

การประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะและดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี
ของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในวัสดุก่อสร้างประเภทดินบริเวณตอนล่างของจังหวัดยะลา

Assessment of Specific Activities and Radiation Hazard Indices of
Natural Radionuclides in Soil Based Building Materials in Southern Part of Yala Province

สุวนันท์ แดงวิไล¹ พวงทิพย์ แก้วทับทิม^{1*} อุดร ยังช่วย² ปิยะ ผ่านศึก¹ สุณารี บดีพงศ์¹

ชัยวัฒน์ เลิศวิริยะนันท์กุล¹ และ สมชาย กอพนพัฒน์¹

Suwanan Daengwilai¹ Pungtip Kaewtubtim^{1*} Udon Youngchuay² Piya Phansuke¹ Sunaree Boodeepong¹

Chaiwat Lersviriyannantakul¹ and Somchai Koponput¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ปัตตานี 94000 ประเทศไทย

²สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120 ประเทศไทย

¹Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani 94000, Thailand

²Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Nakhon Nayok 26120, Thailand

*E-mail: pungtip.k@psu.ac.th

Received: Apr 11, 2024

Revised: Jun 11, 2024

Accepted: Jun 17, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะและดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในวัสดุก่อสร้างประเภทดินบริเวณตอนล่างของจังหวัดยะลา โดยเก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้างประเภทดินจาก 41 ตำแหน่งในโรงเรียนที่อยู่ในอำเภอบันนังสตา ธารโต และเบตง ของจังหวัดยะลา การประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติใช้วิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้หัววัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง ดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีที่ประเมิน ได้แก่ ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D) ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (ELCR) จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226, Th-232 และ K-40 เท่ากับ 261.88 ± 117.42 , 307.25 ± 108.48 และ 2388.13 ± 939.32 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทยและค่าเฉลี่ยทั่วโลก นอกจากนี้ค่า Ra_{eq} , H_{ex} , D, E และ ELCR ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์แห่งสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบจากรังสี (UNSCEAR) ผลการศึกษานี้บ่งชี้ได้ว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่ทำการศึกษามีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในวัสดุก่อสร้างในระยะยาว

คำสำคัญ: สารกัมมันตรังสีธรรมชาติ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี วัสดุก่อสร้างประเภทดิน จังหวัดยะลา

Abstract

This research aimed to assess specific activities and radiation hazard indices of natural radionuclides in soil based building materials in southern part of Yala province. Soil-based building material samples were collected from 41 points in schools located in Bannang Sata, Than To and Betong districts. The specific activities of natural radionuclides were assessed by gamma-ray spectrometry using a high purity germanium detector. The assessed radiation hazard indices included radium equivalent activity (Ra_{eq}), external hazard index (H_{ex}), absorbed dose rate in air (D), annual effective dose rate (E) and excess life time cancer risk (ELCR). From the study, it was found that the average specific activities of Ra-226, Th-232 and K-40 were of 261.88 ± 117.42 , 307.25 ± 108.48 and 2388.13 ± 939.32

Becquerel per kilogram, respectively, which were higher than the average values of Thailand and the global average values. Furthermore, Ra_{eq} , H_{ex} , D, E and ELCR obtained from this study were higher than the thresholds set by United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). The results indicated that people living in the studied areas were at risk of cancer from long-term exposure to natural radionuclides in building materials.

Keywords: Natural radionuclides, Specific activities, Radiation hazard indices, Soil based building materials, Yala province

1. บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์มีการสัมผัสสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติตลอดเวลา [1] โดยสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่สำคัญที่สุดคือยูเรเนียม (U-238), ทอเรียม (Th-232) และโพแทสเซียม (K-40) [2] ซึ่งพบได้ในหิน ดิน หวาย และน้ำ โดยเฉพาะ ยูเรเนียม (U-238) จัดเป็นสารกัมมันตรังสีที่อันตรายที่สุด เนื่องจากมีการสลายตัวเป็นเรเดียม (Ra-226) จากนั้นจะแตกตัวปลดปล่อยแก๊สเรดอน (Rn-222) ออกมา [3] โดยแก๊สเรดอนถือเป็นหนึ่งในมลพิษทางอากาศในอาคารที่สำคัญ [4] หากสัมผัสแก๊สเรดอนในสถานที่ทำงานหรือในที่อยู่อาศัยเป็นระยะเวลานาน จะเกิดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งปอดได้ [5] อีกทั้งแก๊สเรดอน ถูกจัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ที่ประกาศโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และยังเป็นสาเหตุอันดับสองของการเกิดโรคมะเร็งปอดรองจากการสูบบุหรี่ [6], [7] แก๊สเรดอนจะเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบการหายใจ เกิดสลายตัวให้ธาตุโพลonium (Po-218) ตะกั่ว (Pb-214) และบิสมัท (Bi-214) พร้อมปล่อยรังสีอัลฟาพลังงานสูงออกมาทำลายเซลล์เยื่อบุทางเดินหายใจ เนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในปอด และทำลายเซลล์ชั้นเนื้อเยื่อบุผิว (Epithelium) ของหลอดลมปอด (Bronchi) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเกิดโรคมะเร็ง [8] โดยปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความเข้มข้นของแก๊สเรดอนในอาคารนั้นมากจากพื้นดินใต้ที่อยู่อาศัยและวัสดุที่ใช้สร้างที่อยู่อาศัย [9] แก๊สเรดอนจะกระจายตัวในอาคารผ่านรอยแตกที่พื้นและผนัง [10] โดยความเข้มข้นของแก๊สเรดอนในอาคารจะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อมของอาคาร การระบายอากาศ สภาพภูมิอากาศ วัสดุก่อสร้าง [11] หรืออาคารถูกสร้างในบริเวณที่มีธาตุยูเรเนียม (U-238) และทอเรียม (Th-232) โดยเฉพาะพื้นที่มีลักษณะธรณีวิทยาที่เป็นแหล่งหินแกรนิต [12] เนื่องจากหินแกรนิตมีปริมาณยูเรเนียม (U-238) ทอเรียม (Th-232) และโพแทสเซียม (K-40) สูง [13] สำหรับพื้นที่อำเภอบันนังสตา ธารโต และเบตง ของจังหวัดยะลา มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นเทือกเขาหินแกรนิต และมีการทำเหมืองแร่ดีบุก นอกจากนี้จังหวัดยะลา ยังมี

อุตสาหกรรมก่อสร้างหลายประเภท ได้แก่อุตสาหกรรมหินปูน อุตสาหกรรมหินแกรนิตประดับ เป็นต้น [14] และจากการศึกษาปริมาณยูเรเนียมในตะกอนดินในพื้นที่จังหวัดยะลา พบว่ามีปริมาณยูเรเนียมสูง [15] ดังนั้นหากดินดังกล่าวถูกนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างก็จะปล่อยแก๊สเรดอนออกมาตามปริมาณธาตุยูเรเนียมที่ปะปนอยู่ จึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบกัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้างเพื่อความปลอดภัยของประชาชนผู้อาศัยในการนาคินไปใช้ในการสร้างอาคารบ้านเรือนเพื่ออยู่อาศัย เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่ในบ้านถึง 80 เปอร์เซ็นต์ [16] หากสูดดมหรือสัมผัสแก๊สเรดอนเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดได้ [17] อีกทั้งดินเป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่นำมาใช้ในการสร้างบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย รวมทั้งอาคารโรงเรียน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะและดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ Ra-226, Th-232, K-40 ในวัสดุก่อสร้างประเภทดินที่ใช้ในการสร้างอาคารเรียน บริเวณตอนล่างของจังหวัดยะลา ได้แก่ อำเภอบันนังสตา ธารโต และเบตง ของจังหวัดยะลา โดยการประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific activity) ของสารกัมมันตรังสีใช้วิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma-ray spectrometry) โดยใช้หัววัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (High purity germanium detector) เพื่อนำค่าที่ได้ไปประเมินดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี ซึ่งได้แก่ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Radium equivalent activity; Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย (External hazard index; H_{ex}) ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rate in air; D) ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (Annual external effective dose rate; E) และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (Excess life time cancer risk; ELCR) งานวิจัยนี้จะทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันอันตรายที่เกิดจากสารกัมมันตรังสีในพื้นที่ศึกษาได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การเก็บและเตรียมตัวอย่างวัสดุก่อสร้างประเภทดิน

วางแผนกำหนดจุดเก็บตัวอย่างในโรงเรียนของอำเภอบันนังสตา ธารโต และเบตง จังหวัดยะลา จำนวน 41 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นโรงเรียนประจำตำบลที่มีนักเรียนในพื้นที่จำนวนมาก กำลังศึกษา ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงด้านรังสีและสาธารณสุข (Figure 1) จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างโรงเรียน โดยเกลี่ยหน้าดินออกประมาณ 1 ตารางเมตร ขุดลึกลงไป 10 เซนติเมตร จำนวน 5 จุด คลุกเคล้าให้เข้ากัน พร้อมแยกเศษรากไม้ ใบไม้ ออกจากตัวอย่างดินแล้วบรรจุลงถุงพลาสติกประมาณ 1,000 กรัม เพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดินในตำแหน่งนั้น จากนั้นนำตัวอย่างดินดังกล่าวไปอบที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง และอบตัวอย่างซ้ำจนกระทั่งตัวอย่างดินแห้งสนิท จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 120 ไมโครเมตร เพื่อให้ตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน แล้วนำตัวอย่างดินผงบรรจุในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 10.2 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดเท่ากับภาชนะบรรจุสารมาตรฐานดิน IAEA-375 และความสูงของตัวอย่างในกระปุกเท่ากับ ความสูงของสารมาตรฐาน ปิดฝากระปุกให้สนิทโดยใช้เทปพันสายไฟพันรอบรอยต่อระหว่างฝากับตัวกระปุก วางทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสีอย่างถาวร [18]

