

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำตั้งเรื่อง

ในชีวิตประจำวันมนุษย์ได้รับสัมผัสกับมลพิษทางรังสีจากธรรมชาติที่มีอยู่ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย การได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอก (External Exposure) มาจากแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติทั้งในดิน หิน และจากรังสีคอสมิกจากนอกโลกที่แผ่เข้ามาถึงชั้นบรรยากาศของโลก การได้รับสัมผัสกับมลพิษทางรังสีจากภายใน (Internal Exposure) มาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในอาหาร ในน้ำที่เราบริโภคเข้าไป และในอากาศ กัมมันตรังสีในธรรมชาติจะพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน หิน พืช น้ำ และอากาศ (Malanca *et al.*, 1996) กัมมันตรังสีในดินมาจากอนุกรมกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียมและโพแทสเซียมในธรรมชาติ (Singh *et al.*, 2005) โดยมี U-238 และ Th-232 เป็นนิวไคลด์แม่ของอนุกรมยูเรเนียมและทอเรียมตามลำดับ ผลกระทบจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจาก นิวไคลด์กัมมันตรังสีจะมีการสลายตัวให้รังสีแอลฟา บีตา และแกมมา ซึ่งเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (Ionizing Radiation) มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตคือ เมื่อมีการได้รับสัมผัสรังสีเข้าสู่ร่างกายจะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลมีการแตกตัว ซึ่งอาจทำให้เซลล์และระบบการทำงานของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป จนอาจเกิดอาการผิดปกติในร่างกาย การได้รับสัมผัสรังสีจากธรรมชาติดังกล่าวแม้จะมีปริมาณไม่สูงมากนัก แต่หากเป็นการได้รับสัมผัสอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายสิบปีก็อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้เนื่องจากไม่มีขีดเริ่มใดๆ ในการได้รับสัมผัสรังสีแล้วไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ การได้รับสัมผัสรังสีปริมาณสูงขึ้นไปยิ่งไปเพิ่มโอกาสที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้นเป็นสัดส่วนกัน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ เพื่อใช้ในการประเมินการได้รับสัมผัสกับมลพิษทางรังสีของประชาชน และตรวจสอบระดับความปลอดภัยจากรังสี

เนื่องจากการได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอกของประชากรโลกโดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการแผ่รังสีจากธรรมชาติ (UNSCEAR, 1988) จากการประเมินปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับสัมผัสจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติ มีค่าประมาณ 2.4 mSv (UNSCEAR, 2000) แบ่งเป็นการได้รับสัมผัสรังสีจากรังสีคอสมิก 0.4 mSv จากการแผ่รังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในโลก 0.5 mSv จากการหายใจโดยการสูดเอาเรดอนและนิวไคลด์ลูกที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอน

เข้าสู่ร่างกาย 1.2 mSv และจากอาหารและน้ำที่เราบริโภคเข้าไป 0.3 mSv รายละเอียดแสดงอยู่ในตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ

ที่มา : UNSCEAR, 2000

Source	Worldwide average annual effective dose (mSv)	Typical range (mSv)
External exposure		
Cosmic rays	0.4	0.3-1.0
Terrestrial gamma rays ^a	0.5	0.3-0.6
Internal exposure		
Inhalation (mainly radon)	1.2	0.2-10 ^b
Ingestion (food and drinking-water)	0.3	0.2-0.8
Total	2.4	1-10

^a Terrestrial exposure is due to radionuclides in the soil and building materials.

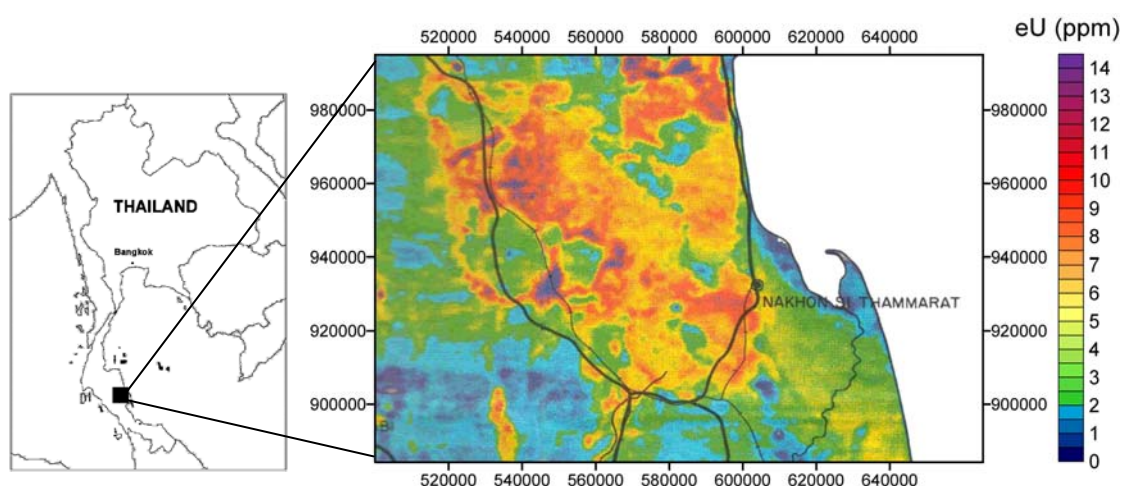
^b Dose from inhalation of radon may exceed 10 mSv/year in certain residential areas.

