บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

ในบทนี้ จะเป็นการนำเสนอผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย ของข้อมูลต่างๆ หลังจากได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี ในตัวอย่าง ดิน หิน ทราย และน้ำ โดยทำการเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดพัทลุง ซึ่งเป็นพื้นที่เป้าหมายในการทำวิจัย โดยจะนำเสนอในแต่ละหัวข้อตามลำดับต่อไปนี้

4.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติ (^{40}K,^{226}Ra,^{232}Th) ในดิน ทราย และหิน ระดับอำเภอของจังหวัดพัทลุง

4.2 ค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล กับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้

4.3 ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอก และภายในร่างกาย

4.4 ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rate) และปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปี (Annual effective doses) ในตัวอย่างดิน ทราย และหิน

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหิน และเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของนิวไคล์กัมมันตรังสีในหินทั่วไป

4.6 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติของ ^{226}Ra ในน้ำ กับปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจาก ^{226}Ra ในน้ำบ่อตื้น

4.7 ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในจังหวัดพัทลุงกับงานวิจัยอื่น ๆ

4.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติ (^{40}K,^{226}Ra,^{232}Th) ในดิน ทราย และหินระดับอำเภอ ของจังหวัดพัทลุง

ได้ทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติ ใน ดิน 34 ตัวอย่าง ทราย 34 ตัวอย่าง และ หิน 20 ตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดพัทลุง โดยใช้หัววัด NaI(Tl) ได้แสดงผลไว้ตามหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในดิน

ค่าความเข้มข้นที่ได้จะแสดงเป็นค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ย $\pm$ 1.96 SE (Standard Error ช่วงข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% รอบค่าผิดพลาดมาตรฐาน) ข้อมูลที่ได้จะแสดงในลักษณะที่

เป็นตัวเลขในตาราง 4.1 และใช้การระบายสีแทนความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีที่ระดับต่างๆ ในแต่ละอำเภอดังภาพประกอบ 4.1

ตาราง 4.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th, ^{226}Ra และ ^{40}K ในดินของจังหวัดพัทลุง

อำเภอ / ★ กิ่งอำเภอ	^{232}Th (Bq/kg)		^{238}U (Bq/kg)		^{40}K (Bq/kg)	
(จำนวนตัวอย่าง)	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ปากพะยูน (2)	74-75	74 ± 2	65-109	88 ± 42	<LLD-96	48 ± 94
ป่าบอน (3)	45-70	59 ± 15	87-162	109 ± 53	184-757	481 ± 325
ตะโหมด (3)	110-134	120 ± 14	127-184	157 ± 32	197-635	485 ± 282
บางแก้ว (3)	129-208	162 ± 46	121-199	164 ± 45	122-286	202 ± 93
เขาชัยสน (3)	103-147	122 ± 25	103-122	115 ± 11	44-586	237 ± 343
กงหรา (4)	83-90	85 ± 3	49-146	96 ± 48	65-639	342 ± 273
เมือง (4)	63-139	105 ± 35	62-108	84 ± 21	31-86	53 ± 23
★ ศรีนครินทร์ (3)	49-166	98 ± 69	69-129	93 ± 36	<LLD-692	310 ± 398
ศรีบรรพต (3)	93-170	119 ± 49	95-143	103 ± 41	<LLD-515	224 ± 298
ควนขนุน (3)	88-158	122 ± 40	57-154	117 ± 59	<LLD-250	93 ± 155
ป่าพะยอม (3)	42-88	71 ± 29	58-121	84 ± 38	13-266	102 ± 162
รวมทุกอำเภอ (34)	42-208	104 ± 13	49-199	109 ± 14	<LLD-757	238 ± 40
ค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก (UNSCEAR, 2000)	**25**		**25**		**370**	

หมายเหตุ: < LLD คือค่าที่ได้ต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้

จากข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.1 แสดงความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K ในดิน ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 42-208 (ค่าเฉลี่ย 104 ± 13) Bq/kg , 49-199 (ค่าเฉลี่ย 109 ± 14) Bq/kg และ <LLD-757 (ค่าเฉลี่ย 238 ± 40 Bq/kg) ตามลำดับ โดยความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีมากสุดของ ^{232}Th อยู่ที่ อ.บางแก้ว (208 Bq/kg), ^{226}Ra อยู่ที่ อ.บางแก้ว (199 Bq/kg) และ ^{40}K อยู่ที่ อ.ป่าบอน (757 Bq/kg)

พิจารณาที่ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th แต่ละอำเภอพบว่าค่าต่ำสุด และสูงสุดเป็นของ อ.ป่าพะยอม (71 ± 29 Bq/kg) และ อ.บางแก้ว (129-208 Bq/kg) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสี ของ ^{226}Ra ต่ำสุดที่ อ.ป่าพะยอม (84 ± 38 Bq/kg) และอ.เมือง (84 ± 21 Bq/kg)

สูงสุดที่ อ.บางแก้ว (164 ± 45 Bq/kg) ส่วนค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{40}K ต่ำสุดที่ อ.ปากพะยูน (48 ± 94 Bq/kg) สูงสุดที่ อ.ตะโหมด (485 ± 282 Bq/kg)

เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบ กับค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีในดินของโลก(UNSCEAR, 2000) ค่าที่ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยโลกในปริมาณ ^{232}Th และ^{226}Ra

4.1.2 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในทราย

ได้ทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติของ^{232}Th, ^{226}Ra และ ^{40}K ในตัวอย่างทรายบริเวณพื้นที่จังหวัดพัทลุง ซึ่งมี 34 ตัวอย่าง โดยได้แสดงค่าไว้ใน ตาราง 4.2 และใช้การระบายสีแทนความเข้มข้นข้นกัมมันตภาพรังสีที่ระดับต่างๆ ในแต่ละอำเภอดังภาพประกอบ 4.2

ตาราง 4.2 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{232}Th, ^{226}Ra และ ^{40}K ในทรายของจังหวัดพัทลุง

อำเภอ / ★ กิ่งอำเภอ	^{232}Th (Bq/kg)		^{226}Ra (Bq/kg)		^{40}K (Bq/kg)	
(จำนวนตัวอย่าง)	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ปากพะยูน (3)	44-181	116 ± 77	95-113	105 ± 9	129-549	388 ± 256
ป่าบอน (3)	30-72	56 ± 27	32-84	61 ± 30	188-360	263 ± 100
ตะโหมด (3)	<LLD-6	38 ± 43	42-78	57 ± 21	<LLD-290	149 ± 164
บางแก้ว (3)	30-96	61 ± 37	84-98	89 ± 9	301-460	367 ± 94
เขาชัยสน (3)	24-50	41 ± 17	33-72	51 ± 23	324-550	405 ± 143
กงหรา (3)	75-112	89 ± 23	63-232	141 ± 96	341-544	412 ± 129
เมือง (4)	21-66	44 ± 18	20-75	53 ± 24	193-415	287 ± 97
★ศรีนครินทร์ (3)	<LLD-83	41 ± 47	6-65	38 ± 34	<LLD-292	145 ± 165
ศรีบรรพต (3)	34-59	48 ± 14	22-47	39 ± 15	243-372	320 ± 77
ควนขนุน (3)	21-56	37 ± 21	32-45	37 ± 8	200-448	321 ± 140
ป่าพะยอม (3)	35-58	48 ± 13	43-64	55 ± 12	128-382	233 ± 150
รวมทุกอำเภอ (34)	<LLD-181	56 ± 12	6-232	65 ± 14	<LLD-550	299 ± 47
ค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก (UNSCEAR, 2000)	**40**		**40**		**400**	

จากข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.2 พบค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K อยู่ในช่วง <LLD-181 (เฉลี่ย 56 ± 12) Bq/kg, 6-232 (เฉลี่ย 65 ± 14) Bq/kg และ <LLD-550 (เฉลี่ย 299 ± 47) Bq/kg ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีมากสุดของ ^{232}Th อยู่ที่ อ.ปากพะยูน (181 Bq/kg), ^{226}Ra อยู่ที่ อ.กงหรา (232 Bq/kg) และ ^{40}K อยู่ที่ อ.เขาชัยสน (550 Bq/kg)

พิจารณาที่ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th แต่ละอำเภอพบว่าค่าต่ำสุด และสูงสุดเป็นของ อ.ควนขนุน (37 ± 21 Bq/kg) และ อ.ปากพะยูน (116 ± 17 Bq/kg) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสี ของ ^{226}Ra ต่ำสุดที่ อ.ควนขนุน (37 ± 8 Bq/kg) สูงสุดที่ อ.กงหรา (141 ± 96 Bq/kg) ส่วนค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{40}K ต่ำสุดที่ กิ่ง อ.ศรีนครินทร์ (145 ± 165 Bq/kg) สูงสุดที่ อ.กงหรา (412 ± 129 Bq/kg)

เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีในทรายของโลกโดยเทียบทรายกับวัสดุก่อสร้าง (UNSCEAR, 2000) ค่าที่ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยโลกเล็กน้อยในปริมาณ ^{232}Th และ ^{226}Ra

