

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) เป็นปรากฏการณ์ที่นิวไคลด์ของธาตุกัมมันตรังสีสามารถเปลี่ยนแปลงตัวเองเป็นธาตุหรือไอโซโทปอื่นได้ การเปลี่ยนแปลงนี้จะมีการปลดปล่อยหรือแผ่รังสีออกมาตามธรรมชาติ โดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมใดๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ปรากฏการณ์นี้พบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1896 โดย อองตวน อองรี เบ็กเคอเรล (Antoine Henri Becquerel) ซึ่งเป็นนักเคมีชาวฝรั่งเศส ต่อมาปีแอร์ คูรี (Pierre Curie) ได้ค้นพบธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive element) ซึ่งหมายถึงธาตุที่มีสภาพไม่เสถียร สามารถปลดปล่อยรังสีออกมาได้ จำนวน 2 ชนิด คือพอโลเนียม (Polonium) และเรเดียม (Radium) และจากผลการทดลองจำนวนมากได้มีการพิสูจน์พบว่า ธาตุกัมมันตรังสีสามารถปล่อยรังสีออกมา 3 ชนิด คือ แอลฟา (Alpha; α) บีตา (Beta; β) และแกมมา (Gamma; γ) โดยมีกระบวนการสลาย 3 แบบ (สมพงษ์ ใจดี, 2551) คือ

1) กระบวนการสลายแอลฟา (Alpha decay process) เป็นการปล่อยอนุภาคที่เป็นนิวเคลียสของฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$) ซึ่งประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัว (นิวตรอน 2 ตัว) และมีเลขมวลเท่ากับ 4

2) กระบวนการสลายบีตา (Beta decay process) เป็นการปล่อยอนุภาคที่เป็นทั้งอิเล็กตรอน (Electron) มีประจุไฟฟ้าเป็น $-e$ และโพสิตรอน (Positron) มีประจุไฟฟ้าเป็น $+e$ ซึ่งถือว่าโพสิตรอนเป็นปฏิสสาร (Antimatter) กับอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงใช้สัญลักษณ์ที่แสดงให้เห็นถึงความคล้ายคลึงและความแตกต่างกันของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน เป็น β^- และ β^+ ตามลำดับ

3) กระบวนการสลายแกมมา (Gamma decay process) เป็นการปล่อยรังสีที่เป็นโฟตอนพลังงานสูง (High energy photon) ออกมา รังสีแกมมาจัดเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสมบัติความเป็นคลื่น คือ ความยาวคลื่น ความถี่ และไม่มีมวล

รังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมาจัดเป็นรังสีนิวเคลียร์ (Nuclear radiation) ที่มีพลังงานอยู่ในช่วงกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) จนถึง เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) ซึ่งมากพอที่จะทำให้ตัวกลางที่รังสีผ่านไปแตกตัวเป็นไอออน จึงเรียกรังสีที่มีสมบัติเช่นนี้ว่า รังสีก่อไอออน (Ionizing radiation) จำแนกได้เป็น 2 ประเภท (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545) ได้แก่

1) รังสีอนุภาค (Particulate radiation) เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา อนุภาคโพสิตรอน อนุภาคนิวตรอน เป็นรังสีที่ประกอบด้วยกลุ่มอนุภาคขนาดเล็กๆ สามารถวัดมวลของอนุภาคได้

2) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) เช่นรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ เป็นรังสีที่มีสมบัติของคลื่น

รังสีทั้ง 3 ชนิดมีกำลังการทะลุผ่านแตกต่างกัน อนุภาคแอลฟามีมวลมากที่สุด จึงมีกำลังการทะลุผ่านต่ำ สามารถถูกดูดซับได้ด้วยแผ่นกระดาษหรือเพียงแค่ผิวหนังชั้นนอกของคนเราเท่านั้น อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ $1/2,000$ ของความเร็วแสง แต่ทั้งนี้อนุภาคแอลฟาจะถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วแล้วจะถ่ายทอดพลังงานเกือบทั้งหมดออกไป ทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมที่ถูกอนุภาคแอลฟาชนหลุดออกไป เกิดกระบวนการที่เรียกว่า การแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) กล่าวคือ อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ อนุภาคแอลฟาจะมีอันตรายมากหากถูกหายใจหรือกลืนกินเข้าไปในร่างกาย อนุภาคบีตาก็มีกำลังการทะลุผ่านดีกว่าอนุภาคแอลฟา สามารถถูกดูดซับได้ด้วยแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ส่วนรังสีแกมมามีกำลังการทะลุผ่านดีที่สุด สามารถผ่านทะลุไปยังวัตถุได้มากที่สุด และสามารถถูกดูดซับได้ด้วยแผ่นโลหะที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่ว (กรรติมา ศิริเสนา, 2550; สมพงษ์ ใจดี, 2551)

