



## วิเคราะห์ปริมาณ Ra-226, K-40 และ Th-232 ในตะกอนดิน จากแม่น้ำ และลำคลอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

### Quantitative Analysis of Ra-226, K-40 and Th-232 in Sediment from Rivers and Canals at Surat Thani Province

พวงทิพย์ แก้วทับทิม<sup>\*</sup>, ปิยะ ผ่านศึก, มุบารัค เล็กเกลี้ยง และ สถาพร เรืองรุ่ง

Pungtip Kaewtubtim<sup>\*</sup>, Piya Phansuke, Mubarak Lakkiang and Sathaphorn Ruengrung

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus

Received : 26 January 2021

Revised : 31 March 2021

Accepted : 19 April 2021

#### บทคัดย่อ

ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Ra-226, K-40 และ Th-232 ในตะกอนดินจากแม่น้ำ และลำคลอง บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 96 ตัวอย่าง ด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง โดยใช้สารมาตรฐาน IAEA-Soil-6 ในการเปรียบเทียบ พบว่า ตะกอนดินจากแม่น้ำ และลำคลอง บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณ Ra-226, K-40 และ Th-232 เฉลี่ย  $42.63 \pm 26.08$ ,  $125.42 \pm 38.58$  และ  $6.29 \pm 2.29$  Bq/kg ตามลำดับ ความเข้มข้นของ Ra-226 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลก แต่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในประเทศไทย สำหรับ K-40 และ Th-232 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทย และค่าเฉลี่ยของโลก นอกจากนี้พบว่ามีค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) มีค่าเฉลี่ย  $61.29 \pm 28.75$  Bq/kg ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) มีค่าเฉลี่ย  $0.28 \pm 0.14$  ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) มีค่าเฉลี่ย  $0.17 \pm 0.09$  ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) มีค่าเฉลี่ย  $28.69 \pm 13.34$  nGy/h และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) มีค่าเฉลี่ย  $0.04 \pm 0.01$  mSv/y ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณูกำหนด (UNSCEAR, 2000)

**คำสำคัญ :** ตะกอนดิน ; จังหวัดสุราษฎร์ธานี ; หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง



### Abstract

Concentrations of Ra-226, K-40, and Th-232 in 96 sediment samples from rivers and canals at Surat Thani Province were analyzed. The analyses were performed by using a gamma spectrometry with a high purity germanium (HPGe) detector and IAEA-Soil-6 for calibration. The results showed that the average radioactive concentrations of Ra-226, K-40 and Th-232 in sediment from rivers and canals at Surat Thani Province were  $42.63 \pm 26.08$ ,  $125.42 \pm 38.58$  and  $6.29 \pm 2.29$  Bq/kg, respectively. The concentrations of Ra-226 and Th-232 were higher than the world wide but lower than the Thailand average. In addition, the radium equivalent radioactivity ( $Ra_{eq}$ ) were  $61.29 \pm 28.75$  Bq / kg, the internal hazard index ( $H_{in}$ ) were  $0.28 \pm 0.14$ , the external hazard index ( $H_{ex}$ ) were  $0.17 \pm 0.09$ , the gamma-absorbed dose rate (D) were  $28.69 \pm 13.34$  nGy/h and the annual external effective dose rate (E) were  $0.04 \pm 0.01$  mSv/ y, respectively. Which is lower than of the United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2000).

**Keywords** : sediment ; Surat Thani Province ; high-purity germanium detectors (HPGe)

\*Corresponding author. E-mail : kaewtubtim.p@gmail.com



## บทนำ

สารกัมมันตรังสีเป็นสารอันตรายสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการหายใจ การกิน การดื่ม และการสัมผัส มนุษย์ได้รับสารกัมมันตรังสีทุกวันโดยไม่รู้ตัว (Office of Atoms for Peace, 2002) มนุษย์ได้รับสารกัมมันตรังสีทั้งทางตรง และจากห่วงโซ่อาหาร เช่น การสะสมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในพืชที่ดูดมาจากดิน น้ำ และตะกอนดิน ซึ่งตะกอนดินที่อยู่ลึกลงไปใต้ดินจะได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสีจากรังสีในธรรมชาติที่แผ่ออกมาจากธาตุในดิน โดยไอโซโทปรังสีที่มีกำเนิดมาพร้อมโลก ได้แก่ ยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม มีค่าครึ่งชีวิตยาวส่งผลให้ปรากฏอยู่บนโลกจนถึงปัจจุบัน (Intan, *et al.*, 2020)