4.1.3 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในหิน

ได้ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสี ^{232}Th, ^{238}U และ ^{40}K ในพื้นที่จังหวัดพัทลุงจำนวน 20 ตัวอย่าง (เนื่องจากการเก็บตัวอย่างหินจะเน้นหินที่โผล่ ดังนั้น บางบริเวณในจังหวัดพัทลุงจะไม่พบตัวอย่างหินให้เห็น แต่จะเห็นเศษหินที่มาจากที่อื่น จึงทำให้บางบริเวณ พบตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง โดยจะแสดงค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีเพียงอย่างเดียว) ดังแสดงในตาราง 4.3 และภาพประกอบ 4.3

ตาราง 4.3 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th,^{226}Ra และ^{40}K ในหินของจังหวัดพัทลุง

อำเภอ / กิ่งอำเภอ	^{232}Th (Bq/kg)		^{238}U (Bq/kg)		^{40}K (Bq/kg)	
(จำนวนตัวอย่าง)	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ปากพะยูน (1)	2	2	12	12	103	103
ป่าบอน (1)	156	156	144	144	981	981
ตะโหมด (2)	12-40	23 ± 21	36-104	70 ± 67	37-115	76 ± 76
เขาชัยสน (1)	1	1	25	25	54	54
กงหรา (4)	17-126	62 ± 45	18-234	78 ± 102	22-231	137 ± 86
เมือง (2)	3-6	5 ± 3	31-39	35 ± 8	<LLD	<LLD
★ศรีนครินทร์(6)	1-112	38 ± 38	28-67	53 ± 27	<LLD -798	225 ± 244

ตาราง 4.3 (ต่อ)

อำเภอ / กิ่งอำเภอ (จำนวนตัวอย่าง)	^{232}Th (Bq/kg)		^{226}Ra (Bq/kg)		^{40}K (Bq/kg)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ศรีบรรพต (2)	<LLD -144	72 ± 141	10-133	71 ± 120	<LLD -1111	555 ± 1088
ควนขนุน (1)	8	8	50	50	79	79
รวมทุกอำเภอ (20)	<LLD -156	42 ± 23	10-234	61 ± 25	<LLD -1111	219 ± 147
ค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก (UNSCEAR, 2000)	**35**		**35**		**370**	

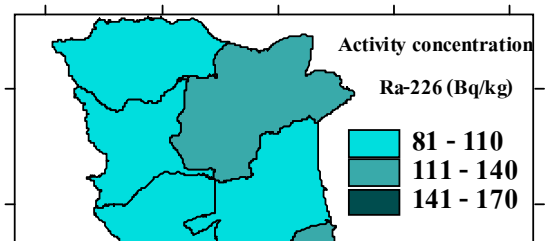
จากข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.3 พบค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีในหิน ของ ^{232}Th , ^{226}Ra , และ^{40}K อยู่ในช่วง <LLD-156 (เฉลี่ย 42 ± 23) Bq/kg, 10-234 (เฉลี่ย 61 ± 25) Bq/kg และ <LLD-1111 (เฉลี่ย 219 ± 147) Bq/kg ตามลำดับ โดยค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีมากสุดของ ^{232}Th อยู่ที่ อ.ป่าบอน (156 Bq/kg), ^{226}Ra อยู่ที่ อ.กงหรา (234 Bq/kg) และ ^{40}K อยู่ที่ อ.ศรีบรรพต (1111 Bq/kg)

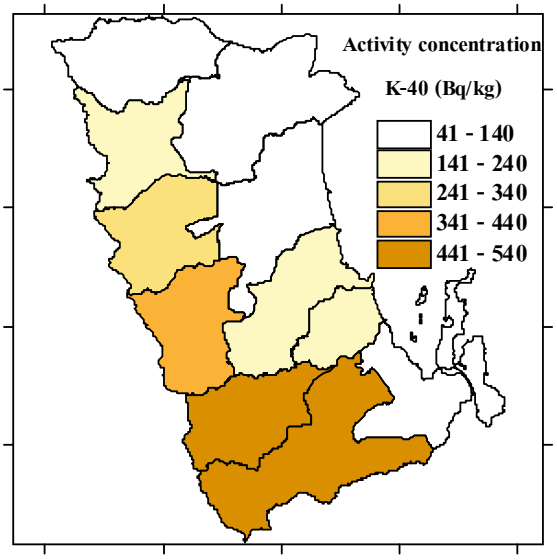
พิจารณาที่ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th ทั้งจังหวัดพบว่ามีค่า 42 ± 23 Bq/kg ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra คือ 61 ± 25 Bq/kg ส่วนค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{40}K คือ 219 ± 147 Bq/kg เมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปเทียบกับค่าเฉลี่ยโลก ค่าที่ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยโลกในปริมาณ ^{232}Th และ^{226}Ra ส่วนระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีที่เด่นชัดในแต่ละอำเภอ มีดังนี้

ระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{40}K ในช่วง >340 Bq/kg จะพบในอ.ศรีบรรพต (555 ± 1088 Bq/kg) โดยค่ามากสุดพบที่ อ.ป่าบอน คือ 981 Bq/kg

ระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ในช่วง >110 Bq/kg จะพบใน อ.ป่าบอน จะมีค่า 144 Bq/kg โดยค่ามากสุดอยู่ที่ อ.กงหรา (234 Bq/kg)

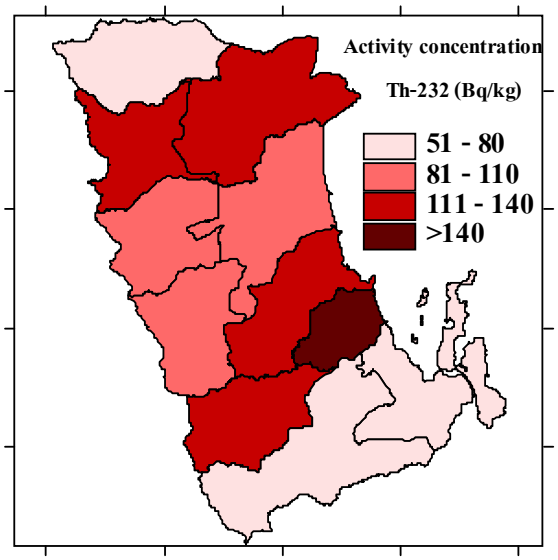
ระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th ในช่วง >110 Bq/kg จะพบในอ.ป่าบอน มีค่า 156 Bq/kg





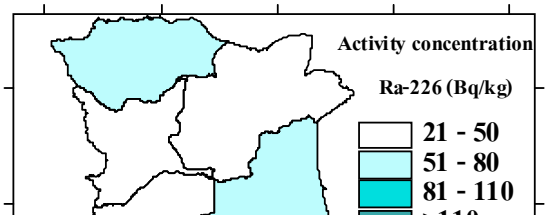
(ก)

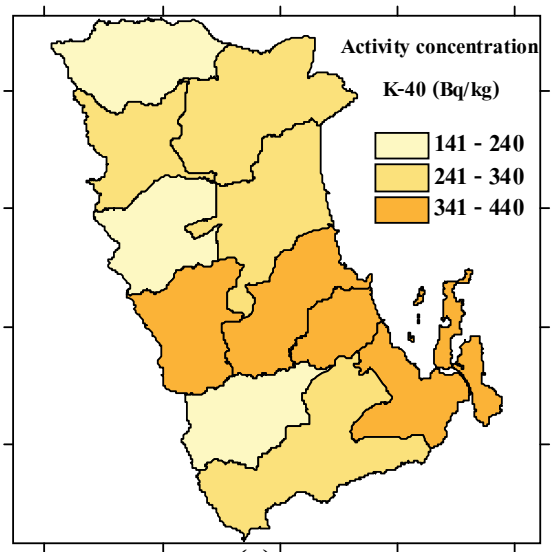
(ข)



(ค)

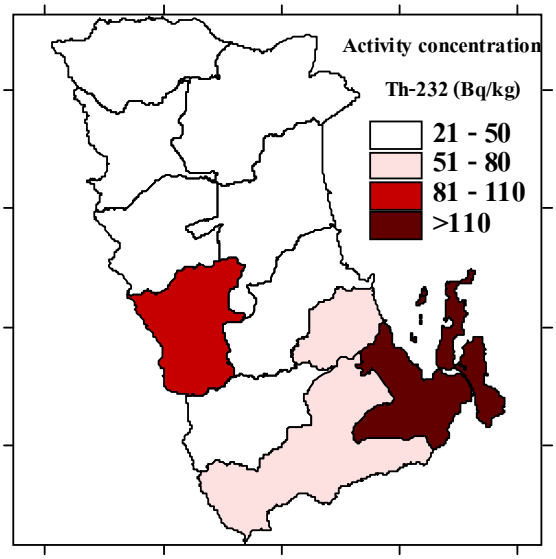
ภาพประกอบ 4.1 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ (ก) ^{40}K (ข) ^{226}Ra (ค) ^{232}Th ในตัวอย่างดิน





