย่างทราชายหาดใช้เวลาในการวัดเท่ากับ 10,800 วินาที

ในการหาปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ก่อนอื่นจะต้องคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัด (Efficiency) โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ที่ทราบกัมมันตภาพคือ IAEA RGU-1 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)



$$Efficiency(Count \cdot s^{-1} \cdot Bq^{-1}) = \frac{Net Area}{(LiveTime)(Activity)(yield)} \quad (1)$$

โดยที่ Net Area = พื้นที่ใต้ยอดพลังงานรังสีแกมมาที่สนใจซึ่งปรับแก้รังสีภูมิหลังแล้ว (counts)
 Live Time = เวลาวัด (s)
 Activity = กัมมันตภาพของสารมาตรฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ (Bq)
 Yield = สัดส่วนการปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงานดังกล่าว

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity) ของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ของตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$Activity(Bqkg^{-1}) = \frac{Net Area}{(LiveTime)(Efficiency)(yield)(sample weight)} \quad (2)$$

โดยที่ sample weight = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (kg)

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ยูเรเนียมสมมูล (eU), ทอเรียมสมมูล (eTh) และ K ในดินเฉลี่ยจากทั่วโลก มีค่าเท่ากับ 35 Bqkg^{-1} , 30 Bqkg^{-1} และ 400 Bqkg^{-1} ตามลำดับ (UNSCEAR, 2000) สามารถคำนวณได้จากสมการ (3), (4) และ (5) ตามลำดับ สำหรับการคำนวณเป็นความเข้มข้นของ

$$C_U = 0.080947 \times A_{Ra} \quad (3)$$

โดยที่ C_U = ความเข้มข้น U ในหน่วย ppm eU
 A_{Ra} = กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ในหน่วย Bqkg^{-1}

$$C_{Th} = 0.246338 \times A_{Th} \quad (4)$$

โดยที่ C_{Th} = ความเข้มข้น Th ในหน่วย ppm eTh
 A_{Th} = กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ในหน่วย Bqkg^{-1}

$$C_K = 0.003224 \times A_K \quad (5)$$

โดยที่ C_K = ความเข้มข้น K ในหน่วย %
 A_K = กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ในหน่วย Bqkg^{-1}

ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา (Minimal Detectable Activity, MDA)

ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของนิวไคลด์ที่สนใจใดๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะใช้



สมการของ Currie's Derivation (Currie, 1968) คือ

$$MDA (Bq) = \frac{2.706 + 4.653\sigma}{(LiveTime)(Efficiency)(Yield)} \quad (6)$$

โดยที่ σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับรังสีที่เป็นภูมิหลัง ณ ตำแหน่งพลังงานที่สนใจ

Live Time = เวลาวัด (s)

Efficiency = ประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงานรังสีแกมมาที่สนใจ (count s⁻¹ Bq⁻¹)

Yield = สัดส่วนการปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงานดังกล่าว

ผลการวัดค่ารังสีภูมิหลังซึ่งเตรียมจากกระปุกเปล่า โดยใช้เวลาวัดรังสี 10,800 วินาที พบว่าค่า MDA ของ ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K และ ¹³⁷Cs มีค่าเท่ากับ 0.02 Bq, 0.02 Bq, 0.06 Bq และ 0.39 Bq ตามลำดับ

การประเมินผลกระทบเชิงรังสี

สำหรับการประเมินผลกระทบเชิงรังสีต่อมนุษย์ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียมในที่นี้ คือ ²³⁸U จะพิจารณาโดยใช้ค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ที่ได้ของ ²²⁶Ra และลูกหลานของมันเท่านั้น ซึ่งมีค่าคิดเป็นร้อยละ 98.5 ของผลกระทบทั้งหมด โดยไม่พิจารณาผลกระทบที่มาจาก ²³⁸U และลูกหลานก่อนที่จะสลายตัวให้ ²²⁶Ra (Bhongsuwan and Neeranatrangsan, 2005) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกประเมินผลกระทบเชิงรังสี

จากการคำนวณค่าบังซ้อนอันตรายเชิงรังสีดังต่อไปนี้

1. อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed Dose Rate in Air, D)

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ คือ ค่าความเข้มรังสีแกมมาในอากาศ ซึ่งเป็นรังสีจากวัสดุกัมมันตรังสีที่มาจากพื้นโลก อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นดิน ซึ่งคำนวณจากค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra, ²³²Th และ ⁴⁰K โดยสมมติว่านิวไคลด์กัมมันตรังสีอื่นๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ของ ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr และ ²³⁸U มีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้ง (Kocher and Sjoreen, 1985) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (7)

$$D(nGy \cdot h^{-1}) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (7)$$

โดยที่ A_{Ra} , A_{Th} และ A_K คือ กัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra, ²³²Th และ ⁴⁰K ในหน่วย Bqkg⁻¹ สำหรับค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนที่เฉลี่ยจากทั่วโลกมีค่าเท่ากับ 57 nGy.h⁻¹ (UNSCEAR, 2000)

2. ปริมาณรังสีสมมูลประสิทธิผลที่ได้รับต่อปี (Annual Effective Dose Equivalent, AEDE)

ปริมาณรังสีสมมูลประสิทธิผลที่ได้รับต่อปี ที่ได้รับจากการนำตัวอย่างทรายมาใช้ก่อสร้างเป็นอาคาร