สำหรับในประเทศไทย ผลการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลก (Terrestrial Gamma Radiation) มีค่าเท่ากับ 77 และ 48 nGy/h สำหรับภายนอก (Outdoor) และภายใน (Indoor) อาคารบ้านเรือน ตามลำดับ(UNSCEAR, 2000) ทั้งนี้การได้รับสัมผัสปริมาณรังสีจากภายนอกที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรม U-238, อนุกรม Th-232 และ K-40 ที่มีอยู่ในดิน หิน ตามลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่นั้นๆ (Quindos *et al.*, 1994)

ผลการตรวจวัดปริมาณยูเรเนียมสมมูล (equivalent Uranium) ในหินแกรนิตในภาคใต้ของประเทศไทย (Ishihara *et al.*, 1980) พบว่า หินแกรนิตที่เขาระช่องมีค่าความเข้มข้น 11 ppm ที่ อ.เมือง จ.สงขลามีค่า 18 ppm นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดปริมาณยูเรเนียมในหินชนิดต่างๆ ในพื้นที่ จ.สงขลา พัทลุง และ ปัตตานี (สุขสวัสดิ์, 2537) พบว่า มีปริมาณยูเรเนียมสมมูลเฉลี่ยสำหรับหินแกรนิตเท่ากับ 18.43 ± 4.81 ppm สำหรับหินปูน 3.12 ± 2.83 ppm หินดินดาน 17.97 ± 3.53 ppm และหินทราย 1.28 ± 3.83 ppm เมื่อเปรียบเทียบปริมาณยูเรเนียมในหินแกรนิตที่มีค่า 18.43 ppm กับปริมาณยูเรเนียมในหินแกรนิตทั่วไปที่มีค่าเท่ากับ 4.8 ppm (Faure, 1986) พบว่ามีค่า

สูงกว่าถึง 4 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หินแกรนิตในพื้นที่ภาคใต้มีค่าความเข้มข้นยูเรเนียมสูงกว่า หินแกรนิตทั่วไปมาก

จากการวิเคราะห์แผนที่กัมมันตภาพรังสีทางอากาศ (DMR, 1989) พบว่ามีบางพื้นที่ใน จ.นครศรีธรรมราช มีค่าความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดินสูงกว่า 4 ppm (ภาพประกอบ 1.1) ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometrical mean) ของความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดินทั่วประเทศไทยที่มีค่าเท่ากับ 2.1 ppm (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ, ติดต่อบุคคล) จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นที่มาของการศึกษากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่นี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินการได้รับสัมผัสรังสีจากแหล่งกำเนิดในธรรมชาติของประชาชนในพื้นที่นี้



ภาพประกอบ 1.1 แผนที่แสดงค่าความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดินของ จ.นครศรีธรรมราช (Modified from DMR, 1989)

รายงานวิจัยนี้เป็นผลการศึกษากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่จังหวัด นครศรีธรรมราช ได้แก่ เรเดียม-226 (Ra-226) ทอเรียม-232 (Th-232) และโพแทสเซียม-40 (K-40) ในตัวอย่างดิน หิน และทราย และเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา พื้นที่ศึกษาประกอบด้วย 6 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอฉวาง กิ่งอำเภอช้างกลาง อำเภอลานสกา อำเภอถ้ำพรณรา อำเภอพิปูน อำเภอพรหมคีรี และ กิ่งอำเภอนบพิตำ

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 แหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติ (Natural Sources of Radiation)

แหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติที่สำคัญมีอยู่ 2 แหล่ง คือ

1. **รังสีคอสมิก (Cosmic Rays)** เป็นรังสีที่มีต้นกำเนิดมาจากนอกระบบสุริยะ ส่วนใหญ่จะถูกชั้นบรรยากาศเบื้องบนของโลกกรองไว้ ส่วนที่เหลือจะทะลุผ่านลงมายังพื้นผิวโลกในระดับพื้นดิน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของรังสีคอสมิกกับนิวไคลด์ในชั้นบรรยากาศของโลกยังทำให้เกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีหลายชนิด บางชนิดมีครึ่งชีวิตยาว แต่โดยส่วนใหญ่มีครึ่งชีวิตสั้น ตัวอย่างของนิวไคลด์ที่เกิดจากรังสีคอสมิก เช่น ทริเทียม-3 (^3H) มีครึ่งชีวิต 12.33 ปี เบริลเลียม-7 (^7Be) มีครึ่งชีวิต 53.29 วัน คาร์บอน-14 (^{14}C) มีครึ่งชีวิต 5,730 ปี (UNSCEAR, 2000) ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีอื่นๆ ที่เกิดจากรังสีคอสมิก ได้แก่ ^{10}Be , ^{22}Na , ^{26}Al , ^{32}Si , ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{37}Ar , ^{39}Ar , ^{80}Kr รายละเอียดของครึ่งชีวิต และรูปแบบการสลายตัวให้รังสีชนิดต่างๆ ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิกจะแสดงอยู่ในตาราง 1.2 โดยปกติการได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอก (External Exposure) ที่มาจากรังสีคอสมิกจะค่อนข้างคงที่ ไม่ว่าจะอยู่ที่ทวีปใดในโลก กล่าวคือ มีค่าประมาณ 30 nGy/h แต่ระดับปริมาณรังสีนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างมากหากอยู่ในพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเล โดยจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า ที่ระดับ 1500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล สำหรับผู้ที่เดินทางด้วยเครื่องบินไอพ่น จะได้รับปริมาณรังสีในอัตรา 1.35 – 9 $\mu\text{Sv/h}$ และสำหรับผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่บางแห่งที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก เช่น ประเทศเม็กซิโก และนครเตหะราน ประเทศอิหร่าน จะได้รับรังสีสูงกว่าปกติประมาณ 2 – 3 เท่า
2. **แหล่งกำเนิดรังสีจากพื้นโลก (Terrestrial Sources of Radiation)** เกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดของโลกและจักรวาล โดยเป็นองค์ประกอบของหิน ดิน แร่ธาตุต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นเปลือกโลก นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในธรรมชาติมีมากกว่า 60 ชนิด ต้นกำเนิดที่สำคัญของรังสีที่เราได้รับในแต่ละวัน ได้แก่ ยูเรเนียม-238 (^{238}U) มีครึ่งชีวิต 4.47×10^9 ปี ทอเรียม-232 (^{232}Th) มีครึ่งชีวิต 1.405×10^{10} ปี และโพแทสเซียม-40 (^{40}K) มีครึ่งชีวิต 1.28×10^9 ปี (UNSCEAR, 2000) นอกจากนี้ยูเรเนียมและทอเรียมยังเป็นนิวไคลด์ตั้งต้นของสายการกำเนิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีอื่นอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องไปสิ้นสุดที่นิวไคลด์เสถียร โดยอนุกรมยูเรเนียมเริ่มต้นที่ U-238 และไปสิ้นสุดที่ Pb-206 อนุกรมทอเรียมเริ่มต้นที่ Th-232 และไปสิ้นสุดที่ Pb-208

นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิก และนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากพื้นโลก แสดงดังตาราง 1.2 ซึ่งประกอบด้วยชนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ครึ่งชีวิต และรูปแบบของการสลายตัว

ตาราง 1.2 นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิก และนิวไคลด์ที่เกิดจากพื้นโลก
ที่มา : UNSCEAR, 2000

<i>Element</i>	<i>Isotope</i>	<i>Half-life</i>	<i>Decay mode</i>
Cosmogenic radionuclides			
Hydrogen	³ H	12.33 a	beta (100%)
Beryllium	⁷ Be	53.29 d	EC ^a (100%)
	¹⁰ Be	1.51 10 ⁶ a	beta (100%)
Carbon	¹⁴ C	5730 a	beta (100%)
Sodium	²² Na	2.602 a	EC (100%)
Aluminium	²⁶ Al	7.4 10 ⁵ a	EC (100%)
Silicon	³² Si	172 a	beta (100%)
Phosphorus	³² P	14.26 d	beta (100%)
	³³ P	25.34 d	beta (100%)
Sulphur	³⁵ S	87.51 d	beta (100%)
Chlorine	³⁶ Cl	3.01 10 ⁵ a	EC(1.9%), beta (98.1%)
Argon	³⁷ Ar	35.04 d	EC (100%)
	³⁹ Ar	269 a	beta (100%)
Krypton	⁸¹ Kr	2.29 10 ⁵ a	EC (100%)
Terrestrial radionuclides			
Potassium	⁴⁰ K	1.28 10 ⁹ a	beta (89.3%), EC (10.7%)
Rubidium	⁸⁷ Rb	4.75 10 ¹⁰ a	beta (100%)
Lanthanum	¹³⁸ La	1.05 10 ¹¹ a	beta (33.6%), EC (66.4%)
Samarium	¹⁴⁷ Sm	1.06 10 ¹¹ a	alpha (100%)
Lutecium	¹⁷⁶ Lu	3.73 10 ¹⁰ a	beta (100%)
²³⁸ U series:			
Uranium	²³⁸ U	4.47 10 ⁹ a	alpha (100%)
Thorium	²³⁴ Th	24.10 d	beta (100%)
Protactinium	^{234m} Pa	1.17 m	beta (99.8%), IT ^b
Uranium	²³⁴ U	2.45 10 ⁵ a	alpha (100%)
Thorium	²³⁰ Th	7.54 10 ⁴ a	alpha (100%)
Radium	²²⁶ Ra	1600 a	alpha (100%)
Radon	²²² Rn	3.824 d	alpha (100%)
Polonium	²¹⁸ Po	3.05 m	alpha (99.98%), beta (0.02%)
Lead	²¹⁴ Pb	26.8 m	beta (100%)
Bismuth	²¹⁴ Bi	19.9 m	alpha (0.02), beta (99.98%)
Polonium	²¹⁴ Po	164 μs	alpha (100%)
Lead	²¹⁰ Pb	22.3 a	beta (100%)
Bismuth	²¹⁰ Bi	5.013 d	beta (100%)
Polonium	²¹⁰ Po	138.4 d	alpha (100%)
Lead	²⁰⁶ Pb	stable	
²³² Th series:			
Thorium	²³² Th	1.405 10 ¹⁰ a	alpha (100%)
Radium	²²⁸ Ra	5.75 a	beta (100%)
Actinium	²²⁸ Ac	6.15 h	beta (100%)
Thorium	²²⁸ Th	1.912 a	alpha (100%)
Radium	²²⁴ Ra	3.66 d	alpha (100%)
Radon	²²⁰ Rn	55.6 s	alpha (100%)
Polonium	²¹⁶ Po	0.145 s	alpha (100%)
Lead	²¹² Pb	10.64 h	beta (100%)
Bismuth	²¹² Bi	60.55 m	alpha (36%), beta (64%)
Polonium	²¹² Po	0.299 μs	alpha (100%)
Thalium	²⁰⁸ Tl	3.053 m	beta (100%)
Lead	²⁰⁸ Pb	stable	
²³⁵ U series:			
Uranium	²³⁵ U	7.038 10 ⁸ a	alpha (100%)
Thorium	²³¹ Th	25.52 h	beta (100%)
Protactinium	²³¹ Pa	32760 a	alpha (100%)
Actinium	²²⁷ Ac	21.77 a	alpha (1.4%), beta 98.6%)
Thorium	²²⁷ Th	18.72 d	alpha (100%)
Francium	²²³ Fr	21.8 m	beta (100%)
Radium	²²³ Ra	11.44 d	alpha (100%)
Radon	²¹⁹ Rn	3.96 s	alpha (100%)
Polonium	²¹⁵ Po	1.781 ms	alpha (100%)
Lead	²¹⁵ Pb	36.1 m	beta (100%)
Bismuth	²¹¹ Bi	2.14 m	alpha (99.7%), beta 0.3%)
Thalium	²⁰⁷ Tl	4.77 m	beta (100%)
Lead	²⁰⁷ Pb	stable	

1.2.2 การได้รับสัมผัสรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติ (Exposures from Natural Radiation Sources)

