

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำ

น้ำบาดาลจะมีแร่ต่างๆปะปนอยู่ เนื่องมาจากการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ ของน้ำผิวดินผ่านชั้นดิน ชั้นน้ำในดินจนถึงชั้นน้ำใต้ดิน ในระหว่างที่มีการเคลื่อนตัว น้ำบาดาลจะมีความเป็นกรดอ่อนๆ เมื่อไหลผ่านดิน ความเป็นกรดนี้จะไปละลายธาตุบางส่วนของหินออกมาและพาไปพร้อมกับน้ำ เช่น คาร์บอนเนต, เหล็ก, แมงกานีส, ซัลเฟต และสารประกอบอื่นๆ เมื่อถึงก้นของแอ่งน้ำ มันจะเหลือความเป็นกรดไม่มาก แต่ก็อาจจะมีพวกแร่ต่างๆ อย่างพอเพียง ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีไป

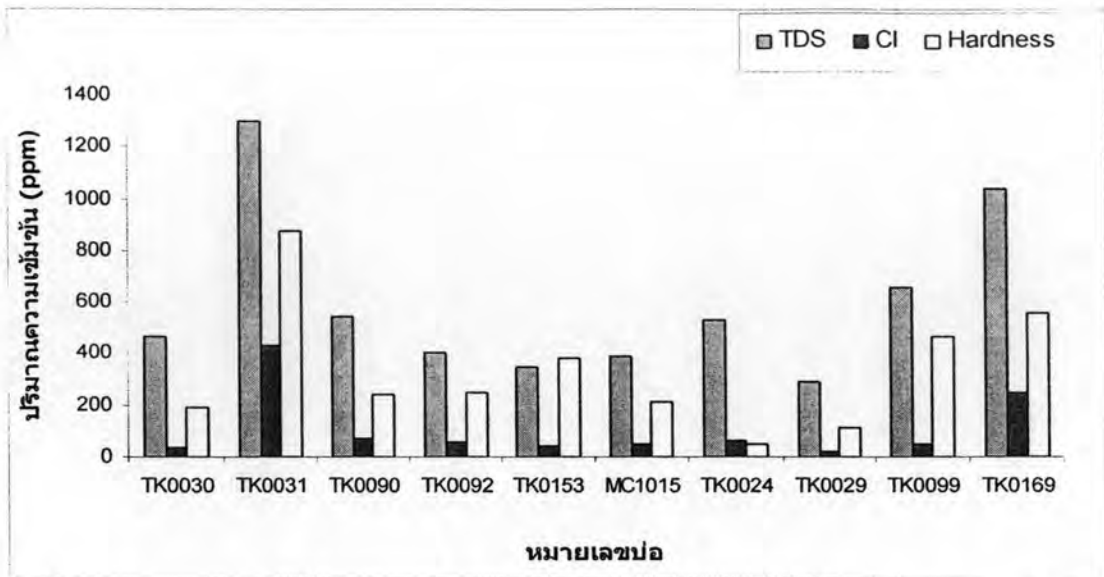
คลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) เป็นอนินทรีย์ไอออนลบที่สำคัญในน้ำ สามารถพบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป ในปริมาณที่แตกต่างกัน น้ำในบริเวณต้นน้ำมักจะมีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ต่ำ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อไหลผ่านชั้นดินหรือชั้นหินที่มีแร่ธาตุต่างๆ และมีผลในการละลายน้ำของธาตุโดยเฉพาะพวกกลุ่ม คาร์บอนเนต ความกระด้าง (Hardness) เกิดจาก คาร์บอนเนต และซัลเฟต ของแคลเซียม และแมกนีเซียม ทำให้เกิดความกระด้าง เช่นมาจาก ซัลเฟต ,คลอไรด์ และไนเตรท ซึ่งเกิดจากไอออนบวกของ Ca²⁺ และ Mg²⁺ ส่วนไอออนลบได้แก่ HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ และ NO₃⁻

เหล็ก (Iron, Fe) ในสภาวะที่มีออกซิเจนเหล็กจะอยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ หรือ FeCO₃ (iron (II) carbonate) ที่ละลายได้น้อย แต่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและซัลไฟด์ FeCO₃ จะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศเปลี่ยนรูปเป็นไอออน Fe²⁺ ซึ่งสารประกอบของ Fe²⁺ ส่วนใหญ่จะละลายในน้ำที่มีสภาพเป็นกลางได้

แคลเซียม (Calcium, Ca) เป็นแคทไอออนชนิดที่พบว่ามีปริมาณมากที่สุดในน้ำจืด ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอนเนต (CaCO₃) และถ้าอยู่ในรูปของคลอไรด์จะละลายน้ำได้ดี

แบเรียม (Barium, Ba) ทำปฏิกิริยากับน้ำที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในรูป แบเรียมไฮดรอกไซด์ Ba(OH) และ ก๊าซไฮโดรเจน H₂ การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วกว่าปฏิกิริยาของ สตรอนเซียม แต่ค่อนข้างจะช้ากว่าปฏิกิริยาของเรเดียม ในสารประกอบต่างๆ แบเรียมจะใช้เลขออกซิเดชันเป็น 2+ เสมอ และถ้าอยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์จะละลายน้ำได้ดี

สตรอนเซียม (Strontium, Sr) มีคุณสมบัติคล้ายกับแบเรียมซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ Sr(OH)₂ กับ H₂(g) และมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกับแคลเซียมมาก สตรอนเซียมที่เข้าไปเจือปนในนมหรือเครื่องดื่ม เมื่อบริโภคเข้าไป ธาตุสตรอนเซียมนี้จะเข้าไปสะสมอยู่ที่กระดูก



รูปที่ 2.1 ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์และสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำบาดาลของ อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี^[2]