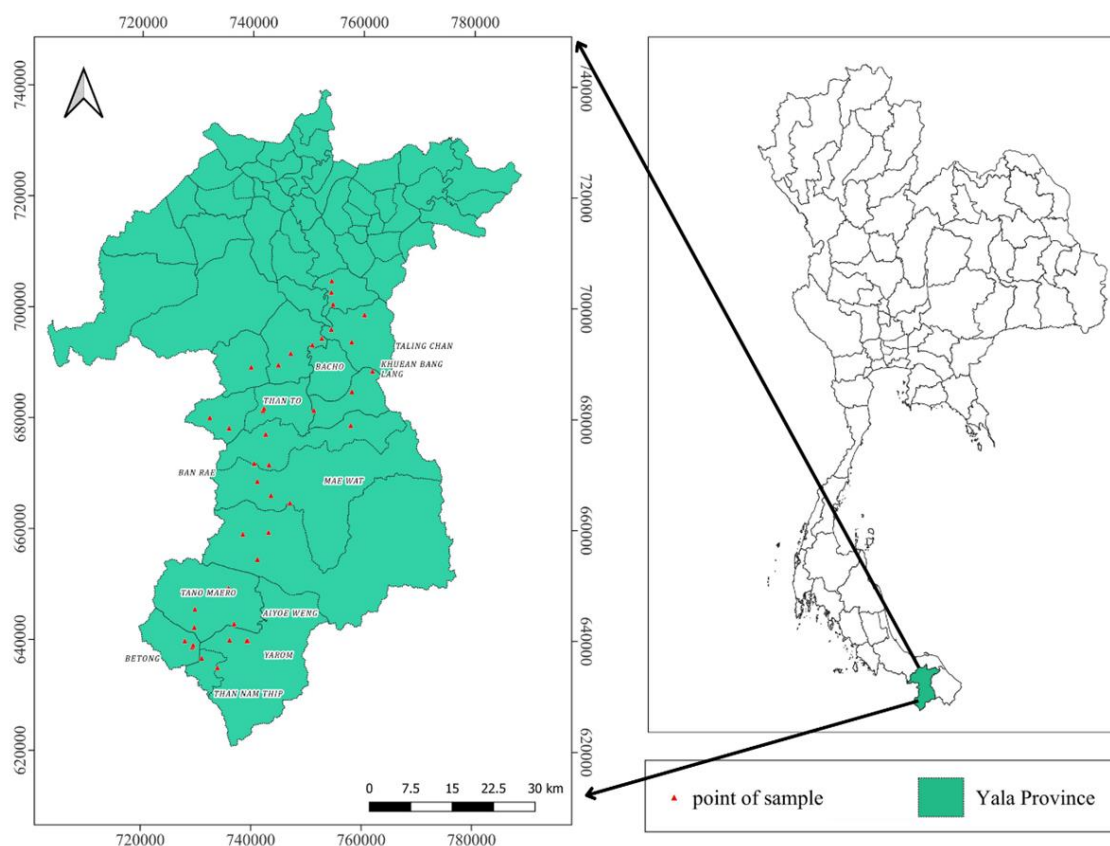


Figure 1 Map showing sampling points in Bannang Sata district, Than To district and Betong district

2.2. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ (Ra-226, Th-232, K-40) ในดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาวัดหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 ด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma-ray spectrometry) โดยใช้

หัววัดเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (High purity germanium detector) เป็นระยะเวลา 18,000 วินาที โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 และ Co-60 ในการปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือ และใช้สารมาตรฐานดิน IAEA-375 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร เพื่อใช้ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ

โดยวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ที่พลังงาน 609.31 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (Kiloelectronvolt; keV) ซึ่งเป็นพลังงานของ Bi-214 สำหรับ Th-232 วิเคราะห์ที่พลังงาน 911.21 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นพลังงานของ Ac-228 เนื่องจากสารกัมมันตรังสีดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวให้รังสีแกมมาในธรรมชาติสูง และ K-40 วิเคราะห์ที่พลังงาน 1460.75 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยบันทึกจำนวนนับได้สเปกตรัมรังสีแกมมา ประเมินผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Genie™ 2000 Basic Spectroscopy Software เพื่อหา กัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226, Th-232 และ K-40 ดังสมการ (1) [19]

$$A_x = \frac{N_s}{E_{ff} \times P_y \times M_s} \quad (1)$$

เมื่อ

A_x คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างดิน (เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม; Becquerel per kilogram)

N_s คือ อัตรานับสุทธิ (พื้นที่ใต้พีค/เวลาที่ใช้วัด)