2.2 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีและครึ่งชีวิต

การสลายตัว (Decay) ของธาตุกัมมันตรังสี คือการที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเปลี่ยนสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ และมีการปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งโดยปกตินิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพตลอดเวลา เพื่อจะกลายเป็นนิวเคลียสที่เสถียร การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีมีลักษณะเป็นแบบเลขยกกำลัง (Exponential) และไม่สามารถระบุได้ว่าอะตอมใดจะสลายตัวในเวลาถัดไป ถ้านิวเคลียสแต่ละตัวมีค่าคงที่ของการสลายตัว (Decay constant) หรือค่าคงที่ในการแตกสลาย (Disintegration constant) เท่ากับ λ ในเวลา dt โอกาสการสลายตัวของแต่ละอะตอมจะเท่ากับ λdt (Krane, 1988)

กำหนดให้ N เป็นจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่ง (t)

N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่เดิม เมื่อเริ่มต้นเวลา $t = 0$

เมื่อ $\frac{dN}{dt}$ แทนอัตราการเปลี่ยนของนิวเคลียสจำนวน N ตัว ตามเวลา เป็นสัดส่วนกับ

จำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี ณ ขณะเวลาใดๆ หรือเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.1)$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$[\ln N]_{N_0}^N = -\lambda [t]_0^t$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

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

$$\text{ดังนั้น} \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

สมการที่ (2.2) เรียกว่าสมการการสลายตัว (Decay equation) หรือเรียกว่าสมการการสลายตัวเลขยกกำลัง (Exponential decay equation)

ถ้า $T_{1/2}$ แทนครึ่งชีวิต (Half-life) ซึ่งหมายถึงเวลาที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิดหนึ่งสลายตัวเหลือจำนวนนิวเคลียสเพียงครึ่งหนึ่งจากจำนวนที่มีอยู่เดิมในขณะเริ่มต้น กล่าวคือที่เวลา $t = 0$ ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีจำนวนนิวเคลียสอยู่ N_0 เมื่อเวลาผ่านไป $t = T_{1/2}$ ธาตุกัมมันตรังสีชนิดนี้มีจำนวนนิวเคลียสเหลืออยู่เท่ากับ N หรือเท่ากับ $N_0/2$ นั่นเอง (สมพงษ์ ใจดี, 2551)

ดังนั้นจากสมการที่ (2.2) จะได้ว่า

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$e^{\lambda T_{1/2}} = 2$$

$$\lambda T_{1/2} = \ln 2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.3)$$

สำหรับเรดอน ค่าของ $\lambda = 2.1 \times 10^{-6}$ dps

เมื่อ dps (Disintegration per second) คือจำนวนครั้งของการสลายตัวต่อวินาที (McPherson, 1993)

ดังนั้นครึ่งชีวิตของเรดอนสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3) ดังนี้

$$T_{1/2}(\text{radon}) = \frac{0.693}{2.1 \times 10^{-6}}$$

$$= 3.3 \times 10^5 \text{ วินาที}$$

ครึ่งชีวิตของเรดอน 3.3×10^5 วินาที หรือ 3.82 วัน

ความแรงของสารกัมมันตรังสีหรือกัมมันตภาพ (Activity, A)

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = \lambda N \quad (2.4)$$

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

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

เมื่อ A เป็นกัมมันตภาพที่เวลาใดๆ หน่วยทั่วไปเป็นคูรี (Curie, Ci) และในระบบเอสไอ (SI Unit) เป็นเบ็กเคอเรล (Becquerel, Bq) และ A_0 เป็นกัมมันตภาพที่เวลา $t = 0$

หน่วยของกัมมันตภาพมีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งของการสลายตัวต่อวินาทีหรือ dps

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

และ $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$

หรือเทียบได้ว่า $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

นอกจากนี้ $1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci} = 37,000 \text{ dps}$

$$1 \text{ pCi} = 10^{-12} \text{ Ci} = 0.037 \text{ dps}$$

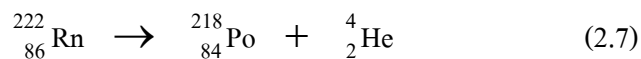
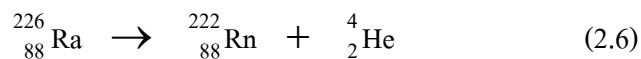
$$1 \text{ pCi} = 0.037 \text{ Bq}$$