การได้รับสารกัมมันตรังสีในปริมาณมาก ๆ หรือได้รับในเวลานาน ๆ อาจจะทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ โดยเฉพาะมะเร็งปอด สาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งคือการหายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าสู่ร่างกาย ก๊าซเรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสี ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ซึ่งได้มาจากการสลายตัวในอนุกรมของยูเรเนียม แล้วจะสลายตัวให้รังสีแอลฟา เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดการระคายเคืองเกิดความผิดปกติและอาจกลายเป็นมะเร็งได้ (Nualchavee, 2002) นอกจากนี้การได้รับสารกัมมันตรังสีปริมาณมาก มีผลต่อการตายของเซลล์ อวัยวะไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ เช่น กรณีได้รับรังสีทั่วร่างกาย ปริมาณรังสี 3-5 Gy ไชกระดูกไม่สร้างเม็ดเลือด และเสียชีวิต 30-60 วัน ปริมาณรังสี 5-15Gy มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และเสียชีวิต 10-20 วัน ปริมาณรังสีมากกว่า 15 Gy มีผลต่อระบบประสาท และเสียชีวิต 1-5 วัน และกรณีได้รับรังสีเพียงบางส่วน ปริมาณรังสี 500 mSv ส่งผลต่อบริเวณอวัยวะที่ไวต่อรังสี ไชกระดูก และระบบเลือด ปริมาณรังสี 2000-5000 mSv ส่งผลต่อบริเวณต่อกระจก ปริมาณรังสี > 100 mSv ส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลางในทารกในครรภ์ 8-15 สัปดาห์ ทำให้เกิดอาการปัญญาอ่อน หรือเป็นมะเร็งตั้งแต่วัยเด็ก และประมาณรังสีเกิน 2 mSv หญิงมีครรภ์ไม่ควรได้รับ นอกจากนี้ยังมีการได้รับรังสีแบบสัมผัส ที่ได้รับในปริมาณน้อยก็อาจทำให้เซลล์แบ่งตัวผิดปกติ หรือทำให้เซลล์ตายได้ และอาจทำให้เกิดมะเร็งได้ในที่สุด (Daoh, 2015) การตรวจวัดปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งและสามารถใช้เกณฑ์ของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (UNSCEAR) ที่ได้กำหนดค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $R_{eq}$ ) เท่ากับ 370 Bq/kg ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) เท่ากับ 1 ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) เท่ากับ 1 ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) เท่ากับ 55 nGy/h และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) เท่ากับ 0.48 mSv/y ในการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากธรรมชาติ (UNSCEAR, 2000)

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีลักษณะโครงสร้างทางธรณี และลักษณะของหิน ที่เป็นปัจจัยสำคัญเสี่ยงต่อการเป็นแหล่งสารกัมมันตรังสี คือมีการแทรกตัวของหินหลอมเหลวขึ้นมาที่ผิวโลกปรากฏเป็นหินแกรนิต 3 แนว ได้แก่ เทือกเขาภูเก็ท เทือกเขานครศรีธรรมราช และเทือกเขาสันกาลาศีรี (Jeasai *et al.*, 2009) ซึ่งสารกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมจะมีอยู่ในหินเกือบทุกชนิด และจะมีค่าสูงในหินแกรนิต เมื่อมีการแปรสภาพทางธรณีวิทยาหรือการสลายตัวของหิน ทำให้แร่ธาตุมีการผสมคลุกเคล้ากับดินเมื่อฝนตกจะชะล้างดินที่มีรังสีสูง ลงสู่ม่าน้ำลำคลองกลายเป็นดินตะกอน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, Th-232 และ K-40 เฉลี่ยในตัวอย่างดิน บริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ  $227.37 \pm 1.07$ ,  $249.41 \pm 0.61$  และ  $1804.71 \pm 0.98$  Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของ



จังหวัดชุมพร ค่าเฉลี่ยของประเทศไทย และค่าเฉลี่ยของทั่วโลก (Lakkhang *et al.*, 2019) นอกจากนี้มีรายงานว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีแหล่งน้ำพุร้อนบางแห่งที่มีการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีเป็นจำนวนมาก (Jeasai *et al.*, 2009) ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าจึงมีความสนใจวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของ Ra-226, K-40 และ Th-232 ที่มีการสะสมอยู่ในตัวอย่างตะกอนดินจากแม่น้ำลำคลอง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงในการได้รับรังสีจากธรรมชาติ

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเก็บ และเตรียมตัวอย่าง

ศึกษาภูมิประเทศของอำเภอต่าง ๆ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างตะกอนดินจาก แม่น้ำลำคลอง ทุกอำเภอในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบผิวหน้าดินตะกอน (Ekman Dredge Grab) ความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตร รวมทั้งหมด 96 ตำแหน่ง บันทึกจุดเก็บตัวอย่างที่แน่นอนด้วยเครื่องบอกพิกัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning System, GPS) ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 นำตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้เป็นผง จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 120 ไมโครเมตร และบรรจุในภาชนะพลาสติกที่มีขนาดเท่ากับสารมาตรฐาน แล้ววางทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสี (Srisuksawad *et al.*, 1997)