การได้รับสัมผัสรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอก (External Exposures) เป็นการได้รับสัมผัสรังสีที่มาจากรังสีคอสมิก และมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีแหล่งกำเนิดจากพื้นโลก ที่มีอยู่ในดิน ในวัสดุก่อสร้าง และในสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา ซึ่งเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (UNSCEAR, 2000) การได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอกส่วนใหญ่แล้วมาจากการแผ่รังสีแกมมาของนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากอนุกรมยูเรเนียม-238 อนุกรมทอเรียม-232 และจากโพแทสเซียม-40 ที่มีอยู่ในธรรมชาติ รายละเอียดของการได้รับสัมผัสรังสีที่มาจากรังสีคอสมิกและที่มาจากแหล่งกำเนิดจากพื้นโลก ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 1.2.1

2. การได้รับสัมผัสรังสีจากภายใน (Internal Exposures) เป็นการได้รับสัมผัสรังสีที่มาจากอาหาร น้ำดื่ม และอากาศที่เราหายใจเข้าไป ที่มาจากอนุกรมยูเรเนียม-238 อนุกรมทอเรียม-232 และจากโพแทสเซียม-40 (UNSCEAR, 2000) โดยเฉพาะยูเรเนียม-238 ที่เป็นนิวไคลด์ตั้งต้นของอนุกรมยูเรเนียม จะสลายตัวให้เรเดียม-226 ที่มีครึ่งชีวิต 1,600 ปี ซึ่งเรเดียม-226 จะมีการสลายตัวให้รังสีแอลฟา แล้วสลายตัวต่อไปเป็นแก๊สเรดอน (^{222}Rn) ที่มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน ทั้งเรเดียม-226 เรดอน-222 และนิวไคลด์ลูกหลานที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอน ได้แก่ ^{218}Po , ^{214}Pb และ ^{210}Po และทอเรียม (^{220}Rn) ที่มีมาจากอนุกรมทอเรียม จะมีการสลายตัวให้รังสีแอลฟา ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีมวลหนักและมีพลังงานสูง เมื่อเข้าสู่ร่างกายรังสีแอลฟาจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดอาการระคายเคือง หากมีการได้รับเรเดียม-226 ทั้งจากอาหารและจากน้ำดื่มเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากก็อาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งได้

1.2.3 รูปแบบบางชนิดของกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

1. กัมมันตภาพรังสีในดิน

Miah และ คณะ (1998) ได้วัดค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติของอนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม โพแทสเซียม-40 (K-40) และซีเซียม-137 (Cs-137) ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาฟิชชัน ในตัวอย่างดินที่เก็บมาจากเมือง Dhaka และบริเวณใกล้เคียง ในประเทศบังกลาเทศ โดยใช้การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา โดยในการเก็บตัวอย่างดินจะเก็บดินจากพื้นผิวดินและที่ความลึกจากผิวดิน 12.5 – 17.5 เซนติเมตร และที่ 27.5 – 32.5 เซนติเมตร จากการตรวจวัด พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ได้มีค่าที่สูง เนื่องจากบริเวณที่ศึกษานี้เป็นบริเวณที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีสูง โดยค่าความเข้มข้นของค่าซีเซียม-137 ที่ผิวดินมี

ค่าเท่ากับ $5 \pm 1 - 10 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ที่ความลึก 12.5 – 17.5 เซนติเมตร และที่ 27.5 – 32.5 เซนติเมตร

Chowdhury และ คณะ (1999) วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ และการกระจายของ กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้นในตะกอนดินและดินจากแม่น้ำสายหลัก 2 สาย และบริเวณชายฝั่งของ Chittagong ประเทศบังกลาเทศ จากการศึกษาพบว่าในตะกอนดิน และในดินจะมีปริมาณ ^{232}Th สูงกว่าปริมาณ ^{238}U ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th และ ^{238}U และค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูลในพื้นที่นี้มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ส่วนค่าความเข้มข้น ของ ^{137}Cs มีค่าเท่ากับ $0.4 - 3.88 \text{ Bq kg}^{-1}$

Selvasekarapandian และ คณะ (2000) วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ กัมมันตรังสีในดินบริเวณ Gudalor Taluk ใน Udagamandalam District ประเทศอินเดีย โดย วิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ^{232}Th , ^{238}U และ ^{40}K มีค่า 75.3 ± 44.1 , 37.7 ± 10.1 และ $195.2 \pm 85.1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีค่าสูงกว่า ค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก 3, 1.5 และ 0.53 เท่า ตามลำดับ (UNSCEAR, 1988) ซึ่งจะเห็นว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีทั้ง 3 มีค่าสูงผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณที่ศึกษามี หินแกรนิตเป็นหินฐาน ซึ่งในหินชนิดนี้จะมีปริมาณของ Th และ U สูง อัตราปริมาณรังสี ดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศ มีค่า $74.3 \pm 27.8 \text{ nGy h}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีมีค่า เท่ากับ $455.6 \pm 170.7 \mu\text{Sv}$

Sroor และ คณะ (2001) ได้วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ U, Th และ K ในตัวอย่าง ดิน 6 บริเวณ ทางตอนใต้ของประเทศอียิปต์ โดยวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัดไฮเปอร์ เพียวเจอร์มาเนียม โดยใช้วัสดุป้องกันรังสีที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ และนำค่าที่ได้ไป เปรียบเทียบกับค่าที่เคยรายงานไว้จากบริเวณอื่นๆ ในประเทศอียิปต์ พบว่า ค่ากัมมันตภาพ จำเพาะของ U-238, Th-232 และ K-40 มีค่า 5.00 – 23.68, 1.86 – 10.09 และ 292.81 – 659.57 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้วัดค่าความเข้มข้นของเรดอน โดยใช้เทคนิคการกักรอยทาง นิวเคลียร์ (CR-39) พบว่ามีค่า 338.81 – 1426.47 Bq/m³d ซึ่งค่าความเข้มข้นของเรดอนที่ได้มี ความสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นยูเรเนียมที่วัดได้โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