หรือ $1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$

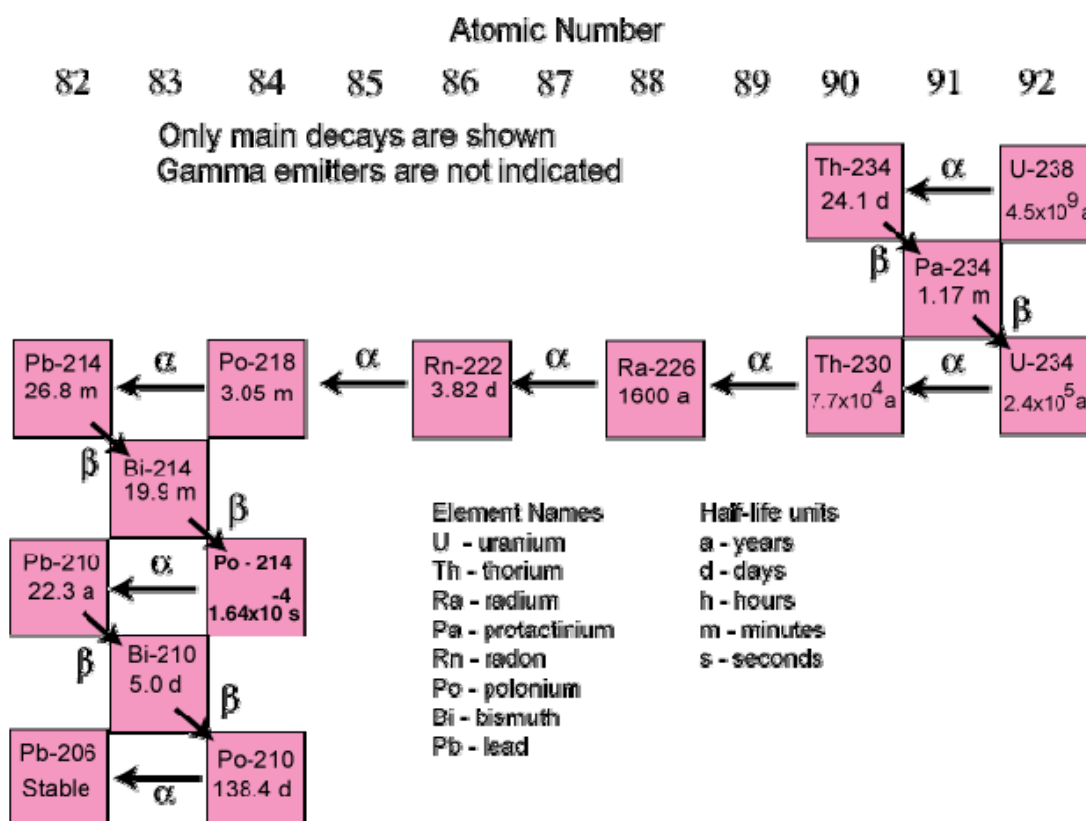
2.3 ลักษณะทั่วไปของแก๊สเรดอน

เรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่เป็นแก๊สเฉื่อย (Radioactive noble gas) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไม่มีสี (Colorless) ไม่มีกลิ่น (Odorless) และไม่มีรส (Tasteless) ที่อุณหภูมิปกติจะสลายตัวครึ่งชีวิต 3.82 วัน เรดอนมีรัศมีอะตอมเท่ากับ 1.34 อังสตรอม (Å) จัดเป็นแก๊สหนักที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศประมาณ 9 เท่า แต่เนื่องจากว่าเรดอนนั้นเป็นแก๊สอะตอมเดี่ยว จึงง่ายที่จะลอดหรือผ่านเข้าไปในวัสดุต่างๆ ไป เช่น กระจก เครื่องหนัง พลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ และวัสดุก่อสร้าง เช่น แผ่นกระดานยิปซัม คอนกรีตบล็อก ปูนขาว เป็นต้น นอกจากนี้แก๊สเรดอนสามารถละลายในน้ำและในพริกสารละลายได้ดี มีจุดหลอมเหลวที่ 202 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่ 211 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing point) แก๊สเรดอนจะส่องแสงวาวย่างฟอสฟอรัส เป็นสีเหลือง เมื่ออุณหภูมิต่ำๆ และมีสีออกส้ม-แดง ณ อุณหภูมิของอากาศเหลว (General Electric, 1977) เรดอนเกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม-238 โดยยูเรเนียมเป็นไอโซโทปรังสีที่มีอยู่ในเปลือกพื้นโลก ซึ่งมีครึ่งชีวิต 4.5×10^9 ปี และจะสลายตัวให้ไอโซโทปรังสีกว่า 10 ชนิด ซึ่งมีลักษณะต่อเนื่องกันเป็นอนุกรม โดยเรดอนเป็นผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของเรเดียม-226 โดยที่เรดอนสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาที่ประกอบด้วยผลิตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้น ได้แก่ โพลonium-218 ครึ่งชีวิต 3 นาที ตะกั่ว-214 (^{214}Pb) ครึ่งชีวิต 26.8 นาที บิสมัท-214 (^{214}Bi) ครึ่งชีวิต 19.8 นาที เป็นต้น สุดท้ายของการสลายตัวจะได้ธาตุที่เสถียรคือ ตะกั่ว-206 (^{206}Pb) ดังภาพที่ 2.1 (U.S. Geological survey, 2004)