### 2. การตรวจวัด และวิเคราะห์

แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาในธรรมชาติจะพบมากในหินแกรนิต ในดิน และตะกอนดินที่ถูกพัดพามาตามแม่น้ำลำคลอง ดินตะกอนที่มีปริมาณรังสีสูงอาจจะส่งผลให้น้ำบริเวณดังกล่าวมีการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีด้วย เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นรังสีที่มีอันตรายสูงเมื่อเทียบกับ รังสีแอลฟา หรือบีตา จึงทำการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีแกมมาของ Ra-226, K-40 และ Th-232 ด้วยระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัด HPGe โดยทำการวัดตัวอย่างตะกอนดินเป็นเวลา 18000 วินาที และวัดรังสีภูมิหลัง (background radiation) ซึ่งใช้ระบบเช่นเดียวกับตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าพื้นที่ใต้พีคสุทธิ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างตะกอนดิน ทำการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานดิน (IAEA Soil6) จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ บางเขน กทม. และใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 และ Co-60 ในการปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือ โดยใช้สเปกตรัมรังสีแกมมาของธาตุ Ra-226 ที่พลังงาน 609.31 keV รังสีแกมมาของธาตุ Th-232 ที่พลังงาน 2614.47 keV และสเปกตรัมรังสีแกมมาของธาตุ K-40 ที่พลังงาน 1460.75 keV เนื่องจากนิวไคลด์ดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวให้รังสีแกมมาในธรรมชาติสูง

วิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (International Atomic Energy Agency, 1989) ดังสมการที่ (1)

$$C_r = A / (E \times T \times P \times W) \quad (1)$$



เมื่อ  $C_r$  คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างตะกอนดิน (Bq/kg)  $A$  คือ อัตรานับสุทธิ (Peak Area/Counting Time)  $E$  คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (cps/Bq)  $T$  คือ เวลาที่นับวัด (s)  $P$  คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี (%yield) และ  $W$  คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวัดรังสี (kg)

จากนั้นวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) หน่วย Bq / kg ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน ( $D$ ) หน่วย nGy/h และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี ( $E$ ) หน่วย mSv/y (Tufail *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2012) ดังสมการ (2) – (6)

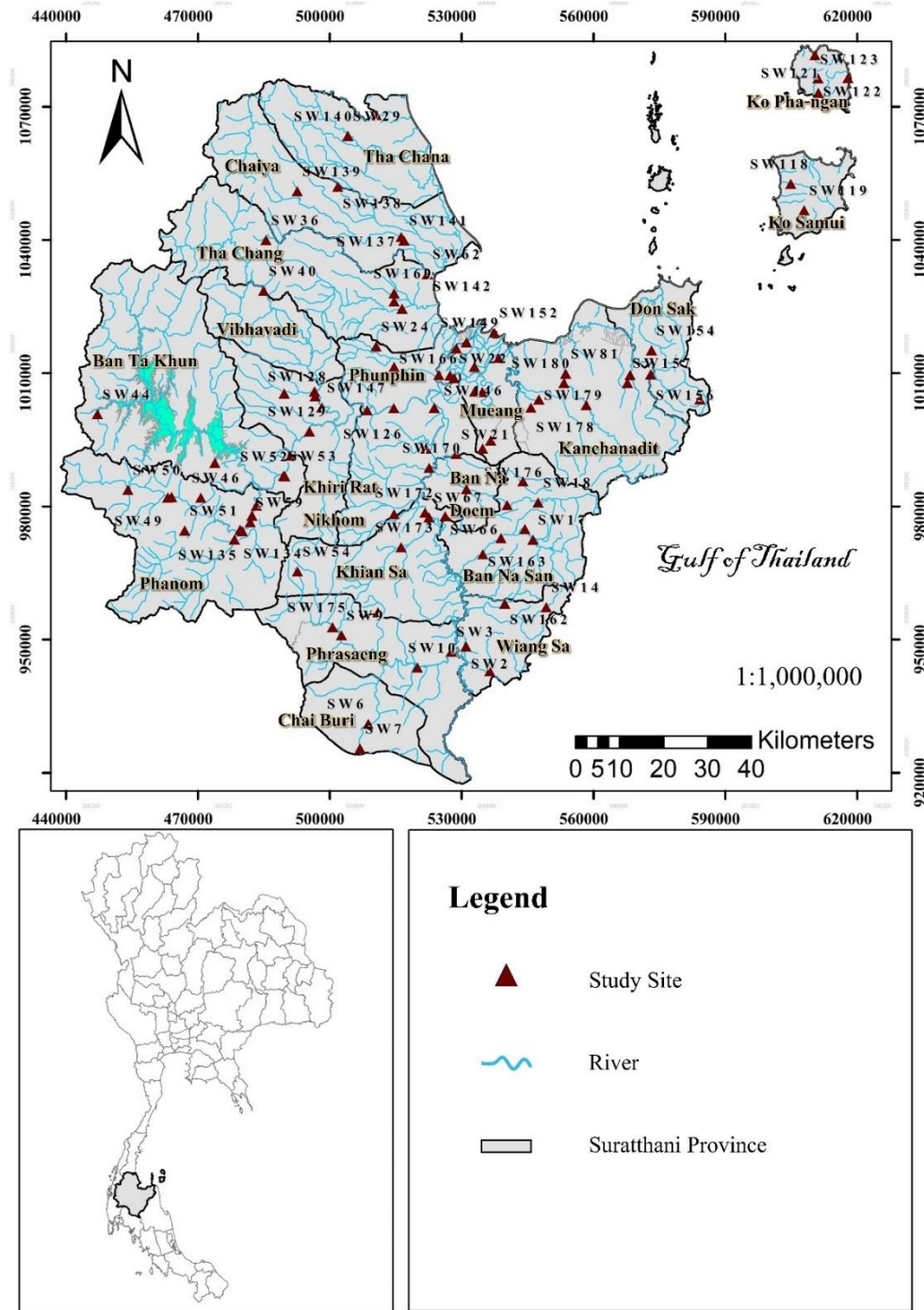
$$Ra_{eq} \text{ (Bq/kg)} = C_{Ra-226} + 1.43C_{Th-232} + 0.077C_{K-40} \quad (2)$$