Al-Jundi และ คณะ (2003) ได้วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{40}K ของดินที่เก็บจากริมถนนทั้งหมด 7 จุด ตามเส้นทางหลวง Amman Aqaba National Highway (AANH) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัดไฮเปอร์เพียวเจอร์ มาเนียม พบว่ามีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{40}K เท่ากับ 22 – 104, 21 – 103 และ 138 – 601 Bq kg⁻¹ ตามลำดับ โดยค่าสูงสุดที่พบคือ บริเวณใกล้กับเหมืองแร่ฟอสเฟต (Al-Hassa

Phosphate mine) โดยปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีมีค่า 40-151 μSv ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก (UNSCEAR, 2000)

Singh และ คณะ (2003) วัดปริมาณ Ra-226, Th-232 และ K-40 ในดินจากหมู่บ้าน Hamirpur District, Himachal Pradesh ในประเทศอินเดีย โดยวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl) โดยวิเคราะห์สเปกตรัมที่ระดับพลังงาน 1.46, 1.76 และ 2.62 MeV สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของ K, Ra และ Th ตามลำดับ ผลการหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มีค่าอยู่ในช่วง 25.1 – 82.1 (เฉลี่ย 44.21), 35.2 – 122.8 (เฉลี่ย 93.10) และ 126.5 – 242.8 (เฉลี่ย 174.48) Bq kg^{-1} ตามลำดับ ผลจากการหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 มีค่าสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการกัทรอยทางนิวเคลียร์ ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

Tzortzis และ Tsertos (2004) ได้วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ของดินในประเทศไซปรัส โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา เก็บตัวอย่างดิน 115 ตัวอย่าง เหนือชั้นหินที่ยังไม่มีการแตกตัว จากการตรวจวัดพบว่ามีความเข้มข้นของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{40}K เท่ากับ $8.1 \times 10^{-4} - 3.2 \mu\text{g g}^{-1}$ (เฉลี่ย $0.6 \pm 0.7 \mu\text{g g}^{-1}$), $2.5 \times 10^{-3} - 9.8 \mu\text{g g}^{-1}$ (เฉลี่ย $1.2 \pm 1.7 \mu\text{g g}^{-1}$) และ $1.3 \times 10^{-4} - 1.9\%$ (เฉลี่ย $0.4 \pm 0.3\%$) ตามลำดับ ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Th/U, K/U และ K/Th มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.93, 0.84 และ 0.90 ตามลำดับ ค่าความชัน (slope) ของ Th/U, K/U และ K/Th มีค่า 2.0, 2.8×10^3 และ 1.4×10^3 ตามลำดับ จากการศึกษพบว่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลกของดินบริเวณที่ศึกษามีค่าน้อยกว่า 55 nGy h^{-1} ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก

Ahmed และ El-Arabi (2005) ได้วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในบริเวณแหล่งเพาะปลูกใน Qena Governorate ทางตอนเหนือของประเทศอียิปต์ ในตัวอย่างปุ๋ยฟอสเฟตและตัวอย่างดินที่มีความลึก 30 เซนติเมตร เนื่องจากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งอาจมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีปะปนอยู่ในปริมาณที่สูง ในการทำเกษตรเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีโอกาสสะสมนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินและในพืชที่ทำการเพาะปลูก จากการวิเคราะห์ พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในปุ๋ยมีค่า 366 ± 10.5 , 66.7 ± 7.3 และ $4 \pm 2.6 \text{ Bq kg}^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนดินบริเวณแหล่งเพาะปลูกและบริเวณ Nile Island's มีค่า 13.7 ± 7 , 12.3 ± 4.6 , 1233 ± 646 และ 11.9 ± 6.7 , 10.5 ± 6.1 , $1636 \pm 417 \text{ Bq kg}^{-1}$ ตามลำดับ ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) ในปุ๋ย ดินบริเวณแหล่งเพาะปลูก และดินบริเวณ Nile Island's มีค่า 461.7, 126.2 และ 152.9 Bq kg^{-1} ตามลำดับ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศจากแหล่งกำเนิด

รังสีธรรมชาติของโลกมีค่า 200.6, 67.3 และ 82.7 nGy h⁻¹ ตามลำดับ โดยค่าที่ได้นี้มีค่าสูงกว่า 55 nGy h⁻¹ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก

Akhtar และ คณะ (2005) ได้วัดค่ากัมมันตภาพรังสีทั้งในธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยเก็บตัวอย่างดินจำนวน 125 ตัวอย่าง บริเวณ Rakh Dera Chal ใกล้กับเมือง Lahore แคว้น Punjab ประเทศปากีสถาน ที่ระดับความลึก 0 – 25 เซนติเมตร โดยเก็บดินที่ทุกๆ ความลึก 5 เซนติเมตร ตั้งแต่พื้นผิวจนถึงที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร จากการวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ⁴⁰K พบว่ามีค่า 524.84 – 601.62 Bq kg⁻¹, ²²⁶Ra มีค่า 24.73 – 28.17 Bq kg⁻¹ และ ²³²Th มีค่า 45.46 – 52.61 Bq kg⁻¹ ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ¹³⁷Cs ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดของเครื่องมือ (Detection Limit)

Amutha และ คณะ (2005) เก็บตัวอย่างดิน 100 ตัวอย่างจากตำบล Pollachi ซึ่งเป็นตำบลหนึ่งในอำเภอ Coimbatore ประเทศอินเดีย โดยวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²³⁸U, ²³²Th และ ⁴⁰K มีค่า 4.31 – 32.27, 3.63 – 263.39 และ 36.68 – 1821.76 Bq kg⁻¹ ตามลำดับ ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจาก ²³⁸U, ²³²Th และ ⁴⁰K จาก มีค่า 2.77 – 201.38, 2.19 – 16.46 และ 1.93 – 96.12 μSv y⁻¹ ตามลำดับ ค่าทั้งหมดที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 mSv/y ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้จากการได้รับรังสีต่อปีจากรายงานของ ICRP