บ้านเรือน หรือ AEDE_{IN} สามารถหาได้จากการแปลงอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ 0.7 Sv Gy⁻¹ (Singh, Singh, Singh, Bajwa, & Sonkawade, 2009) ซึ่งใช้ประเมินการได้รับรังสีในผู้ใหญ่ โดยพิจารณาว่าคนเราใช้เวลาอยู่ภายในบ้านเรือนคิดเป็นร้อยละ 80 ของเวลาทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการ (8)

$$AEDE_{IN}(\mu Sv \cdot y^{-1}) = D(nGy \cdot h^{-1}) \times 8760(h) \times 0.7(Sv \cdot Gy^{-1}) \times 0.8 \times 10^{-3} \quad (8)$$

ปริมาณรังสีสมมูลประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีสำหรับภายนอกบ้านเรือนหรือ AEDE_{OUT} โดยพิจารณาว่า

ประชาชนอาศัยอยู่ภายนอกบ้านเรือนเท่ากับ 20 % ของเวลาทั้งหมด คำนวณได้จากสมการ (9)



$$AEDE_{OUT}(\mu Sv \cdot y^{-1}) = D(nGy \cdot h^{-1}) \times 8760(h) \times 0.7(Sv \cdot Gy^{-1}) \times 0.2 \times 10^{-3} \quad (9)$$

สำหรับปริมาณรังสีสมมูลประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีที่ได้รับจากภายในและภายนอกอาคารบ้านเรือนซึ่งเฉลี่ยจากทั่วโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ $280 \mu Sv y^{-1}$ และ $70 \mu Sv y^{-1}$ ตามลำดับ (UNSCEAR, 2000; Orgun et al., 2007)

3. ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Radium equivalent activities, Ra_{eq})

ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม เป็นค่าผลรวมถ่วง

$$Ra_{eq} = 370 \left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) \quad (10)$$

โดยที่ A_{Ra} , A_{Th} และ A_K คือ กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในหน่วย $Bqkg^{-1}$ โดยเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียมเท่ากับ $370 Bqkg^{-1}$ (UNSCEAR, 2000)

4. ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกและภายในร่างกาย (External and internal hazard index)

ค่าดัชนีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย โดยกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับจากภายนอกส่วนใหญ่จะเป็นรังสีแกมมา ที่มีอำนาจทะลุ

น้ำหนักของกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาด จากการศึกษาพบว่า ^{226}Ra ที่มีกัมมันตภาพ $370 Bqkg^{-1}$ จะให้ค่าอัตราปริมาณรังสีเทียบเท่า ^{232}Th กัมมันตภาพ $259 Bqkg^{-1}$ หรือ ^{40}K กัมมันตภาพ $4810 Bqkg^{-1}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (10) (NEA-OECD, 1979)

ทะลุสูง ที่มาจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ ค่า H_{ex} สามารถคำนวณได้จากสมการ (11) (Beretka & Mathew, 1985) สมการนี้เป็นรูปแบบจำลอง (Conservative Model) ของการได้รับอันตรายจากรังสีภายนอก เมื่อนำวัสดุที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น หิน ทราย มาใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน โดยรูปแบบจำลองนี้จะสมมติว่าบ้านที่ก่อสร้างมีผนังหนามาก โดยไม่มีประตูและหน้าต่าง (Krieger, 1981)

$$H_{ex} = \left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) \quad (11)$$

โดยที่ A_{Ra} , A_{Th} และ A_K คือ กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในหน่วย $Bqkg^{-1}$ ในทรายชายหาดตามลำดับ เมื่อค่า $H_{ex} \leq 1.0$ แสดงว่า ความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยถ้า $H_{ex} = 1.0$ ผู้ได้รับสัมผัสรังสีภายนอกจะได้รับปริมาณรังสีดูดกลืนเท่ากับ $1.5 mGy$ ต่อปี และถ้า $H_{ex} > 1.0$ ผู้อาศัยอยู่ในบ้านเรือนดังกล่าว จะมีความเสี่ยงอันตรายจากการได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอกสูงกว่าเกณฑ์ปกติ

โดยใช้ค่านี้เป็นเกณฑ์ว่าไม่ควรจะนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน

ค่าดัชนีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากรังสีที่ได้รับจากภายในร่างกาย (Internal hazard index, H_{in}) มาจากก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน โทรอนและผลผลิตจากการสลายตัวให้รังสีแอลฟา ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ สามารถคำนวณได้จากสมการ (12)

$$H_{in} = \left(\frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) \quad (12)$$