$$H_{in} = (C_{Ra-226} / 185) + (C_{Th-232} / 259) + (C_{K-40} / 4810) \quad (3)$$

$$H_{ex} = (C_{Ra-226} / 370) + (C_{Th-232} / 259) + (C_{K-40} / 4810) \quad (4)$$

$$D \text{ (nGy/hr)} = (0.461C_{Ra-226} + 0.604C_{Th-232} + 0.0417C_{K-40}) \quad (5)$$

$$E \text{ (mSv/y)} = D \text{ (nGy/hr)} \times 8760 \text{ (hr)} \times 0.2 \times 0.7 \text{ (Sv/Gy)} \times 10^{-6} \quad (6)$$



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี



## ผลการวิจัย

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ในตะกอนดินจาก แม่น้ำ ลำคลอง ทุกอำเภอในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี รวมทั้งหมด 96 ตัวอย่าง แล้วนำปริมาณที่ได้มาเฉลี่ยของแต่ละอำเภอดังได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ในตัวอย่างตะกอนดิน จากแม่น้ำ ลำคลอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Samples	specific activities (Bq/kg)		
	Ra-226	K-40	Th-232
1. อำเภอท่าชนะ (n=2)	9.56±3.09	155.34±63.18	4.28±1.62
2. อำเภอไชยา (n=4)	11.30±3.73	105.08±45.70	3.46±0.85
3. อำเภอท่าฉาง (n=5)	9.48±1.74	58.00±15.51	2.64±0.36
4. อำเภอวิภาวดี (n=1)	80.00	579.59 <sup>a</sup>	28.05 <sup>a</sup>
5. อำเภอพุนพิน (n=12)	35.47±20.04	34.19±11.66	3.05±0.73
6. อำเภอเมือง (n=10)	7.26±1.08	8.15±5.65	2.58±0.46
7. อำเภอกาญจนดิษฐ์ (n=8)	16.11±6.38	68.00±14.16	3.80±0.48
8. อำเภอดอนสัก (n=3)	3.87±0.66 <sup>b</sup>	11.75±11.62	1.84±0.82
9. อำเภอบ้านนาเดิม (n=1)	25.35	187.88	3.83
10. อำเภอเคียนซา (n=7)	276.83±176.03 <sup>a</sup>	14.89±10.40	4.00±1.37
11. อำเภอบ้านนาสาร (n=7)	184.95±174.81	208.93±43.47	18.32±13.00
12. อำเภอเวียงสระ (n=4)	19.05±5.88	91.91±47.54	3.07±0.94
13. อำเภอพระแสง (n=4)	4.84±1.54	9.40±8.35	1.84±0.59
14. อำเภอชัยบุรี (n=2)	4.23±0.38	ND <sup>b</sup>	0.66±0.63 <sup>b</sup>
15. อำเภอพนม (n=12)	10.51±4.03	64.07±11.35	4.04±0.40
16. อำเภอบ้านตาขุน (n=4)	11.87±5.11	140.41±106.54	3.37±1.96
17. อำเภอคีรีรัฐนิคม (n=4)	30.08±16.03	125.66±37.78	10.90±5.28
18. อำเภอเกาะพะงัน (n=4)	38.15±18.85	290.54±128.12	9.17±4.42
19. อำเภอเกาะสมุย (n=2)	31.12±3.92	229.20±56.30	9.70±4.84
Range	3.87 - 276.83	ND - 579.59	0.66 - 28.05
Average	42.63 ± 26.08	125.42 ± 38.58	6.29 ± 2.28
Pattani Bay of Pattani Province (Kaewtubtim <i>et al.</i> , 2018)	4.6 ± 1.1	172.9 ± 26.8	56.8 ± 25.9



