

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์นั้นได้รับรังสี ทั้งจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ และแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่นรังสีคอสมิกจากนอกโลก รังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่นทอเรียม (Th-232) และยูเรเนียม (U-238) โดยที่ทอเรียมและยูเรเนียมซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จะสลายตัวแบบอนุกรม (Decay Series) และอยู่ในสถานะสมดุลกับไอโซโทปลูกหลานของมันเอง ซึ่งปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสีแกมมาพลังงานสูงออกมาซึ่งมีผลต่อสุขภาพ

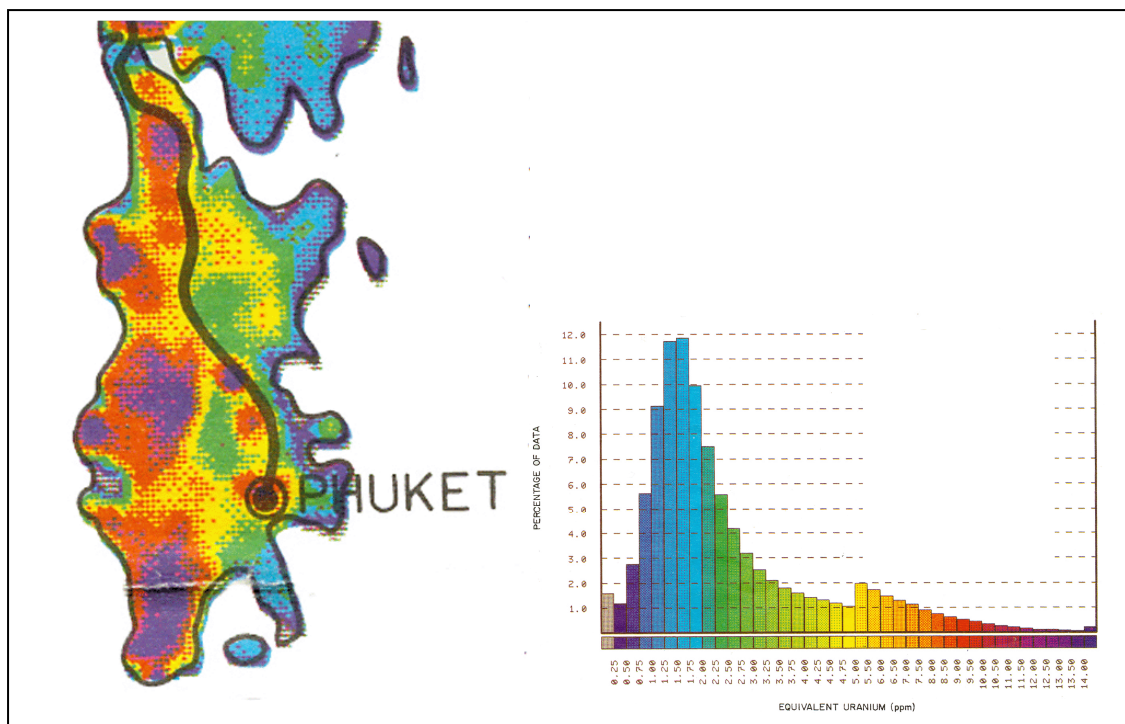
กัมมันตภาพรังสีมีผลต่อสิ่งมีชีวิต โดยรังสีสามารถทำให้อะตอมและโมเลกุลของเซลล์ที่มีรังสีตกกระทบเกิดการแตกตัวเป็นไอออน และเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อเนื่องทำให้มีผลกระทบต่อโครงสร้างและระบบการทำงานของเซลล์เกิดอาการผิดปกติ โดยสามารถแบ่งการได้รับรังสีเป็น 2 แบบ คือการได้รับรังสีปริมาณมากในช่วงเวลาสั้น ๆ มักเป็นการได้รับรังสีเนื่องจากอุบัติเหตุหรือภัยสงคราม และการได้รับปริมาณรังสีแบบสะสม ซึ่งเป็นการได้รับรังสีปริมาณน้อย ๆ และรับเป็นประจำ ผู้ที่รับรังสีเป็นประจำมีโอกาสเกิดอาการต่อไปนี้อายุสั้นกว่าปกติ เกิดมะเร็งในเม็ดเลือดขาว (Leukemia) มะเร็งที่กระดูก (Bone Cancer) มะเร็งปอด (Lung Cancer) โดยองค์กร US Environmental Protection Agency (US EPA) และ US National Academy of Science (US NAS) รวมทั้งองค์กรอื่นๆ ได้ทำการศึกษาก๊าซเรดอน และผลกระทบที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา และสามารถสรุปได้ว่าก๊าซเรดอนเป็นสาเหตุที่สองที่ก่อให้เกิดมะเร็งปอดในมนุษย์ (NAS-BEIR IV, 1998) มะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ (Thyroid Cancer) และต้อกระจก (Cataract) (พฤษภาคม 2533)

การประเมินความเสี่ยงของกัมมันตภาพรังสีเป็นวิธีการในการจัดรวบรวม และนำข้อมูลวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีมาประเมินอย่างเป็นระบบ เพื่อหาโอกาสการเกิดผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสัมผัสกัมมันตภาพรังสี ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจากการได้รับสัมผัสกัมมันตภาพรังสีโดยเปรียบเทียบผลการประเมินการได้รับสัมผัสกับระดับอ้างอิงหรือค่ามาตรฐานในค่า Hazard Quotient (HQ) สำหรับการอธิบายความเสี่ยงตามเส้นทางที่ได้รับสัมผัส (Exposure pathway) ถ้าสัดส่วนของการได้รับสัมผัสมีค่าน้อยกว่าค่าระดับอ้างอิง หรือค่ามาตรฐานแสดงว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีโดย

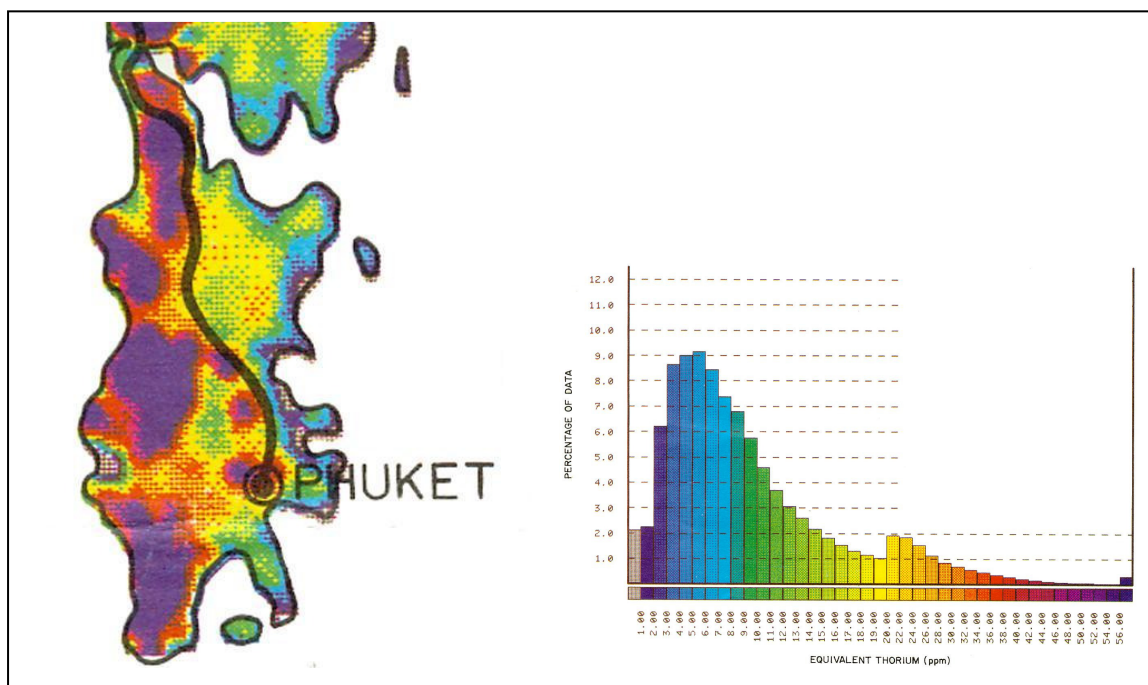
เฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นมีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ปกติ หากมีค่ามากกว่าค่าระดับอ้างอิงหรือค่ามาตรฐาน แสดงว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นอยู่ในระดับที่มีความเสี่ยงมากกว่าเกณฑ์ปกติ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการใช้ค่า HQ ไปในประเมินความเสี่ยงกัมมันตภาพรังสี

จังหวัดภูเก็ต มีพื้นที่ทั้งหมด 543 ตารางกิโลเมตร เขตการปกครองส่วนภูมิภาคเป็น 3 อำเภอ คือ อำเภอเมือง อำเภอกลาง และอำเภอกะทู้ ซึ่งอำเภอเมืองมีพื้นที่ 224 ตารางกิโลเมตร อำเภอ กะทู้มีพื้นที่ 67 ตารางกิโลเมตร อำเภอกลางมีพื้นที่ 252 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2543 มีความหนาแน่นของประชากรดังนี้ อำเภอเมืองเท่ากับ 393 คนต่อตารางกิโลเมตร อำเภอกะทู้เท่ากับ 260 คนต่อตารางกิโลเมตร และอำเภอกลางเท่ากับ 246 คนต่อตารางกิโลเมตร และลักษณะภูมิประเทศเป็นหมู่เกาะ วางตัวในแนวจากทิศเหนือไปทิศใต้ พื้นที่โดยรอบประกอบด้วย ภูเขา ทะเล และหาดทราย ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดภูเก็ตแบ่งออกเป็นหินชั้น หินอัคนี และหินแปร โดยหินชั้นมีพื้นที่ประมาณ 190 ตารางกิโลเมตร หินอัคนีมีพื้นที่ประมาณ 193 ตารางกิโลเมตร และหินแปรมีพื้นที่ประมาณ 75 ตารางกิโลเมตร และมีการทำเหมืองแร่ดีบุกประมาณ 1,300 เมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2543 (<http://www.phuket.go.th>)

จากข้อมูลการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ (กรมทรัพยากรธรณี, 2532) พบว่าจังหวัดภูเก็ต มีปริมาณยูเรเนียมที่ผิวดินสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยยูเรเนียมที่ผิวดินทั่วประเทศซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.1 ppm eU (ไทรภาพ ฟ่องสุวรรณ, ติดต่อส่วนตัว) ดังภาพประกอบ 1 และปริมาณทอเรียมที่ผิวดินสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยทอเรียมที่ผิวดินทั่วประเทศซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.2 ppm eU (ไทรภาพ ฟ่องสุวรรณ, ติดต่อส่วนตัว) ดังภาพประกอบ 2 และมีปริมาณของหินที่เป็นต้นกำเนิดของกัมมันตรังสีในธรรมชาติอยู่จำนวนมาก และผลจากการทำเหมืองแร่ดีบุก ทำให้มีแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุกคือ โมนาไซต์กระจายทั่วไป และโมนาไซต์ก็มีปริมาณธาตุทอเรียมอยู่ (<http://aree.dmr.go.th>) ซึ่งจะพบปะปนในทรายโดยทรายเหล่านั้นถ้านำมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นผลทำให้ประชาชนในจังหวัดภูเก็ตได้รับกัมมันตภาพรังสีได้ ฉะนั้นจังหวัดภูเก็ตจึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การศึกษาวิจัยเพื่อประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น จากการได้รับสัมผัสกัมมันตภาพรังสี โดยนำตัวอย่างหิน ดิน น้ำผิวดิน และทรายก่อสร้าง ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต มาหาปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ด้วยวิธีสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา แล้วนำมาหาปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อ เพื่อประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น และนำสู่การจัดการความเสี่ยงต่อไป



ภาพประกอบ 1 ระดับความเข้มข้นยูเรเนียม (ppm) ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตเทียบกับกราฟแท่งความเข้มข้นทั่วประเทศ (กรมทรัพยากรธรณี, 2532)



ภาพประกอบ 2 ระดับความเข้มข้นทอริียม (ppm) ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตเทียบกับกราฟแท่งความเข้มข้นทั่วประเทศ (กรมทรัพยากรธรณี, 2532)

2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจเอกสาร

2.1.1 กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ มาจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 2 แหล่ง คือ นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (Primordial radionuclide) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (cosmogenic radionuclide) ซึ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่เกิดขึ้นพร้อมการกำเนิดโลกนี้ มักมีการสลายตัวต่อเนื่องเป็นอนุกรมซึ่งอนุกรมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่สำคัญมีอยู่ 2 อนุกรม คือ อนุกรมยูเรเนียม (U-238) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น เมื่อเกิดการสลายตัวหลายครั้งจะได้ผลิตผลเป็นธาตุเรเดียม (Ra-226) สลายตัวต่อได้แก๊สกัมมันตรังสีเรดอน (Rn-222) โดยองค์กร US Environmental Protection Agency (US EPA) และ National Academy of Science (NAS) รวมทั้งองค์กรอื่น ๆ อีกหลายองค์กรได้ทำการศึกษาก๊าซเรดอน และผลกระทบที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา และสามารถระบุได้ว่า ก๊าซเรดอนเป็นสาเหตุที่สองที่ก่อให้เกิดมะเร็งปอดในมนุษย์ (US NAS – BEIR VI, 1998) ก๊าซเรดอนสามารถพบในหิน ดิน ทราย ในเปลือกโลก และน้ำบาดาล เนื่องจากยูเรเนียมสามารถพบได้ทั่วโลกในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในหินแกรนิต หินดินดาน และหินฟอสเฟต (Brill, 1994) ส่วนอนุกรมทอเรียม (Th-232) จะมีอยู่กระจัดกระจายในธรรมชาติทั่วไป แหล่งที่พบทอเรียมปริมาณมากคือ ทรายโมนาไซต์ (monazite sand) ซึ่งโมนาไซต์เป็นแร่พลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุก โดยทั่วไปแร่โมนาไซต์จะพบเกิดเป็นแร่รองในหินแกรนิต มักพบลักษณะเป็นเม็ดทราย พบในแหล่งลานแร่ดีบุก พบตามหาดทรายและท้องน้ำลำธารทั่วไปที่ใกล้ภูเขาหินแกรนิตหรือหินไนส์ (<http://aree.dmr.go.th/comment/mineral2>)