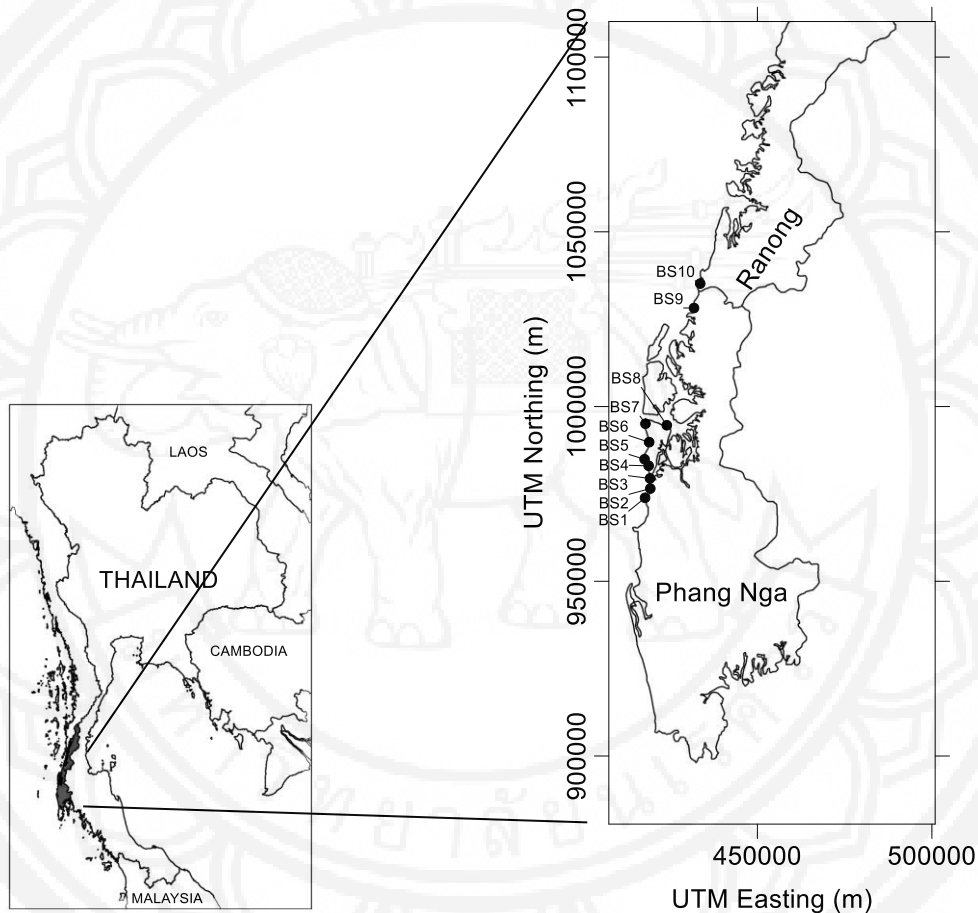
โดยที่ A_{Ra} , A_{Th} และ A_K คือ กัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในหน่วย $Bqkg^{-1}$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การเก็บตัวอย่างทรายชายหาด จ.พังงา

รูปที่ 1 เป็นแผนที่แสดงขอบเขต จ.พังงา และทางตอนใต้ของ จ.ระนอง จุดเก็บตัวอย่างทรายชายหาด แสดงด้วยชื่อ BS1 – BS10 โดยจุด BS1 – BS8 อยู่ในเขต อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา จุดเก็บตัวอย่าง BS9 อยู่ที่หาดอ่าวเคย อ.คุระบุรี จ.พังงา และจุด BS10 อยู่ที่หาด

ประพาส อ.สุขสำราญ จ.ระนอง ซึ่งทั้ง 2 จุด เป็นชายหาดที่อยู่ห่างจากชายหาด BS1 ไปทางเหนือประมาณ 50 – 60 กิโลเมตร โดยในการเก็บตัวอย่างที่จุดหนึ่งๆ จะเก็บตัวอย่างทรายอย่างน้อย 4 ตัวอย่างย่อย โดยแต่ละตัวอย่างย่อยจะอยู่ห่างกัน 5 – 10 เมตร โดยเก็บตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม รวมมีจำนวนตัวอย่างย่อยจำนวน 40 ตัวอย่าง จากจุดเก็บทั้งหมด 10 จุด (BS1–BS10)



รูปที่ 1 แผนที่ประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน และ แผนที่จุดเก็บตัวอย่างใน อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา (BS1 – BS8) ใน อ.คุระบุรี จ.พังงา (BS9) และ อ.สุขสำราญ จ.ระนอง (BS10)

2. ผลการคัดขนาดตัวอย่าง

ตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาคัดแยกเศษชิ้นที่ไม่ใช่ทราย แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 – 105 °C เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำตัวอย่างทรายจากจุดเก็บเดียวกันมาผสมคละกันอย่างดี เพื่อเฉลี่ยส่วนประกอบของทรายจากจุดเก็บตัวอย่างเดียวกัน เป็นการลดอิทธิพลการคัดแยกโดย

ธรรมชาติของกระแสน้ำ นำทรายคละจากจุดต่างๆ มาคัดแยกขนาด โดยแยกขนาดออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (Large size) มีเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาค >0.3 มม. ขนาดกลาง (Medium size) 0.3–0.106 มม. และขนาดเล็ก (Small size) <0.106 มม. ผลการคัดแยกขนาดของตัวอย่างทรายชายหาด แสดงในตารางที่ 1 โดยตัวอย่างที่



มีปริมาณอนุภาคขนาดใหญ่มากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ หาดบ้านสนามบิน BS2 (82.99%), หาดอ่าวเคย BS9 (81.35%) และ สถานีอนามัยเกาะคอเขา BS4 (77.39%) ตัวอย่างที่มีปริมาณอนุภาคขนาดกลางมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ หาดบ้านนอกนา BS7 (72.73%), หาดประพาส BS10 (65.63%) และ หาดบ้านน้ำเค็ม BS3 (56.64%) และ ตัวอย่างที่มีปริมาณ

อนุภาคเล็กมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ หาดบ้านใหม่ BS8 (46.53%), หาดทับตะวัน BS1 (3.15%) และ หาดประพาส BS10 (1.03%) โดยทรายที่ตำแหน่งทำเทียบเรือบ้านใหม่ BS8 มีสัดส่วนของอนุภาคขนาดเล็กประเภทดินเหนียวเยอะที่สุด เนื่องจากเป็นจุดเก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำตะกั่วป่า