Singh และ คณะ (2005) ได้วัดค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ ในดินบริเวณแคว้น Palmpur แคว้น Punjab และแคว้น Himachal Pradesh ประเทศอินเดีย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา พบว่ามีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra, ²³²Th และ ⁴⁰K มีค่าเท่ากับ 18.22 – 90.30, 34.80 – 124.68 และ 80.40 – 181.41 Bq/kg ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57, 87 และ 143 Bq/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก พบว่ามีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²²⁶Ra และ ²³²Th ในดินสูงกว่า และ ⁴⁰K มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก ส่วนค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Ra_{eq}) มีค่าต่ำกว่า 370 Bq/kg ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (OECD, 1979) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลกมีค่า 86.54 nGy h⁻¹ ส่วนปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีมีค่าเท่ากับ 0.11 mSv นอกจากนั้นยังได้วัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ²³⁸U โดยใช้เทคนิคการกัตรอยทางนิวเคลียร์ พบว่ามีค่า 1.18 – 5.12 ppm และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.13 ppm จากการศึกษพบว่า ค่ากัมมันตภาพรังสีของดินบริเวณแคว้น Palmpur มีค่าสูงกว่าบริเวณแคว้น Punjab และ Himachal Pradesh

Yang และ คณะ (2005) ศึกษาค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติของดินบริเวณที่มีการขุดตัวของหินแกรนิตทางตอนใต้ของประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างดินจำนวน 55 ตัวอย่าง ใช้

เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาห้วงวัดไฮเปอร์เพียวเจอร์มานเนียมที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U และ ^{40}K มีค่า 40.2 – 442 และ 422 – 913 Bq kg^{-1} ตามลำดับ ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียมมีค่า $121 \pm 8.2 - 624 \pm 17.6 \text{ Bq kg}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ย 266 Bq kg^{-1} โดยมีตัวอย่าง 3 ตัวอย่างที่มีค่าเกิน 370 Bq kg^{-1} เป็นค่าเกณฑ์ปลอดภัย ค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศมีค่าเท่ากับ 124 nGy h^{-1} ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากทั่วโลกคือ 55 nGy h^{-1} (UNSCEAR, 1988) ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) มีค่าน้อยกว่า 1.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างดินบริเวณที่ทำการศึกษานี้มีความปลอดภัยจากอันตรายที่ได้รับจากรังสี

2. กัมมันตภาพรังสีในหิน

Khan และ คณะ (1998) ค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในหินฟอสเฟตที่เก็บมาจากหลายๆ พื้นที่ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีสูงในประเทศปากีสถาน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ห้วงวัดไฮเปอร์เพียวเจอร์มานเนียม ผลจากการวัดพบว่าค่าความเข้มข้นของ ^{226}Ra มีค่าสูงมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ $307.7 - 617.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ โดยค่าที่ได้จากการวัดทำให้สามารถรู้การกระจายของกัมมันตภาพรังสีในพื้นที่ทำการเกษตร

Sroor และ คณะ (2002) ได้ทำการวัดปริมาณยูเรเนียม-238 (U-238) ทอเรียม-232 (Th-232) และ โพแทสเซียม-40 (K-40) ในตัวอย่างหินที่เก็บจากทางตอนเหนือของ Tushki โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา หาค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล (R_{eq}) ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ในหินทุกๆ ไปจะมีออกไซด์ ยูเรเนียม และทอเรียมปะปนอยู่ ซึ่งการเพิ่มขึ้นและการลดลงของพวกออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบหลักๆ อยู่ในหินจะเกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงของน้ำร้อน ทำให้มีการเคลื่อนที่ของพวกออกไซด์ จากการศึกษาพบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของยูเรเนียมและทอเรียม มีค่าสูงกว่าค่าที่เครรายงานไว้ก่อนหน้านี้ และจากการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ พบว่ามีค่าสูงกว่า 55 nGy h^{-1} ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก (UNSCEAR, 1988)

Tzortzis และ คณะ (2003) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาตรวจวัดค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างหินในประเทศไซปรัส โดยจะเก็บตัวอย่างทั้งดินและหิน จากการศึกษาพบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th มีค่า $1.3 - 52.8 \text{ Bq kg}^{-1}$, ^{238}U มีค่า $0.9 - 90.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ และ ^{40}K มีค่า $13 - 894 \text{ Bq kg}^{-1}$ หรือ $2.8 \pm 0.7 \text{ ppm}$, $1.3 \pm 0.3 \text{ ppm}$ และ $0.6 \pm 0.1\%$ ตามลำดับ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศมีค่า $0.1 - 50 \text{ nGy h}^{-1}$ และมีค่าเฉลี่ย $14.7 \pm 7.3 \text{ nGy h}^{-1}$ และมีค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกมีค่า $0.1 - 61.4 \mu\text{Sv y}^{-1}$

Anjos และ คณะ (2005) ได้ศึกษาค่ากัมมันตภาพรังสีจากธรรมชาติในหิน พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีค่าสูงจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับหินอัคนี เช่น ในหินแกรนิตจะมีค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีสูงกว่าหินชนิดอื่น เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะได้รับจากหินแกรนิตจึงควรตรวจสอบค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีก่อนที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เนื่องจากเป็นหินที่นิยมนำไปก่อสร้างบ้านเรือน