**ตารางที่ 1** (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ในตัวอย่างตะกอนดินจากแม่น้ำ ลำคลอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Samples	specific activities (Bq/kg)		
	Ra-226	K-40	Th-232
Chumporn Province (Chuaymanee <i>et al.</i> , 2012)	57.32 ± 5.19	2135.69 ± 168.87	56.98 ± 4.68
Andaman sea (Kessaratikoon <i>et al.</i> , 2015)	157.10 ± 8.06	2859.63 ± 209.83	137.16 ± 7.26
Southern Thailand data (Office of Atoms for Peace, 2002)	171.55 ± 3.13	511.04 ± 7.04	211.19 ± 1.98
Thailand data OAP (Office of Atoms for Peace, 2002)	48	400	40
Worldwide mean (UNSCEAR, 2000)	35	400	30

หมายเหตุ : a หมายถึง ค่ามากที่สุด, b หมายถึง ค่าน้อยสุด

ND หมายถึง เครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดได้

n หมายถึง จำนวนตัวอย่าง

Average ± S.D. (กรณีไม่มีค่า ± S.D. เนื่องจากอำเภอบ้านนาเดิมทำการตรวจวัดเพียงตัวอย่างเดียว)

จากตารางที่ 1 แสดงค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 เฉลี่ยในตัวอย่างตะกอนดินจากแม่น้ำ ลำคลอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $42.63 \pm 26.08$ ,  $125.42 \pm 38.58$  และ  $6.29 \pm 2.29$  Bq/kg ตามลำดับ พบว่าค่าปริมาณ Ra-226 มีค่าสูงสุดที่อำเภอเคียนซา รองลงมาที่อำเภอบ้านนาสาร

**ตารางที่ 2** ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกในร่างกายประจำปี (E) จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น

Sample	$Ra_{eq}$ (Bq/kg)	$H_{in}$	$H_{ex}$	D (nGy/h)	E (mSv/y)
1. อำเภอท่าชนะ	27.65±10.27	0.10±0.04	0.08±0.03	13.47±5.04	0.02±0.01
2. อำเภอไชยา	24.34±8.46	0.10±0.03	0.07±0.02	11.68±4.14	0.01±0.01
3. อำเภอท่าฉาง	17.71±3.44	0.07±0.01	0.05±0.01	8.38±1.66	0.01±0.00
4. อำเภอวิภาวดี	164.740	0.66	0.45	77.99	0.10
5. อำเภอพุนพิน	42.47±21.98	0.21±0.11	0.12±0.06	19.62±10.16	0.02±0.01





**ตารางที่ 2** (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกลมมาดุกกลีน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น

Sample	$Ra_{eq}$ (Bq/kg)	$H_{in}$	$H_{ex}$	D (nGy/h)	E (mSv/y)
6. อำเภอเมือง	11.57±2.17	0.05±0.01	0.03±0.01	5.24±1.01	0.01±0.00
7. อำเภอกาญจนดิษฐ์	26.79±8.15	0.12±0.04	0.07±0.02	12.56±3.82	0.02±0.01
8. อำเภอดอนสัก	7.40±2.72	0.03±0.01	0.02±0.00	3.38±1.28	0.01±0.00
9. อำเภอบ้านนาเดิม	45.29	0.19	0.12	21.83	0.03
10. อำเภอเคียนซา	285.12±178.79 <sup>a</sup>	1.52±0.96 <sup>a</sup>	0.77±0.48 <sup>a</sup>	131.26±82.41 <sup>a</sup>	0.16±0.10 <sup>a</sup>
11. อำเภอบ้านนาสาร	227.23±196.75	1.11±1.00	0.61±0.53	105.04±90.25	0.13±0.11
12. อำเภอเวียงสระ	30.52±10.88	0.13±0.05	0.08±0.03	14.47±5.26	0.02±0.01
13. อำเภอพระแสง	8.19±3.02	0.04±0.01	0.02±0.01	3.73±1.41	0.01±0.00
14. อำเภอชัยบุรี	5.18±1.27 <sup>b</sup>	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.01±0.00 <sup>b</sup>	2.35±0.55 <sup>b</sup>	0.01±0.00 <sup>b</sup>
15. อำเภอพนม	21.22±5.47	0.09±0.03	0.06±0.02	9.96±2.57	0.01±0.00
16. อำเภอบ้านตาขุน	27.50±16.12	0.11±0.06	0.07±0.04	13.36±7.98	0.02±0.01
17. อำเภอคีรีรัฐนิคม	55.32±26.49	0.23±0.12	0.15±0.07	25.68±12.16	0.03±0.01
18. อำเภอเกาะพะงัน	73.63±35.04	0.30±0.15	0.20±0.09	35.24±16.70	0.04±0.02
19. อำเภอเกาะสมุย	62.63±15.17	0.25±0.05	0.17±0.04	29.76±7.07	0.04±0.01
Average value	61.29±28.75	0.28±0.14	0.166±0.078	28.69±13.34	0.04±0.01
Pattani Bay of Pattani Province (Chuaymanee <i>et al.</i> , 2012)	143.65 ± 3.29	0.40 ± 0.01	0.39 ± 0.01	62.34 ± 1.42	0.08 ± 0.00
Phang-Nga province (Kessaratikoon <i>et al.</i> , 2015)	616.14 ± 37.13	-	1.66 ± 0.10	295.24 ± 18.16	0.36 ± 0.02
Phuket province (Kessaratikoon <i>et al.</i> , 2015)	922.99 ± 47.37	-	2.49 ± 0.13	446.92 ± 23.19	0.55 ± 0.03
Songkhla province (Kessaratikoon <i>et al.</i> , 2017)	455.25 ± 31.13	-	1.23 ± 0.08	229.03 ± 15.49	0.28 ± 0.02