2.1.2 เส้นทางการได้รับรังสีของมนุษย์

ในชีวิตประจำวันของทุกคนเกี่ยวข้องและได้รับรังสีนิวเคลียร์อยู่แล้ว ซึ่งมาจากแหล่งที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ (natural radiation sources) เช่น เรเดียมปริมาณน้อยในน้ำดื่ม เรดอนในอากาศ โพแทสเซียมและคาร์บอนจากสิ่งมีชีวิต ยูเรเนียมและทอเรียมจากหินแร่ในธรรมชาติ รวมทั้งจากรังสีคอสมิกด้วย และมนุษย์ยังได้รับรังสีจากแหล่งรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นเอง (man - made radio nuclides) เช่น จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ จากแหล่งรังสีที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

เช่น ด้านการแพทย์ พลังงาน และอุตสาหกรรม ดังนั้นมนุษย์จะได้รับรังสีจากแหล่งรังสีที่มีในธรรมชาติ และแหล่งรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยมีสัดส่วนดังตาราง 1 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจของ National Council on Radiation Protection and Measurement จากประชากรในประเทศสหรัฐอเมริกา

ตาราง 1 ปริมาณรังสีที่ชาวอเมริกาได้รับต่อปี จากแหล่งรังสีในธรรมชาติ และแหล่งรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น

แหล่งรังสี	ปริมาณรังสี (mSv/y)	เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด
แหล่งรังสีในธรรมชาติ		
แก๊สเรดอน	2.00	55
แหล่งรังสีภายในร่างกาย	0.39	11
แหล่งรังสีจากพื้นดิน	0.28	8
รังสีคอสมิก	0.27	8
รวมปริมาณรังสีที่ได้รับจากธรรมชาติ	2.94	82
แหล่งรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น		
รังสีเอกซ์เพื่อการวินิจฉัยโรค	0.39	11
เวชภัณฑ์นิวเคลียร์	0.14	4
อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ	0.10	3
รวมปริมาณรังสีจากแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น	0.63	18
รวมทั้งสองแหล่ง	3.57	100

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก <http://www.physics.isu.edu/radinf/radrus.htm>

2.1.3 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในดิน หิน วัสดุก่อสร้าง

สถาบัน The United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR) ได้รายงานค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในดิน หิน วัสดุก่อสร้าง จากข้อมูลกัมมันตภาพรังสีทั่วโลก ดังตาราง 2

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีของทั่วโลก

ชนิด	ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี			ที่มา
	โพแทสเซียม (Bq/kg)	ยูเรเนียม (Bq/kg)	ทอเรียม (Bq/kg)	
ดิน	400	35	30	UNSCEAR, 2000
หิน	370	35	35	UNSCEAR, 1988
วัสดุก่อสร้าง	400	40	40	UNSCEAR, 2000

2.1.3 มาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำดื่ม และในอากาศ

สถาบันต่าง ๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศ และในน้ำดื่มได้แสดงไว้ในตาราง 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีหน่วยงาน 2 หน่วยที่กำหนดค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอาคาร (Indoor) ต่างกัน คือ US EPA กำหนดค่าไว้ที่ 148 Bq/m³ ในขณะที่ NCRP กำหนดค่าไว้ที่ 296 Bq/m³ ซึ่งอยู่ในช่วง 148-296 Bq/m³ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่ต่ำกว่า 296 Bq/m³ เป็นระดับความเข้มข้นที่ยอมรับได้ ในส่วนน้ำดื่ม (Drinking water) US EPA ได้กำหนดค่ามาตรฐานสูงสุด (Maximum Contaminant Level (MCL)) ไว้ที่ 11,111 Bq/m³ และ NAS กับ US EPA ได้ร่วมกันกำหนดค่ามาตรฐานที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ Alternative Maximum Contaminant Level (AMCL) ไว้ที่ 14,814 Bq/m³

ในส่วนของประเทศไทย คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติยังไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำดื่ม และในอาคารขึ้นมาปฏิบัติ ระดับมาตรฐานที่ประเทศไทยจะกำหนดขึ้นใช้ในอนาคตอาจจะสูง หรือต่ำกว่ามาตรฐานของประเทศอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเฉลี่ยที่เป็นภูมิหลังของประเทศ ความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอดเนื่องจากก๊าซเรดอน และค่าใช้จ่ายในการลดความเสี่ยง ทั้งนี้การจะได้มาซึ่งตัวเลขดังกล่าว ต้องผ่านกระบวนการศึกษาอย่างละเอียด และกว้างขวาง ซึ่งต้องใช้เวลา และงบประมาณเป็นจำนวนมาก (ไตรภพ และคณะ, 1998) ดังนั้นในการวิจัยจึงอนุโลมใช้เกณฑ์ของประเทศสหรัฐอเมริกา คือในอากาศที่ระดับ 148-296 Bq/m³ และในน้ำดื่มใช้ที่ระดับ 11,111 Bq/m³ จนกว่าคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจะกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศ และน้ำดื่มมาใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในอนาคต

ตาราง 3 Standard radon level recommended by the US organizations

หน่วยงาน	ลักษณะ	ระดับ	หมายเหตุ
US EPA	น้ำดื่ม	11,111 Bq/m ³	ระดับปฏิบัติ
Indoor radon Abatement act	ในบ้านเรือน	7.4-25.6 Bq/m ³	เป้าหมายของชาติ
NCRP	ในบ้านเรือน	296 Bq/m ³	แนวทาง
US EPA	ในบ้านเรือน	148 Bq/m ³	ระดับปฏิบัติในปัจจุบัน
US EPA	ในโรงเรียน	148 Bq/m ³	ระดับปฏิบัติ
NIOSH	ที่ทำงาน (ในเหมืองแร่)	1 WLM/yr	ขอบเขตที่ได้รับ
OSHA	ที่ทำงาน	4 WLM/yr	กฎหมาย
MSHA	เหมืองแร่	4 WLM/yr	กฎหมาย