Örgün และ คณะ (2005) เก็บหิน 14 ตัวอย่างจาก Kaymaz Plutons และ Sivrihisar Plutons และตัวอย่างน้ำ 11 ตัวอย่าง ในบริเวณใกล้เคียงกับที่เก็บตัวอย่างหิน พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{40}K เท่ากับ $43.59 \pm 2 - 651.80 \pm 24$, $51.16 \pm 3 - 351.94 \pm 13$ และ $418.50 \pm 17 - 1618.03 \pm 66 \text{ Bq kg}^{-1}$ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศมีค่า $87.14 - 531.81 \text{ nGy h}^{-1}$ ผลจากการวัดพบว่าหินที่เก็บจาก Kaymaz Plutons จะมีค่าสูงกว่า Sivrihisar โดยมีค่าเฉลี่ยของ U เท่ากับ 16.6 ppm ค่าเฉลี่ยของ Th เท่ากับ 49.9 ppm และปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของ Kaymaz และ Sivrihisar Plutons สูงกว่าค่าที่รายงานจาก UNSCEAR 6 เท่าและ 3 เท่า ตามลำดับ ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (R_{eq}) ของ Kaymaz Plutons มีค่าต่ำกว่า $758.59 \text{ Bq kg}^{-1}$ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่รายงานไว้คือ 370 Bq kg^{-1} จึงไม่ควรจะนำหินเหล่านี้ไปใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เนื่องจากอาจได้รับอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีที่สูง ผลจากการวัดค่ากัมมันตภาพของ ^{222}Rn ในน้ำมีค่า $0.060 - 0.557$ และค่า gross - α มีค่าเท่ากับ $0.009 - 1.64 \text{ Bq/l}$ ซึ่งสูงกว่าค่าจากรายงานของ WHO (0.1 Bq/l) ส่วนค่า gross - β มีค่าเท่ากับ $0.006 - 0.89 \text{ Bq/l}$ ซึ่งต่ำกว่าค่าจากรายงานของ WHO (1 Bq/l) ค่ากัมมันตภาพของ ^{222}Rn ที่ได้มีค่าสูง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับบริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำเป็นบริเวณที่มีหินแกรนิต

3. กัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้าง

Ahmad และ คณะ (1997) เก็บทรายจาก Adasiah, Jerash และ Ghor As-Safi ประเทศปาเลสไตน์ โดยวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล (R_{eq}) ของแต่ละเมืองมีค่าเท่ากับ 4.06, 54.7 และ 85.53 Bq/kg ตามลำดับ ซึ่งทุกค่ามีค่าต่ำกว่า 370 Bq kg^{-1} ซึ่งมีความปลอดภัยในการนำไปใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน

Ahmed และ คณะ (2005) วัดค่ากัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้างหลายชนิด ได้แก่ อิฐ ปูนซีเมนต์ แร่ยิปซัม เซรามิก หินอ่อน หินปูน และ หินแกรนิต ในเมือง Qena ทางตอนเหนือของประเทศอียิปต์ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะสูงสุดของ ^{226}Ra พบในหินอ่อน มีค่าเท่ากับ $205 \pm 83 \text{ Bq kg}^{-1}$ ค่ากัมมันตภาพ

จำเพาะสูงสุดของ ^{232}Th พบในหินแกรนิต มีค่าเท่ากับ $118 \pm 14 \text{ Bq kg}^{-1}$ และค่ากัมมันตภาพจำเพาะสูงสุดของ ^{40}K พบในหินอ่อน มีค่าเท่ากับ $8.7 \pm 3.9 \times 10^2 \text{ Bq kg}^{-1}$ โดยค่ากัมตภาพจำเพาะเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ของตัวอย่างทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 116 ± 54 , 64 ± 34 , $4.8 \pm 2.2 \times 10^2 \text{ Bq kg}^{-1}$ ค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียมสูงสุดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ $436 \pm 199 \text{ Bq kg}^{-1}$ ซึ่งพบในหินปูน มีค่าสูงกว่า 370 Bq/kg ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (OECD, 1979)

Xinwei (2005) วัดค่ากัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้าง 8 ชนิด จากเมืองซีอาน ประเทศจีน พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra มีค่าเท่ากับ $19.5 - 68.3 \text{ Bq kg}^{-1}$, ^{232}Th มีค่าเท่ากับ $13.4 - 51.7 \text{ Bq kg}^{-1}$ และ ^{40}K มีค่าเท่ากับ $63.2 - 713.9 \text{ Bq kg}^{-1}$ ค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล (Ra_{eq}) มีค่าน้อยกว่า 370 Bq kg^{-1} ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และภายในร่างกาย (H_{in}) มีค่าน้อยกว่า 1.0 ซึ่งเป็นเกณฑ์ปลอดภัย โดยความเสี่ยงจากการได้รับรังสีแกมมาจากร่างกายนอกจากการใช้ทรายเหล่านี้เป็นวัสดุก่อสร้างมีค่าน้อยจนสามารถละทิ้งได้

Veiga และ คณะ (2006) วัดค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในทรายบริเวณชายฝั่งของประเทศบราซิล ได้แก่ Sao Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Espirito Santo (ES) และ Bahia(BA) พบว่าตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการวัดมีค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล (Ra_{eq}) สูงกว่า 370 Bq kg^{-1} ซึ่งไม่ควรนำทรายบริเวณนี้ไปใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน เนื่องจากผู้อาศัยจะได้รับสัมผัสรังสีเพิ่มมากขึ้นจากทรายที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน

4. เรเดียม-226 ในน้ำ

เรเดียม-226 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 (U-238 Series) เป็นโลหะหมู่ II A หรือหมู่อัลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline Earth) ที่หนักที่สุด นิวไคลด์นี้ไม่มีไอโซโทปเสถียร นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในธรรมชาติ มีทั้งหมด 4 นิวไคลด์ คือ ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra และ ^{228}Ra ซึ่งทั้งหมดมีครึ่งชีวิตสั้น ยกเว้น เรเดียม-226 ซึ่งมีครึ่งชีวิตยาวนาน 1,600 ปี (Lawrie *et al.*, 2000) พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวตลอดเวลาของยูเรเนียม-238 (U-238) เรเดียม-226 เป็นนิวไคลด์ที่มีอันตราย มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่เรเดียมสามารถกระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย โดยผ่านระบบน้ำธรรมชาติ ทำให้คนเรามีโอกาสได้รับเรเดียมเข้าสู่ร่างกายจากการใช้น้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำบ่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคน้ำที่มีเรเดียมปะปนอยู่ ซึ่งเป็นการได้รับเรเดียมเข้าสู่ร่างกายโดยตรง โดยที่ผู้บริโภคไม่สามารถรับรู้ได้เลยว่า น้ำที่บริโภคเข้าไปมีเรเดียมปะปนอยู่ จนกว่าจะมีการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำ เมื่อได้รับ