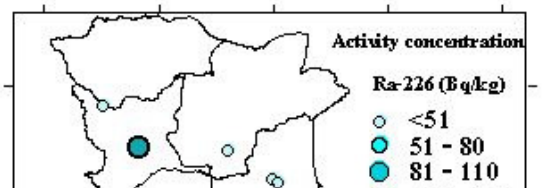
(ก)

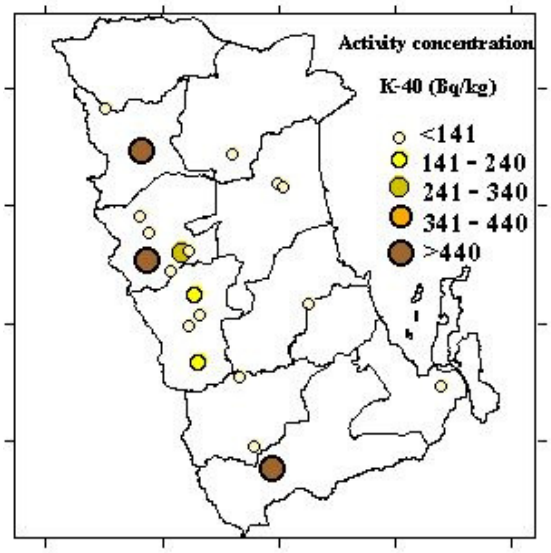
(ข)



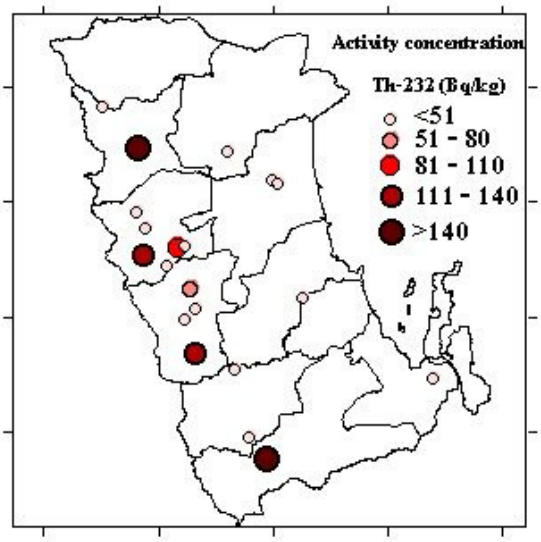
(ค)

ภาพประกอบ 4.2 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ (ก) ^{40}K (ข) ^{226}Ra (ค) ^{232}Th ในตัวอย่างทราย





(ก)



(ข)

(ค)

ภาพประกอบ 4.3 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ (ก) ^{40}K (ข) ^{226}Ra (ค) ^{232}Th ในตัวอย่างหิน

4.2 ค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล (Radium Equivalent Activity : Ra_{eq}) กับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้

ค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล เป็นค่าดัชนีที่ใช้โดยทั่วกันไปในการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีโดยรวม แสดงค่าเรเดียมสมมูล (Ra_{eq}) ดังสมการ (OECE, 1979)

$$Ra_{eq} = 370(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}) \quad (4\text{-}1)$$

โดย A_{Ra} , A_{Th} , A_K คือความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ในหน่วย Bq/kg ตามลำดับซึ่งความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra เท่ากับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{238}U โดยค่าเรเดียมที่คำนวณได้ควรจะต่ำกว่า 370 Bq/kg (Beretka and Mathew ,1985) ถือเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้เมื่อคำนึงถึงความเสี่ยงอันตรายจากก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน ที่มีต่อระบบการหายใจ ค่าที่ได้แสดงไว้ในตาราง 4.4 และภาพประกอบ 4.4

ตาราง 4.4 ค่าต่ำสุด, สูงสุด และค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพเรเดียมสมมูลในตัวอย่างดิน ทราย และหิน ของจังหวัดพัทลุง

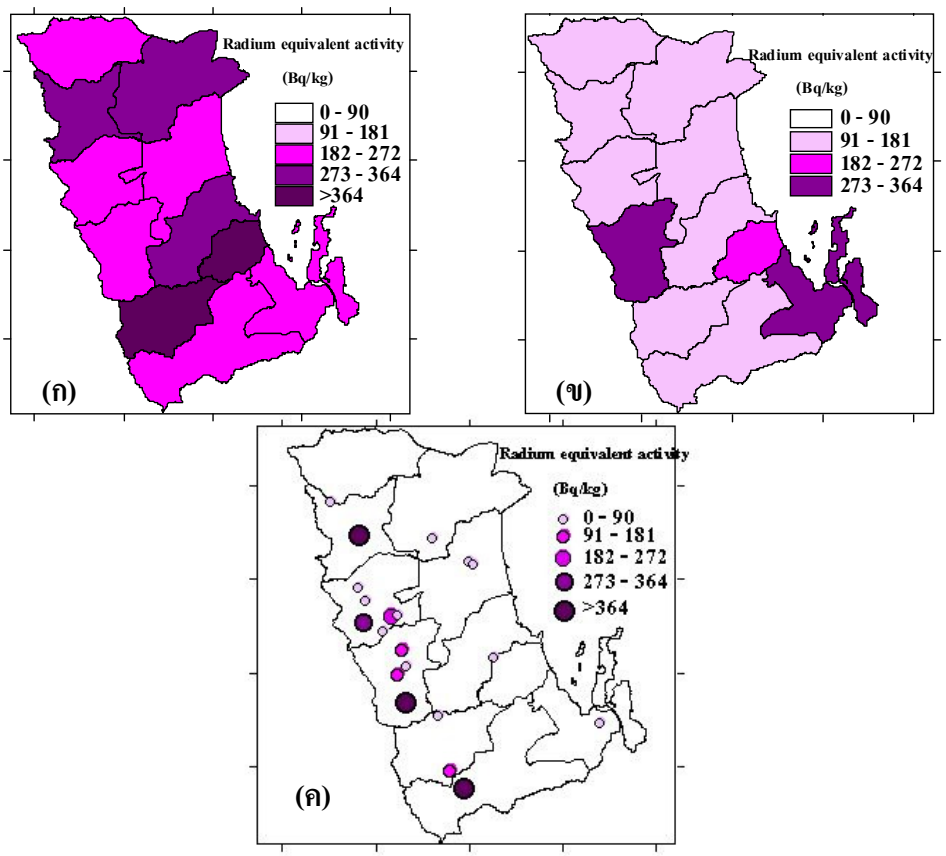
อำเภอ ★กิ่งอำเภอ	ค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล (Bq/kg)					
	ดิน (34 ตัวอย่าง)		ทราย (34 ตัวอย่าง)		หิน (20 ตัวอย่าง)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ปากพะยูน	172-224	198 ± 51	168-413	300 ± 141	22	22
ป่าบอน	190-308	230 ± 76	93-202	156 ± 75	442	442
ตะโหมด	344-399	366 ± 33	42-209	122 ± 96	56-161	108 ± 103
บางแก้ว	322-519	412 ± 113	151-261	205 ± 69	-	-
เขาชัยสน	254-335	308 ± 52	133-145	141 ± 58	31	31
กงหรา	173-299	244 ± 55	263-371	300 ± 139	58-427	177 ± 166
เมือง	156-292	238 ± 58	110-167	137 ± 58	40-44	42 ± 4
★ศรีนครินทร์	139-419	257 ± 164	6-183	108 ± 113	35-336	124 ± 98
ศรีบรรพต	206-377	291 ± 97	121-150	132 ± 41	10-424	217 ± 406
ควนขนุน	185-399	298 ± 121	85-131	115 ± 48	68	68
ป่าพะยอม	139-243	194 ± 59	126-169	141 ± 43	-	-
รวมทุกอำเภอ	139-519	276 ± 5	6-413	169 ± 28	10-442	138 ± 65

จากตาราง 4.4 ตัวเลขที่ได้มาเมื่อดูที่ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพเรเดียมสมมูลในตัวอย่างดิน จะพบค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูลเกินค่ามาตรฐานเพียงอำเภอเดียวคือ อ.บางแก้ว (412 ± 113

Bq/kg) เมื่อพิจารณาทุกอำเภอจะพบค่าทั้งหมดอยู่ในช่วง 139-519 (เฉลี่ย 276 ± 5) Bq/kg โดยพบอำเภอที่มีค่าสูงสุดมากกว่าค่ามาตรฐาน คือ อ.บางแก้ว (519 Bq/kg) อ.ตะโหมด (399 Bq/kg) อ.ควนขนุน (399 Bq/kg) และอ.ศรีบรรพต (377 Bq/kg)

ในตัวอย่างทรายมีค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูลอยู่ในช่วง 6-413 (เฉลี่ย 169 ± 28) Bq/kg ค่าเฉลี่ยที่ได้น้อยกว่าค่ามาตรฐานทุกอำเภอ แต่เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน ก็จะพบค่าที่เกินมาตรฐานที่ อ.ปากพะยูน (413 Bq/kg) และ อ.กงหรา (371 Bq/kg) ค่าที่ได้เกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย

ในตัวอย่างหินมีค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูลอยู่ในช่วง 10-442 (เฉลี่ย 138 ± 65) Bq/kg ค่าเฉลี่ยหินที่ได้น้อยกว่าค่ามาตรฐานเช่นเดียวกับตัวอย่างทราย แต่ก็พบบางอำเภอที่มีค่าสูงสุดเกิน คือ อ.ป่าบอน (442 Bq/kg) อ.กงหรา (427 Bq/kg) และศรีบรรพต (424 Bq/kg) ซึ่งเป็นค่าที่เกินค่ามาตรฐานไม่มากนัก



ภาพประกอบ 4.4 แผนที่แสดงระดับค่ากัมมันตภาพเรเดียมสมมูล ของ (ก) ดิน (ข) ทราย (ค) หิน

4.3 ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอก และภายในร่างกาย (External and internal hazard index)

4.3.1 ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอก (H_{ex})

คือ ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีที่รับจากภายนอกร่างกาย โดยส่วนใหญ่จะเป็นรังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง ที่มาจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติภายนอกร่างกาย ค่าดัชนีความเสี่ยงนี้ คำนวณได้จากสมการ (Beretka and Mathew, 1995)

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \quad (4\text{-}2)$$

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \quad (4\text{-}3)$$

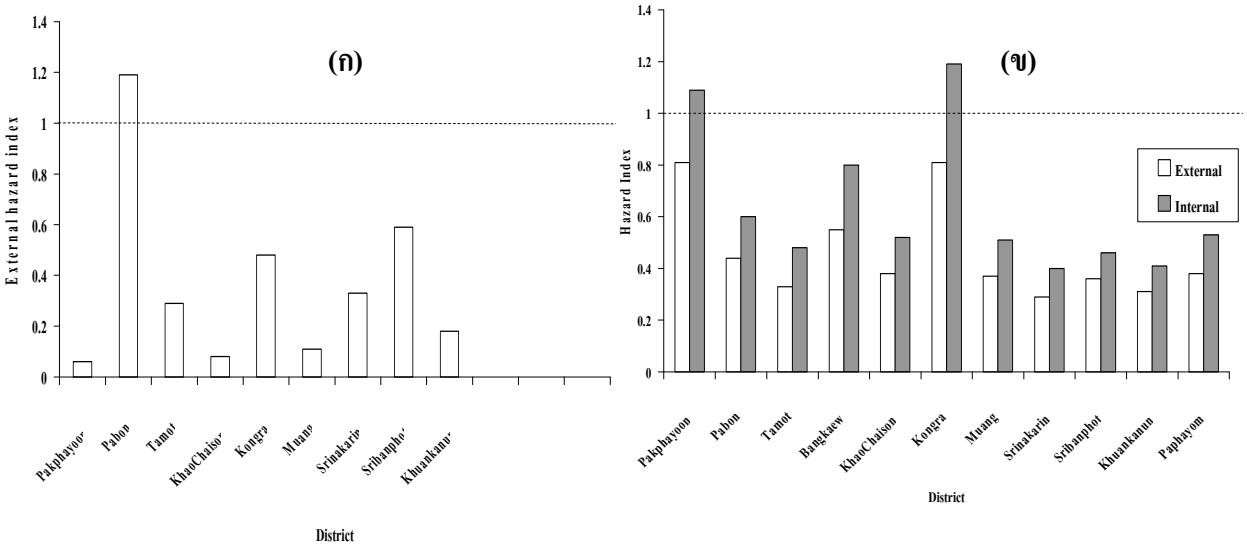
สมการนี้เป็นรูปแบบจำลอง (conservative model) ของการได้รับอันตรายจากรังสีภายนอกเมื่อใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่น หิน ทราย มาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน เมื่อค่า H_{ex}<1 แสดงว่าอันตรายจากรังสีภายนอกมีน้อยจนละทิ้งได้ แต่ถ้า H_{ex}= 1 แสดงว่า Ra_{eq} มีค่าเท่ากับ 370 Bq/kg และผู้ได้รับสัมผัสรังสีภายนอกจะได้รับปริมาณรังสีดูดกลืนเท่ากับ 1.5 mGy/y หากค่า H_{ex}>1 อันตรายจากการได้รับสัมผัสรังสีภายนอกมีมาก ซึ่งไม่ควรจะนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน จากตาราง 4.5 แสดงค่าดัชนีความเสี่ยงรังสีภายนอกของตัวอย่างทราย และหินอยู่ในช่วง 0.02-1.12 (เฉลี่ย 0.46 ± 0.08) และ 0.03-1.19 (เฉลี่ย 0.37 ± 0.17) โดยมีบางอำเภอที่มีค่าสูงสุดที่มากกว่า 1 ในตัวอย่างทรายคือ อ.ปากพะยูน (1.12) ในตัวอย่างหินคือ อ.ป่าบอน (1.19) , อ.กงหรา (1.15) , และ อ.ศรีบรรพต (1.15) แต่อย่างไรค่า H_{ex} ที่ได้ก็มากกว่า 1 ไม่มากนัก

4.3.2 ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายใน (H_{in})

คือค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีที่ได้รับภายในร่างกาย มาจากก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน ทอรอน และผลผลิตจากการสลายตัวให้รังสีแอลฟาซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบการหายใจ สามารถคำนวณได้จากสมการ 4-3 ค่าที่ได้แสดงในตาราง 4.5 พบค่า H_{in} ในทรายอยู่ในช่วง 0.03-1.63 (เฉลี่ย 0.63 ± 0.11) ค่าที่ได้ส่วนใหญ่น้อยกว่า 1 แต่มีบางอำเภอที่มีค่าสูงสุดมากกว่า 1 คือ อ.ป่าพะยอม (1.42) และอ.กงหรา (1.63) พิจารณาที่ค่าเฉลี่ยแต่ละอำเภอจะพบ 2 อำเภอที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 1 คือ อ.ปากพะยูน (1.09 ± 3.39) และอ.กงหรา (1.19 ± 0.44) ค่าที่ได้มากกว่า 1ไม่มากนัก แต่ก็ถือเป็นปัจจัยเสี่ยงในการใช้วัสดุทรายสร้างบ้าน

ตาราง 4.5 แสดงค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอก และภายในร่างกาย ในตัวอย่างทราย และหิน

อำเภอ ★ กิ่งอำเภอ	ทราย (34 ตัวอย่าง)				หิน (20 ตัวอย่าง)	
	H_{ex}		H_{in}		H_{ex}	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ปากพะยูน	0.45-1.12	0.81 ± 0.38	0.71-1.42	1.09 ± 3.39	0.06	0.06
ป่าบอน	0.25-0.54	0.44 ± 0.18	0.34-0.77	0.60 ± 0.26	1.19	1.19
ตะโหมด	0.11-0.57	0.33 ± 0.26	0.23-0.78	0.48 ± 0.31	0.15-0.44	0.29 ± 0.28
บางแก้ว	0.41-0.71	0.55 ± 0.17	0.64-0.97	0.80 ± 0.19	-	-
เขาชัยสน	0.36-0.39	0.38 ± 0.02	0.48-0.56	0.52 ± 0.04	0.08	0.08
กงหรา	0.71-1.00	0.81 ± 0.19	0.89-1.63	1.19 ± 0.44	0.15-1.15	0.48 ± 0.45
เมือง	0.30-0.45	0.37 ± 0.08	0.35-0.66	0.51 ± 0.13	0.11-0.12	0.11 ± 0.01
★ ศรีนครินทร์	0.02-0.49	0.29 ± 0.28	0.03-0.61	0.40 ± 0.36	0.09-0.91	0.33 ± 0.27
ศรีบรรพต	0.33-0.40	0.36 ± 0.05	0.39-0.53	0.46 ± 0.08	0.03-1.15	0.59 ± 1.10
ควนขนุน	0.23-0.35	0.31 ± 0.08	0.32-0.47	0.41 ± 0.09	0.18	0.18
ป่าพะยอม	0.35-0.46	0.38 ± 0.07	0.46-0.61	0.53 ± 0.09	-	-
รวมทุกอำเภอ	0.02-1.12	0.46 ± 0.08	0.03-1.63	0.63 ± 0.11	0.03-1.19	0.37 ± 0.17



ภาพประกอบ 4.5 กราฟแท่งแสดงค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีภายนอก และภายในร่างกาย ของ (ก) ตัวอย่างหิน (ข) ตัวอย่างทราย

4.4 ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rate) และปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปี (annual effective doses) ในตัวอย่างดิน ทราย และหิน

ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ จากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลกสำหรับภายนอกอาคารบ้านเรือน ซึ่งคำนวณจากค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K โดยสมมติว่านิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิดอื่นที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ^{137}Cs, ^{90}Sr และ ^{235}U มีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้งได้โดยปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีของตัวอย่างดินและหิน สามารถคำนวณได้จากสมการ (UNSCEAR, 2000)

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

Annual excess effective dose (Indoor) $= 0.7\ \text{Sv Gy}^{-1} \times 7000\ \text{h} \times D(nGy/h)$ (4-5)

Annual excess effective dose (outdoor) $= 0.7\ \text{Sv Gy}^{-1} \times 1760\ \text{h} \times D(nGy/h)$ (4-6)