E_{ff} คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (อัตรานับวัด/เบ็กเคอเรล)

P_y คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี (%yield)

T คือ เวลาที่นับวัด (วินาที)

M_s คือ มวลของตัวอย่างดินที่ทำการวัดรังสี (กิโลกรัม)

2.3. การวิเคราะห์ค่าดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างดิน

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง สามารถนำมาวิเคราะห์ค่าดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับความเป็นอันตรายจากการได้รับสารกัมมันตรังสีจากธรรมชาติต่อการใช้ชีวิตประจำวัน โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (UNSCEAR) ได้กำหนดเกณฑ์ไว้ดังนี้

2.3.1. ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq})

เป็นค่าดัชนีแสดงความเป็นอันตรายทางรังสี (Radiation hazard index) ชนิดหนึ่งที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแทนของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสี

(A_{Ra-226} , A_{Th-232} และ A_{K-40}) ซึ่งสามารถคำนวณให้เป็นค่าเพียงค่าเดียว และ Ra_{eq} มีค่าไม่ควรเกิน 370 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม [20], [21] คำนวณได้จากสมการ (2)

$$Ra_{eq} \text{ (Bq/kg)} = A_{Ra-226} + 1.43A_{Th-232} + 0.77A_{K-40} \quad (2)$$

เมื่อ

A_{Ra-226} , A_{Th-232} และ A_{K-40} คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างดินตามลำดับ มีหน่วยเป็นเบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม

2.3.2. ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex})

เป็นปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับอันตรายจากแหล่งกำเนิดรังสีที่อยู่ในธรรมชาติ โดยกัมมันตภาพรังสีที่ร่างกายได้รับส่วนใหญ่จะเป็นกัมมันตภาพรังสีแกมมา เพราะรังสีแกมมามีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีอื่น ๆ โดยค่า H_{ex} ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3) จะใช้ประเมินผลกระทบที่มนุษย์ได้รับรังสีเนื่องจากรังสีแกมมาภายนอก หากค่า $H_{ex} < 1$ แสดงว่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกมีค่าน้อยมากจนละทิ้งได้ ถ้า $H_{ex} = 1$ แสดงว่าร่างกายจะได้รับปริมาณรังสีดูดกลืน เท่ากับ 1.5 มิลลิเกรย์ต่อปี และถ้า $H_{ex} > 1$ แสดงว่าแสดงว่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายนอกมีค่าสูงมาก ซึ่งบ่งชี้ว่าสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ตัวเราไม่ควรนำมาใช้ในการดำเนินชีวิตหรือควรหลีกเลี่ยง [7], [20], [22]

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra-226}}{370} + \frac{A_{Th-232}}{259} + \frac{A_{K-40}}{4810} \quad (3)$$

2.3.3. อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D)

เป็นค่าความเข้มของรังสีแกมมาในอากาศที่ปล่อยออกมาจากวัสดุกัมมันตรังสี โดยวัดที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นดินตรงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง โดยค่า 0.462, 0.604 และ 0.0417 ในสมการ (4) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการแปลงค่ากัมมันตภาพจำเพาะเป็นอัตราปริมาณรังสีที่ดูดกลืนอากาศของ Ra-226, Th-232 และ K-40 ตามลำดับ [21] สำหรับค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศที่เฉลี่ยจากทั่วโลกมีค่าเท่ากับ 59 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง (nGy/h) [7]

$$D \text{ (nGy/h)} = 0.462A_{Ra-226} + 0.604A_{Th-232} + 0.0417A_{K-40} \quad (4)$$

2.3.4. ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E)

เป็นปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี สามารถคำนวณได้จากค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D) บนพื้นฐานที่ว่าบุคคลทั่วไปได้รับหรือใช้เวลาในอาคารบ้านเรือนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดใน 1 ปี ค่านี้ไม่ควรเกิน 0.48 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี (Millisievert/y) [7] ค่า E คำนวณได้จากสมการ (5)

$$E \text{ (mSv/y)} = D \times 8,760 \times 0.2 \times 0.7 \times 10^{-6} \quad (5)$$

เมื่อ

D คือ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง; nGy/h)

8,760 คือ ค่าปริมาณที่ได้รับรังสีรายปี (ชั่วโมงต่อปี)

0.2 คือ เวลาที่ประชาชนอยู่นอกอาคารบ้านเรือนใน 1 ปี

0.7 คือ ค่าปริมาณรังสียังผลที่บุคคลทั่วไปได้รับภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นซีเวิร์ตต่อเกรย์ (Sievert/Gy)

2.3.5. ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (ELCR)

