หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในศตวรรษที่ 16 [1] กรรมกรเหมืองแร่ เงิน, ทองแดงที่เมือง Schneeberg ในประเทศเยอรมัน และที่เมือง Joachimsthal ในประเทศเชคโกสโลวาเกีย ซึ่งเป็นเหมืองใต้ดิน ตายด้วยอาการคล้ายๆกัน ซึ่งคล้ายกับอาการของโรคมะเร็งที่ปอด ในขณะนั้นนักวิทยาศาสตร์อธิบายว่าอาจเกิดจากพิษของ Arsenic (สารหนู) และ Silica จนถึงศตวรรษที่ 19 จึงเริ่มมีรายงานว่า สาเหตุของโรคมะเร็งที่ปอดนั้น เกิดจากแร่ pitchblende ซึ่งเป็นแร่ที่มีมากในเหมืองทั้งสองแห่งนั่นเอง

ในประมาณปี ค.ศ. 1920 แก๊สเรดอนถูกบ่งว่าเป็นตัวการทำให้เกิดโรคมะเร็งที่ปอด และได้เป็นที่ยอมรับกันในเวลาต่อมา จากหลักฐานการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาของ Archer และผู้ร่วมงาน [2] แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดกับความเข้มข้นของแก๊สเรดอน กรรมกรเหมืองแร่ที่ปฏิบัติงานในบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูงผิดปกติ จะเสียชีวิตเพราะโรคมะเร็งที่ปอดมากกว่าผู้อื่น Archer รายงานว่า กรรมกรเหมืองแร่ที่ปฏิบัติงานในบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูงกว่า 100 พิโคคูรีต่อลิตร จะเกิดเป็นโรคมะเร็งที่ปอด ในประมาณปี ค.ศ. 1940 มีผู้รายงานว่า สาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดแท้จริงเกิดจากผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน คือ เกิดจากอนุภาคพอโลเนียม-218 (RaA) และพอโลเนียม-214 [3,4] (RaC') ส่วนที่เกิดจากแก๊สทอรอนนั้นยังไม่มีหลักฐานปรากฏชัดแน่นอน

การค้นคว้าหาหลักฐานที่แน่ชัดว่า โรคมะเร็งที่ปอดเกิดจากผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนนั้น ได้จากการทดลองกับสัตว์ในห้องทดลอง และการศึกษาวิจัยจากเหมืองที่เมือง Schneeberg และที่เมือง Joachimsthal เมื่อประมาณปี 1920 มีรายงานว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของกรรมกรเหมืองแร่ตายโดยมะเร็งที่ปอด และเมื่อไม่นานมานี้ก็มีรายงานว่ากรรมกรเหมืองแร่ยูเรเนียมในอเมริกาประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ ตายด้วยโรคมะเร็ง

ที่ปอด หลังจากทำงานในเหมืองยูเรเนียมติดต่อกันมาเป็นเวลา 18 ปี นอกจากเหมืองยูเรเนียมแล้ว ยังมีรายงานในประเทศคานาดาว่า กรรมกรเหมืองแร่ ฟลูออร์สปาร์ป่วยเป็นโรคมะเร็งที่ปอดตายในอัตราสูงเช่นเดียวกัน และจากการสำรวจ ในบริเวณเหมืองพบว่า มีระดับความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนในระดับเดียวกันกับที่พบในเหมืองยูเรเนียม และสรุปว่า มะเร็งที่ปอดมีสาเหตุจากผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน

จนถึง ปี ค.ศ. 1959 จึงได้มีการกำหนดมาตรการเพื่อความปลอดภัยของกรรมกรเหมืองแร่ใต้ดิน โดยคณะกรรมการด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ ICRP[5] (The International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดค่ามาตรฐานความปลอดภัยของผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับแก๊สเรดอน และแก๊สทอรอน ไว้ดังนี้

$$(MPC)_{Rn} = 3\times 10^{-6}\ (1 + 1000f)^{-1} \quad \mu ci/cm^3$$

เมื่อ $(MPC)_{Rn}$ = ระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูงสุด

f = อัตราส่วนของ Unattached RaA กับ atoms

ICRP กำหนดให้ $f = 0.1$

$$\therefore (MPC)_{Rn} = 3\times 10^{-8} \quad \mu ci/cm^3$$

$$= 30 \quad Pci/l$$

และ $(MPC)_{Th} = 6\times 10^{-7}\ (1 + 4000\ f)^{-1} \quad \mu ci/cm^3$

เป็น $(MPC)_{Th}$ = ค่าความเข้มข้นของแก๊สทอรอนสูงสุด

f = อัตราส่วนของ Uncombined ThB กับ atoms

ICRP กำหนดให้ $f = \frac{1}{2000}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$(MPC)_{Th}$ = 3×10^{-7} $\mu ci/cm^3$

= 300 Pci/l

ในขณะเดียวกัน The U.S.Public Health Service ได้เสนอมาตรการเพื่อความปลอดภัยในหน่วย "Working Level[6]" (WL) ซึ่ง 1 WL หมายถึง พลังงานที่มีอำนาจการทำลายสูงของอนุภาคแอลฟา 1.3×10^5 MeV ที่แผ่มาจากผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน หรือแก๊สทอรอนในอากาศปริมาตร 1 ลิตร

ค่า WL นี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสมดุลย์ของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอน แต่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน และแก๊สทอรอนเท่านั้น ค่าพลังงานต่อหน่วยกัมมันตภาพรังสีของผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอน แสดงในตาราง 1.1.1

ตาราง 1.1.1 คุณสมบัติและพลังงานศักย์ของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนและทอรอน (UNSCEAR,1977)

Index i	Radionuclide	half-life time	atoms per pCi	Potential α-energy (MeV) per atom	per pCi	Conversion factor f: MeV · l⁻¹ / pCi · l⁻¹	WL* / pCi · l⁻¹
1	^{218}Po = RaA	3.05 min	9.77	13.68	134	134	0.00103
2	^{214}Pb = RaB	26.8 min	85.3	7.68	659	659	0.00507
3	^{214}Bi = RaC	19.7 min	63.1	7.68	485	485	0.00373
4	^{214}Po = RaC'	$1.6\cdot10^{-4}$ sec	10^{-5}	7.68	$7.68\cdot10^{-5}$	$7.68\cdot10^{-5}$	6.10^{-10}
1	^{216}Po = ThA	0.158 sec	0.00844	14.57	0.123	0.123	$9.5\cdot10^{-7}$
2	^{212}Pb = ThB	10.6 hr	2040	7.79	15900	15900	0.1223
3	^{212}Bi = ThC	60.5 min	194	7.79	1510	1510	0.0116
4	^{212}Po = ThC'	3.10^{-7} sec	$1.6\cdot10^{-8}$	8.78	$1.4\cdot10^{-7}$	$1.4\cdot10^{-7}$	1.10^{-12}

* 1 WL = $1.3\cdot10^5$ MeV(α)/l. of air.

ดังนั้น ค่า WL เขียนเป็นสมการที่มีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอนได้ดังนี้[6]

$$(WL)_{Rn} = 0.00103\ (RaA) + 0.00507\ (RaB) + 0.00373\ (RaC) \qquad (1.1)$$

เมื่อ RaA, RaB และ RaC คือกัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม 218-(RaA), ตะกั่ว-214 (RaB) และบิสมัท-214 (RaC) ในหน่วยพิโคคูรีต่อลิตร ในทำนองเดียวกัน

$$(WL)_{Th} = 0.1223 \quad (ThB) + 0.0116 \ (ThC) \qquad (1.2)$$

เมื่อ ThB และ ThC คือกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-212 (ThB) และบิสมัท-212 (ThC) ในหน่วยพิโคคูรีต่อลิตร

การกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยในหน่วยของ Working level Months (WLM) คือหน่วยของการได้รับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สเรดอน 1 WL ในเวลา 1 เดือน (ประมาณ 170 ชั่วโมง) ดังนั้นค่า WLM จะคำนวณได้จากสมการดังนี้[6]

$$WLM = \frac{(WL) \ (\text{จำนวนชั่วโมงที่อาศัยอยู่ ในบริเวณนั้น})}{170 \text{ ชั่วโมง}} \qquad (1.3)$$

มาตรการความปลอดภัยสำหรับกรรมกรเหมืองแร่ในปัจจุบัน ที่กำหนดโดยคณะกรรมาธิการด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ ICRP[1] และทบวงพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ IAEA[7] ได้กำหนดไว้เท่ากับ 5 WLM ต่อปีหรือ 30 พิโคคูรีต่อลิตร สำหรับแก๊สเรดอน และ 15 WLM ต่อปีหรือ 300 พิโคคูรีต่อลิตร สำหรับแก๊สทอรอน แต่สำหรับสำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดไว้เท่ากับ 4 WLM ต่อปี สำหรับแก๊สเรดอน

GEORGE และ BRESLIN[8] ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน ที่เมืองนิวยอร์ค และเมืองนิวเจอร์ซีย์ และรายงานไว้ว่ามีค่าเท่ากับ 0.004 WL และได้ประเมินปริมาณรังสีที่ Basal cell ใน Bronchial Epithelium ในปอดได้รับคือ 150 มิลลิเรดต่อปี

เนื่องจาก ยูเรเนียม และทอเรียมเป็นธาตุกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติที่พบได้ทั่วไปบนพื้นผิวโลกในปริมาณที่ต่างกัน ดังนั้นปริมาณแก๊สเรดอน แก๊สทอรอน และผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของมันย่อมแตกต่างกันไปด้วย และเป็นที่น่าสังเกตว่า สถิติการตาย ด้วยโรคมะเร็งที่ปอดในประเทศต่างๆแตกต่างกัน ความแตกต่างนี้อาจจะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นที่ต่างกันด้วย

ดังนั้นการศึกษาระดับความเข้มข้นของ พอโลเนียม-218 (RaA), ตะกั่ว-214 (RaB) และบิสมัท-214 (RaC) รวมทั้งตะกั่ว-212 (ThB) และบิสมัท-212 (ThC) ในอากาศแวดล้อมทั่วไปจะทำให้ได้ข้อมูลขั้นมูลฐานที่สามารถนำไปใช้ในการประเมินปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ อันเนื่องจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอน

1.2 <u>แหล่งกำเนิดของเรดอนและทอรอน</u>

ในดินและหินที่ประกอบเป็นเปลือกโลกของเรานั้นมีธาตุกัมมันตรังสี อยู่ 4 อนุกรม ด้วยกันคือ

- Thorium series (4n)
- Neptunium series (4n+1)
- Uranium series (4n + 2) และ
- Actinium series (4n + 3)

อนุกรมเนปจูเนียมมีครึ่งชีวิตน้อยกว่าอายุของโลกถึง 10^3 ปี ดังนั้นจึงสูญหายไปจากโลกนานแล้ว ส่วนอนุกรมแอคทีเนียมมีเปอร์เซ็นต์ที่ปนอยู่บนพื้นผิวโลกน้อยมาก เพราะฉะนั้นธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญจริงๆจึงมีอยู่ 2 อนุกรม เท่านั้น อันได้แก่ อนุกรมทอเรียม และอนุกรมยูเรเนียม