ตารางที่ 1 ผลการคัดแยกขนาดของทรายชายหาด อ.ตะกั่วป่า และข้างเคียง

ตำแหน่ง	ชื่อตัวอย่าง	พิกัด(UTM)		ขนาด > 0.3 มม.		ขนาด 0.106-0.3 มม.		ขนาด <0.106 มม.	
		E	N	น.น. (ก.)	%	น.น. (ก.)	%	น.น. (ก.)	%
หาดทับตะวัน	BS1	417816	973881	373.58	74.79	110.19	22.06	15.71	3.15
บ้านสนามบิน	BS2	419319	976528	414.66	82.99	84.63	16.94	0.39	0.08
ทำเทียบเรือบ้านน้ำเค็ม	BS3	419225	979422	213.40	42.70	283.06	56.64	3.32	0.66
ใกล้สถานีอนามัย									
เกาะคอเขา	BS4	418855	983045	386.44	77.39	112.34	22.50	0.53	0.11
บ้านทุ่งตึก	BS5	417677	984919	370.05	74.10	127.48	25.53	1.86	0.37
ก่อนถึงบ้านบางเนียง									
เนียง	BS6	418986	989797	227.02	45.49	270.40	54.18	1.68	0.34
บ้านนอกนา	BS7	417931	995085	133.77	26.79	363.21	72.73	2.44	0.49
ทำเทียบเรือบ้านใหม่	BS8	424057	994645	77.02	17.21	162.28	36.26	208.25	46.53
หาดอ่าวเคย	BS9	431843	1028192	405.80	81.35	89.67	17.97	3.39	0.68
หาดประพาส	BS10	433624	1035179	165.59	33.34	325.96	65.63	5.10	1.03

3. ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาด

ผลการหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดแยกตามขนาดดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดใหญ่ > 0.3 มม. อยู่ในช่วง 9 – 78 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 25 ± 21 Bqkg⁻¹), 12 – 121 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 36 ± 35 Bqkg⁻¹) และ 47 – 436 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 132 ± 126 Bqkg⁻¹) ตามลำดับ (รูปที่ 2) สำหรับตัวอย่างทรายชายหาดขนาดกลาง 0.3 – 0.106 มม. มีค่าอยู่ในช่วง 9 – 79 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 25 ± 23 Bqkg⁻¹), 9 – 124 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 36 ± 36 Bqkg⁻¹) และ 44 – 502 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 138 ± 141 Bqkg⁻¹) ตามลำดับ (รูปที่ 3) และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเล็ก < 0.106

มม. อยู่ในช่วง 49 – 91 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 70 Bqkg⁻¹), 93 – 137 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 115 Bqkg⁻¹) และ 190 – 724 Bqkg⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 457 Bqkg⁻¹) (รูปที่ 4)

4. ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างในตัวอย่างทราย

สำหรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นและอาจแพร่กระจายอยู่บนผิวโลกโดยทั่วไป ที่จะตรวจสอบคือ ^{137}Cs ที่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์และการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ในบรรยากาศในอดีต อย่างไรก็ตามเนื่องจากการแพร่กระจายของ ^{137}Cs มักจะจำกัดอยู่เฉพาะในซีกโลกเหนือ และพบปริมาณน้อยในซีกโลกใต้ (Wallings, He, & Quine, 1995) ขณะที่พื้นที่ศึกษาของเราอยู่ตรงบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่มาจากทรายตัวอย่างจึงตรวจไม่พบยอดพลังงานรังสีแกมมาของ ^{137}Cs ที่มีค่า



661 keV นั่นคือ ค่ากัมมันตภาพของ ^{137}Cs ในตัวอย่าง Bq ที่เป็นค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ด้วยระบบ
 ทราบทุกขนาดอนุภาคและทุกตัวอย่าง มีค่าต่ำกว่า 0.36 วิเคราะห์และด้วยเวลาตรวจวัดที่ใช้

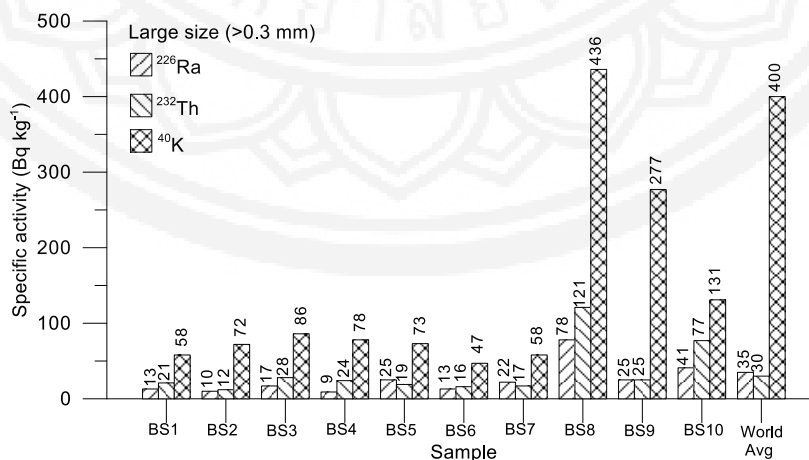
ตารางที่ 2 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ตัวอย่างทรายชายหาด แยกตามขนาด

ตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง)	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bqkg^{-1})					
	^{226}Ra		^{232}Th		^{40}K	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย $\pm\sigma$	ช่วง	ค่าเฉลี่ย $\pm\sigma$	ช่วง	ค่าเฉลี่ย $\pm\sigma$
BS-Large (10)	9 - 78	25 \pm 21	12 - 121	36 \pm 35	47 - 436	132 \pm 126
BS-Medium (10)	9 - 79	25 \pm 23	9 - 124	36 \pm 36	44 - 502	138 \pm 141
BS-Small (2)	49 - 91	70	93 - 137	115	190 - 724	457
ค่าเฉลี่ยจาก UNSCEAR 2000		35		30		400