หมายเลขบ่อ	สถานที่	ตำบล
TK0030	บ้านตากฟ้าดอนกล้วยหอม	เมืองกาฐัง
TK0031	บ้านหนองเชียงราย	เมืองกาฐัง
TK0090	บ้านมะค่าโมงยักษ์	เมืองกาฐัง
TK0092	บ้านหนองตายาย	เมืองกาฐัง
TK0153	บ.ชายเขาหลวง	เมืองกาฐัง
MC1015	บ้านหูช้าง	หูช้าง
TK0024	วัดสายรุ้งทอง	หูช้าง
TK0029	บ้านหนองฝางซอย11	หูช้าง
TK0099	บ้านโนไร่	หูช้าง
TK0169	บ.พุลำโรง	หูช้าง

2.1.1 ธาตุกัมมันตรังสีที่อาจพบในน้ำ

ธาตุกัมมันตรังสีที่อาจพบได้ในน้ำได้แก่ U-234, U-238, Th-232, Th-230, Th-228, Ra-228, Ra-226, Ra-224, Ra-222, Ra-220, Pb-210, Po-210 และ K-40 ธาตุกัมมันตรังสีที่มีมากและเป็นอันตรายต่อสุขภาพคือธาตุเรเดียม ซึ่งมี 2 ไอโซโทป เรเดียม-226 (Ra-226 หรือ Ra-226) มีเลขอะตอมเท่ากับ 88, มวลอะตอมเท่ากับ 226, จุดหลอมเหลวเท่ากับ 700°C , จุดเดือดเท่ากับ 1140°C และมีความหนาแน่นเท่ากับ 5 g/cm^3 (กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร) และเรเดียม-228 มีคุณสมบัติทั่วไปคล้ายกับ เรเดียม-226 แต่มีมวลอะตอมเท่ากับ 228 และมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 6.7 ปี เรเดียม (Ra) เป็น

ธาตุในกลุ่มอัลคาไลด์ มีลักษณะทางเคมีคล้ายกับธาตุแบเรียม (Ba) เรเดียมมีประจุเป็น +2 เรเดียมเป็นธาตุที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติจึงอยู่รวมกันรูปของแร่ สามารถตกตะกอนร่วมกันกับธาตุในกลุ่มอัลคาไลด์ที่เป็นเกลือซัลเฟต หรือ แร่คาร์บอเนต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) เรเดียม-226 พบมากในสินแร่ ยูเรเนียม เช่นแร่พิชเบลนด์ 1 ตัน จะมีเรเดียมประมาณ 400 มิลลิกรัม นอกจากนั้นยังพบเป็นธาตุจำนวนน้อย (Trace element) ในสารต่างๆที่มีอยู่ในธรรมชาติหลายชนิด เรเดียมเป็นไอโซโทปที่มีปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซโทปของเรเดียมทั้งหมด และเป็นนิวไคลด์หนึ่งในอนุกรมยูเรเนียม-238 ซึ่งเป็นไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นปริมาณสูงด้วย เรเดียม-226 มีครึ่งชีวิตประมาณ 1600 ปี สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 186 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (4%) และสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา กลายเป็นเรดอน-222 ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซจึงสามารถฟุ้งกระจายได้ดีซึ่งจะสลายต่อไปเรื่อยๆ เรเดียมมีปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันตามชนิดของชั้นหินในเปลือกโลก ดังแสดงตามตารางที่ 1 ดังนั้นในน้ำทั่วไปอาจมีปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะของชั้นหิน แต่จากข้อมูลในตารางที่ 2 ปริมาณเรเดียมในน้ำบาดาลสูงกว่าในน้ำชนิดอื่นๆ ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างของนิวไคลด์รังสีในน้ำประปาและน้ำแร่ในประเทศเยอรมนี พบว่าปริมาณของเรเดียม-226 ในน้ำแร่ มีค่าสูงกว่าในน้ำประปา

ตารางที่ 2.1 ค่าของ U, Th and Ra ที่มีอยู่ในชั้นหินต่างๆ^[3]

type of sample		U- 238		Th- 232		Ra- 226	
		[ppm]	[mBq/g]	[ppm]	[mBq/g]	[ppt]	[mBq/g]
igneous	granite	2 - 10	25 - 120	5 - 30	20 - 120	0.5 - 4	25 - 120
	Gabbro	0.5 - 2	5- 25	2 - 6	5 - 25	0.1 - 0.5	5 - 25
	Basalt	0.1 - 1	1 - 10	0.3 - 4	1 - 15	0.02 - 0.2	1 - 10
	Ultramafics	<0.02	<0.2	<0.05	<0.2	<0.01	<0.2
sedimentary	Shales	2 - 4	25 - 50	5 - 14	20 - 120	0.5 - 1	25 - 50
	Limestone	1 - 3	10 - 40	0 - 3	0 - 10	0.2 - 1	10 - 40
	Speleothem	1 - 3	10 - 40	0 - 3	0 - 10	0.2 - 1	10 - 40
	Coral	2 - 4	25 - 40	<0.01	<0.04	0.5 - 1	25 - 50
	Clay	1 - 4	10 - 50	1 - 15	5 - 60	0.2 - 1	10 - 50
water (2)	sea water (3)	3 - 4	40 - 50	<0.01	<0.05	0.01 - 0.1	0.5 - 5
	river water (4)	0.1 - 1	1 - 10	<0.01	<0.05	0.01 - 0.1	0.5 - 5

ตารางที่ 2.2 Concentrations of naturally occurring radio nuclides in various waters (Bq L⁻¹).