US EPA : US Environmental Protection Agency

NAS : National Academy of Science

NCRP : National Council for Radiation Protection

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA : Occupational Safety and Health Administration

MSHA : Mine Safety and Health Administration

WLM : Working Level Month ; Exposure unit ; 1WLM = 74.0 Bq/m³ Year

ALARA : As low as reasonable achievable

ที่มา : ไตรภพ และคณะ, 1998

2.1.5 อัตราการดูดกลืนรังสีในอากาศ

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศ จากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลก (Terrestrial gamma radiation) ของประเทศไทย (UNSCEAR, 2000) มีค่าเท่ากับ 77 และ 48 nGy/h สำหรับภายนอก (Outdoor) และภายใน (indoor) ของบ้านเรือน ตามลำดับ ที่วัดเหนือพื้นดิน 1 เมตร ซึ่งคำนวณจากค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของเรเดียม (Ra-226) ทอเรียม (Th-232) และโพแทสเซียม (K-40) โดยสมมติว่านิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิดอื่นที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น Cs-137,

Sr-90 และ U-235 มีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้งได้ โดยอัตราปริมาณดุกกลืนในอากาศสำหรับภายนอกบ้านเรือน คำนวณได้จากสมการ (UNSCEAR, 2000)

$$D(nGy/h) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K$$

โดยที่ A_{Ra} = ความเข้มข้นกัมมันตภาพของเรเดียม ซึ่งสามารถใช้ค่ากัมมันตภาพของยูเรเนียมแทนได้เนื่องจากการเข้าสู่สมดุลรังสีแบบถาวร หน่วยเป็น Bq/kg
 A_{Th} = ความเข้มข้นกัมมันตภาพของทอเรียม หน่วยเป็น Bq/kg
 A_K = ความเข้มข้นกัมมันตภาพของโพแทสเซียม-40 หน่วยเป็น Bq/kg
 การได้รับสัมผัสปริมาณรังสีจากภายนอก (external exposure) ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม-40 ที่มีอยู่ในดิน หิน และลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่นั้น ๆ (Quindas et al., 1994)

2.1.6 การประเมินปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี

2.1.6.1 ปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี สามารถหาได้จากการแปลงอัตราปริมาณรังสีดุกกลืนในอากาศ ของตัวอย่างหิน ดิน ทราขก่อสร้าง (UNSCEAR, 2000) คำนวณ ได้จากสมการ

$$annual\ effective\ dose(Sv) = absorbed\ dose\ rate\ (Gy/h) \times 8760\ h \times 0.2 \times 0.7\ Sv/Gy$$

ICRP (International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณรังสีที่บุคคลทั่วไปได้รับจากรังสีทุกชนิด เป็นค่าปริมาณรังสีขนาดเสี่ยง (committed dose) ว่าควรได้รับไม่เกิน 0.1 mSv หรือ 1/10 ของเกณฑ์ปลอดภัย 1 mSv (dose limit; ICRP, 1991)

2.1.6.2 การประเมินปริมาณเรเดียมในน้ำที่ร่างกายได้รับต่อปี

การประเมินการบริโภคน้ำ โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ตาม WHO (2002) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน ในเวลา 1 ปีจะดื่มน้ำ 730 ลิตร เมื่อใช้ค่าปัจจัย 2.8×10^{-7} Sv/Bq โดยประเมินจากความเสียหายของเนื้อเยื่อเมื่อดุกกลืนพลังงานรังสี (WHO, 2002) เป็นปัจจัยสำหรับการ

ประเมินปริมาณปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายได้รับต่อปีในผู้ใหญ่ (adult annual equivalent dose) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\text{annual effective dose (Sv)} = A_{Ra} (\text{Bq/l}) \times 2.8 \times 10^{-7} \text{ Sv/Bq} \times 730(\text{l})$$

เมื่อ A_{Ra} = ความเข้มข้นกัมมันตภาพของเรเดียม (Bq/l)

2.1.7 ผลของรังสีต่อกลไกของร่างกาย

ชัชวาล ไกรลักษณ์วรภา (2535 : 1 - 7) ได้อธิบายถึงกลไกของรังสีที่มีผลในร่างกายว่า การได้รับรังสีอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ง่าย รังสีก่อให้เกิดการแตกตัวของเซลล์มีผลต่อร่างกาย โครงสร้างของร่างกายประกอบด้วยเซลล์ประกอบด้วยนิวเคลียส และนิวเคลียสนิวเคลียสมีโครงสร้างคล้ายเส้นด้าย เรียกว่า โครโมโซม (Chromosomes) ในแต่ละโครโมโซมจะมียีน (genes) ที่ประกอบด้วย DNA (Deoxy - ribo - Nucleic Acid) บอกลักษณะทางพันธุกรรม เมื่อรังสีผ่านทะลุเซลล์ที่มีชีวิต ทำให้อะตอม และ โมเลกุลนั้นเกิดการแตกตัว (Ionize) หรืออยู่ในภาวะที่ถูกกระตุ้นทำให้มีการเปลี่ยนแปลง และความเสียหายในโครโมโซมหรือยีน หรือในระยะยาวเกิดเป็นมะเร็ง

รังสีที่แผ่ออกจากธาตุกัมมันตรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมตามแนวทางที่รังสีผ่านไป ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต 2 แบบ คือ

2.1.7.1 ผลของรังสีที่มีต่อร่างกาย คือ เกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนัง ผมร่วง เซลล์ตาย เป็นแผลเปื่อย เกิดเนื้อเส้นใยจำนวนมากที่ปอด (fibrosis of the lung) เกิดโรคมะเร็งเม็ดโลหิตขาวมาก (leukemia) เกิดต้อกระจก (cataracts) ขึ้นในนัยน์ตา เป็นต้น

2.1.7.2 ผลของรังสีที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ คือ ทำให้โครโมโซม (chromosome) เกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้ลูกหลานเกิดเปลี่ยนแปลงลักษณะได้

(www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_22.htm)

2.1.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.8.1 กฎการสลายของนิวไคลด์ (Law of Radioactive Decay)

การที่นิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเปลี่ยนสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ และมีการปล่อยพลังงานในรูปของกัมมันตภาพรังสีชนิดต่าง ๆ นั้นเรียกว่า “การสลาย” (decay) นิวเคลียสกัมมันตรังสีเริ่มต้นเรียกว่า “นิวเคลียสแม่” (parent) และนิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นเรียกว่า “นิวเคลียสลูก” (daughter) นิวเคลียสลูกที่ได้จากการสลายอาจจะเสถียรหรือไม่ก็ได้ ถ้าไม่เสถียรก็ จะมีการสลายต่อไปอีกจนกว่าจะเสถียร การสลายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีนั้น อัตราการสลายของ นิวไคลด์กัมมันตรังสีจะแปรผันตามกับจำนวนนิวเคลียสที่มีอยู่เดิมในขณะนั้น