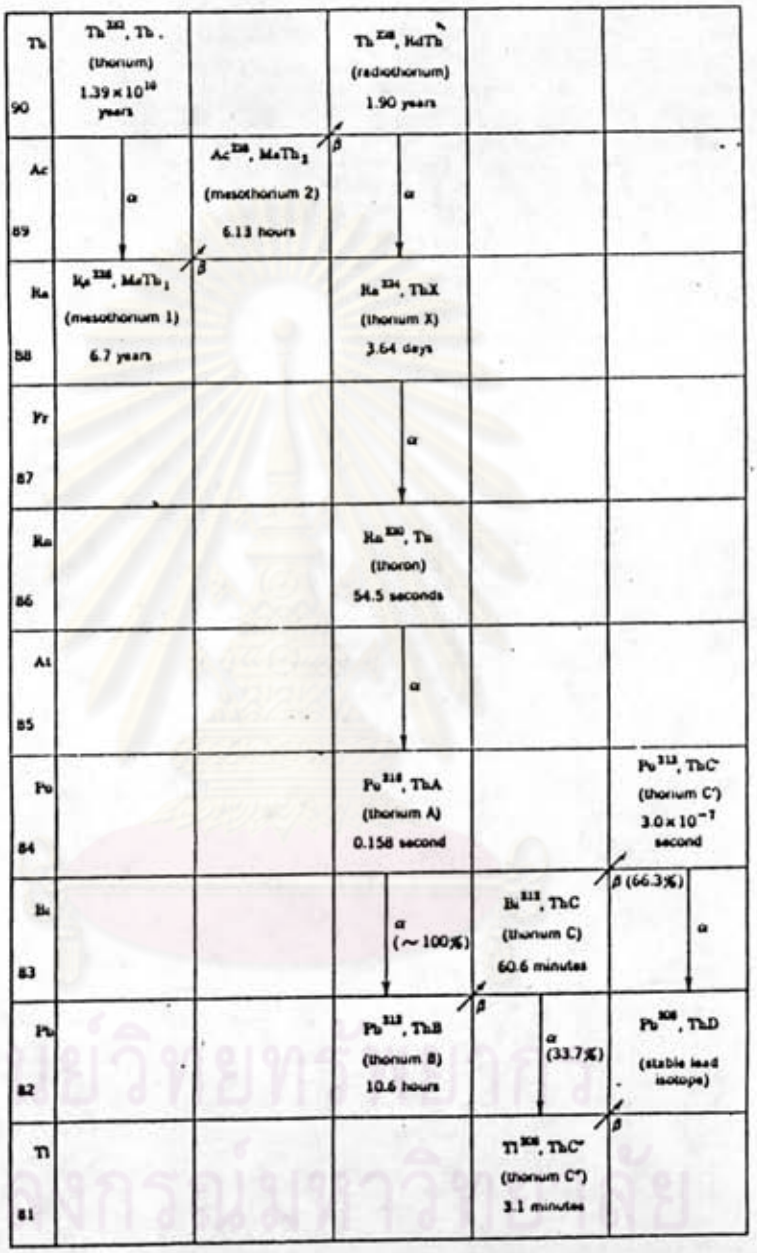
1.2.1 อนุกรมทอเรียม $(4n)$ ธาตุทอเรียมเป็นธาตุกัมมันตรังสี มีปนอยู่ในแร่ Thorite มีอยู่ในผิวโลกเฉลี่ยประมาณ 12 ส่วน ในล้านส่วนมักเกิดรวมกับ ยูเรเนียม และ Rare-earth ทอเรียมในธรรมชาติมี ไอโซโทปเดียว คือ ทอเรียม-232 มีครึ่งชีวิต 1.39×10^{10} ปี

ในระยะแรก ทอเรียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมทำไส้ตะเกียงเจ้าพายุ อุตสาหกรรมโลหะผสม และอุตสาหกรรมทำไส้หลอดไฟฟ้า เป็นต้น ต่อมาภายหลังจึงทราบว่า ทอเรียมมีความสำคัญทางด้านเชื้อเพลิงปรมาณู เมื่อพบว่า ทอเรียม-232 จับนิวตรอน พลังงานต่ำ จะเปลี่ยนเป็นยูเรเนียม-233 และยูเรเนียม-233 เมื่อจับนิวตรอนที่มีพลังงานเกือบเป็นศูนย์สามารถเกิดปฏิกริยาแบบแตกตัว ให้พลังงานออกมาเช่นเดียวกับยูเรเนียม-235 และพลูโทเนียม-239 ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ มุ่งที่จะใช้ทอเรียมเป็นเชื้อเพลิงปรมาณู สำหรับเตาปฏิกรณ์ แบบ Breeder Reactor