การรับปริมาณสารกัมมันตรังสีจากธรรมชาติภายในอาคารหรือสถานที่อยู่อาศัยเป็นระยะเวลานาน จะเกิดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งปอดได้ในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิตโดยใช้ปัจจัยเสี่ยงของโรคมะเร็ง ($RF_{ELCR} = 0.05$ ต่อซีเวิร์ต) ที่คณะกรรมการการป้องกันรังสีระหว่างประเทศได้กำหนดไว้ (International Commission on Radiological Protection; ICRP) และปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปีตลอดช่วงอายุ (DL = 70 ปี) [23] คำนวณโดยใช้สมการ (6)

$$ELCR = DT \times DL \times RF_{ELCR} \quad (6)$$

เมื่อ

DT คือ ปริมาณรังสีสมมูลที่ได้รับต่อปี (มิลลิซีเวิร์ตต่อปี)

DL คือ ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของการมีชีวิต (70 ปี)

RF_{ELCR} คือ ปัจจัยเสี่ยงของโรคมะเร็ง (0.05 ต่อซีเวิร์ต)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ (Ra-226, Th-232, K-40) ในดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างโรงเรียน บริเวณอำเภอบ้านนั้งस्ता ธารโต และเบตง จังหวัดยะลา รวมทั้งหมด 41 ตัวอย่าง โดยนำปริมาณที่ได้มาเฉลี่ยในแต่ละอำเภอ ได้แสดงไว้ใน Table 1 และได้้นำค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226, Th-232 และ K-40 ในบริเวณดังกล่าวเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในบริเวณอื่น ๆ แสดงไว้ใน Table 2

ผลจากการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง จาก Table 1 พบว่า Ra-226 มีค่าอยู่ในช่วง 152.11- 641.21 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 261.88 ± 117.42 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม Th-232 มีค่าอยู่ในช่วง 168.58-760.76 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 307.25 ± 108.48 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม และ K-40 มีค่าอยู่ในช่วง 1147.11- 4248.69 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2388.13 ± 939.32 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม จากการเปรียบเทียบข้อมูลตาม Table 2 พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีทั้ง Ra-226 Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างดินที่ตำบลคีรีเขต อำเภอธารโต มีค่าสูงที่สุด และมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินจังหวัดชุมพร ตัวอย่างดินบริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตัวอย่างดินจากลำคลอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตัวอย่างดินในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยในประเทศไทย จากการรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าว รวมทั้งทางตอนล่างของจังหวัดยะลา มีลักษณะเป็นเทือกเขาหินแกรนิต เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณยูเรเนียมสูง ทำให้มีโอกาสเกิดแก๊สเรดอนในปริมาณที่สูงได้ เป็นต้น โดยเฉพาะบริเวณอำเภอบางเบตง อำเภอธารโต และพื้นที่บางส่วนของอำเภอบ้านนั้งस्ता อำเภอเมือง อำเภอยะหา และอำเภอกรงปินัง [16] ประกอบกับในพื้นที่ อำเภอบ้านนั้งस्ता อำเภอเมืองยะลา อำเภอรามัน อำเภอยะหา และอำเภอเบตง มีการทำเหมืองแร่

Table 1 Specific activities of natural radionuclides (Ra-226, Th-232 and K-40) in the samples collected from different sampling points

Districts	Sub-districts (n)	Specific activities (Bq/kg)		
		Ra-226	Th-232	K-40
Bannang Sata	Bannang Sata (4)	181.59±62.49	260.46±45.56	2071.37±1052.41
	Tano Pute (3)	188.47±52.76	168.58±58.62 ^b	2984.04±594.66
	Tham Thalu	253.24	176.24	2510.92
	Taling Chan (5)	241.38±85.57	190.13±83.58	2146.7±652.21
	Khuean Bang Lang (3)	246.51±191.99	281.3±130.84	2370.75±697.78
Than To	Than To (2)	200.72±59.29	223.24±26.01	2455.18±141.26
	Ban Rae (3)	229.72±142.31	327.02±84	2289.81±1919.83
	Khiri Khet (2)	641.21±152.77 ^a	760.76±106.38 ^a	4248.69±3010.13 ^a
	Mae Wat (3)	152.11±45.25 ^b	272.87±99.78	3553.18±1223.23
Betong	Betong (3)	174.09±40.83	244.35±70.50	1866.36±1045.45
	Yarom (3)	255.91±112.65	274.32±54.74	1147.11±480.06 ^b
	Tano Maero (4)	231.4±124.08	222.09±38.49	2406.89±491.39
	Aiyoeweng (3)	435.14±301.37	561.07±314.24	1795.72±692.05
	Than Nam Thip (2)	234.81±155.16	339.07±297.46	1587.12±210.72
Ranges		152.11-641.21	168.58-760.76	1147.11-4248.69
Averages		261.88±117.42	307.25±108.48	2388.13±939.32

Data are presented as mean±S.D. (No S.D. is presented in the case that only one sampling point is considered)

^a and ^b = the maximal value and minimal value of each radionuclide, respectively

Table 2 Specific activities of natural radionuclides (Ra-226, Th-232 and K-40) obtained from this study compared with those from previous reports