Nuclide	Rainwater	Groundwater	Surface water	Drinking water	Spa/mineral Water ^b	Seawater	Water supplies ^c
²³⁸ U	-	2.0x10 ⁻⁷ -185	<1.0x10 ⁻³ -5.6	9.4x10 ⁻⁵ -7.7x10 ⁻²	<1x10 ⁻³ -0.93	4.9x10 ⁻⁴ -4.4x10 ⁻²	1x10 ⁻³
²³⁴ U	-	-	4.5x10 ⁻³ -2.7	5.6x10 ⁻⁴ -0.12	<1x10 ⁻³ -0.2	4.6x10 ⁻² -4.8x10 ⁻²	1x10 ⁻³
²³² Th	-	-	0-5x10 ⁻²	-	-	4.4x10 ⁻⁸ -2.9x10 ⁻⁵	5x10 ⁻⁵
²³⁰ Th	-	-	2.6x10 ⁻³ -5.0	-	-	2x10 ⁻⁶ -5.2x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴
²²⁸ Ra	-	-	3.5x10 ⁻³ -1.9x10 ⁻²	-	-	7.4x10 ⁻⁶ -1.1x10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁵
²²⁸ Ra	-	1.5x10 ⁻² -0.21	5x10 ⁻⁴	-	-	2.0x10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁴
²²⁶ Ra	-	7.4x10 ⁻⁵ -56	<1.0x10 ⁻² -3.0	0-4.0	0-2.2	1x10 ⁻³ -1.6x10 ⁻³	5x10 ⁻⁴
²²⁴ Ra	-	0-7.4x10 ⁻²	4x10 ⁻³ -5x10 ⁻²	0-6.3x10 ⁻²	-	1.5x10 ⁻⁴	-
²²² Rn	400	0-1.1x10 ⁴	0-9.3x10 ⁻²	0-2.5x10 ⁴	0-1.8x10 ³	7x10 ⁻⁴ -1x10 ⁻³	-
²²⁰ Rn	-	-	-	-	-	1.5x10 ⁻⁴	-
²¹⁰ Pb	3.7x10 ⁻³ -0.86	<4.9x10 ⁻⁴ -51	1.7x10 ⁻³ -2.5	1.1x10 ⁻⁴ -0.26	0-8.5	3.7x10 ⁻⁴ -3x10 ⁻³	1x10 ⁻²
²¹⁰ Po	3.7x10 ⁻³ -0.15	0-4.8x10 ⁻²	5.6x10 ⁻⁴ -2.6x10 ⁻³	2.2x10 ⁻⁴ -0.56	2.0x10 ⁻⁴ -0.10	1.9x10 ⁻⁴ -8.1x10 ⁻³	5x10 ⁻⁴
⁴⁰ K	1.6x10 ²	1.3x10 ² -0.16	0-0.85	<3.0x10 ⁻² -3.6	3.1x10 ⁻² -3.7	13	-

^aFrom Bradley (1993).

^bIncluding bottled water.

^cReference values for water supplies taken UNSCEAR (2000a).

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำประปาและน้ำแร่ประเทศเยอรมนี^[4]

นิวไคลด์	ความเข้มข้นของนิวไคลด์ในน้ำประปา	ความเข้มข้นของนิวไคลด์ในน้ำแร่
	(mBq/L)	(mBq/L)
U-238	5	8
U-234	5	20
Ra-226	4	25
Rn-222	5600	-
Pb-210	1	9
Po-210	0.5	2
K-40	70	660

นิวไคลด์รังสีอีกตัวหนึ่งที่พบได้ในน้ำทั่วไปคือก๊าซ เรดอน-222 ซึ่งเป็นนิวไคลด์รังสีที่ได้จากการสลายตัวของธาตุเรเดียม-226 มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อยละลายในน้ำและสารอินทรีย์ ดังนั้นจึงอาจตรวจพบก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลได้เรดอน-222 ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ จะมีอันตรายต่อสุขภาพได้ใน 2

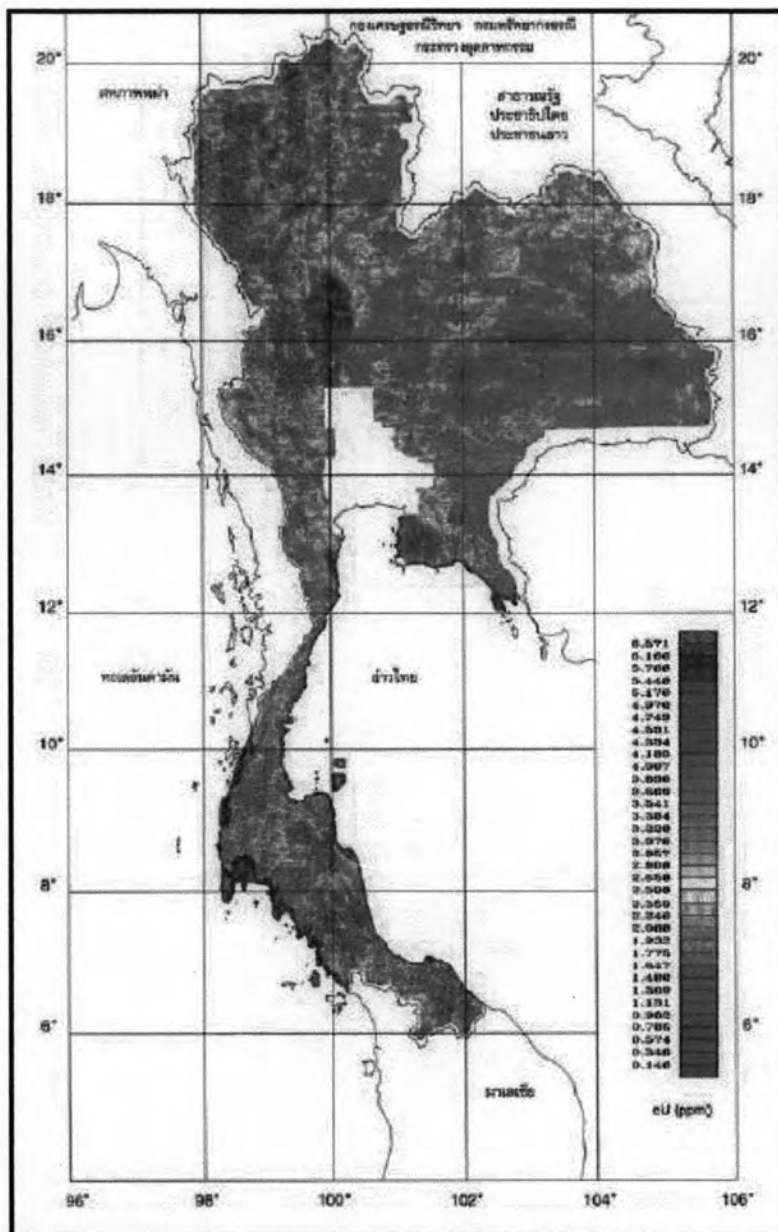
กรณีคือ โดยการบริโภคน้ำที่มีก๊าสเรดอน-222 และการเพิ่มปริมาณขึ้นของก๊าสเรดอน-222 ในบ้านเรือนเนื่องมาจากการใช้น้ำบาดาลในกิจกรรมต่างๆ