อนุกรมทอเรียมเริ่มตั้งต้นจากทอเรียม-232 สลายตัวให้อนุกรมภาคแอลฟา เกิดเป็นเรเดียม-228 ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสี สลายตัวต่อเนื่องกันไป ดังรูปที่ (9) 1.2.1.1 จนถึงเกิดแก๊สทอรอน (Rn- 220) มีครึ่งชีวิต 54.5 วินาที สิ้นมากแพร่กระจายไปได้ไม่ไกลก็สลายตัวหมดไปโดยเร็ว ปริมาณแก๊สทอรอนบนผิวโลกจึงมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับแก๊สเรดอนที่มีครึ่งชีวิตถึง 3.82 วัน และผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของทอรอนก็ยังไม่มีรายงานว่าก่อให้เกิดอันตราย ดังนั้น ทอรอน จึงนับว่าไม่ค่อยก่อเกิดอันตรายเหมือน เรดอน (Rn -222) ซึ่งเป็นไอโซโทปเดียวกัน การเกิดและการสลายตัวของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นของทอรอน ดังแสดงไว้ในรูปที่ (10) 1.2.1.2 อนุกรมทอเรียมไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-208 ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร

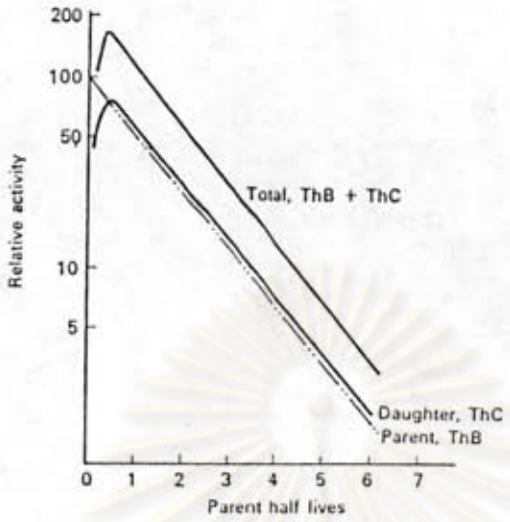
1.2.2 อนุกรมยูเรเนียม ค้นพบครั้งแรกในแร่ พิทช์เบลนด์ (pitch blende) ยูเรเนียมเป็นธาตุกัมมันตรังสี มีอยู่บนผิวโลกเฉลี่ยประมาณ 4 ส่วน ในล้านส่วน ยูเรเนียม-238 มีครึ่งชีวิต 4.51×10^{9} ปี

ยูเรเนียมในระยะแรก นักวิทยาศาสตร์สนใจเพียงแต่จะแยกเอา เรเดียม มาเพื่อใช้รักษาโรคมะเร็งเท่านั้น ส่วนยูเรเนียมถือว่าไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ นอกจากนำไปใช้ให้สีแก่กระเบื้องเคลือบ และเครื่องแก้วในระยะหลังถึงทราบว่า ยูเรเนียม มีความสำคัญมากในด้านเป็นเชื้อเพลิงปรมาณู