Reported locations	Specific activities (Bq/kg)		
	Ra-226	Th-232	K-40
Present study	261.88±117.42	307.25±108.48	2388.13±939.32
Chumporn province [24]	57.32±5.19	56.98±4.68	2135.69 ±168.87
Phangan District, Surat Thani province [25]	243.01±1.12	183.89±0.58	1894.74±1.05
Rivers and Canals at Surat Thani province [26]	42.63±26.08	6.29±2.28	125.42±38.58
Southern Thailand [27]	171.55±3.13	211.19±1.98	511.04±7.04
Thailand [28]	48	40	400
Worldwide [7]	35	30	400

ดิบๆ ส่งผลให้ดินในบริเวณนั้นมีสารกัมมันตภาพรังสีจำนวนมากส่งผลทำให้ปริมาณรังสีสูง [29] ซึ่งในบริเวณที่มีลักษณะธรณีเช่นนี้จะทำให้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างดินสูง [17] ซึ่งหากนำวัสดุดังกล่าวมาก่อสร้างบ้านเรือนเพื่อการอยู่อาศัย อาจจะทำให้ได้รับอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยได้ เนื่องจากวัสดุก่อสร้างที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดินสูง จะมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแก๊สเรดอนในอาคารบ้านเรือน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีเฉลี่ยในแต่ละตำบล มีค่าความเคลื่อนไหวสูง เนื่องจากตัวอย่างบางตำแหน่งอยู่บริเวณที่เป็นหินแกรนิต จึงทำให้ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีสูง บางตำแหน่งอยู่บริเวณดินตะกอน จึงทำให้ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีต่ำ ซึ่งตำแหน่งที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสีสูง จึงควรศึกษาถึงผลกระทบของสารกัมมันตรังสีต่อประชาชนที่อาศัยบริเวณดังกล่าว ต่อไปในอนาคต

3.2. การวิเคราะห์ค่าดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างดิน

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{eq}) อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D) ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (ELCR) จากตัวอย่างดินที่เก็บบริเวณตอนล่างของจังหวัดยะลา มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 885.13 ± 278.36 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม, 2.39 ± 0.75 , 406.15 ± 125.66 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง, 0.5 ± 0.15 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี และ $1.78 \pm 0.54 \times 10^{-3}$ ตามลำดับ ดังที่ได้แสดงใน Table 3 โดยค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดชุมพร ค่าเฉลี่ยในดินบริเวณเทือกเขาหินแกรนิตอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยในตะกอนดินจากแม่น้ำ และลำคลองจังหวัดสุราษฎร์ธานี และค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปริมาณ (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR, 2000)

เมื่อพิจารณาค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ในพื้นที่ที่ศึกษาที่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกนั้น เชื่อมโยงมาจากตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะสูง และเป็นตัวอย่างดินที่เกิดมาจากการผุพังของหินอัคนีซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

[1] นอกจากนั้นหากพื้นที่นั้นมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่ประกอบด้วยหิน ก็จะพบปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 และ Th-232 สูงได้ [30], [31] โดยเฉพาะหินแกรนิต

ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{eq}) มีค่าตั้งแต่ 1.8 ถึง 5.55 โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.39 ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ (>1) โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปริมาณ ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ เนื่องจากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกายที่สูง [32]

อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D) พบว่ามีค่าสูงกว่าขีดจำกัดที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปริมาณได้กำหนดไว้ที่ 59 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง [7]

ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.5 ± 0.15 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี ซึ่งสูงกว่าขีดจำกัดที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปริมาณได้กำหนดไว้ [7] เช่นเดียวกัน ซึ่งการได้รับสารกัมมันตรังสีในปริมาณมากเป็นเวลานาน ส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ เช่น การพัฒนาของมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ การเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ และ DNA หรือ RNA [27]

จากการคำนวณหาความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (ELCR) พบว่าสูงกว่าขีดจำกัดที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปริมาณได้กำหนดไว้ที่ 0.29×10^{-3} [7] มีความเป็นไปได้สูงที่ประชาชนผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งเนื่องจากกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างดิน อยู่ในระดับสูง และหากร่างกายได้รับรังสีที่ระดับสูงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพทางรังสีแก่ประชากรที่ได้รับรังสีได้ [22]

4. บทสรุป

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของสารกัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 ในตัวอย่างดินที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างบริเวณตอนล่างของจังหวัดยะลา รวมทั้งหมด 41 ตำแหน่ง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 261.88 ± 117.42 , 307.25 ± 108.48 และ 2388.13 ± 939.32 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 885.13 ± 278.3

Table 3 Radium equivalent activity (Ra_{eq}), absorbed dose rate in air (D), external hazard index (H_{ex}), annual effective dose rate (E) and excess life time cancer risk (ELCR) obtained from this study compared with those from previous reports