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์กำหนดความปลอดภัยของการปนเปื้อนธาตุกัมมันตรังสีในน้ำ

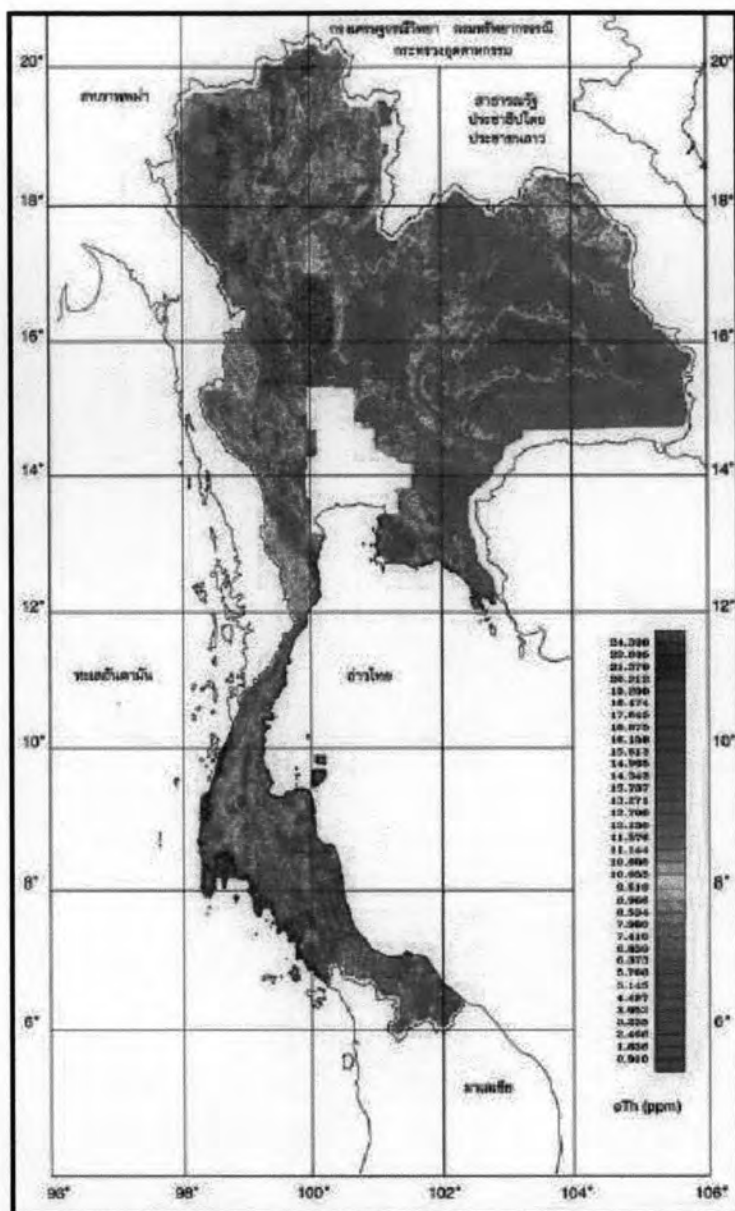
หน่วยงาน	ธาตุ	เกณฑ์กำหนด
United States of Environmental Protection Agency (US EPA)	(Maximum Contamination Level, MCL) ของธาตุเรเดียม-226 กับเรเดียม-228 รวม	กำหนดให้มีระดับการปนเปื้อนสูงสุดได้ไม่ควรเกิน 5 pCi/L (0.185 Bq/L) เนื่องจาก การดื่มน้ำที่มีเรเดียมปนเปื้อนในน้ำดื่มเกินค่า MCL เป็นเวลานานหลายปีอาจมีโอกาเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งสูงขึ้น (0.7-3.0 ต่อคนต่อประชากร 1,000,000 คน หรือระหว่าง $0.5-2.0 \times 10^{-4}$ ตลอดช่วงอายุ 70 ปี)
	(Maximum Contamination Level, MCL) ของก๊าสเรดอน	กำหนดให้มีปริมาณก๊าสเรดอนในน้ำดื่มไม่เกิน 300 pCi/L
International Commission on Radiological Protection (ICRP)	ปริมาณสูงสุดของเรเดียม-226	กำหนดให้มีในร่างกายโดยที่ไม่ทำให้เกิดอันตรายไว้สูงสุด 0.1 μ Ci
สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม	กำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคโดยแบ่งตามชนิดของนิวไคลด์รังสี	-รังสีแอลฟา <0.1 Bq/L (2.7027 pCi/L) -รังสีบีตา <1 Bq/L (27.027 pCi/L) เนื่องด้วยเรเดียมสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา ดังนั้น น้ำที่นำมาบริโภคควรมีปริมาณเรเดียมน้อยกว่า 0.1 Bq/L