ถ้าให้ N เป็นจำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง
อัตราการสลายคือ

$$\begin{aligned} -\frac{dN}{dt} &\propto N \\ \frac{dN}{dt} &= -\lambda N \end{aligned} \quad (1)$$

เมื่อ λ คือค่าคงตัวของการสลาย (decay constant) หน่วย วินาที⁻¹ ให้ N_0 เป็น จำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิมเมื่อเริ่มต้น $t=0$ สมการ (1) จะได้

$$\begin{aligned} \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} &= -\lambda \int_0^t dt \\ \ln \frac{N}{N_0} &= -\lambda t \\ N &= N_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ N_0 = จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เวลาเริ่มต้น ($t=0$)
 N = จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เวลา t ใด ๆ
 t = ระยะเวลาของการสลายตัว
 λ = ค่าคงตัวของการสลายตัว (decay constant)

สมการ 2 เรียกว่า “กฎของการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี” (Law of radioactive decay)

2.1.8.2 กัมมันตภาพ (Activity, A)

กัมมันตภาพ (activity, A) ของสารกัมมันตรังสี หมายถึง อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี หรือจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวต่อหน่วยเวลา

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

$$A = \lambda N \quad (3)$$

กัมมันตภาพหรือความแรงรังสีหน่วยเป็น “การสลายตัวต่อวินาที” (disintegration per second, dps) หรือคูรี (Curie, Ci) ในปัจจุบันใช้หน่วย SI คือ “เบ็กเคอเรล” (Becquerel, Bq)

จากสมการ (2) คูณด้วย λ จะได้

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

เมื่อ A = กัมมันตภาพที่เวลา t ใด ๆ
 A_0 = กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)
 t = ระยะเวลาของการสลายตัว

2.1.8.3 ครึ่งชีวิต (Half – life) และค่าชีวิตเฉลี่ย (Mean life)

ครึ่งชีวิต (Half – life) คือเวลาที่สารกัมมันตภาพรังสีใช้ในการสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งของที่มีอยู่เดิม ปริมาณสารกัมมันตรังสีจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งในเวลาเท่า ๆ กันจึงตั้งค่าคงตัวของเวลาที่กัมมันตภาพหรือสารกัมมันตรังสีลดลงเหลือครึ่งหนึ่งว่า ค่าครึ่งชีวิต

ให้ค่าครึ่งชีวิต (Half life) $T_{\frac{1}{2}}$ = ระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง

$$\text{ดังนั้นที่ } t = T_{\frac{1}{2}}; N = \frac{N_0}{2}; = \frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$$

จากสมการ (2) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 N &= N_0 e^{-\lambda t} \\
 \frac{N_0}{2} &= N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \\
 \frac{1}{2} &= e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \\
 \ln \frac{1}{2} &= -\lambda T_{\frac{1}{2}} \\
 \ln 2 &= \lambda T_{\frac{1}{2}} \\
 T_{\frac{1}{2}} &= \frac{\ln 2}{\lambda} \\
 T_{\frac{1}{2}} &= \frac{0.693}{\lambda}
 \end{aligned} \tag{5}$$

สมการที่ (5) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าครึ่งชีวิต ($T_{\frac{1}{2}}$) และค่าคงที่ของการสลายตัว (λ) แต่เนื่องจากอะตอมในนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีช่วงชีวิตไม่เท่ากัน ค่าเฉลี่ยของช่วงชีวิตนี้เรียกว่า “ชีวิตเฉลี่ย” (Mean life, τ) ให้เป็นอัตราส่วนของเวลาที่ทุกอะตอมมีอยู่ต่อจำนวนอะตอมที่เริ่มต้น

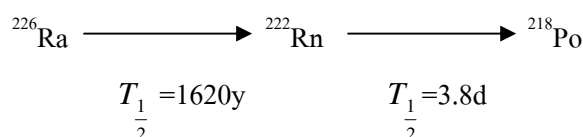
$$\begin{aligned}
 \text{จาก } N &= N_0 e^{-\lambda t} \\
 \text{diff;} \quad dN &= -\lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt
 \end{aligned}$$

จากคำจำกัดความจะได้

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{\int_0^{\infty} t dN}{N_0} \\
 \tau &= \frac{-1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt \\
 \tau &= \frac{-\lambda N_0}{N_0} \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt \\
 \tau &= -\lambda \left[\frac{-1}{\lambda^2} \right] \\
 \tau &= \frac{1}{\lambda}
 \end{aligned} \tag{6}$$

2.1.8.4 สมดุลรังสีแบบถาวร (Secular equilibrium)

เป็นสมดุลทางรังสีที่มีเงื่อนไขกำกับว่า ครึ่งชีวิตของพ่อแม่ จะต้องมากกว่าครึ่งชีวิตของลูกหลายเท่า หรือมองอีกแง่หนึ่งคือ $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ถ้าจะให้เห็นชัดของการสมดุลในแบบนี้แล้ว ความแตกต่างของค่าครึ่งชีวิตระหว่างพ่อแม่กับลูกจะต้องต่างกัน 10^4 เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้นค่ากัมมันตภาพของพ่อแม่จะไม่เปลี่ยนแปลงเท่าไร ในขณะที่ค่ากัมมันตภาพของลูกเปลี่ยนแปลงไปหลายช่วงครึ่งชีวิต ตัวอย่างเช่นการสลายตัวของ ^{226}Ra ไปเป็น ^{222}Rn



จากสมการ (3) $A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$

ครึ่งชีวิตของ N_1 มากกว่าครึ่งชีวิต N_2 มาก ๆ

เวลาผ่านไป $N_2 > N_1$ จน $N_2 \Rightarrow N_3$

จากครึ่งชีวิต $N_1 > N_2$ ดังนั้น λ_1 น้อยมาก $e^{-\lambda t} = 1$

ทำให้ $N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2$

ซึ่งเป็นไปตามสมการ $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n$ (7)

จากสมการ (7) แสดงความจริงว่าจำนวนอะตอมสัมพัทธ์ของพ่อแม่และลูกจะแปรผกผันกับค่าคงที่ของการสลายตัว และแนวคิดที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือในสมดุลของลูกจะมีค่าเท่ากับของพ่อแม่ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก ๆ ในกรณีของสมดุลทางรังสีแบบถาวรเกิดขึ้นแล้ว ความแรงแรงรังสีทั้งของพ่อแม่และลูกจะลดลงด้วยอัตราที่เท่ากัน และอัตราลดลงขึ้นอยู่กับครึ่งชีวิตของพ่อแม่

2.1.8.5 หน่วยวัดปริมาณรังสี

สถาบัน International Commission on Radiation Unit and Measurement (ICRU) (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545) ได้กำหนดหน่วยวัดรังสีไว้ดังนี้