Districts	Sub-districts (n)	Ra_{eq}	D	H_{ex}	E	ELCR ($\times 10^{-3}$)
Bannang Sata	Bannang Sata (4)	713.55±70.87	327.59±40.4	1.93±0.19	0.4±0.05	1.41±0.17
	Tano Pute (3)	659.31±151.10	313.33±70.5	1.78±0.41	0.38±0.09	1.34±0.30
	Tham Thalu	698.60	328.15	1.89	0.40	1.41
	Taling Chan (5)	678.57±171.56	315.88±77.17	1.83±0.46	0.39±0.09	1.36±0.33
	Khuean Bang Lang (3)	831.32±415.88	382.66±187.86	2.25±1.12	0.47±0.23	1.64±0.81
Than To	Than To (2)	709±85.6	329.95±37.21	1.91±0.23	0.4±0.05	1.42±0.16
	Ban Rae (3)	873.68±276.61	399.14±129.46	2.36±0.75	0.49±0.16	1.71±0.56
	Khiri Khet (2)	2056.25±536.67	932.91±260.35	5.55±1.45	1.14±0.32	4.00±1.12
	Mae Wat (3)	815.91±99.14	383.26±34.91	2.2±0.27	0.47±0.04	1.65±0.15
Betong	Betong (3)	667.22±218.5	305.84±103.22	1.8±0.59	0.38±0.13	1.31±0.44
	Yarom (3)	736.51±172.47	331.75±75.45	1.99±0.47	0.41±0.09	1.42±0.32
	Tano Maero (4)	734.32±151.68	341.42±70.5	1.98±0.41	0.42±0.09	1.47±0.30
	Aiyoeweng (3)	1375.74±704.24	614.8±303.96	3.72±1.9	0.75±0.37	3.14±1.38
	Than Nam Thip (2)	841.89±564.3	379.46±242.56	2.27±1.52	0.47±0.3	1.63±1.04
Average		885.13±278.36	406.15±125.66	2.39±0.75	0.5±0.15	1.78±0.54
Data from previous studies						
Chumporn Province [24]		303.91	150.63	0.82	0.18	-
Phangan District, Surat Thani province [25]		651.88±2.04	302.11±0.91	2.42±0.01	0.37±0.00	-
Rivers and Canals at Surat Thani Province [26]		61.29±28.75	28.69±13.34	0.166±0.078	0.04±0.01	-
Thailand [28]		512.90±6.50	231.81±2.97	1.39±0.02	0.28±0.02	-
Worldwide [7]		370	57	1	0.48	0.29

เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.39 ± 0.75 อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ (D) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 406.15 ± 125.66 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.5 ± 0.15 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (ELCR) ในพื้นที่ที่ศึกษามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ $1.78 \pm 0.54 \times 10^{-3}$ โดยค่าดัชนีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีทุกค่ามีค่าสูงกว่าขีดจำกัดที่แนะนำโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (UNSCEAR, 2000) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากนำดินบริเวณที่ศึกษามาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างเพื่อสร้างที่อยู่อาศัย อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง จากการได้รับปริมาณรังสีในระดับสูงเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นประชาชนที่อยู่บริเวณพื้นที่ศึกษาควรมีการเปิดบ้านเรือนให้อากาศถ่ายเทสม่ำเสมอเพื่อลดการสะสมของแก๊สเรดอนในที่อยู่อาศัย นอกจากนี้พื้นที่บริเวณตอนล่างของจังหวัดยะลา ควรมีการประเมินปริมาณสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในดินก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เพื่อความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัยในบ้านเรือน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมประจำปี 2565 และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2564

6. References

[1] Belyaeva, O. and et al. 2021. Yerevan soil radioactivity: Radiological and geochemical assessment. **Chemosphere**. 265: 129173.

[2] Bezuidenhout, J. 2015. In situ gamma ray measurements of radionuclides at a disused phosphate mine on the West Coast of South Africa. **Journal of Environmental Radioactivity**. 150: 1-8.

[3] Yang, J. and Sun, Y. 2022. Natural radioactivity and dose assessment in surface soil from Guangdong, a high background radiation province

in China. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 15(1): 145-151.