2.1.2 การสำรวจแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย

การสำรวจแร่ยูเรเนียมในประเทศไทยแต่เดิมไม่ได้มีการสำรวจอย่างจริงจัง การพบแร่ยูเรเนียมจึงเป็นผลจากการสำรวจแร่ดีบุก วุลแฟลมและแร่หนักเป็นส่วนใหญ่ จนกระทั่งได้พบแร่ยูเรเนียมแบบที่เกิดในชั้นหินทรายกลุ่มโคราช แอ่งภูเวียง จังหวัดขอนแก่น ในปี 2519 ได้มีการสำรวจแร่ยูเรเนียม ในแอ่งภูเวียง และบริเวณใกล้เคียง จนกระทั่งมีการเจาะสำรวจเพื่อหาปริมาณสำรอง โดยความร่วมมือกับทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ปี พ.ศ. 2527-2532 กรมทรัพยากรธรณี ได้ทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศทั่วประเทศ โดยได้รับความช่วยเหลือจากธนาคารเพื่อพัฒนาเอเชีย (ADB) ทบวงการพัฒนาระหว่างประเทศของแคนาดา (CIDA) กรมธรณีวิทยาของแคนาดา (GSC) โดยว่าจ้างบริษัท Kenting Earth Sciences International Limited ทำการบินสำรวจวัดกัมมันตรังสี รูป 2.2-2.3 แสดงแผนที่กัมมันตภาพรังสี จากยูเรเนียมและทอเรียมที่ได้จากการบินสำรวจ



รูปที่ 2.2 แผนที่กำมันตภาพรังสียูเรเนียม^[5]

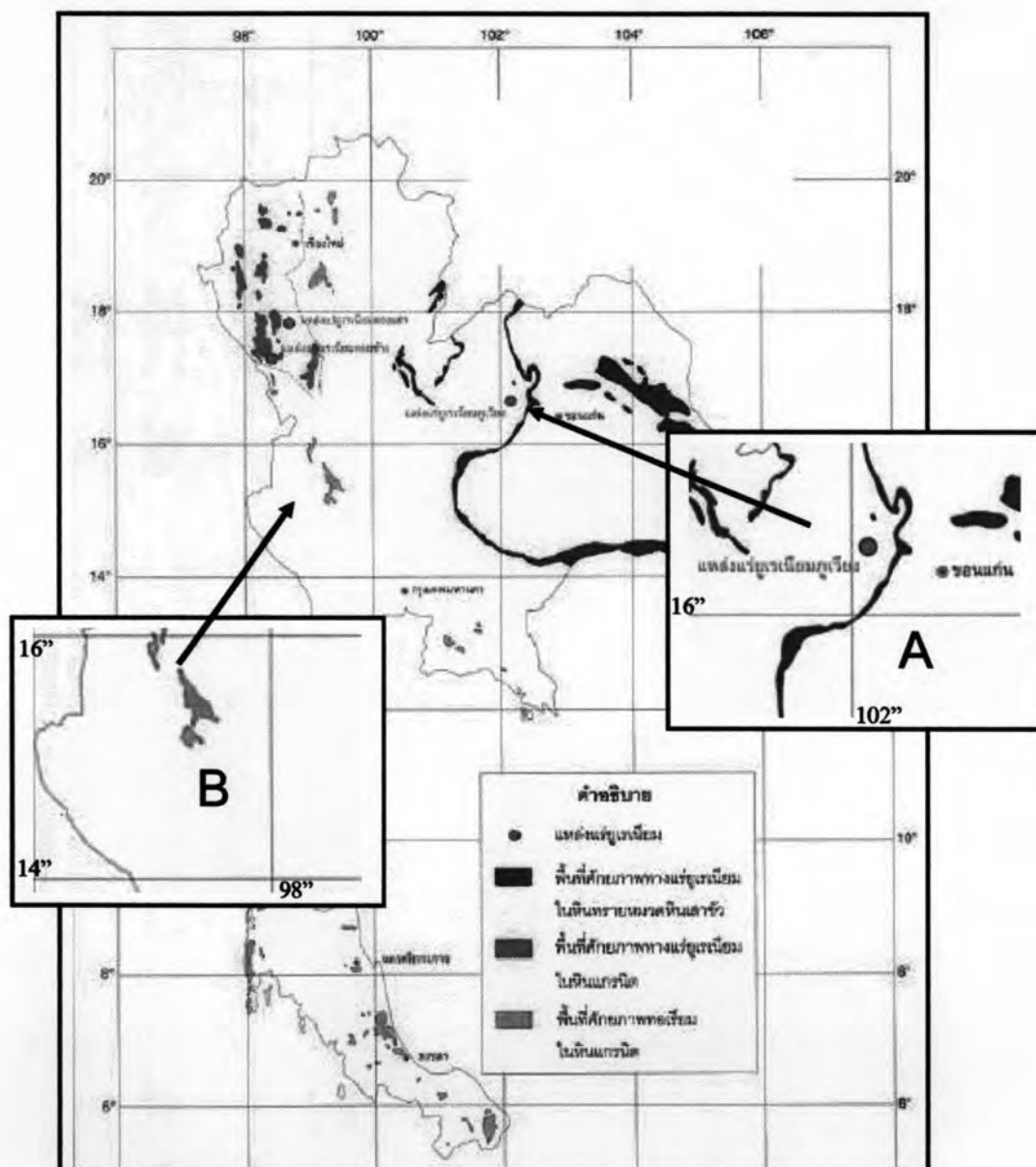


รูปที่ 2.3 แผนที่กัมมันตภาพรังสีทอเรียม^[5]