การสลายตัวของธาตุเรเดียม-226 เป็นเรดอน-222 และเรดอน-222 มีการสลายตัวต่อไปกลายเป็นโพลonium-218 พร้อมกับปลดปล่อยอนุภาคแอลฟาที่เป็นนิวเคลียสของฮีเลียม (^4_2He) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการการสลายตัวได้ดังสมการที่ (2.6) และ (2.7) ตามลำดับ



The Uranium-238 Decay Chain



ภาพที่ 2.1 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม

ที่มา : U.S. Geological survey, 2004

2.4 อันตรายของแก๊สเรดอน

เป็นที่ทราบกันดีว่าเรดอนเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogen) การได้รับแก๊สเรดอนเป็นเวลานาน ๆ จะเพิ่มความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งปอด ส่วนใหญ่แล้วแก๊สเรดอนที่หายใจเข้าไปจะแพร่กระจายออกจากร่างกาย แต่ยังมีส่วนที่เหลือค้างอยู่โดยเฉพาะลูกหลานของแก๊สเรดอน ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน อนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยออกมามีขนาดเล็กแต่มีพลังงานสูงเหล่านี้ จะถูกดูดกลืนไว้โดยเนื้อเยื่อหุ้มปอดที่อยู่ใกล้ๆ ซึ่งอนุภาคแอลฟาเหล่านี้จะไปทำลายเซลล์เนื้อเยื่อหุ้มปอดให้เสียหายหรือตาย (Canada Mortgage and Housing Corporation and Health Canada, 1997)

เรดอนถือว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดเป็นอันดับสองรองจากบุหรี่ ประชาชนที่สูบบุหรี่หรือเคยสูบบุหรี่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดสูงกว่าคนที่ไม่สูบบุหรี่ และที่สำคัญไม่มีระดับความ

เข้มข้นแก๊สเรดอนใดที่ไม่มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด (U.S. EPA, 2012; WHO, 2009) จากการศึกษาความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดในกลุ่มคนงานเหมืองแร่ที่สูบบุหรี่ พบว่าความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นปัจจัยหลักของการเกิดมะเร็งปอดเนื่องจากแก๊สเรดอน คือการได้รับแก๊สเรดอนและการสูบบุหรี่ควบคู่กัน หรือสรุปได้ว่า ความเสี่ยงของแก๊สเรดอนต่อการเป็นมะเร็งปอดของผู้ที่ได้รับแก๊สเรดอนและสูบบุหรี่ด้วยจะสูงกว่าผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ และความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดจะไม่เกิดขึ้นหากบุคคลนั้นไม่สูบบุหรี่หรือไม่ได้รับแก๊สเรดอน จากผลการศึกษาความเสี่ยงของแก๊สเรดอนต่อการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนชาวยุโรป อเมริกาเหนือ และจีน พบว่าแก๊สเรดอนเป็นสาเหตุของการเป็นมะเร็งปอดในประชาชนทั่วไปที่อาศัยอยู่ในบ้านเรือนที่มีความเข้มข้นแก๊สเรดอน โดยประชาชนทั้งสามกลุ่มมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด ต่อความเข้มข้นแก๊สเรดอน 100 Bq m^{-3} เป็นร้อยละ 8 ร้อยละ 11 และร้อยละ 13 ตามลำดับ และได้มีการประมาณอัตราการเกิดมะเร็งปอดต่อความเข้มข้นแก๊สเรดอนในบางประเทศ เช่นในประเทศฝรั่งเศสมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแก๊สเรดอน 89 Bq m^{-3} จะมีอัตราของการเป็นมะเร็งปอด ร้อยละ 5 โดยประมาณผู้ที่เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปอดเนื่องจากได้รับแก๊สเรดอนคิดเป็น 1,234 คนต่อปี ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแก๊สเรดอนต่ำลงมาที่ระดับ 46 Bq m^{-3} แต่จะมีอัตราของการเป็นมะเร็งปอดร้อยละ 10 - 14 โดยประมาณผู้ที่เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปอดเนื่องจากได้รับแก๊สเรดอนคิดเป็น 15,400 - 21,800 คนต่อปี (WHO, 2009) และจากรายงานของ U.S. EPA (2012) พบว่าเรดอนเป็นสาเหตุของการตายด้วยโรคเกิดมะเร็งปอดประมาณ 21,000 คนต่อปี ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสาเหตุการตายด้วยโรคอื่นๆ รองลงมาคือ การเมาแล้วขับ การหกล้มภายในบ้าน การจมน้ำ ไฟไหม้บ้าน ตามลำดับ โอกาสที่จะเป็นมะเร็งปอดเนื่องจากเรดอนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคารเวลาที่อาศัยอยู่ภายในอาคารและพฤติกรรมการสูบบุหรี่ (U.S. EPA, 1993)