ค่าที่ได้แสดงไว้ในตาราง 4.6-4.8

ตาราง 4.6 แสดงปริมาณรังสีดูดกลืน และปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี ในตัวอย่างดิน

อำเภอ ★ กิ่งอำเภอ (จำนวนตัวอย่าง)	ปริมาณรังสีดูดกลืน ($nGy\ h^{-1}$)			ปริมาณรังสีประสิทธิผล/ปี ($mSv\ y^{-1}$)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย ± 1.96 SE	Indoors ± 1.96 SE	Outdoors ± 1.96 SE
ปากพะยูน (2)	75	100	87 ± 24	0.43 ± 0.09	0.11 ± 0.03
ป่าบอน (3)	86	143	106 ± 37	0.52 ± 0.16	0.13 ± 0.05
ตะโหมด (3)	156	181	165 ± 15	0.81 ± 0.06	0.20 ± 0.02
บางแก้ว (3)	143	230	182 ± 50	0.89 ± 0.22	0.23 ± 0.06
เขาชัยสน (3)	12	151	137 ± 24	0.67 ± 0.10	0.17 ± 0.03
กงหรา (4)	75	136	110 ± 26	0.54 ± 0.13	0.14 ± 0.03
เมือง (4)	69	127	104 ± 25	0.51 ± 0.12	0.13 ± 0.03
★ศรีนครินทร์ (3)	62	189	115 ± 75	0.56 ± 0.32	0.14 ± 0.09
ศรีบรรพต (3)	90	168	129 ± 44	0.63 ± 0.19	0.16 ± 0.06
ควนขนุน (3)	81	177	131 ± 55	0.64 ± 0.24	0.16 ± 0.07
ป่าพะยอม (3)	63	107	86 ± 25	0.42 ± 0.11	0.11 ± 0.03
รวมทุกอำเภอ (34)	62	230	123 ± 13	0.60 ± 0.20	0.15 ± 0.02

จากตาราง 4.6 แสดงปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของตัวอย่างดินที่คำนวณได้อยู่ในช่วง 62-230 (เฉลี่ย 123 ± 13) $nGy\ h^{-1}$ โดยค่าสูงสุดอยู่ที่ อ.บางแก้ว (230 $nGy\ h^{-1}$) ส่วนค่าต่ำสุดอยู่ที่กิ่งอ.ศรีนครินทร์ (62 $nGy\ h^{-1}$) เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานรังสีดูดกลืนในอากาศ

ของโลก (worldwide) ใน UNSCEAR 2000 คือ 60 nGy h^{-1} พบค่าเฉลี่ยที่เกินมาตรฐานทุกอำเภอ นำค่าที่ได้ไปหาปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี ที่ค่ามาตรฐานโลกกำหนดไว้ คือ 0.48 mSv ต่อปี โดยแจงเป็น ภายในบ้าน และนอกบ้าน คือ 0.41 mSv และ 0.07 mSv ตามลำดับ จากตัวอย่างดินที่ศึกษาเป็นตัวอย่างนอกบ้าน ดังนั้นจึงพิจารณาที่ค่า Outdoor เพราะค่ารังสีในบ้าน (Indoor) อาจมาจากปัจจัยอื่น เช่นวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ รวมทั้งการระบายอากาศในบ้านด้วย เมื่อนำปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจากนอกบ้านมาวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ มากกว่าค่ามาตรฐานโลกเล็กน้อย แต่จะพบค่าที่มากกว่าค่ามาตรฐานมากที่ อ.บางแก้ว (0.23 ± 0.06 mSv y^{-1}) และอ.ตะโหมด (0.20 ± 0.02 mSv y^{-1}) เมื่อดูที่ค่าเฉลี่ยรวมทั้งจังหวัด (0.15 ± 0.02 mSv y^{-1}) ค่าที่ได้เกินค่ามาตรฐานไม่มากนัก

ตาราง 4.7 แสดงปริมาณรังสีดูดกลืน และปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี ในตัวอย่างหิน

★อำเภอ กิ่งอำเภอ (จำนวนตัวอย่าง)	ปริมาณรังสีดูดกลืน (nGy h^{-1})			ปริมาณรังสีประสิทธิผล/ปี (mSv y^{-1})
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย ± 1.96 SE	เฉลี่ย ± 1.96 SE
ปากพะยูน (1)	11	11	11	0.01
ป่าบอน (1)	202	202	201	0.25
ตะโหมด (2)	25	73	49 ± 47	0.06 ± 0.06
เขาชัยสน (1)	15	15	15	0.02
กงหรา (4)	26	191	79 ± 74	0.10 ± 0.09
เมือง (2)	18	20	19 ± 2	0.02 ± 0.002
★ศรีนครินทร์ (6)	17	154	57 ± 45	0.07 ± 0.06
ศรีบรรพต (2)	5	195	100 ± 186	0.12 ± 0.23
ควนขนุน (1)	31	31	31	0.04
รวมทุกอำเภอ (20)	5	202	63 ± 29	0.08 ± 0.04

จากตาราง 4.7 แสดงปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนในอากาศอยู่ในช่วง 5-202 nGy h^{-1} (เฉลี่ย 63 ± 29 nGy h^{-1}) โดยค่ามากสุดจะอยู่ที่ อ.ป่าบอน (202 nGy h^{-1}) ส่วนค่าน้อยสุดอยู่ที่ อ.ศรีบรรพต (5 nGy h^{-1}) เมื่อนำไปคำนวณค่ารังสีประสิทธิผลต่อปี โดยคิดค่ารังสีนอกบ้านเนื่องจากตัวอย่างหินที่เก็บเป็นตัวอย่างหินภูเขา ส่วนมากจึงใช้เกณฑ์ปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปีของค่าเฉลี่ยมาตรฐานโลก เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน คือ 0.07 mSv ต่อปี จากตารางพบว่าค่าที่ได้ส่วนมากน้อยกว่า 0.07

mSv ต่อปี พบเพียงบางอำเภอที่มีค่ามากกว่า คือ อ.ป่าบอน (0.25 mSv) อ.กงหรา (0.10 ± 0.09 mSv) และอ.ศรีบรรพต (0.12 ± 0.23 mSv)

ตาราง 4.8 แสดงปริมาณรังสีดูดกลืน และปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี ในตัวอย่างทราย

อำเภอ ★ กิ่งอำเภอ (จำนวนตัวอย่าง)	ปริมาณรังสีดูดกลืน ($nGy\ h^{-1}$) ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย $\pm$ 1.96 SE	ปริมาณรังสีประสิทธิผล/ปี ($mSv\ y^{-1}$) เฉลี่ย $\pm$ 1.96 SE
ปากพะยูน (3)	146	346	255 ± 114	1.25 ± 0.56
ป่าบอน (3)	81	172	139 ± 57	0.68 ± 0.28
ตะโหมด (3)	39	179	106 ± 79	0.52 ± 0.39
บางแก้ว (3)	136	223	179 ± 49	0.88 ± 0.24
เขาชัยสน (3)	120	128	124 ± 5	0.61 ± 0.02
กงหรา (3)	225	328	260 ± 66	1.28 ± 0.33
เมือง (4)	94	149	119 ± 26	0.59 ± 0.13
★ศรีนครินทร์ (3)	6	153	92 ± 87	0.45 ± 0.42
ศรีบรรพต (3)	103	127	114 ± 14	0.56 ± 0.06
ควนขนุน (3)	77	115	101 ± 23	0.50 ± 0.11
ป่าพะยอม (3)	106	146	122 ± 24	0.60 ± 0.12
รวมทุกอำเภอ (34)	6	328	146 ± 24	071 ± 0.12

จากตาราง 4.8 แสดงตัวอย่างทรายที่เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับที่อยู่อาศัย จึงต้องตรวจวัดรังสีเพื่อความปลอดภัยในการรับรังสีในบ้าน โดยการหาค่ารังสีดูดกลืนในอากาศ และค่าปริมาณประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีได้จากสมการ (European Commission ,1999)

$$D(nGy/h) = 0.92A_{Ra} + 1.1A_{Th} + 0.080A_{K} \quad (4\text{-}7)$$

$$\text{Annual excess effective dose (Indoor)} = 0.7\ \text{Sv Gy}^{-1} \times 7000\ \text{h} \times D(nGy/h) \quad (4\text{-}8)$$

ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 6-328 (เฉลี่ย 146 ± 24 $nGy\ h^{-1}$) โดยค่ามากสุดพบที่ อ.กงหรา (328 $nGy\ h^{-1}$) และน้อยสุดที่ กิ่งอ.ศรีนครินทร์ (6 $nGy\ h^{-1}$) นำค่าที่ได้ไปหาปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปี โดยทาง European Commission (1999) ได้กำหนดค่าไม่ให้เกิน 1 mSv ต่อปีในวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ ไว้ เช่นในวัสดุที่หนาและใช้สร้างบ้านในปริมาณมาก เช่น อิฐ คอนกรีต ส่วนวัสดุที่มีขีดจำกัด