2.1.2.1 พื้นที่ศักยภาพแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย

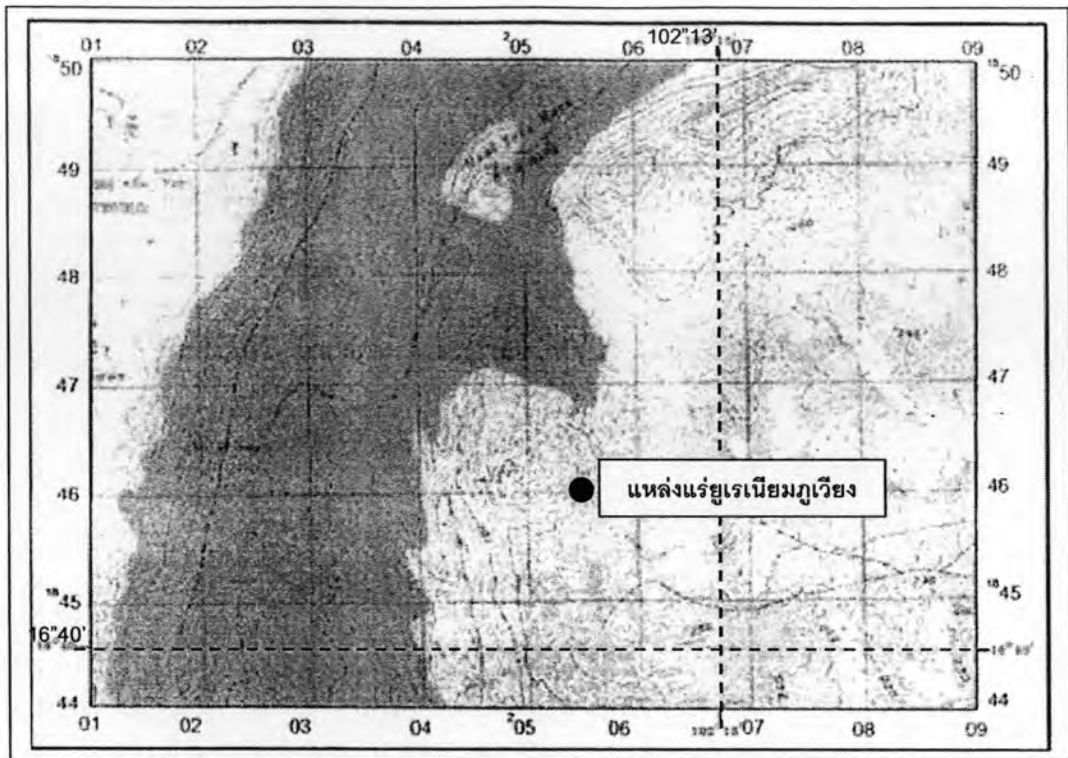
ศักยภาพในหินแกรนิต จากการศึกษาลักษณะของหินแกรนิตที่ให้แร่ยูเรเนียมหรือมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ยูเรเนียมแล้ว จึงได้กำหนดขอบเขตบริเวณหินแกรนิตที่มีศักยภาพทางแร่ยูเรเนียมของประเทศไทยได้เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และตาก ซึ่งวางตัวในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

ศักยภาพในหินทรายกลุ่มโคราช หมวดหินที่มีความน่าสนใจที่เป็นแหล่งสะสมตัวของแร่ยูเรเนียมมากที่สุดคือหมวดหินเสาขัว เนื่องจากเป็นชั้นหินทรายอาร์โคสสลับกับหินชั้นทรายแป้งและหินดินดาน มักพบซากพืชและซากสัตว์ในยุคจูแรสซิกที่ทับถม จึงมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสะสมตัวของแร่ยูเรเนียม และมีการสำรวจแหล่งแร่ยูเรเนียมมาแล้วที่บริเวณประตูตีหมาบ้านหนองขาม ตำบลในเมือง อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 แผนที่แหล่งแร่และศักยภาพแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย^[5]

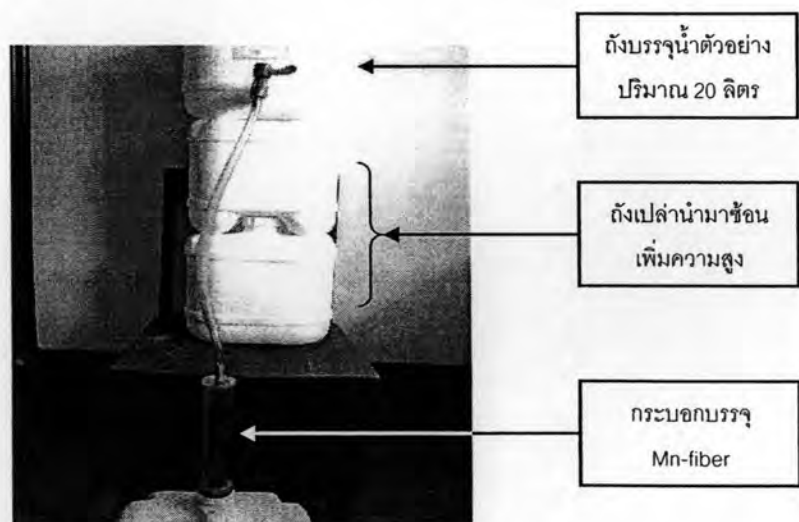
(A คือบริเวณจังหวัดขอนแก่น และ B คือบริเวณจังหวัดอุทัยธานี)



รูปที่ 2.5 แผนที่แหล่งแร่ยูเรเนียมภูเวียงบริเวณจังหวัดขอนแก่น^[4]

2.2 เทคนิคการจับเรเดียมจากตัวอย่างน้ำด้วยเส้นใยอะคริลิกเคลือบด้วยแมงกานีส

นำ Mn-Fiber ที่เคลือบแล้วจำนวน 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) มาบรรจุลงในกระบอกพลาสติก จากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณจำนวน 20 ลิตร มาไหลผ่าน Mn-Fiber ด้วยอัตราการไหลของน้ำประมาณ 2 ลิตรต่อนาที จากนั้นนำ Mn-Fiber ที่ผ่านตัวอย่างน้ำแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C ในถ้วยอลูมิเนียม เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปผึ่งให้แห้งให้เกิดสมดุลทางรังสีและนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมที่ถูกดูดซับบน Mn-fiber