U.S. EPA ได้กำหนดระดับปฏิบัติของความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคารให้อยู่ที่ 148 Bq m^{-3} ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดน้อย (U.S. EPA, 1992) ต่อมาในปี ค.ศ. 2009 องค์การอนามัยโลก เสนอว่าควรปรับลดระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคารให้ลงมาอยู่ที่ระดับ 100 Bq m^{-3} เพื่อให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามหากบางประเทศไม่สามารถปรับลดได้เนื่องจากเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละประเทศ ให้เลือกใช้ระดับปฏิบัติที่ไม่ควรเกิน 300 Bq m^{-3} สำหรับประเทศไทยยังไม่มีกำหนดระดับปฏิบัติสำหรับแก๊สเรดอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอ้างอิงค่าจากหน่วยงานอื่น ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้ระดับปฏิบัติของ U.S. EPA เป็นระดับอ้างอิง

2.5 ปัจจัยที่ทำให้แก๊สเรดอนเข้าสู่อาคารเรียน

เป็นที่ทราบแล้วว่าแก๊สเรดอนมีแหล่งกำเนิดมาจาก ดิน หิน แร่ และน้ำบาดาลที่มีเรเดียมหรือยูเรเนียมปะปนอยู่ ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติแวดล้อมรอบตัวเรา พบได้ทั่วพื้นผิวโลกในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปในหินจะมียูเรเนียมปะปนอยู่ ส่วนใหญ่จะปะปนอยู่ในปริมาณน้อยๆ ระหว่าง 1 ถึง 3 ppm eU (Part per million of equivalent Uranium) ดินส่วนใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีเรเดียมปะปนอยู่ระหว่าง 12.21 ถึง 37 Bq kg⁻¹ (0.33 ถึง 1 pCi g⁻¹) ของดิน และระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนในอากาศในดินมีพิสัยระหว่าง 7,400 ถึง 74,000 Bq m⁻³ หรือ 200 ถึง 2,000 pCi L⁻¹ (Otton, Gundersen and Schumann, 1993) โดยธรรมชาติแล้วจะมียูเรเนียมปะปนอยู่น้อยมาก ทำให้ระดับความเข้มข้นยูเรเนียมต่ำกว่าระดับ 3 ppm eU (Duval, 1988) ซึ่งเป็นระดับที่ส่งผลต่อระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคารโดยตรง

ประชาชนส่วนใหญ่จะใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ภายในบ้านซึ่งถือเป็นสถานที่ ที่เสี่ยงต่อการได้รับแก๊สเรดอนเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือโรงเรียน ดังนั้น U.S. EPA ได้แนะนำให้มีการตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียน และลดระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนให้ต่ำกว่าระดับปฏิบัติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคาร ซึ่งบางโรงเรียนสามารถลดระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนได้ ในขณะที่บางโรงเรียนทำได้ยาก มีหลายปัจจัยที่ทำให้แก๊สเรดอนเข้าสู่อาคารเรียน แม้แต่โรงเรียนที่อยู่ใกล้กันสามารถมีระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนที่แตกต่างกัน (U.S. EPA, 1993) ได้แก่

- 1) ระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนในดินใต้อาคารเรียนมีค่าสูง ทำให้แก๊สเรดอนสามารถผ่านชั้นดินเข้าสู่ห้องเรียนได้
- 2) ลักษณะโครงสร้างและวัสดุก่อสร้างอาคารเรียน
- 3) ชนิด ระบบการทำงานและการดูแลรักษาเครื่องทำความร้อน การระบายอากาศและระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

หลายๆ โรงเรียนก่อสร้างอาคารเรียนให้มีช่องว่างภายในอาคาร ที่สามารถทำให้แก๊สเรดอนเข้าสู่อาคารเรียนได้ นอกจากนี้ยังมีรอยแตกในฝ้าผนัง ช่องว่างระหว่างรอยต่อของโครงสร้างของอาคาร ช่องว่างรอบ ๆ ท่อน้ำภายในอาคาร โพรงภายในฝ้าผนัง และน้ำที่นำมาใช้ ซึ่งล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้แก๊สเรดอนเข้าไปสะสมในอาคารเรียน