หรือใช้ไม่มาก เช่น พวกไม้กระดาน และกระเบื้องกำหนดไว้ไม่เกิน 6 mSv ต่อปี จากงานวิจัยได้ใช้เกณฑ์ 1 mSv ต่อปีในพวกทราย โดยค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้มีปริมาณน้อยจะพบเพียงบางอำเภอที่มีปริมาณมากกว่าค่าที่กำหนดเพียงเล็กน้อย คือที่ อ.ปากพะยูน (1.25 ± 0.56 mSv) และที่ อ.กงหรา (1.28 ± 0.33 mSv)

4.5 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหินชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหินทั่วไป

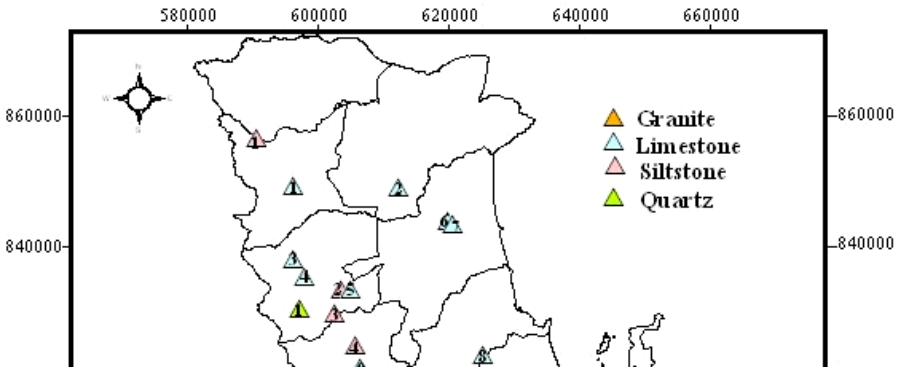
จากการเก็บข้อมูลในตัวอย่างหินโผล่บริเวณต่างๆ 20 ตัวอย่าง ในจังหวัดพัทลุงมาคิดเทียบเป็นค่าความเข้มข้นสมมูลโดยแยกเป็นชนิดหินต่างๆ ดังตาราง 4.9 แสดงค่าความเข้มข้นโพแทสเซียมมีค่ามากสุดที่ อ.ศรีบรรพต บริเวณอุทยานเขาปู่ (St-SBP2) คือ 3.674% ชนิดหินเป็นหินปูน ส่วนความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูลพบมากสุดที่ อ.กงหรา บริเวณน้ำตกไพรวัลย์ (St-KR1) คือ 18.970 ppm ชนิดหินเป็นหินแกรนิต และความเข้มข้นของทอเรียมสมมูลพบมากสุดที่ อ.ป่าบอน บริเวณน้ำตกโตนสะตอ (St-PB) คือ 38.604 ppm ชนิดหินเป็นหินแกรนิต

จากค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูล จะพบมากสุดในหินแกรนิต ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลของหินแกรนิตในจังหวัดสงขลา (สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล,2537) พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นยูเรเนียมของหินแกรนิตในจังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี มีค่า 18 ppm eU ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ศึกษาในหินแกรนิต อ.กงหรา แต่อย่างไรก็ตามยังพบตัวอย่างหินแกรนิตที่มีปริมาณยูเรเนียมสมมูลน้อยกว่าหินปูน เช่นที่ อ.ตะโหมด บริเวณน้ำตกลาดเตย พบว่าเป็นหินแกรนิตผุ (decaying granite) เกิดจากการพัดพาของน้ำ และกระแสลม จึงทำให้ปริมาณยูเรเนียมสะสมอยู่กับน้ำ

ตาราง 4.9 แสดงความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล ในตัวอย่างหินชนิดต่างๆ

สัญลักษณ์	สถานที่เก็บ	ชนิดหิน	ความเข้มข้น

			K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)
St-PPU	หินบ้านไร่	หินทรายแป้ง (Siltstone)	0.341	0.957	0.405
St-PB	น้ำตกโตนสะตอ	หินแกรนิต	0.247	11.629	38.604
St-TM1	น้ำตกลาดเตย	หินแกรนิต	0.379	8.412	8.385
St-TM2	หินบ้านคลองเฉลิม	หินปูน	0.121	2.883	2.965
St-KCH1	บ่อน้ำร้อน-น้ำเย็น	หินปูนมีแร่แคลไซด์มาก	0.179	2.004	0.339
St-KR1	น้ำตกไพรวัลย์	หินแกรนิต	0.560	18.970	31.153
St-KR2	น้ำตกมโนราห์	หินปูน	0.404	2.333	10.964
St-KR3	หินบ้านคลองทรายขาว	หินทรายแป้ง	0.767	1.435	15.044
St-KR4	เขาพญาโฮ้ง	หินปูน	0.075	2.528	4.267
St-M1	ถ้ำมาลัย	หินปูน	<LLD	3.199	0.798
St-M2	เขาหัวแดง	หินปูน	<LLD	2.548	1.523
St-SNR1	ถ้ำสุมโน	หินปูนมีแร่แคลไซด์มาก	<LLD	3.472	1.812
St-SNR2	หินบ้านลำสินธุ์	หินทรายแป้ง (Siltstone)	1.117	5.388	20.793
St-SNR3	หินบ้านเขาคราม	แร่ควอร์ตซ์(Quartz rock)	2.641	9.223	27.743
St-SNR4	เขาลำเลียง	หินปูน	0.345	2.386	2.339
St-SNR5	เขาเภา	หินปูน	0.121	2.883	2.965
St-SNR6	หินบ้านโตน	หินทรายแป้ง (Siltstone)	0.242	2.231	0.334
St-SBP1	หินบ้านวังเลน	หินทรายแป้ง (Siltstone)	<LLD	0.847	<LLD
St-SBP2	อุทยานเขาปู่	หินปูน	3.674	10.736	35.666
St-KKN	สำนักสงฆ์ถ้ำวัง	หินปูน	0.262	4.076	1.925
รวม	20	ตัวอย่าง			



ภาพประกอบ 4.6 แสดงจุดเก็บตัวอย่างหิน และชนิดหินต่างๆ ในจังหวัดพัทลุง

เมื่อนำข้อมูลจากตาราง 4.9 มาพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหินทั่วไปจากข้อมูลทางธรณีวิทยา (Fowler,1990) ได้แสดงไว้ในตาราง 4.10 จากตัวอย่างที่ศึกษาจะเทียบชนิดหินทรายแป้งกับหินดินดานเนื่องจากตะกอนทรายแป้ง ไม่ปรากฏเด่นชัดเมื่อเกิดร่วมกับหินดินดาน โดยปกติหินดินดานประกอบด้วยทรายแป้งประมาณหนึ่งในสามถึงครึ่งหนึ่ง บางแห่งอาจพบมากกว่านี้ จากตารางพิจารณาตามชนิดหินได้ดังนี้

หินแกรนิตพบความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูลอยู่ในช่วง 0.2-0.6 (เฉลี่ย 0.4 ± 0.2) ppm , 8.4-19.0 (เฉลี่ย 13.0 ± 6.1) ppm และ 8.4-38.6 (เฉลี่ย 26.0 ± 17.8) ppm ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบอัตราเสี่ยงกับความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหินทั่วไปมีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมใกล้เคียงกับ ค่าความเข้มข้นในหินแกรนิตทั่วไป (3.3 – 3.5 ppm) แต่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูล (2.6 เท่า) และทอเรียมสมมูล (1.4 เท่า)

หินปูนพบความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล อยู่ในช่วง <LLD-3.7 (เฉลี่ย 0.5 ± 0.6) ppm , 2.0-10.7 (เฉลี่ย 3.5 ± 1.5) ppm และ 0.3-35.7 (เฉลี่ย 6.0 ± 6.1) ppm ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบอัตราเสี่ยงกับความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหิน

ทั่วไปพบค่าความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นหินปูนทั่วไป โดยสูงกว่าความเข้มข้นโพแทสเซียม (1.7 เท่า), ยูเรเนียมสมมูล (1.6 เท่า) และ ทอเรียมสมมูล (3.5 เท่า)

หินทรายแป้งพบความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูล อยู่ในช่วง <LLD-1.1 (เฉลี่ย 0.5 ± 0.4) ppm , 0.8-5.4 (เฉลี่ย 2.2 ± 1.6) ppm และ<LLD-20.8 (เฉลี่ย 7.3 ± 8.7) ppm ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบอัตราเสี่ยงกับความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในหินทั่วไปมีค่าความเข้มข้นโพแทสเซียมใกล้เคียง กับค่าความเข้มข้นในหินทรายแป้งทั่วไป (1.2 ppm) แต่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูล (1.5 เท่า) และทอเรียมสมมูล (2.4 เท่า)

ตาราง 4.10 แสดงค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม ยูเรเนียมสมมูล และทอเรียมสมมูลในหินชนิดต่างๆ ของจังหวัดพัทลุง กับค่าเฉลี่ยในหินทั่วไป (Fowler,1990)