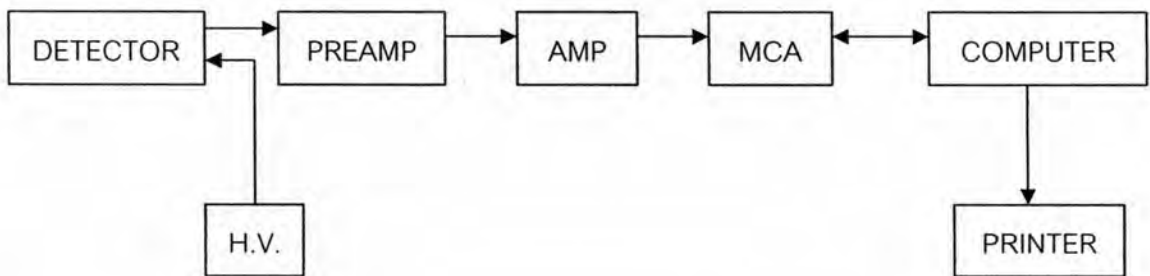
รูปที่ 2.6 การใช้ Mn-Fiber ในการดูดซับเรเดียมในน้ำตัวอย่าง

สำหรับการเตรียม Mn-Fiber มีขั้นตอนการเตรียมโดยสังเขปดังนี้ ใช้เส้นใยอะคริลิก 100 กรัมแห้ง ใส่ลงในสารละลาย KMnO_4 (0.5 M) จำนวน 1 ลิตรที่อุณหภูมิ $70-80^\circ\text{C}$ คนประมาณ 20 นาที (จนเส้นใยมีสีดำ) จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำปราศจากแร่ธาตุ (radium free deionized water) อ้างจากวิทยานิพนธ์ที่ได้มีผู้ศึกษาแล้วโดยนางสาวภาวิณี วิสัยแสง^[1]

2.3 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

สำหรับระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมาในการทดลองนี้ จะใช้หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High-purity germanium detectors, HPGe) ซึ่งเป็นหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detectors)

ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา โดยทั่วไปจะประกอบด้วย หัววัด (Detector) และเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (MCA) โดยทั่วไปหัววัดจะต่ออยู่กับแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High-Voltage) จ่ายกระแสให้กับหัววัดรังสี และเมื่อมีรังสีแกมมาผ่านเข้าทำอันตรกิริยากับหัววัด ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นสัญญาณ จากนั้นทำการขยายสัญญาณและเข้าเครื่องนับ (Counter) ซึ่งขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ดูดกลืนในหัววัด



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบวัดรังสีแกมมา

2.4 การวิเคราะห์ธาตุเรเดียม

เรเดียม-226 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่มาจากพื้นดิน และมีค่าครึ่งชีวิตยาวที่สุดเมื่อเทียบกับไอโซโทปเรเดียมตัวอื่น คือ เรเดียม-226 = 1600 ปี ส่วนไอโซโทปเรเดียมตัวอื่นได้แก่เรเดียม-223 = 11.4 วัน, เรเดียม-224 = 3.6 วัน, เรเดียม-228 = 5.7 ปี (เรเดียม-223 เกิดมาจากอนุกรมยูเรเนียม-235)

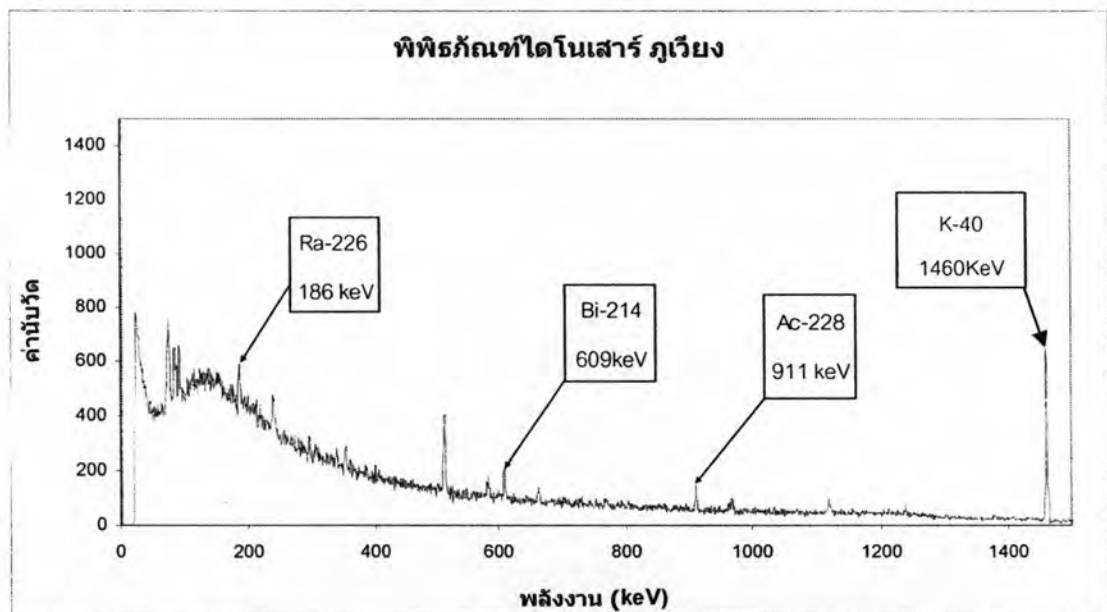
2.4.1 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226

การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 จากตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธี

- วัดโดยตรงจากรังสีแกมมาพลังงาน 186.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ของ เรเดียม-226
- วัดโดยอ้อมจากธาตุลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ เรเดียม-226 คือ ตะกั่ว-214 ที่พลังงาน 352 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ภายหลังจากเกิดภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium) กับ เรเดียม-226 แล้วซึ่งต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ จากนั้นนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