2.6 การตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียน

การตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียน สามารถทำได้หลายวิธี แต่งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการแบบการวัดรอยรังสีแอลฟาด้วยหัววัด CR-39 หรือที่เรียกว่า Solid-state nuclear track detector (SSNTD) เป็นแผ่นพลาสติกที่มีชื่อเรียกทางเคมี คือ Polyallyl diglycol carbonate (PADC, $C_{12}H_{18}O_7$) เหตุผลที่เลือกใช้วิธีการตรวจวัดแบบนี้เนื่องจากการตรวจวัดแบบสะสม (Passive dosimeter) โดยเป็นการเฉลี่ยค่าความเข้มข้นที่มีต้นทุนไม่สูงนัก เหมาะต่อการตรวจวัดแก๊สเรดอนในพื้นที่ใหญ่ๆ และปริมาณจำนวนตัวอย่างของการตรวจวัดมาก ระยะเวลาในการตรวจวัดแก๊สเรดอนสามารถทำได้ 2 วิธี (U.S. EPA, 1993) ได้แก่

- 1) ระยะสั้น (Short-term) เป็นการตรวจวัดในระยะเวลาน้อย โดยตรวจวัดภายในห้องเรียนเป็นเวลาตั้งแต่ 2 - 90 วัน เป็นการวัดเบื้องต้น เพื่อให้ทราบว่ามีพื้นที่ใดมีความเสี่ยงมากน้อยแค่ไหน
- 2) ระยะยาว (Long-term) เป็นการตรวจวัดในระยะยาวโดยใช้เวลามากกว่า 90 วัน ส่วนใหญ่ใช้เวลาเป็นปี ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยเป็นปี และครอบคลุมทุกฤดูกาล

ในงานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาในการตรวจวัด 60 วัน โดยเลือกเวลาที่อยู่ในช่วงเปิดเรียนในภาคเรียน เมื่อครบกำหนดเวลาของการตรวจวัด จะนำแผ่นพลาสติก CR-39 กลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นโดยการนำแผ่นพลาสติก CR-39 ที่ได้จากการตรวจวัดมาทำการกัดขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 6.25 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 100 นาที (สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล, 2543) การหาระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า ตรวจนับความหนาแน่นรอยอนุภาคแอลฟาต่อพื้นที่บนแผ่นพลาสติก CR-39 แล้วนำความหนาแน่นรอยที่นับได้ไปเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนจากกราฟมาตรฐาน ค่าความเข้มข้นแก๊สเรดอนที่ได้จะอยู่ในหน่วยของความแรงรังสีต่อปริมาตร ($Bq\ m^{-3}$)

U.S. EPA ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1988 และต่อมาได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดเรดอนในโรงเรียนและขยายพื้นที่ในการตรวจวัดเรื่อยมา จากการศึกษาพบว่าในทุกรัฐจะมีบางโรงเรียนที่มีระดับความเข้มข้นเรดอนมากกว่า $148\ Bq\ m^{-3}$ ซึ่งกำหนดให้เป็นระดับปฏิบัติ แม้ว่าค่าที่วัดได้ส่วนใหญ่ไม่ได้สูงเกินค่าปฏิบัติมากนัก แต่มี 2 - 3 โรงเรียนที่ระดับความเข้มข้นเกิน $740\ Bq\ m^{-3}$ ในขณะที่บางโรงเรียนพบว่ามีค่าสูงเกิน $3,700\ Bq\ m^{-3}$ U.S. EPA ได้ประมาณว่าร้อยละ 19 ของโรงเรียนทั้งหมดในสหรัฐอเมริกา หรืออย่างน้อยประมาณ 1 ใน 5 ที่มีระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนที่ตรวจวัดในเวลาสั้นๆ สูงกว่าระดับปฏิบัติ และโดยภาพรวมพบว่ามีจำนวนห้องเรียนกว่า 70,000 ห้อง ที่มีระดับความเข้มข้นเรดอนเกินระดับปฏิบัติ (U.S. EPA, 1993)

ต่อมาได้มีการพัฒนาชุดตรวจวัดอย่างง่าย ราคาไม่แพงและขยายพื้นที่การศึกษาไปทั่วโลก จนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น Kullab และคณะ (1997) ได้ตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนในโรงเรียนระดับอนุบาล เมือง Amman ประเทศจอร์แดน โดยมีเด็กนักเรียนจำนวน 15,000 คน มีอายุอยู่ในช่วง 4 - 6 ปี ตรวจวัดในห้องเรียนช่วงฤดูหนาว พบว่าค่าความเข้มข้นแก๊สเรดอนอยู่ในช่วง 40.7 ถึง 193.5 Bq m⁻³ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 76.8 Bq m⁻³ นอกจากนี้ยังพบว่าห้องที่มีระบบการระบายอากาศไม่ดี จะมีระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูง และอายุของอาคารเรียนก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อรับความความเข้มข้นแก๊สเรดอน