- [4] Gopalakrishnan, P. and Jeyanthi, J. 2022. Importance of radon assessment in indoor Environment - A review. **Materials Today: Proceedings**. 56: 1495-1500.
- [5] Abbasi, A. 2017. Levels of radon and granite building materials. In: Adrovic, F. (ed.) **Radon**. London: IntechOpen.
- [6] Vandenhove, H., Vives i Batlle, J. and Sweeck, L. 2015. Potential radiological impact of the phosphate industry on wildlife. **Journal of Environmental Radioactivity**. 141: 14-23.
- [7] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). 2018. **Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation**. New York: United Nations.
- [8] Chauhan, V. and et al. 2012. Effects of alpha particle radiation on gene expression in human pulmonary epithelial cells. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. 215(5): 522-535.
- [9] Kaur, I. and et al. 2019. Assessment of radon and potentially toxic metals in agricultural soils of Punjab, India. **Microchemical Journal**. 146: 444-454.
- [10] Liu, G. and et al. 2022. Study of the occupational health risk of radon exposure in underground workers in a mine. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 15(3): 1-4.
- [11] Quarto, M. and et al. 2015. Radon exposure assessment and relative effective dose estimation to inhabitants of Puglia region, South Italy. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 12(11): 14948-14957.
- [12] Fuente, M. and et al. 2020. Review of recent radon research in Ireland, OPTI-SDS project and its impact on the National Radon Control Strategy. **Applied Radiation and Isotopes**. 163: 109210.

- [13] Shoeib, M.Y. and Thabayneh, K.M. 2014. Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation rate in various samples of Egyptian building materials. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 7(2): 174-181.
- [14] Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environment. 2016. **Classification of Zones for Management of Geology and Mineral Resources in Yala Province**. Bangkok: Amarin Printing and Publishing Public Company Limited. (in Thai)
- [15] Kaewtubtim, P. 2003. **Uranium Contents Analysis at Yala Province with the Gamma Spectrometer**. Research report, Faculty of Science and Technology. Prince of Songkla University. (in Thai)
- [16] Raghu, Y. and et al. 2017. Assessment of natural radioactivity and radiological hazards in building materials used in the Tiruvannamalai District, Tamilnadu, India, using a statistical approach. **Journal of Taibah University for Science**. 11(4): 523-533.
- [17] Soniya, S.R. and et al. 2021. Investigation of diffusive transport of radon through bricks. **Radiation Physics and Chemistry**. 178: 108955.
- [18] Taskin, H. and et al. 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. **Journal of Environmental Radioactivity**. 100(1): 49-53.
- [19] Bangou, C., Otoo, F. and Dark, E.O. 2021. Performance testing and comparative study of natural radioactivity in soil samples using high purity germanium (HPGe) detector. **MethodsX**. 8: 101397.
- [20] Agbalagba, E.O. and Onoja, R.A. 2011. Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria. **Journal of Environmental Radioactivity**. 102(7): 667-671.
- [21] Junior, J.A.D.S. and et al. 2021. Measurement of natural radioactivity and radium equivalent activity for pottery making clay samples in Paraíba and Rio Grande do Norte - Brazil. **Environmental Advances**. 6: 100121.
- [22] Lolila, F. and Mazunga, M.S. 2023. Measurements of natural radioactivity and evaluation of radiation hazard indices in soils around the Manyoni uranium deposit in Tanzania. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 16(1): 100524.
- [23] Nduka, J.K. and et al. 2022. Health risk assessment of radiation dose of background radionuclides in quarry soil and uptake by plants in Ezillo-Ishiagu in Ebonyi South-Eastern Nigeria. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**. 6: 100269.
- [24] Chuaymanee, S., Jhelee, M. and Kessaratikoon, P. 2010. Assessment of natural radioactivity in surface soil in Chumporn province, Thailand. In: **Proceedings of the 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Engineering, Science Technology and Environment**, 6-7 December 2012. Nakhon Pathom, Thailand. (in Thai)
- [25] Phansuke, P., Boodeepong, S. and Lakkiang, M. 2021. Estimation of radionuclide (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in soil granite rock mountains Phangan district, Surat Thani province. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports**. 24(1): 14-22. (in Thai)
- [26] Kaewtubtim, P. and et al. 2021. Quantitative analysis of Ra-226, K-40 and Th-232 in sediment from rivers and canals at Surat Thani province. **Burapha Science Journal**. 26(3): 1762-1776. (in Thai)
- [27] Office of Atoms for Peace. 2002. **Annual Report in Southern Region of Thailand**. Bangkok: Office of Atoms for Peace. (in Thai)

- [28] Office of Atoms for Peace. 2002. **Annual Report in Thailand**. Bangkok: Office of Atoms for Peace. (*in Thai*)
- [29] Abba, H.T., Hassan, W.M. and Saleh, M.A. 2018. Evaluation of environmental natural radioactivity levels in soils and ground water of Baarkin Ladi, Plateau state Nigeria. **Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences**. 14(3): 338-342.
- [30] Hazou, E. and et al. 2022. Radiological assessment and statistical approaches of natural radionuclides in soil samples related to phosphate ore activities in the site of Dagbati, southern region of Togo. **Water Air and Soil Pollution**. 233: 237.
- [31] Shi, C. and et al. 2021. Natural radioactivity evaluation of local soil used as building materials in Xinchang section of Beishan pre-selected area, Northwest China. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. 728: 012007.
- [32] Gawad, A.E.A. and et al. 2023. Assessment of radioactivity levels and radiation hazards in building materials in Egypt. **Nuclear Engineering and Technology**. 56(2): 707-714.