- **กัมมันตภาพ (Activity)**

กัมมันตภาพของสารกัมมันตรังสี เป็นหน่วยกัมมันตภาพรังสี (radioactivity unit) ที่ อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี โดยมี คูรี (Curie, Ci) และรัทเทอร์ฟอร์ด (rutherford) เป็น หน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพรังสี เมื่อ

1 คูรี หมายถึงปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพรังสี 3.7×10^{10} ครั้งต่อ วินาที

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps} \quad (8)$$

สำหรับหน่วยสากล (International System Unit, SI Unit) กำหนดเบ็กเคอเรล (Becquerel, Bq) เป็นหน่วยกัมมันตภาพ โดยที่

1 เบ็กเคอเรล หมายถึงปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพรังสี 1 ครั้งต่อ วินาที

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps} \quad (9)$$

- **การได้รับรังสี (Exposure)**

ICRU ได้กำหนด เรินต์เกน (Roentgen, R) เป็นหน่วยของการได้รับรังสี (exposure) ซึ่งหมายถึง การวัดปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อรังสีผ่านไป ในอากาศ

ปริมาณรังสี 1 เรินต์เกน เท่ากับปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัวให้ประจุ 1 esu ใน อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ NTP หรืออากาศมวล 1.293×10^{-3} กรัม (<http://www.egat.co.th/me/nuc/Knowledge/unit.html>)

$$1 \text{ R} = \frac{1 \text{ esu}}{1.293 \times 10^{-3}}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg of standard air} \quad (10)$$

สำหรับ SI unit ใช้ C/kg แสดงค่า exposure โดยที่

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (11)$$

- ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose)

ปริมาณรังสีดูดกลืนมีหน่วยเป็น แร็ด (rad) เป็นคำย่อมาจาก radiation absorbed dose หมายถึงปริมาณพลังงานของรังสีที่ตัวกลางใดๆ ดูดกลืนไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวกลางนั้น เมื่อรังสีผ่านเข้าไป ซึ่งอาจเขียนได้ว่า

$$\text{rad} = \frac{\text{พลังงานของรังสี}}{\text{น้ำหนักของตัวกลาง}}$$

ปริมาณรังสี 1 rad หมายถึง ปริมาณรังสีที่ตัวกลางดูดกลืนไว้ได้ 100 เอร์กต่อกรัมของตัวกลาง

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$$

SI unit กำหนดให้ จูลต่อกิโลกรัม หรือเกรย์ (Gray, Gy) เป็นหน่วยสำหรับ absorbed dose โดยที่

$$1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \quad (12)$$

เมื่อพิจารณาปริมาณรังสี 1 เอนด์เกน ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงาน 87.7 เอร์ก ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยอากาศ 1 กรัม เห็นได้ว่า มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณรังสี 1 แร็ด ความสัมพันธ์ของหน่วย exposure และ absorbed dose จึงประมาณได้ว่า

$$1 \text{ R} = 1 \text{ rad} \quad (13)$$

- ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)

ปริมาณรังสีสมมูลมีหน่วยเป็นเรม (rem, radiation equivalent man) ซึ่งโดยทั่วไป จะใช้ในงานด้านรังสีวิทยา และด้านการป้องกันและความปลอดภัยทางรังสี

SI unit กำหนดให้ จูลต่อกิโลกรัม หรือซีเวิร์ต (Sievert, Sv) เป็นหน่วยของ dose equivalent โดยมีความสัมพันธ์กับเรม ดังนี้

$$\begin{aligned} 1 \text{ J/kg} &= 1 \text{ Sv} \\ 1 \text{ Sv} &= 100 \text{ rem} \end{aligned} \quad (14)$$

ตาราง 4 สรุปหน่วยวัดทางรังสี

หน่วยวัดทางรังสี	หน่วยเก่า	หน่วยใหม่	ความสัมพันธ์
activity	Ci	Bq	$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
exposure	R	C/kg	$1 \text{ C/kg} = 3786 \text{ R}$ $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
absorbed dose	rad	Gy	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$
dose equivalent	rem	Sv	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$

ที่มา : นवलฉวี รุ่งชนเกียรติ, 2545. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์.

ตัวอย่างการแปลงหน่วยจากหน่วยกัมมันตภาพ (activity) เป็นมวล

คำนวณมวลของแหล่งกำเนิด $^{214}_{83}\text{Bi}$ ซึ่งมีกัมมันตภาพเท่ากับ $3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ และมีครึ่งชีวิต 19.7 นาที

ค่าคงตัวการสลายตัวของ $^{214}_{83}\text{Bi}$ หาได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{19.7 \times 60 \text{ s}}$$

$$\lambda = 5.86 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น หาได้จากสมการ

$$A_0 = \lambda N_0$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น

N_0 คือ จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น

$$N_0 = \frac{\lambda}{A_0}$$

$$N_0 = \frac{3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}}{5.86 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}}$$

$$N_0 = 6.3 \times 10^{15} \text{ อะตอม}$$

มวลของแหล่งกำเนิด ${}_{83}^{214}\text{Bi}$ หาได้จากสมการ

$$N_0 = \frac{\text{มวล}}{214 \text{ g/mol}} (6.02 \times 10^{23} \text{ อะตอม/mol})$$

$$6.02 \times 10^{23} \text{ อะตอม} = \frac{\text{มวล}}{214 \text{ g/mol}} (6.02 \times 10^{23} \text{ อะตอม/mol})$$

$$\text{มวล} = 0.224 \times 10^{-6} \text{ g}$$

ฉะนั้นมวลของแหล่งกำเนิด ${}_{83}^{214}\text{Bi}$ มีค่าเท่ากับ $0.224 \times 10^{-6} \text{ g}$

2.1.8.6 เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี

หน้าที่ของหัววัดรังสี คือ ผลิตสัญญาณพัลส์ออกมาทุกครั้งที่มิออนูภาคพุ่งชน ทุกหัววัดรังสี จะทำงานโดยอาศัยอันตรกิริยาบางอย่างระหว่างอนุภาคกับสสาร

- การใช้หัววัดแบบ HPGe (High purity Germanium)

HPGe มีสารเจือปนน้อย จะมีความบริสุทธิ์มากกว่าหัววัด Ge (Li) ใช้วิธี N – Type (n) บน P – Type (p) ที่บริสุทธิ์เท่าที่จะทำได้ โดย Li (donor) ที่ปริมาณมากบนฐาน Ge (acceptor) ซึ่งให้เป็น p การสร้าง 1 คู่ ประจุใน Ge ต้องใช้พลังงาน 2.9 eV ซึ่งต้องทำงานที่อุณหภูมิ 77 K คือ อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว เพื่อลดผลจากความร้อน และป้องกันการปนเปื้อนโดยการบรรจุใน cryostat ซึ่งเป็นชุดสุญญากาศ มีการถ่ายเทความร้อนจากหัววัดผ่านแท่งทองแดง (copper coldfinger) ซึ่งต้องแช่ไว้ในไนโตรเจนเหลวในถังชั้นในของถัง Dewar และในทางปฏิบัติควรให้มีอุปกรณ์รอบหัววัดน้อยชิ้นที่สุด เพื่อลดการกระเจิงคอมป์ตัน

- เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi – Channel Analyzer, MCA)

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA) จะบันทึกและเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดความสูง หน่วยเก็บแต่ละหน่วยจะเรียกว่าช่อง เช่น 512 1024 2048 4096 และ 8192 ช่อง โดยสัญญาณขนาดเดียวกันมารวมที่เดียวกัน และทำการวิเคราะห์สัญญาณในเวลาเดียวกัน สมมุติว่า MCA มี 1000 และสามารถวิเคราะห์สัญญาณได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ ถ้าจะแจกแจงขนาดเป็นแบบเชิงเส้นตามหมายเลขช่องแล้วจะได้สัญญาณขนาด 0 โวลต์ เข้าช่องหมายเลข 1 สัญญาณ 0.01 เข้าช่องหมายเลข 2 สัญญาณขนาด 1 โวลต์ เข้าช่องหมายเลข 100 สัญญาณขนาด 2 โวลต์ เข้าช่องหมายเลข 200 และสัญญาณขนาด 10 โวลต์ เข้าช่องหมายเลข 1000 เมื่อสัญญาณขนาดต่าง ๆ เข้ามาในเวลาใกล้เคียงกัน จะถูกวิเคราะห์สัญญาณ แบบขนาดแจกแจงสัญญาณพร้อมกันเบ็ดเสร็จ

2.1.8.7 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา (Gamma – Ray Spectrum Analysis)

สเปกตรัมรังสีแกมมาเป็นผลลัพธ์ที่ได้มาจากการใช้ เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา (Gamma – ray spectrometer) ทำการวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยมาจากสารตัวอย่าง (sample) ที่อาจมีส่วนประกอบของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (radionuclide) ชนิดต่าง ๆ รวมกันอยู่ สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารตัวอย่างมีความซับซ้อนมากขึ้นอยู่กับจำนวน และความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มียูเรเนียม และทอเรียม ที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติเรียกว่า Naturally Occurring Radionuclide ตัวอย่างบางประเภทอาจปนเปื้อนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากมนุษย์สร้างเรียกว่า

Man – made Radionuclide เช่น Cs-134, Cs-137, Co-60, I-131, Sr-90, Am-241 เป็นต้น การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจึงจัดว่ามีความสลับซับซ้อนไม่น้อย เนื่องจากสเปกตรัมหนึ่ง ๆ เป็นที่รวมของพลังงานรังสีแกมมาทั้งหมดที่ปลดปล่อยจากวัตถุตัวอย่าง รวมทั้งรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยมาจากสิ่งแวดล้อม รวมทั้งอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร และสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของระบบวัดรังสี อาจทำให้สเปกตรัมรังสีแกมมาที่มีความสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น ในการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนที่ถูกต้อง

2.1.8.8 การระบุชนิดของนิวไคลด์และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Nuclide

Identification and Quantitative Analysis)

การวิเคราะห์สเปกตรัมที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาชนิด HPGe และ MCA จะประกอบ ด้วยการวิเคราะห์หน่วยพลังงานรังสีแกมมาแต่ละยอดพลังงานมาจากนิวไคลด์ตัวใด โดยปกติยอดพลังงานรังสีแกมมาของหัววัด HPGe จะมีความแหลมคมมาก และถ้าการปรับเทียบพลังงานกับช่องทำได้โดยตรง การใช้ automatic peak search ของโปรแกรมวิเคราะห์ จะทำให้สามารถระบุชนิดของนิวไคลด์ได้อย่างแม่นยำโดยไม่ต้องอาศัยผู้วิเคราะห์ที่ใช้ Genie 2000 จะมีฟังก์ชันการทำงานดังกล่าวนี้ โดยจะมีทั้ง Standard Nuclide Library และที่เป็น User – generated Nuclide Library ให้เลือกใช้งาน

ขั้นตอนสุดท้ายในการวิเคราะห์นิวไคลด์คือ การหาความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีของแต่ละไอโซโทป ซึ่งโดยปกติ Net Area จะสัมพันธ์โดยตรงเชิงเส้นกับค่ากัมมันตภาพแต่ที่จำเป็นต้องปรับแก้ค่าประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงานต่าง ๆ ด้วย (ประสิทธิภาพเป็นฟังก์ชันกับพลังงานรังสี) สัดส่วนการสลายตัวของพลังงานรังสีตัวนั้น ค่ากัมมันตภาพ (Activity) ของไอโซโทปใด ๆ ในหน่วย μCi แสดงด้วยสมการ

$$\mu\text{Ci} = \frac{\text{Net Area}}{(\text{Live Time})(\text{Efficiency})(\text{Yield})(3.7 \times 10^4)}$$

เมื่อ Yield เป็นค่า the branching ratio fraction

การปรับแก้ครึ่งชีวิต (Half life correction) ทำได้โดยการคูณด้วย Exponential factor ดังนี้

$$\mu\text{Ci at time } t_0 = [\mu\text{Ci}] \exp\left(\frac{0.693 \times \text{Decay Time}}{\text{Half Life}}\right)$$

เมื่อเวลาการสลายตัวและครึ่งชีวิตมีหน่วยเดียวกัน (วินาที นาที ชั่วโมง ปี)

2.1.8.9 การปรับเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency Calibration)

ในสมการสำหรับคำนวณค่ากัมมันตภาพนั้น ค่าประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัวคือ Geometry ของ Sample-size , density และระยะทางจากหัววัด สำหรับหัววัดที่ใช้วัดรังสีแกมมา ค่าประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับค่าพลังงานรังสี ดังนั้นในระบบการวัดรังสีหนึ่งๆ จึงต้องมีการปรับเทียบค่าประสิทธิภาพโดยการใช้สารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นหรือค่ากัมมันตภาพ ของไอโซโทปต่าง ๆ ที่ปลดปล่อยรังสีแกมมาหลายค่าพลังงาน กลุ่มข้อมูลของค่าประสิทธิภาพและค่าพลังงานจะมีความสัมพันธ์กันด้วยสมการ

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Net Area}}{(\text{Live Time})(\text{Activity})(\text{Yield})}$$

เมื่อ activity = หน่วยเป็น Bq ของสารมาตรฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ

Yield = branching ratio fraction

Live time = actual ADC live time

2.1.8.10 การหาค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์ในสารตัวอย่างอื่น