ในปี ค.ศ. 2005 Vaupotic และ Kobal ได้ตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนในโรงเรียนอนุบาลจำนวน 730 โรงเรียน โรงเรียนประถมศึกษาและโรงเรียนมัธยมศึกษา จำนวน 890 โรงเรียน ในประเทศสโลวีเนีย พบว่ามีโรงเรียนอนุบาลจำนวน 45 โรงเรียน และโรงเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาจำนวน 78 โรงเรียน มีระดับความเข้มข้นเกิน 400 Bq m⁻³ ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้มีโรงเรียนที่ได้ปรับปรุงให้มีความเข้มข้นของแก๊สเรดอนให้ลดน้อยลง ส่วนในประเทศอิตาลี Venoso และคณะ (2009) ได้ตรวจวัดแก๊สเรดอนภายในห้องเรียน ห้องปฏิบัติการและห้องทำงานของบุคลากร จำนวน 30 โรงเรียน รอบๆ เมือง Naples พบว่ามีค่าเฉลี่ยเลขคณิตอยู่ที่ระดับ 144 Bq m⁻³ และค่าเฉลี่ยเรขาคณิตอยู่ที่ระดับ 86 Bq m⁻³ ในปริมาณนี้พบว่าในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และห้องทำงานของบุคลากรมีค่าสูงกว่าห้องเรียน และห้องที่อยู่ชั้นใต้ดินและชั้นที่อยู่ติดพื้นดินมีความเข้มข้นแก๊สเรดอนสูงกว่าห้องที่อยู่ชั้นสูงขึ้นไป

Clouvas และคณะ (2011) ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนจำนวน 512 โรงเรียนจาก 8 ภูมิภาค ของประเทศกรีซ พบว่า 86% ของความเข้มข้นแก๊สเรดอนที่ตรวจวัดอยู่ในช่วง 60 - 250 Bq m⁻³ มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตอยู่ที่ระดับ 149 Bq m⁻³ และค่าเฉลี่ยเรขาคณิตอยู่ที่ระดับ 126 Bq m⁻³ และพบว่ามีค่าที่สูงที่สุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ 958 Bq m⁻³ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าระดับปฏิบัติของ EPA มาก เช่นเดียวกับในประเทศอิตาลี Trevisi และคณะ (2012) รายงานว่าในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของอิตาลี ตรวจพบแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนจำนวน 438 โรงเรียน มีค่าความเข้มข้นแก๊สเรดอนเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ระดับ 209 ± 9 Bq m⁻³ โดยมีค่าความเข้มข้นอยู่ที่ช่วง 21 - 1,608 Bq m⁻³ และประมาณ 7% มีความเข้มข้นเกิน 500 Bq m⁻³ ซึ่งเป็นระดับปฏิบัติของแก๊สเรดอนภายในสถานประกอบการของชาวอิตาลี

ในประเทศไนจีเรีย Obed และคณะ (2011) ได้ตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา จำนวน 35 โรงเรียน ในพื้นที่ของภูมิภาค Oke-Ogun พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแก๊สเรดอนอยู่ที่ 45 ± 27 Bq m⁻³ และพบว่าห้องเรียนที่อยู่ชั้นล่างมีความเข้มข้นแก๊สเรดอนสูงกว่าชั้นที่อยู่สูงขึ้นไป และในปี ค.ศ. 2012 Kapdan และ Altinsoy ได้ศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นแก๊ส

เรดอนภายในอาคารระหว่างบ้านเรือนและโรงเรียน ในภูมิภาค Adapazari จำนวน 4 อำเภอ พบว่าระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในบ้านเรือนสูงกว่าในโรงเรียน ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าภายในโรงเรียนประตูและหน้าต่างเปิดทิ้งไว้ตลอดเวลา

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายกลุ่มที่สนใจตรวจวัดความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนด้วยเหตุผลต่างๆ กันคือ เพื่อต้องการประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดเนื่องจากแก๊สเรดอนและหาแนวทางการปรับลดระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของนักเรียนและบุคลากรในโรงเรียน