ชนิดหิน (จำนวนตัวอย่าง)	ความเข้มข้น					
	K (%)		eU (ppm)		eTh (ppm)	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
แกรนิต (3)	0.2-0.6	0.4 ± 0.2 $(3.3 - 3.5)^b$	8.4-19.0	13.0 ± 6.1 $(4\text{-}5)^b$	8.4-38.6	26.0 ± 17.8 $(15\text{-}18)^b$
ปูน (11)	<LLD-3.7	0.5 ± 0.6 $(0.3)^b$	2.0-10.7	3.5 ± 1.5 $(2.2)^b$	0.3-35.7	6.0 ± 6.1 $(1.7)^b$
ทรายแป้ง (5)	<LLD-1.1	0.5 ± 0.4 $(1.2)^b$	0.8-5.4	2.2 ± 1.6 $(1.5)^b$	<LLD-20.8	7.3 ± 8.7 $(3.0)^b$
[a]Quartz (1)	2.6	2.6	9.2	9.2	27.7	27.7

หมายเหตุ : [a] จำนวนตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง

: [b] ความเข้มข้นชนิดหินทั่วไป (Fowler,1990)

4.6 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติของ ^{226}Ra ในน้ำกับปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจาก ^{226}Ra ในน้ำบ่อตื้น

4.6.1 ค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติของ ^{226}Ra ในน้ำบ่อตื้นของจังหวัดพัทลุง

ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อที่ใช้ในการบริโภค ภายในจังหวัดพัทลุง จำนวน 60 ตัวอย่าง มาหาค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra โดยใช้สารจับเรเดียม และวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก) ค่าที่ได้แสดงไว้ในตาราง 4.11

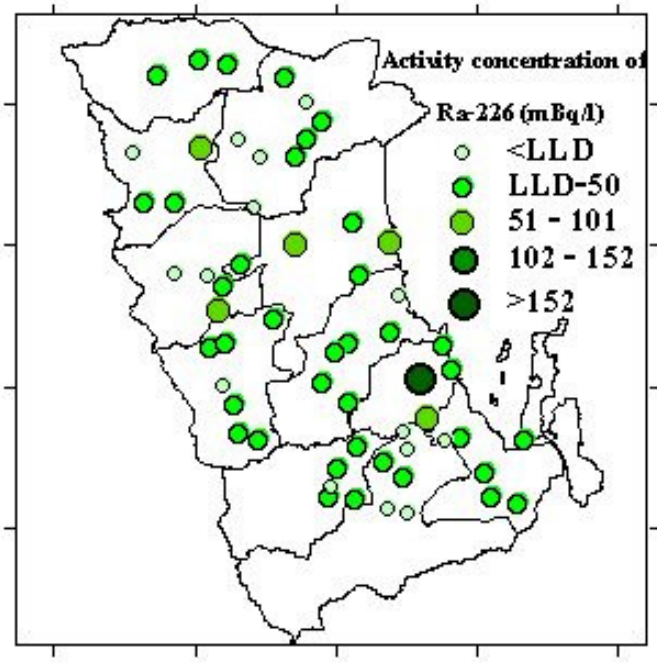
ตาราง 4.11 แสดงค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra กับปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจาก ^{226}Raในน้ำบ่อตื้น

อำเภอ / ★ กิ่งอำเภอ (จำนวนตัวอย่าง)	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{226}Ra (mBq/l)		ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี (μSv)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ปากพะยูน (7)	12-58	33 ± 13	2.5-11.8	6.7 ± 2.6
ป่าบอน (5)	<LLD-16	3 ± 4	<LLD-3.3	0.6 ± 0.9
ตะโหมด (3)	<LLD-17	8 ± 6	<LLD-3.5	1.7 ± 1.3
บางแก้ว (3)	1-186	69 ± 115	0.3-37.9	14.1 ± 23.5
เขาชัยสน (6)	<LLD-32	8 ± 10	<LLD-6.5	2.0 ± 1.9
กงหรา (7)	<LLD-33	16 ± 11	<LLD-6.8	3.3 ± 2.2
เมือง (4)	14-59	41 ± 21	2.8-12.0	8.3 ± 4.3
★ศรีนครินทร์ (6)	<LLD-77	19 ± 25	<LLD-15.8	3.8 ± 5.1
ศรีบรรพต (5)	<LLD-75	21 ± 28	<LLD-15.3	4.3 ± 5.7
ควนขนุน (7)	<LLD-17	5 ± 5	<LLD-3.5	1.1 ± 1.1
ป่าพะยอม (3)	1-27	12 ± 15	0.3-5.5	2.5 ± 3.0
รวมทุกอำเภอ (20)	<LLD-186	18 ± 07	<LLD-37.9	3.8 ± 1.5

จากตาราง 4.11 แสดงค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี ^{226}Ra ในน้ำบ่อทั่วทั้งพื้นที่จังหวัดพัทลุงค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง <LLD-186 mBq/l (เฉลี่ย 18 ± 7) mBq/l จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ต่างกับค่าสูงสุดมากเป็นไปได้ว่าค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีสูงอาจกระจุกตัวในบางพื้นที่ของจังหวัดพัทลุง พิจารณาที่ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ต่ำสุดพบที่ อ.ป่าบอน (3 ± 4 mBq/l) และค่าเฉลี่ยสูงสุดตรวจวัดได้ที่ อ.บางแก้ว (69 ± 115 mBq/l) ส่วนค่ากัมมันตภาพรังสีสูงสุดของ ^{226}Ra ตรวจวัดได้ที่ อ.บางแก้ว (186 mBq/l)

เมื่อพิจารณาการกระจายของค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ดังภาพประกอบ 4.7 จะพบบางข้อมูลที่มีค่าสูงแตกต่างไปจากกลุ่ม คือที่ อ.บางแก้ว ต.นาปะขอ บ้านทุ่งเศรษฐี (W-BK1) (186

mBq/l) ที่มีค่าโดดเด่นเพียงตัวอย่างเดียว และค่าที่ได้สูงกว่าค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ของทบวงพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US EPA,1976) ซึ่งได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ที่ 111 mBq/l และข้อมูลส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่ที่ระดับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี 0-50 mBq/l ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อย



ภาพประกอบ 4.7 แสดงการกระจาย และระดับความเข้มข้นของค่ากัมมันตภาพรังสี ^{226}Ra

ความน่าจะเป็นของพื้นที่ อ.บางแก้ว ที่พบค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ในน้ำโดดเด่นเพียง 1 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ทางธรณีวิทยา ลักษณะของ อ.บางแก้ว จะเป็นดินตะกอน (Quaternary) ซึ่งไม่มีแนวหินอัคนีทอดผ่าน จึงเป็นจุดที่ไม่น่าสงสัยจะมีความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีสูง แต่เมื่อพิจารณาถึงชั้นน้ำใต้ดิน พบว่า อ.บางแก้วมีลักษณะชั้นน้ำบาดาลเป็นชั้นหินอุ้มน้ำเจ้าพระยา (Extensive and productive) ส่วนใหญ่ได้น้ำจากช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอนและเศษหิน ซึ่งจากงานวิจัยของ สุขสวัสดิ์ (2543) พบว่าปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลที่สูง มักพบชั้นหินอุ้มน้ำชนิดนี้ด้วย จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าตัวอย่างน้ำบ่อของ อ.บางแก้ว มีปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra สูงด้วย แต่จากงานวิจัยพบเพียง 1 บ่อ จาก 3 บ่อ โดยบ่อที่พบค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra น้อย จะอยู่ติดกับทะเลสาบสงขลา จึงเป็นไปได้ว่าบ่อดังกล่าวอาจปนเปื้อนน้ำทะเลสาบสงขลา ทำให้ปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ลดลง แต่

อย่างไรก็ตามเพื่อความเชื่อมั่นถึงข้อมูลเราควรทำการเก็บตัวอย่างบ่อน้ำใกล้ๆ กับบ่อที่พบความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra สูง ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความลึกของบ่อด้วย

4.6.2 ปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจาก ^{226}Ra

เมื่อประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจาก ^{226}Ra ในการบริโภคน้ำเข้าสู่ร่างกายของประชาชนในจังหวัดพัทลุง โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ตาม WHO (2002) ซึ่งประมาณอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน ในเวลา 1 ปีจะดื่มน้ำ 730 ลิตร เมื่อใช้ค่าปัจจัย 2.8×10^{-7} Sv/Bq เป็นปัจจัยสำหรับการประเมินปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายได้รับต่อปีในผู้ใหญ่ (adult annual equivalent dose) ผลการคำนวณปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้แสดงในตาราง 4.11 มีค่าอยู่ในช่วง <LLD-37.9 (เฉลี่ย 3.8 ± 1.5) μSv ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เกณฑ์ในการกำหนดปริมาณรังสีขนาดเสี่ยงที่จะได้รับจาก ^{226}Ra ต่อ อายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรได้รับเกิน 8 μSv ต่อปี (UNSCEAR,2000) พิจารณาอำเภอที่เสี่ยงต่อค่ามาตรฐาน จากตารางพบว่ามีการกระจายข้อมูลมากจึงแยกพิจารณาเป็นบางอำเภอที่พบค่าสูงสุดมีอัตราเสี่ยงประกอบด้วย 5 อำเภอ คือ อ.ปากพะยูน อ.บางแก้ว อ.เมือง กิ่งอ.ศรีนครินทร์ และอ.ศรีบรรพต