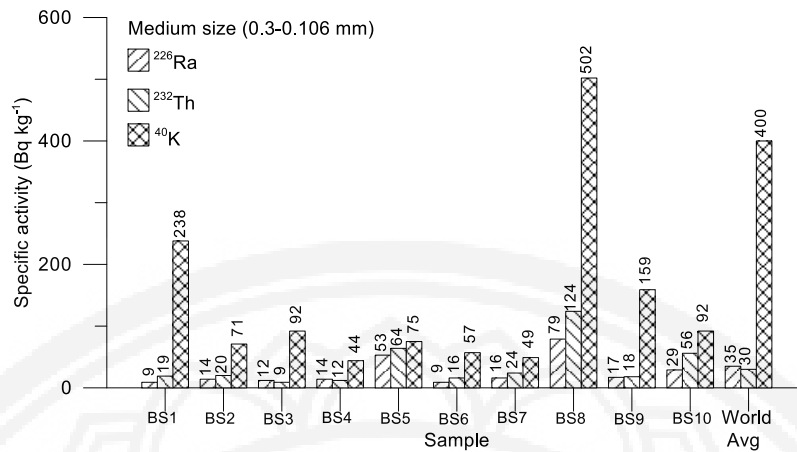
หมายเหตุ BS-Large คือ ตัวอย่างทรายชายหาดที่มีขนาด > 0.3 มม.
 BS-Medium คือ ตัวอย่างทรายชายหาดที่มีขนาด 0.3 - 0.106 มม.
 BS-Small คือ ตัวอย่างทรายชายหาดที่มีขนาด < 0.106 มม.
 σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ที่เป็นค่าเฉลี่ยของดิน (soil) จาก
 ทั่วโลก (UNSCEAR, 2000) ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพ
 จำเพาะเท่า 35 Bqkg^{-1} , 30 Bqkg^{-1} และ 400 Bqkg^{-1}
 ตามลำดับ พบว่า ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra
 ในตัวอย่างทรายชายหาดที่มีขนาด > 0.3 มม. และ ขนาด
 0.3 - 0.106 มม. มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ขณะที่
 ตัวอย่างทรายชายหาดที่มีขนาด < 0.106 มม. มีค่าเฉลี่ย

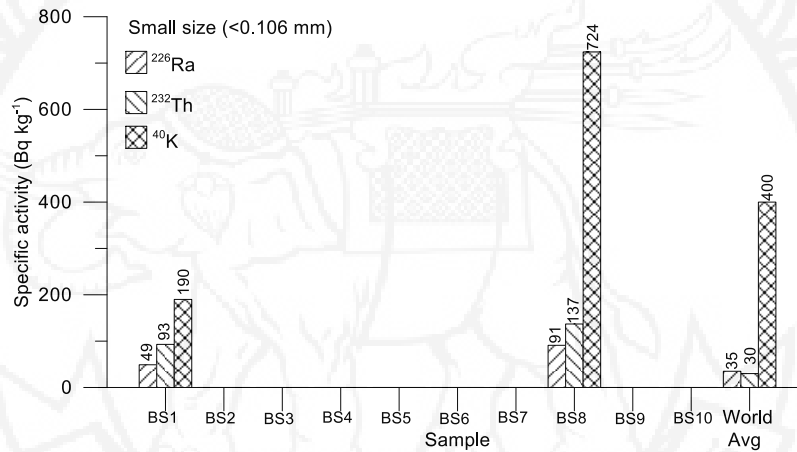
สูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ส่วนค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพ
 จำเพาะของ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 ขนาด
 มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลกเล็กน้อย และค่าเฉลี่ยกัม
 มันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดที่มี
 ขนาด > 0.3 มม. และขนาด 0.3 - 0.106 มม. มีค่าต่ำ
 กว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ขณะที่ตัวอย่างทรายชายหาดที่มี
 ขนาด < 0.106 มม. มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก



รูปที่ 2 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดใหญ่ > 0.3 มม.



รูปที่ 3 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra, ²³²Th และ ⁴⁰K ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดกลาง 0.3 – 0.106 มม.



รูปที่ 4 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra, ²³²Th และ ⁴⁰K ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเล็ก < 0.106 มม.

5. ผลการคำนวณอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนจาก (nGyh⁻¹) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 ตัวอย่างทรายชายหาด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนที่เฉลี่ยจากทั่วโลกซึ่งค่าเท่ากับ 57 nGyh⁻¹ (UNSCEAR, 2000) พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีดูดกลืนจากตัวอย่างทรายชายหาดขนาด > 0.3 มม., 0.3 – 0.106 มม. และ < 0.106 มม. มีค่าอยู่ในช่วง 15 – 127 nGyh⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 39 ± 35 nGyh⁻¹), 15 – 132 nGyh⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 39 ± 37 nGyh⁻¹) และ 87 – 155 nGyh⁻¹ (ค่าเฉลี่ย 121 < 0.106 มม. มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก



ตารางที่ 3 สรุปผลปริมาณรังสีดูดกลืน (D) ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี ($AEDE_{IN}$) ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) จากตัวอย่างทรายชายหาด แยกตามขนาด

ตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง)	D ($nGy\ h^{-1}$)		$AEAD_{IN}$ ($\mu Sv\ y^{-1}$)		Ra_{eq} ($Bqkg^{-1}$)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
BSL (10)	15 - 127	39 ± 35	73 - 624	191 ± 172	33 - 284	87 ± 78
BSM (10)	15 - 132	39 ± 37	74- 649	193 ± 180	32 - 295	88 ± 82
BSS (2)	87 - 155	121	427 - 760	594	197 - 343	270
ระดับเกณฑ์ที่แนะนำ		57		70		370

6. ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีที่ได้รับจากการพักอาศัยในอาคารบ้านเรือนจากตัวอย่างทรายชายหาด