สารตัวอย่างที่สามารถใช้สมการ Efficiency ในการหาค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์ใด ๆ สารตัวอย่างนั้นจำเป็นต้องมี Geometry เหมือนกันกับสารอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้หาสมการ Efficiency โดยต้องมีมวล ความหนาแน่น รูปทรง ที่ใกล้เคียงกัน บรรจุในภาชนะบรรจุที่มีค่ากัมมันตภาพของ นิวไคลด์ที่ปลดปล่อยพลังงานต่างๆ คำนวณได้จาก

$$\text{Activity}(Bq) = \frac{\text{Net Area}}{\text{Live Time}(\text{sec}) \times \text{Efficiency}(\text{CPS} / Bq) \times \text{Yield}(\text{Fraction})}$$

2.1.9 การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment)

การประเมินความเสี่ยง คือ วิธีการในการจัดรวบรวม และนำข้อมูลวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับวัตถุอันตรายมาประเมินอย่างเป็นระบบ เพื่อหาโอกาสการเกิดผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสัมผัสวัตถุอันตราย มี 4 ขั้นตอน ซึ่งในการวิจัยนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจึงศึกษาเพียง 1 ขั้นตอนดังนี้

2.1.9.1 การอธิบายความเสี่ยง (Risk characterization)

การเปรียบเทียบผลการประเมินการได้รับสัมผัสกับระดับความปลอดภัย (MOS : Margin of Safety) US EPA ในค่า Hazard Quotient (HQ) สำหรับการอธิบายความเสี่ยงตามเส้นทางการได้รับสัมผัส (Exposure pathway) ถ้าสัดส่วนของการได้รับสัมผัสมีค่าน้อยกว่าค่าระดับอ้างอิงหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้ หากมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับนั้นเกินค่ามาตรฐาน หรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ซึ่งต้องพิจารณาหามาตรการเพื่อจัดการความเสี่ยงต่อไป การใช้ค่า Hazard Quotient (HQ) มีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้ (พัชร รัตนจินดา, 2546)

$$\text{Hazard Quotient}(HQ) = \frac{\text{Exposure}}{\text{RfD}}$$

เมื่อ Exposure = ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับต่อปี
 RfD = Reference Dose (RfD) หรือระดับปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับต่อปีไม่เกิน 0.1 mSv ในตัวอย่างหิน ดิน ทราายก่อสร้าง และ 8 μ Sv ในตัวอย่างน้ำผิวดิน

โดยที่ $HQ \leq 1$ มีความเสี่ยงในเกณฑ์ปกติ
 $HQ > 1$ มีความเสี่ยงมากกว่าเกณฑ์ปกติ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หินเกือบทุกชนิดมีปริมาณธาตุกัมมันตรังสีปะปนอยู่ (กิตติชัย และคณะ, 2527) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วยูเรเนียมจะปะปนในหินแกรนิต ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของหินอัคนีที่เกิดจากการตกผลึกของหินหนืด ทั้งนี้พบว่าหินตะกอนส่วนใหญ่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่และการกร่อนของหินที่มีอยู่เดิม เนื่องจากทั้งหินปูน หินดินดาน และหินทรายเป็นประเภทหนึ่งของหินตะกอน เมื่อหินอัคนีแตกสลายหรือผุกร่อนก็จะเกิดเป็นหินตะกอน ดังนั้นยูเรเนียมซึ่งมีครึ่งชีวิตที่ยาวมาก (4.4×10^9 ปี) จะปะปนอยู่ในหินแกรนิต หินดินดาน หินปูน หินทรายเหล่านั้นด้วย (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2531) จากการศึกษาวัดปริมาณยูเรเนียม (U - 238) ในหินชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ ดังตารางที่ 5 ตาราง 5 แสดงปริมาณกัมมันตภาพรังสีในหินชนิดต่าง ๆ

กัมมันตภาพรังสี	หินแกรนิต	หินปูน	หินดินดาน	หินทราย	สถานที่	อ้างอิง
ยูเรเนียม	18.43±4.81 ppm eU	3.12±2.83 ppm eU	17.97±3.53 ppm eU	1.28±3.83 ppm eU	จังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี	สุขสวัสดิ์ ศิริจารุ กุล, 2537
ยูเรเนียม				0.83 ± 9.17 ppm eU (ทรายก่อสร้าง)	เขตเทศบาลนคร หาดใหญ่	พรณี เสถียรศรี, 2537
ยูเรเนียม	18 ppm eU (อ.เมือง สงขลา) 11 ppm eU (เขาช่อง กระเจก)				ภาคใต้ของ ประเทศไทย	Shunso Ishihala, <i>et al.</i> , 1980
ยูเรเนียม ทอเรียม		3 - 5 ppm 10 - 15 ppm			เกาะลิพารี อิตาลี	Chiozzi, <i>et al.</i> , 1998
โพแทสเซียม		1.9 - 5.3 %				
ยูเรเนียม ทอเรียม		4.0 - 35.0 ppm 11.0 - 124.0 ppm			หินอียิปต์	Hussein, 1994

จากผลการวิจัยความเข้มข้นก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนในอากาศ และในน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ไตรภพ และคณะ, 2544) พบว่าพื้นที่ อ. นาหม่อม จ.สงขลา และ อ.กงหรา จ.พัทลุง เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะพบปัญหาการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ ผลการตรวจวัดความเข้มข้นยูเรเนียมของหินแกรนิตในจังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี (สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล,

2537) พบความเข้มข้นของยูเรเนียมในหินแกรนิตขนาด 18.43 ppm eU มีค่าสูงกว่าปริมาณยูเรเนียมเฉลี่ยในหินแกรนิตทั่วไปคือ 4.8 ppm eU ถึง 4 เท่า

จากการศึกษาการจับเรเดียมของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดแคตไอออน พบว่าเรซินมีประสิทธิภาพในการจับเรเดียมอยู่ในช่วง 84.78-100% (สุภัทร ภัทรกิจโสภณ, 2547) และจากเทคนิคการจับเรเดียมด้วยสารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา พบว่าความเข้มข้นของเรเดียมในน้ำบ่อพื้นที่อำเภอนาหม่อมมีค่าอยู่ระหว่าง 40-753 mBq/l ซึ่งเกินค่ามาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเท่ากับ 111 mBq/l (ฉัฐธิดา พรหมยอด, 2547)

3 วัตถุประสงค์

- 3.1 ตรวจสอบและวิเคราะห์ความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต
- 3.2 ประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจากการได้รับสัมผัสกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต

4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 สามารถประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นที่ประชาชนมีโอกาสได้รับสัมผัสจากกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติในเขตพื้นที่จังหวัดภูเก็ต
- 4.2 แนะนำแนวทางการจัดการความเสี่ยงเบื้องต้นแก่ประชาชน