**ตารางที่ 2** (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น

Sample	$Ra_{eq}$ (Bq/kg)	$H_{in}$	$H_{ex}$	D (nGy/h)	E (mSv/y)
Thailand data OAP (Office of Atoms for Peace, 2002)	512.90 ± 6.50	-	1.39 ± 0.02	231.81 ± 2.97	0.28 ± 0.02
UNSCEAR (2000) [14]	370	1	1	55	0.48

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีระบุในงาน

Average ± S.D. (กรณีไม่มีค่า ± S.D. เนื่องจากอำเภอบ้านนาเดิมทำการตรวจวัดเพียงตัวอย่างเดียว)

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.29±28.75 Bq/kg, 0.28±0.14, 0.17±0.08, 28.69±13.34 nGy/h และ 0.04±0.02 mSv/y ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณูกำหนด (UNSCEAR, 2000) กำหนด ค่าเฉลี่ยตะกอนดินในอ่าวปัตตานี (Kaewtubtim *et al.*, 2017), ค่าเฉลี่ยดินจากจังหวัดพังงา (Kessaratikoon *et al.*, 2015), ค่าเฉลี่ยดินจากจังหวัดภูเก็ต (Kessaratikoon *et al.*, 2015) ค่าเฉลี่ยดินของจังหวัดสงขลา (Kessaratikoon *et al.*, 2015) ค่าเฉลี่ยดินของภาคใต้ (Office of Atoms for Peace, 2002) แต่พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ในบางอำเภอ ของอำเภอเคียนซา และอำเภอบ้านนาสาร มีปริมาณสูงกว่าระดับความปลอดภัยที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณูกำหนด (UNSCEAR, 2000) กำหนด

### วิจารณ์ผลการวิจัย

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 เฉลี่ยในตัวอย่างตะกอนดินจากแม่น้ำลำคลอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี เท่ากับ 42.63 ± 26.08 Bq/kg, 125.42 ± 38.58 Bq/kg และ 6.29 ± 2.28 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226 สูงกว่าตะกอนดินบริเวณอ่าวปัตตานี Ra-226 (4.6 ± 1.1 Bq/kg) ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ K-40 และ Th-232 มีค่าน้อยกว่าตะกอนดินบริเวณอ่าวปัตตานีมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี K-40 เท่ากับ 172.9 ± 26.8 Bq/kg และ Th-232 เท่ากับ 56.8 ± 25.9 Bq/kg (Kaewtubtim *et al.*, 2018) มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของจังหวัดชุมพรที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 เท่ากับ 57.32 ± 5.19 Bq/kg, 2135.69 ± 168.87 Bq/kg และ 56.98 ± 4.68 Bq/kg ตามลำดับ (Chuaymanee *et al.*, 2012) มีค่ากัมมันตภาพ



จำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยแถบทะเลอันดามันที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 เท่ากับ  $157.10 \pm 8.06$  Bq/kg,  $2859.63 \pm 209.83$  Bq/kg และ  $137.16 \pm 7.26$  Bq/kg ตามลำดับ (Kessaratikoon *et al.*, 2015) มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยข้อมูลของภาคใต้ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 เท่ากับ  $171.55 \pm 3.13$  Bq/kg,  $511.04 \pm 7.04$  Bq/kg และ  $211.19 \pm 1.98$  Bq/kg ตามลำดับ (Office of Atoms for Peace, 2002) มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในประเทศไทยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 เท่ากับ 48 Bq/kg, 400 Bq/kg และ 40 Bq/kg ตามลำดับ (Office of Atoms for Peace, 2002) และมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226 สูงกว่าค่าเฉลี่ยของทั่วโลก ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226 เท่ากับ 35 Bq/kg ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีของ K-40 และ Th-232 มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของทั่วโลกค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี K-40 เท่ากับ 400 Bq/kg และ Th-232 เท่ากับ 30 Bq/kg (UNSCEAR, 2000)