เมื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีที่ได้รับจากการพักอาศัยภายในอาคารบ้านเรือน ($AEDE_{IN}$) จากตัวอย่างทรายชายหาดขนาด > 0.3 มม., $0.3 - 0.106$ มม. และ < 0.106 มม. พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $73 - 624\ \mu Sv y^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $191 \pm 172\ \mu Sv y^{-1}$), $74-649\ \mu Sv y^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $193 \pm 180\ \mu Sv y^{-1}$) และ $427 - 760\ \mu Sv y^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $594\ \mu Sv y^{-1}$) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีต่อปีที่ได้รับจากการอาศัยอยู่ภายในอาคารบ้านเรือนซึ่งเฉลี่ยจากทั่วโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ $280\ \mu Sv y^{-1}$ (Orgun et al., 2007) พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีที่ได้รับจากการพักอาศัยภายในอาคารบ้านเรือนที่สร้างจากตัวอย่างทรายชายหาดขนาด > 0.3 มม. และขนาดกลาง $0.3 - 0.106$ มม. มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ยกเว้นจากตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเล็ก < 0.106 มม. มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก

7. ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียมจากตัวอย่างทรายชายหาด

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) จากตัวอย่างทรายชายหาดขนาด > 0.3 มม., $0.3 - 0.106$ มม. และ < 0.106 มม. พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $33 - 284\ Bqkg^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $87 \pm 78\ Bqkg^{-1}$), $32 - 295\ Bqkg^{-1}$ (ค่าเฉลี่ย $88 \pm 82\ Bqkg^{-1}$) และ $197 - 343\ Bqkg^{-1}$ ($270\ Bqkg^{-1}$) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ปลอดภัย $370\ Bqkg^{-1}$ (NEA-OECD, 1979) พบว่า ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพสมมูลเรเดียมจากตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมด มีค่าต่ำกว่า $370\ Bqkg^{-1}$

8. ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายในและนอกร่างกายจากตัวอย่างทรายชายหาด

ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายในร่างกาย (H_{in}) จากตัวอย่างทรายชายหาดขนาด > 0.3 มม., $0.3 - 0.106$ มม. และ < 0.106 มม. พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $0.12 - 0.98$ (ค่าเฉลี่ย 0.30 ± 0.27), $0.12 - 1.01$ (ค่าเฉลี่ย 0.30 ± 0.28) และ $0.66 - 1.17$ (ค่าเฉลี่ย 0.92) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4

เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่ปลอดภัย $H_{in} < 1$ (EC, 1999) พบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายในร่างกายจากตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 ขนาด มีค่า $H_{in} < 1$ สรุปว่ามีความปลอดภัยในการนำไปใช้ประโยชน์

ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกในร่างกาย (H_{out}) จากตัวอย่างทรายชายหาดขนาดอนุภาค > 0.3 มม., $0.3 - 0.106$ มม. และ < 0.106 มม. พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $0.09 - 0.77$ (ค่าเฉลี่ย 0.24 ± 0.21), $0.09 - 0.80$ (ค่าเฉลี่ย 0.24 ± 0.22) และ $0.53 - 0.93$ (ค่าเฉลี่ย 0.73) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ปลอดภัย $H_{out} < 1$ (EC, 1999) พบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกในร่างกายจากตัวอย่างทรายชายหาดทั้ง 3 ขนาด มีค่า $H_{out} < 1$ สรุปว่ามีความปลอดภัยในการใช้ประโยชน์



ตารางที่ 4 ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายใน (H_{in}) และนอกร่างกาย (H_{out}) จากตัวอย่างทรายชายหาด แยกตามขนาด

ตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง)	H_{in}		H_{out}	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
BSL (10)	0.12 - 0.98	0.30 ± 0.27	0.09 - 0.77	0.24 ± 0.21
BSM (10)	0.12 - 1.01	0.30 ± 0.28	0.09 - 0.80	0.24 ± 0.22
BSS (2)	0.66 - 1.17	0.92	0.53 - 0.93	0.73
ระดับเกณฑ์ที่ปลอดภัย		1		1

9. มูลค่าทางเศรษฐกิจของทราย

ผลการวิเคราะห์ธาตุประกอบด้วยเทคนิคเครื่องรังสีเอกซ์ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเม็ดเล็ก <0.106 มม. แสดงในตารางที่ 5 โดยตัวอย่างทรายหมายเลข BS6 (ชายหาดก่อนถึงบ้านบางเนียง) หมายเลข BS7 (หาดบ้านนอกนา) หมายเลข BS9 (หาดอ่าวเคย อ.คุระบุรี จ.พังงา) และหมายเลข BS10 (หาดประพาส อ.สุขสำราญ จ.ระนอง) มีปริมาณ Si สูง 39.12 %, 41.1 %, 39.5 % และ 40.89 % ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณ silica (SiO_2) เทียบเท่า 84.33 %, 88.65 %, 85.34 % และ 88.27 % ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณ silica ในทรายที่เหมาะสมที่จะเป็นแหล่งทรายแก้วสำหรับป้อนอุตสาหกรรม ควรมีปริมาณ silica สูงเกินกว่า 99 % จึงสรุปได้ว่า ทรายชายหาดในพื้นที่ศึกษาไม่เหมาะสมที่จะ