อำเภอปากพะยูน ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีประสิทธิผลที่วัดได้ต่อปี ในอำเภอนี้ คือ 6.67 μSv ค่าที่ได้น้อยกว่าค่าเสี่ยงซึ่งถือว่าไม่เป็นอันตราย เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดพบว่ามีค่าถึง 11.81 μSv ที่บ้านควนพระ ตำบลฝาละมี นอกจากนั้นยังพบปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงกว่าค่าที่กำหนดที่ บ้านหน้าท่า ต.หาญเทา และบ้านชายพรุ ต.ดอนประดู่

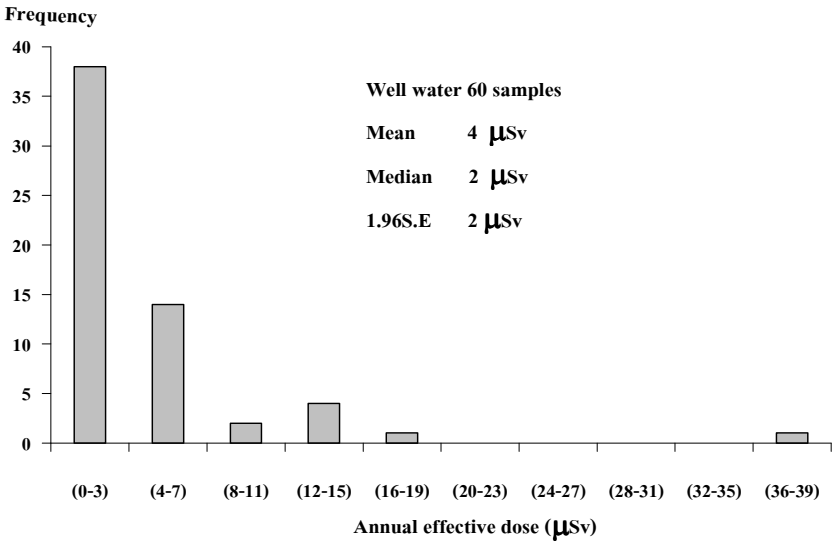
อำเภอบางแก้ว ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีประสิทธิผลที่อำเภอนี้พบมากกว่าค่าเฉลี่ยอำเภออื่นคือ 14.1 μSv เมื่อพิจารณาที่ค่าสูงสุดพบมากถึง 37.93 μSv ที่ บ้านทุ่งเศรษฐี ต.นาปะขอ ส่วนตัวอย่างอื่นที่อำเภอนี้พบว่ามีปริมาณน้อยมาก

อำเภอเมือง เมื่อพิจารณาเกณฑ์ปริมาณรังสีประสิทธิผลขนาดเสี่ยง 8 μSv พบว่ามี 2 บ้านในอำเภอเมืองที่มีค่าเสี่ยง คือที่บ้านหัวยาง ต.นาท่อม และบ้านนอกทุ่ง ต.ลำปำ ส่วนค่าเฉลี่ยในอำเภอนี้ก็มีค่าเกินค่าเสี่ยงเล็กน้อยคือ 8.29 μSv

กิ่งอำเภอศรีนครินทร์ ได้รับค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี คือ 3.81 μSv ซึ่งน้อยกว่าค่าเสี่ยงไม่เป็นอันตราย แต่เมื่อดูที่ค่าสูงสุดพบถึง 15.83 μSv บ้านลำสินธิ์ ต.ลำสินธิ์ เพียงตัวอย่างเดียว

อำเภอศรีบรรพต ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีในอำเภอนี้ คือ 4.27 μSv ซึ่งน้อยกว่าค่าเสี่ยงไม่เป็นอันตราย แต่เมื่อดูที่ค่าสูงสุดพบถึง 15.32 μSv บ้านสำนักปรางค์ ต.เขาย่า เพียงตัวอย่างเดียว

พิจารณาภาพประกอบ 4.8 แสดงการแจกแจงความถี่พบว่าในจำนวนตัวอย่างบ้านทั้งหมด 60 บ้านในจังหวัดพัทลุงที่ยังคงมีการบริโภคน้ำบ่ออยู่ มีอยู่ 8 ตัวอย่าง ที่เกินปริมาณรังสีขนาดเสี่ยง และในจำนวนนั้นพบมากสุดที่ อ.บางแก้ว (38 μSv) อย่างไรก็ตามปริมาณรังสีดังกล่าวคำนวณจากการบริโภคน้ำดื่มเพียงอย่างเดียว หากในอาหารอื่นๆ เช่น ข้าว เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ มีปริมาณ ^{226}Ra อยู่ด้วย ประชาชนก็จะได้รับปริมาณรังสีเพิ่มมากขึ้นด้วยตามสัดส่วนที่บริโภค และความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ในอาหารประเภทนั้นๆ



ภาพประกอบ 4.8 กราฟการแจกแจงความถี่ของปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับต่อปีจาก ^{226}Ra ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น จังหวัดพัทลุง

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในจังหวัดพัทลุง กับงานวิจัยอื่น

ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ (2544) วิจัยการประเมินความเสี่ยงต่อก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนภายใน และภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชน เขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้เทคนิคการกัดรอยนิวเคลียร์ พบว่าค่าเฉลี่ยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนของน้ำบาดาลในจังหวัดพัทลุง มีค่ามากสุดที่ อ.กงหรา (12158 ± 11992 Bq/m^3) รองลงมาที่ อ.ควนขนุน (7745 ± 9314 Bq/m^3) อ.บางแก้ว (6905 ± 9684 Bq/m^3) อ.ป่าพะยอม (5561 ± 4571 Bq/m^3) และ อ.เมือง (5377 ± 2636 Bq/m^3) ตามลำดับ โดยค่าสูงสุดที่พบใน อ.กงหรา (38884 Bq/m^3) กับ อ.บางแก้ว (34397 Bq/m^3) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก พิจารณาในตัวอย่างดิน ได้แสดงคอนทัวร์บริเวณที่มีก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนแพร่ขึ้นมาจากใต้พื้นผิวดินสูงที่ อ.กงหรา อ.ตะโหมด และ อ.ควนขนุน

เมื่อนำผลการวิจัยมาหาความสัมพันธ์กับการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในน้ำบ่อ และในดินของพื้นที่จังหวัดพัทลุง พบว่ามีบางอำเภอที่สอดคล้องกัน คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra ในน้ำบ่อ จะพบมากสุดที่ อ.บางแก้ว (69 ± 115 mBq/l) ส่วนในตัวอย่างอำเภออื่นจะพบค่าน้อยมาก เมื่อพิจารณาในตัวอย่างดิน พบปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{238}U เฉลี่ยมากสุดที่ อ.บางแก้ว (164 ± 45 Bq/kg) อ.ตะโหมด (157 ± 32 Bq/kg) อ.ควนขนุน (117 ± 59 Bq/kg) และอ.เขาชัยสน (115 ± 11 Bq/kg) ตามลำดับ โดย อ.ควนขนุน อ.เขาชัยสน และอ.ตะโหมดจะสอดคล้องกัน เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดที่ อ.กงหรา (146 Bq/kg) พบค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่ อ.เขาชัยสน (122 Bq/kg)

สุขสวัสดิ์ (2537) ได้ทำการวัดความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลในหินชนิดต่างๆ ในจังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสำหรับหินแกรนิต เท่ากับ 18.43 ± 4.81 ppm eU สำหรับหินปูนเท่ากับ 3.12 ± 2.83 ppm eU ซึ่งข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างหินแกรนิต และหินปูนที่ตรวจวัดได้ในจังหวัดพัทลุง โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลในหินแกรนิต เท่ากับ 13.0 ± 6.1 ppm eU ค่าสูงสุดคือ 19 ppm eU และในหินปูนเท่ากับ 3.5 ± 1.5 ppm eU

จะเห็นว่าเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จะพบข้อมูลคล้ายกันบางส่วน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงกระบวนการในการหาความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีที่แตกต่างกัน หรือใช้เครื่องมือในการตรวจวัดไม่เหมือนกัน อาจจะทำให้ความสอดคล้องของข้อมูลมีความแตกต่างกันบ้าง นอกจากนั้นในการใช้เทคนิคการกัดรอยนิวเคลียร์ สามารถวัดรังสีที่แผ่มาจากผิวดินบริเวณนั้น ซึ่งอาจจะมาจากหินที่อยู่ใต้ดินทำให้ตรวจวัดรังสีได้มากกว่า และรวดเร็วกว่าในตัวอย่างดินที่นำมาวัดในห้องปฏิบัติการณ์โดยใช้ระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา แต่เมื่อพิจารณาถึงความละเอียดในการวัด เฉพาะตัวอย่าง เช่น ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างดินอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงรังสีที่แผ่ขึ้นมาจากหินใต้ดิน การใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาจะมีความละเอียดในการวัดมากกว่า