2.4.2 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-228

การวิเคราะห์ความแรงรังสีเรเดียม-228 สามารถวัดทางอ้อมได้จากนิวไคลด์ลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ Ra-228 คือ Ac-228 พลังงาน 911 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และ Tl-208 พลังงาน 538 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ภายหลังจากเกิดสมดุลทางกัมมันตรังสีกับ Ra-228 และคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานทอเรียม



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสเปกตรัมจากการวัดรังสีแกมมาของ Mn-Fiber ที่ผ่านตัวอย่างน้ำบาดาลที่พีพิธภัณฑ์ไดโนเสาร์ อำเภอกูเวียง

ตารางที่ 2.5 อนุกรมการสลายตัวของเรเดียม-238

Nuclide	Half-life	Energy (Mev)			ร้อยละของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
²³⁸ U	4.47x10 ⁹ y	4.2	-	0.048	23
²³⁴ Th	24.1 d	-	0.19	0.09	4
²³⁴ Pd	1.17m,6.69 h	-	2.29	1.0	0.6
²³⁴ U	2.46x10 ⁵ y	4.8	-	0.05	28
²³⁰ Th	7.54x10 ⁴ y	4.8	-	0.068	24
²²⁶ Ra	1600 y	4.8	-	0.186	4
²²² Rn	3.82 d	5.49	-	0.5	0.07
²¹⁸ Po	3.10 m	6.00	-	-	-
²¹⁴ Pb	27 m	-	0.65	0.24	4
²¹⁴ Bi	19.9 m	5.5	1.5	0.61	47
²¹⁴ Po	164 μs	7.7	-	0.8	0.014
²¹⁴ Pb	22.6 y	-	0.016	0.046	81
²¹⁰ Bi	5.01 d	-	1.16	-	-
²¹⁰ Po	138.38 d	5.30	-	0.80	0.001
²⁰⁶ Pb		Stable			

ตารางที่ 2.6 อนุกรมการสลายตัวของทอเรียม-232

Nuclide	Half-life	Energy (Mev)			ร้อยละของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
²³² Th	1.40x10 ¹⁰ y	4.0	-	0.06	23
²²⁸ Ra	5.76 y	-	0.054	-	-
²²⁸ Ac	6.15 h	-	1.11	0.09	30
²²⁸ Th	1.913 y	5.43	-	0.08	28
²²⁴ Ra	3.66 d	5.68	-	0.24	5
²²⁰ Rn	55.6 s	6.29	-	-	-
²¹⁶ Po	0.145 s	6.78	-	-	-
²¹² Pb	10.64 h	-	0.36	0.238	81
²¹² Bi	1.009 h	6.05	2.20	0.04	17
²¹² Po	0.29 μs	8.78	-	-	-
²⁰⁸ Tl	3.053 m	-	1.79	2.62	100
²⁰⁸ Pb		Stable			

2.5 การคำนวณความเข้มข้นรังสีของเรเดียมในตัวอย่งน้ำ

การคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีของเรเดียมในตัวอย่งน้ำ จะทำการคำนวณความเข้มข้นรังสีโดยใช้ค่าความเข้มข้นรังสีสุทธิ (Net peak area) ของพีคที่สนใจ สำหรับในการทดลองนี้พีคที่สนใจก็คือ พีคของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และของแอกติเนียม-228 ที่พลังงาน 911 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องจากให้ความเข้มของพลังงานที่สูงกว่าธาตุอื่นและให้ค่าแบบควรวินต่ำ สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นรังสี (เบคเคอเรล / ลิตร)} = \frac{cps}{E \times V \times I}$$

โดยที่ cps = จำนวนนับรังสี ต่อ เวลาที่ใช้ ในการวัด (วินาที)

E = ประสิทธิภาพของหัววัด

I = สัดส่วนของความเข้มของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์มีค่าเท่ากับ 0.46

V = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (ลิตร)

2.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมและองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมและองค์ประกอบทางเคมีในน้ำตัวอย่าง น้ำบาดาลจะดูจากค่าสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล

2.6.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R Square, r^2)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ ดังนั้นถ้า r^2 มีค่ามากแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันมากหรือ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้มากโดยที่

$$R^2 = \text{R Square} = r^2 = \frac{\text{ความแปรปรวนของ Y ที่เกิดจาก X}}{\text{ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด}} = \frac{SSR}{SST}$$

ดังนั้น $0 \leq r^2 \leq 1$ เนื่องจาก $SST > SSR$

คุณสมบัติของ r^2

1. r^2 จะไม่มีหน่วย
2. ถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่ามาก หรือ X และ Y มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่าน้อย

2.6.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

สำหรับสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y ว่ามากหรือน้อยนั้นจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) ซึ่งในกรณีที่ค่าของ Y ขึ้นกับ X เพียงตัวเดียวจะเรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient) โดยที่ ρ จะไม่มีหน่วย จึงสามารถใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X ได้ว่ามีความสัมพันธ์มากหรือน้อยเพียงใด เนื่องจากค่า ρ จะมีค่าสูงสุดเป็น 1 และต่ำสุดเป็น -1

เนื่องจากเราใช้ข้อมูลตัวอย่าง จึงประมาณค่าค่า ρ ด้วยค่า r โดยที่ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวอย่าง

ความหมายค่า r

1. ค่า r เป็นลบแสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม คือถ้า X เพิ่ม Y จะลด แต่ถ้า X ลด Y จะเพิ่ม
2. ค่า r เป็นบวกแสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน คือถ้า X เพิ่ม Y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้า X ลด Y จะลดลงด้วย
3. ถ้า r เข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก
4. ถ้า r เข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามและมีความสัมพันธ์กันมาก
5. ถ้า $r = 0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย
6. ถ้า r เข้าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$$\text{สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์} = \sqrt{\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ}}$$

$$\text{หรือ} \quad r = \sqrt{r^2}$$

โดยที่ r จะมีเครื่องหมายเหมือนเครื่องหมายของความชัน (b)