เป็นแหล่งทรายป้อนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

พบว่าทรายชายหาดหมายเลข BS8 (หาดท่าเทียบเรือบ้านใหม่) มีปริมาณทอเรียม (Thorium) สูงสุดสูงกว่าทรายชายหาดจากจุดอื่นที่ศึกษา โดยมีกัมมันตภาพจำเพาะ เท่ากับ 124 Bqkg^{-1} หรือคิดเป็น 30 mgkg^{-1} หรือ 30 g ton^{-1} โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณน้อย การนำทรายดังกล่าวไปสกัดเอาแร่เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ทอเรียม จึงไม่น่าจะคุ้มทุน อย่างไรก็ตามทรายหรือตะกอนท้องน้ำแม่น้ำตะกั่วป่าที่เป็นมูลดินทรายที่มาจากเหมืองแร่ดีบุกและมีอยู่จำนวนมากในลุ่มน้ำแม่น้ำตะกั่วป่า จึงควรมีการศึกษามูลค่าทางเศรษฐกิจของมูลดินทรายจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตอย่างจริงจังต่อไป

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ธาตุประกอบด้วยเทคนิคเครื่องรังสีเอกซ์ของทรายชายหาด

Site	Spec. Act. ($Bqkg^{-1}$)			Elemental concentration (%)																								
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	H	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb		
BS1	9	9	238	ND	ND	ND	32.79	0.61	0.72	0.59	8.16	0.07	0.38	0.98	0.65	51.45	0.07	0.05	ND	1.00	ND	0.02	2.44	ND	ND	ND	ND	ND
BS2	14	20	71	ND	ND	ND	37.45	0.41	0.49	0.61	16.74	0.05	0.27	0.58	0.32	39.81	0.07	0.06	ND	1.19	ND	ND	1.96	ND	ND	ND	ND	ND
BS3	12	9	92	ND	ND	ND	39.75	0.63	0.33	0.47	21.46	0.05	0.24	1.18	0.36	32.37	0.11	0.11	0.05	1.31	ND	ND	1.57	ND	ND	ND	ND	ND
BS4	14	12	44	ND	ND	ND	46.69	0.23	0.24	0.62	34.09	0.03	0.14	0.61	0.34	14.82	0.05	0.13	ND	1.46	ND	ND	0.55	ND	ND	ND	ND	ND
BS5	53	64	75	ND	ND	ND	44.62	0.29	0.21	0.53	30.19	0.05	0.20	0.70	0.41	19.50	0.37	0.11	0.06	1.74	ND	0.02	0.79	ND	0.18	0.02	ND	ND
BS6	9	16	57	ND	ND	ND	49.30	0.28	0.16	0.47	39.12	0.04	0.09	0.53	0.35	7.76	0.05	0.12	ND	1.50	ND	ND	0.29	ND	ND	ND	ND	ND
BS7	16	24	49	ND	ND	ND	50.37	0.17	0.13	0.49	41.10	ND	0.08	0.39	0.40	5.35	0.10	0.06	ND	1.08	ND	0.02	0.17	ND	0.09	ND	ND	ND
BS8	79	124	502	0.33	3.92	4.57	43.37	1.40	0.63	8.16	20.29	0.09	1.52	3.91	2.06	3.41	0.48	0.02	0.06	5.25	0.07	0.11	0.10	ND	0.12	0.02	0.02	0.02
BS9	17	18	159	ND	ND	ND	49.83	0.27	0.20	1.42	39.50	0.04	0.12	0.56	0.80	5.21	0.08	0.10	0.03	1.67	ND	0.02	0.10	ND	0.07	ND	ND	ND
BS10	29	56	92	ND	ND	ND	50.33	0.24	0.21	0.75	40.89	0.00	0.12	0.57	0.59	4.15	0.20	0.08	ND	1.49	ND	0.10	0.07	ND	0.21	0.01	0.01	0.01

หมายเหตุ ผลวิเคราะห์ปริมาณสารรังสีเป็นของตัวอย่างทรายขนาดกลาง 0.3 - 0.106 มม.

ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุเป็นของตัวอย่างทรายขนาดละเอียด < 0.106 มม.

ND ค่าต่ำไม่สามารถวิเคราะห์ได้

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายชายหาด จากการเก็บ

ตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 10 จุด แบ่งเป็นตัวอย่างทรายชายหาดจากอำเภอตะกั่วป่า 8 จุด อำเภอคุระบุรี 1 จุดและอำเภอสุขสำราญ 1 จุด ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th



และ ^{40}K ที่เป็นค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก (UNSCEAR, 2000) ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเท่า 35 Bqkg^{-1} , 35

Bqkg^{-1} และ 400 Bqkg^{-1} ตามลำดับ พบว่า ทรายชายหาดขนาดเล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.106 มม. จะมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K สูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ขณะที่ตัวอย่างทรายชายหาดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.3 มม. และขนาดกลางเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 - 0.106 มม. จะมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K โดยประมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก

ผลการคำนวณอัตราปริมาณรังสีดูดกลืน (D) จากตัวอย่างทรายชายหาด พบว่า อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนจากตัวอย่างทรายชายหาดขนาดใหญ่ และขนาดกลาง มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนที่เฉลี่ยจากทั่วโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ 57 nGyh^{-1} (UNSCEAR, 2000) และพบว่า ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยของตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเล็ก มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ของกลุ่มตัวอย่างทรายชายหาดขนาดอนุภาคใหญ่ กลาง และเล็ก พบว่า มีค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ปลอดภัย 370 Bqkg^{-1} (UNSCEAR, 2000) จึงสรุปได้ว่า สามารถนำทรายชายหาดจากพื้นที่ศึกษาไปใช้ในกิจการต่างๆ ได้อย่างปลอดภัย ในแง่การได้รับอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีจากธรรมชาติ

ในด้านมูลค่าของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในทราย พบว่า ทรายชายหาดจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 8 (หาดท่าเทียบเรือบ้านใหม่) มีปริมาณทอเรียมสูงสุด โดยมีกัมมันตภาพจำเพาะ เท่ากับ 124 Bqkg^{-1} หรือคิดเป็น 30 mg kg^{-1} หรือ 30 g ton^{-1} โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณน้อย การนำทรายดังกล่าวไปสกัดเอาแร่เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ทอเรียม จึงไม่น่าจะคุ้มทุน

ผลการวิเคราะห์ธาตุประกอบด้วยเทคนิคเรืองรังสีเอกซ์ในตัวอย่างทรายชายหาดขนาดเล็ก จากจุดเก็บที่ 1-10 พบว่า มีค่าปริมาณ Silica อยู่ในช่วงร้อยละ 17.459 - 87.936 โดยจุดเก็บตัวอย่างที่ 6, 7, 9 และ 10 มีปริมาณ Silica เทียบเท่าร้อยละ 83.687, 87.936, 84.494 และ 87.467 ตามลำดับ ซึ่งตามประกาศของ

กระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 87 พ.ศ.2541 ว่าด้วยการส่งสินค้าออกไปนอกราชอาณาจักร ที่มีใจความว่า ไม่อนุญาตส่งออกนอกราชอาณาจักรสำหรับทรายธรรมชาติที่มีปริมาณ Silica เกินร้อยละ 75 แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าปริมาณ Silica ในทรายที่เหมาะสมที่จะเป็นแหล่งทรายแก้วสำหรับป้อนอุตสาหกรรม ควรมีปริมาณ Silica สูงเกินกว่า 99 % เช่นตัวอย่างทรายแก้วที่ใช้เป็นวัตถุดิบของบริษัทกระจกไทยอาชาสีจำกัด (มหาชน) ใช้ทรายที่มีปริมาณ silica มากกว่า 99.2 % (Mahidol University, 2011) จึงสรุปได้ว่าทรายชายหาดในพื้นที่ศึกษาไม่เหมาะสมที่จะเป็นแหล่งทรายป้อนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปี พ.ศ.2554 และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์

เอกสารอ้างอิง

- Angkunrat, S., Bhongsuwan, T., Chittrakam, T., & Bhongsuwan, D. (2007). Specific activities of radium-226 in vegetables grown in Na Mom District, Songkhla Province. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 29(5), 1439-1455.
- Atiphan, S. (2007). *Boundary delineation of high background radiation area in Amphoe NaMom Changwat Songkhla using gamma-ray measurement.* Songkla: Prince of Songkla University.
- BEIR VI. (1999). *Report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Health effects of exposure to radon.* National Research Council: The National Academies Press.



- Beretka, J., & Mathew, P. J. (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*, 48, 87–95.
- Bhongsuwan, T., & Neeranatrangsan, P. (2005). Specific activity of the naturally occurring radionuclides Ra-226, Th-232 and K-40 in sand samples from quarries in Hatyai and Namom districts, Songkhla province. *J. Nuclear Society of Thailand*, 6(1), 26–39.
- Currie, L. (1968) Limits for qualitative detection and quantification determination. *Analytical Chemistry*, 40(3), 587–593.
- EC, European Commission. (1999). Radiation Protection Unit, Radiological Protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. *Radiation Product*, 11, 1999.
- Garson, M. S., Young, B., Mitchell, A. H. G., & Tait, B. A. R. (1975). *The geology of the tin belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa. OVERSEAS MEMOIR No.1*. Natural Environmental Research Council, London: Institute of Geological Sciences.
- Kocher, D. C., & Sjoreen, A. L. (1985). Dose-rate conversion factors for external exposure to photon emitters in soil. *Health Physics*, 48, 193–205.
- Krieger, R. (1981). Radioactivity of construction materials. *Betonwerk und Fertigteil. Technik*, 47, 468–473.
- Mahidol University (2011). Quality development of by-products from construction sand processes for uses as a raw material in glass and mirror industry. Bangkok: Mahidol University.
- NCRP. (1987). *National Council on Radiation Protection and Measurements, Exposure of the Population in the United States and Canada from Natural Background Radiation, NCRP Report no. 94*. Maryland: NCRP.
- NEA-OECD. (1979). *Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials, Report by NEA Group of Experts*. Paris: NEA-OECD.
- Orgun, Y., Altinsoy, N., Sahin, S. Y., Gungor, Y., Gultekin, A. H., Karaham, G., & Karaak, Z. (2007). Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (canakkale), Western Anatolia, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 739–747.
- Pungrassami, T. (1984). *Geology of the Thung Pho-Thung Khamin Tin Mining District, King Amphoe Namom, Changwat Songkhla*. Songkhla: Department of Mining Engineering, Prince of Songkla University.
- Singh, J., Singh, H., Singh, S., Bajwa, B. S., & Sonkawade, R. G. (2009). Comparative study of natural radioactivity levels in soil samples from the Upper Siwaliks and Punjab, India using gamma-ray spectrometry. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 94–98.



- Walling, D. E., He, Q., & Quine, T. A. (1995). Use of caesium-137 and lead-210 as tracers in soil erosion investigations. *Tracer Technologies for Hydrological Systems*. In *Proceeding of a Boulder Symposium IASH Publ. no. 229, July 1995*(pp. 163-172). Boulder, USA: IAHS.
- Wutthisasna, J., Chittrakarn, T., Bhongsuwan, D., & Bhongsuwan, T. (2006). Concentration of Ra-226 in shallow well water and its relation with the evidence of oral and esophagus cancers in Namom District, Songkhla Province. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 28(1), 201-215.
- UNSCEAR. (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation*. New York: n.p.