สำหรับปริมาณ K-40 มีค่าสูงสุดที่อำเภอวิภาวดี ( $579.59$  Bq/kg) รองลงมาคืออำเภอเกาะพะงัน ( $290.54 \pm 128.12$  Bq/kg) และอำเภอเกาะสมุย ( $229.20 \pm 56.30$  Bq/kg) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าตะกอนดินบริเวณอ่าวปัตตานี (Kaewtubtim *et al.*, 2017) และปริมาณ Th-232 มีค่าสูงสุดที่กิ่งอำเภอวิภาวดี ( $28.05$  Bq/kg) รองลงมาคืออำเภอบ้านนาสาร ( $18.32 \pm 13.00$  Bq/kg) อำเภอศรีรัฐนิคม ( $10.90 \pm 5.28$  Bq/kg) อำเภอเกาะสมุย ( $9.17 \pm 4.42$  Bq/kg) และอำเภอเกาะพะงัน ( $9.70 \pm 4.84$  Bq/kg) ตามลำดับ ซึ่งคณะผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าน่าจะเกิดจากบริเวณดังกล่าวเป็นหินแกรนิตโดยเฉพาะเกาะสมุย และเกาะพะงัน มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินแกรนิตทั่วทั้งบริเวณ (Jeasai *et al.*, 2009)

นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ UNSCEAR (2000) กำหนดต่ำกว่าค่าเฉลี่ยตะกอนดินในอ่าวปัตตานี (Kaewtubtim *et al.*, 2017) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยดินจากจังหวัดพังงา (Kessaratikoon *et al.*, 2015) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยดินจากจังหวัดภูเก็ต (Kessaratikoon *et al.*, 2015) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยดินของจังหวัดสงขลา (Kessaratikoon *et al.*, 2015) และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยดินของภาคใต้ (Office of Atoms for Peace, 2002) แต่ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ของอำเภอเคียนซา และอำเภอบ้านนาสาร มีค่าสูงกว่าระดับความปลอดภัยที่ UNSCEAR (2000) กำหนด เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ (Jeasai *et al.*, 2009) ซึ่งจากข้อมูลกรมทรัพยากรธรณีรายงานการตรวจพบแหล่งน้ำพุร้อนในบริเวณหินภูเขาไฟที่ดับแล้ว และในบริเวณมวลหินแกรนิตและหินตะกอนอายุต่าง ๆ กัน พบว่า หินบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนจะมีธาตุกัมมันตรังสีเป็นองค์ประกอบที่อยู่ภายในหิน (Siphasa *et al.*, 2018) และการศึกษาด้านกัมมันตภาพรังสีของหินประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทย พบว่าหินแกรนิตในประเทศไทย



มีปริมาณธาตุกัมมันตรังสีสูงกว่าหินประเภทอื่น ๆ (Khoonphunnarai, 2016) ซึ่งสาเหตุแหล่งน้ำพุร้อนมีค่าปริมาณรังสีค่อนข้างสูง น่าจะเกิดมาจากหินแกรนิตผุ โดยหินแกรนิตเหล่านี้จะกลายเป็นดินและทรายในพื้นที่ (Moppijit, 2014)

### สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี Ra-226, K-40 และ Th-232 ในตะกอนดินจากแม่น้ำ ลำคลอง ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี รวมทั้งหมด 96 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าเฉลี่ยเป็น  $42.63 \pm 26.08$ ,  $125.42 \pm 38.58$  และ  $6.29 \pm 2.28$  Bq/kg ตามลำดับ มีค่าอยู่ในช่วง 3.87 - 276.83, ND - 579.59 และ 0.66 - 28.05 Bq/kg ตามลำดับ และผลการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ( $Ra_{eq}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย ( $H_{in}$ ) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกในร่างกาย ( $H_{ex}$ ) ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) และค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (E) พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $61.29 \pm 28.75$  Bq/kg,  $0.28 \pm 0.14$ ,  $0.17 \pm 0.08$ ,  $28.69 \pm 13.34$  nGy/h และ  $0.04 \pm 0.01$  mSv/y ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณูกำหนด (UNSCEAR, 2000) ยกเว้นอำเภอเคียนซา และอำเภอบ้านนาสาร มีปริมาณสูงกว่าระดับความปลอดภัยที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณูกำหนด (UNSCEAR, 2000) สามารถสรุปได้ว่า อำเภอเคียนซา และอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณกัมมันตรังสีสูงกว่าอำเภออื่น จึงควรมีการวัดและติดตามปริมาณกัมมันตภาพรังสีต่อไปอย่างต่อเนื่องเพื่อประเมินถึงผลความเสี่ยงจากการได้รับรังสีในระยะยาว

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณคณิสานักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนวิจัย ขอขอบคุณหน่วยวิจัยรังสีประยุกต์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ผล และขอขอบคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐาน

### เอกสารอ้างอิง

- Chuaymanee, S., Jhelee, M., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., & Benjakul, S. (2012). Assessment of Natural Radioactivity in Surface Soil in Chumphon Province, Thailand. In *The 9<sup>th</sup> National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference*. (pp.1900-1908). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Daoh, M. (2015). *Assessment of radiological in the beach sand from Pattani Province*. Songkhla: Songkhla Rajabhat University. (in Thai)



Department of Mineral Resources (DMR). (2007). Suratthani Province. Environmental Geology Bureau, Thailand.