เรเดียมเข้าสู่ร่างกายจากน้ำที่บริโภค เรเดียมจะมีคุณสมบัติคล้ายแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ 2 ในตารางธาตุ กล่าวคือ จะมีการสะสมอยู่ในกระดูก จากการศึกษา พบว่า เรเดียมที่สะสมอยู่ในร่างกายจัดเป็นสารก่อมะเร็งในกระดูก มะเร็งโพรงจมูก มะเร็งไซนัส และมะเร็งส่วนศีรษะ (Mays and Rowland, 1985) ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ตามแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะในน้ำบ่อที่ยังมีความนิยมบริโภคกันในบางพื้นที่ งานวิจัยที่มีการหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ มีดังต่อไปนี้

จเร (2548) ได้หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำบ่อดินในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา จากการศึกษา พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 3.5 – 292.1 mBq/kg มีการแจกแจงข้อมูลแบบ log-normal โดยมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต 50.7 mBq/l ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานค่าสูงสุดของเรเดียมในน้ำว่าไม่ควรเกิน 111 mBq/l (US EPA, 1976) พบว่า มีหมู่บ้านที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่าค่า 111 mBq/l ได้แก่ บ้านโคกทั้ง หมู่ 2 ต.พิจิตร บ้านทุ่งค้อ หมู่ 2 ต.นาหม่อม บ้านลานไทร หมู่ 2 และ บ้านทุ่งโพธิ์ หมู่ 3 ต.ทุ่งขมิ้น และ บ้านแม่เป็ยะ หมู่ 3 บ้านต้นปริง หมู่ 5 ต.คลองหรีง เมื่อประเมินค่าปริมาณรังสีที่ได้รับเข้าไปในร่างกายต่อปี อ.นาหม่อม มีค่าเฉลี่ย 10.4 μSv บ้านต้นปริง หมู่ 5 ต.คลองหรีง ได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยสูงสุดใน อ.นาหม่อม คือ 36.4 μSv ต่อปี

Marovic และ คณะ (1996) ได้วัดค่าความเข้มข้นของ Ra-226 ในแหล่งน้ำพุร้อนและแหล่งน้ำแร่ในธรรมชาติ ที่เป็นที่ตั้งของรีสอร์ทและสปาหลายแห่งในประเทศโครเอเชีย ค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ที่ได้มีค่า 0.07 – 4.40 Bq/l โดยในสปาบางแห่งมีการใช้น้ำทั้งอาบและดื่ม จากการสำรวจพบว่า มีแหล่งน้ำพุร้อนบางแห่งยังมีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของมาตรฐานน้ำดื่มในประเทศโครเอเชีย ที่กำหนดไว้ว่าไม่ควรเกิน 1 Bq/l

Park และ คณะ (1999) ได้หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำแร่ โดยใช้เทคนิค HR-ICP-MS และใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งพบว่าเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการจับเรเดียมได้ถึง 97 % และค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้มีค่า 0.01 pgL^{-1} ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดจากรายงานของ US EPA ที่มีค่า 1 pgL^{-1} แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคการแลกเปลี่ยนประจุบวก ไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับน้ำที่มีความเค็มสูง

Somlai และ คณะ (2002) ได้วัดค่าความเข้มข้นของ Ra-226 ในน้ำแร่รวม 28 ชนิด ที่วางขายอย่างแพร่หลายในประเทศไทย พบว่า มีน้ำแร่ 6 ชนิด ที่มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 เกิน 1,000 mBq/l โดยมี 1 ชนิด ที่มีค่าความเข้มข้นสูงถึง 3,000 mBq/l และเมื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจากการดื่มน้ำแร่ชนิดนี้ 1 ลิตร ต่อสัปดาห์ พบว่า ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีมีค่า 0.3 mSv นอกจากนี้ยังได้วัดค่าความเข้มข้นของเครื่องดื่มชนิดหนึ่งที่มีการใช้น้ำแร่ชนิดนี้เป็นส่วนประกอบ พบว่า มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 เท่ากับ 2,600 mBq/l เมื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจากการดื่มเครื่องดื่มชนิดนี้ ในวัยรุ่นที่มีอายุระหว่าง 12- 17 ปี ซึ่งนิยมดื่มเครื่องดื่มชนิดนี้ พบว่า ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีมีค่าสูงถึง 1.4 mSv

Moon และ คณะ (2003) ได้หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำที่เก็บจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยใช้เรซิน MnO_2 ในการแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อกำจัดเรเดียมออกจากน้ำ โดยเรซินชนิดนี้สามารถทำงานได้ในน้ำที่มีค่า pH ในช่วงที่กว้าง แต่ทำหน้าที่ได้ดีที่สุดในน้ำที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 4 – 8

Larivière และ คณะ (2005) ได้ตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อ โดยใช้เทคนิค SF-ICP-MS โดยในขั้นแรกจะมีการแยกเรเดียมออกมาจากธาตุอัลคาไลน์เอิร์ทตัวอื่นๆ จากนั้นจะนำตัวอย่างไปวัดค่ากัมมันตภาพของ Ra-226 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา ผลจากการวัด พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 อยู่ในช่วง 6.75 – 459 pg/l (0.25 – 17 Bq/l) โดยค่าขีดจำกัดของการวัดมีค่า 7 mBq/l

Lucas และ Ribeiro (2006) ได้หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำที่เก็บจากบ่อขุด 2 แหล่ง ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน ประเทศบราซิล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ Ra-226 ที่ได้มีค่า 47.9 ± 7.1 และ 51.6 ± 8.8 mBq/l ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในน้ำ ดิน หิน และทราย ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีสเปกโตรเมตรีรังสีแกมมา
2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของยูเรเนียมที่ผิวดินบริเวณพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช จากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณีกับระดับความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่วัดได้