2.7 ข้อมูลทั่วไปของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

โรงเรียนมัธยมศึกษาในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประกอบด้วย โรงเรียนในสังกัดหน่วยงานของรัฐ และโรงเรียนเอกชน งานวิจัยนี้สนใจศึกษาโรงเรียนมัธยมศึกษาที่สังกัดหน่วยงานของรัฐ โดยจากพื้นที่ 19 อำเภอ มีจำนวน 47 โรงเรียน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายชื่อโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาที่สังกัดหน่วยงานของรัฐจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ลำดับที่	ชื่อโรงเรียน	ชื่ออำเภอ
1	มัธยมพัชรกิตติยาภา 3 สุราษฎร์ธานี	เมืองสุราษฎร์ธานี
2	สุราษฎร์ธานี	
3	สุราษฎร์ธานี 2	
4	สุราษฎร์พิทยา	
5	สุราษฎร์พิทยา 2	
6	เมืองสุราษฎร์ธานี	
7	ศึกษาสงเคราะห์สุราษฎร์ธานี	
8	กาญจนดิษฐ์	กาญจนดิษฐ์
9	กาญจนดิษฐ์วิทยาคม	
10	ท่าเพื่องวิทยา	
11	ท่าอุแทพิทยา	
12	กาญจนภิเษกวิทยาลัย สุราษฎร์ธานี	ไชยา
13	เขาพนมแบกศึกษา	
14	ไชยาวิทยา	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโรงเรียน	ชื่ออำเภอ
15	เกาะพะงันศึกษา	เกาะพะงัน
16	เกาะสมุย	เกาะสมุย
17	ทีปราษฎร์พิทยา	
18	คลองฉนวนวิทยา	เวียงสระ
19	เวียงสระ	
20	ควนสุบรรณวิทยา	บ้านนาสาร
21	ท่าชีวิทยาคม	
22	บ้านนาสาร	
23	พรุฬพิทยาคม	
24	คีรีรัฐวิทยาคม	คีรีรัฐนิคม
25	มัธยมบ้านท่าเนียบ	
26	เคียนซาพิทยาคม	เคียนซา
27	บ้านเสด็จพิทยาคม	
28	พ่วงพรมครวิทยา	
29	ชัยบุรีพิทยา	ชัยบุรี
30	ปากแพรกวิทยาคม	คอนสัก
31	องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุราษฎร์ธานี 1	
32	ตะกุกใต้ศึกษา	วิภาวดี
33	มัธยมวิภาวดี	
34	ท่าฉางวิทยาการ	ท่าฉาง
35	เสวียดวิทยา รัชมังกลาภิเษก	
36	ท่าชนะ	ท่าชนะ
37	ท่าสะท้อนวิทยา	พุนพิน
38	น้ำรอบวิทยา	
39	บางเดือนสถิตพิทยาคม	
40	พุนพินพิทยาคม	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโรงเรียน	ชื่ออำเภอ
41	บางสวรรค์วิทยาคม	พระแสง
42	พระแสงวิทยา	
43	บ้านตาขุนวิทยา	บ้านตาขุน
44	รัชชประภาวิทยาคม	
45	บ้านนาวิทยาคม	บ้านนาเดิม
46	พนมศึกษา	พนม
47	บ้านเขานาใน (ราษฎร์ศรัทธา)	

ที่มา : วิกีพีเดีย, สารานุกรมเสรี, 2556

2.8 ระดับความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ตามที่กล่าวข้างต้นแล้วว่าระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคารมีค่าสูงหรือต่ำ ส่วนหนึ่งมีผลมาจากความเข้มข้นของแหล่งกำเนิด นั่นคือธาตุยูเรเนียม โดยเฉพาะที่ผิวดิน จากข้อมูลดิจิทัลของค่ากัมมันตภาพรังสีของธาตุยูเรเนียมจังหวัดสุราษฎร์ธานีของกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ. 2553 นำมาปรับปรุงใหม่เป็นรายอำเภอ โดยความอนุเคราะห์จากสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ดังภาพที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งจะเห็นได้ว่าในพื้นที่หลายอำเภอที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 3 ppm eU ได้แก่ อำเภอพนม อำเภอกีร์รัฐนิคม อำเภอบ้านตาขุน อำเภอไชยา อำเภอท่าชนะ อำเภอบ้านนาสาร อำเภอดอนสัก อำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอเกาะสมุย และอำเภอเกาะพะงัน ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงโดยตรงต่อระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคาร (Duval, 1988) โดยเฉพาะภายในโรงเรียน ซึ่งหากพบว่าระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในโรงเรียนมีค่าสูง นักเรียนและบุคลากรในโรงเรียนจะได้รับทราบข้อมูลและเฝ้าระวังพร้อมทั้งหาแนวทางในการลดระดับความเข้มข้นแก๊สเรดอนภายในอาคาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากแก๊สเรดอนภายในโรงเรียน