(in Thai)

Intan, M., Doloh, S., & Anantanukulwong, R. (2020). Natural Radioactivity Levels in Sediment Collected in Pattani Bay Pattani Province, Thailand. *Thaksin.J.*, 23(1), 86-94. (in Thai)

International Atomic Energy Agency (IAEA). (1989). Measurement of radionuclides in food and the environment. Technical Report Series No. 295, International Atomic Energy Agency, Austria.

Jeasai, S., Bhongsuwan, T., & Chittakarn, T. (2009). Radioisotope Radium-226 and Its Dispersion in Hot Spring Area of Surat Thani Province. In *The 9<sup>th</sup> International Nuclear Science and Technology Conference* (pp.1-12). Bangkok: SCB Park Plaza.

Kaewtubtim, P., Meeinkuir, W., Seepom, S., & Pichtel, J. (2017). Occurrence of heavy metals and radionuclides in sediments and seawater in mangrove ecosystems in Pattani Bay, Thailand. *Environ Sci Pollut Res.* 24, 7630–7639.

Kaewtubtim, P., Meeinkuir, W., Seepom, S., & Pichtel, J. (2018). Phytomanagement of radionuclides and heavy metals in mangrove sediments of Pattani Bay, Thailand using *Avicennia marina* and *Pluchea indica*. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 320-333.

Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., & Udomsomporn, S. (2015). Specific activity of natural and anthropogenic radionuclides and radiological hazard assessment in surface soil samples collected along the Andaman sea coast in southern region of Thailand. *Journal of Physics: Conference Series*, 611, 1-8.

Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Choosiri, N., Daoh, M., & Udomsomporn, S. (2017). Specific activities and radiological hazard assessment in beach sand samples in Songkhla province, Thailand after Fukushima Dai-Ichi nuclear power plant accident in Japan. *Journal of Physics: Conference Series*, 860, 1-8.



Khoonphunnarai, P. (2016). *Physical Properties of Rocks in Khao Chai Son Hot Spring Songkhla Lake Basin*.

Songkhla: Songkhla Rajabhat University. (in Thai)

Lakkiang, M., Keawtaptim, P., Youngchauy, U., Bordeepong, S., Phansuke, P. and Changkian, S. (2019).

“Determination of Radionuclide ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) in soil at Phangan District, Suratthani Province”, *In Research and Innovation for Sustainability Development* (pp.278-284). Songkhla: Thaksin University. (in Thai)

Moppijit, A. (2014). *Airborne Geophysical Data Interpretation of Khlong Marui Faults Zones, Surat Thani*

*Province, Thailand*. Songkla: Prince of Songkla University. (in Thai)

Nualchavee, R. (2002). *Nuclear Science*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Office of Atoms for Peace (OAP). (2002). *Annual Report in Southern Region of Thailand*. Ministry of Science and Technology, Thailand. (in Thai)

Office of Atoms for Peace (OAP). (2002). *Annual Report in Thailand*. Ministry of Science and Technology, Thailand. (in Thai)

Sinphasa, N., Niyomdecha, A., Khoonphunnarai, P., Yongsiriwith, P., & Fongsuwan, C. (2018). Radioactivities of  $^{226}\text{Ra}$   $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  of Rocks in Thung Nui Hot Spring Area Khuan Ka Long District Satun Province. *The 2th National and International Research Conference* (pp.1083-1092), Buriram: Buriram Rajabhat University. (in Thai)

Song, G., Chen, D., Tang, Z., Zhang, Z., & Xie, W. (2012). Natural Radioactivity Levels in Topsoil from the Pearl River Delta Zone Guangdong. China. *Journal of Environmental Radioactivity*, 103, 48-53.



- Srisuksawad, K., Porntepkasemsan, B., Nouchpramool, S., Yamkate, P., Carpenter, R., Peterson, M.L., & Hamilton, T. (1997). Radionuclide activities, geochemistry, and accumulation rates of sediments in the Gulf of Thailand. *Cont. Shelf Res*, 17, 925–965. (in Thai)
- Tufail, M.A.M., Hussain, M.Y., & Akram, M. (2011). Short Communication Primordial Radionuclides Contamination Level in Fertilized Farms Soils of Faisalabad-Pakistan. *Soil Environ*, 30(1), 88-94.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). Sources, effects, and risk of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.