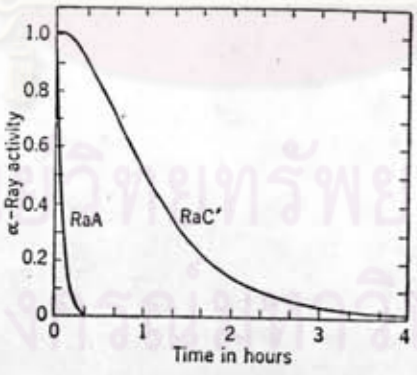


รูปที่ 1.2.1.1 อนุกรมทอเรียม

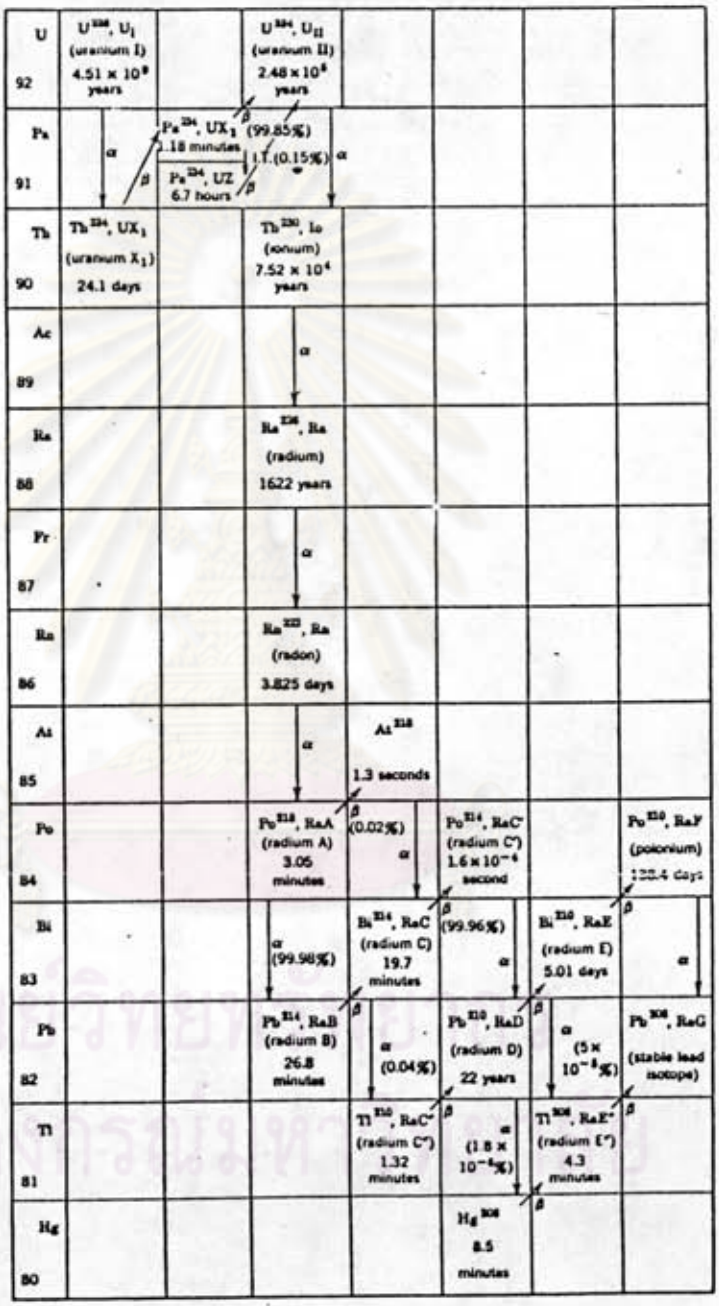
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.2.1.2 แสดงการเกิดและการสลายตัวของ 60.5 m-ThC จาก 10.6 hr-ThB[10] เมื่ออยู่ใน Transient equilibrium



รูปที่ 1.2.2.1 แสดงการสลายถัวกัมมันตภาพรังสีแอลฟาของ RaA และ RaC' [11] ภายหลังจากที่อยู่ใน Transient equilibrium กับ Rn ที่ t=0



รูปที่ 1.2.2.2 อนุกรมยูเรเนียม

ยูเรเนียม-238 เมื่อจับนิวตรอนพลังงานต่ำ จะเปลี่ยนไปเป็น พลูโทเนียม-239 และพลูโทเนียม-239 เป็นเชื้อเพลิงปรมาณูชนิดที่มนุษย์ผลิตขึ้น (man-made nuclear fuel) เมื่อจับ นิวตรอนที่มีพลังงานเกือบเป็นศูนย์สามารถเกิดปฏิกริยาแตกตัว ให้พลังงานออกมาเช่นเดียวกับยูเรเนียม-235

อนุกรมยูเรเนียมตั้งต้นจาก ยูเรเนียม-238 สลายตัวให้อนุภาคแอลฟา เกิดเป็นทอเรียม-234 ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสี สลายตัวต่อเนื่องกันไป ดังรูปที่ (11) 1.2.2.2 จนถึงเกิดแก๊สเรดอน (^{Rn} -222) มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน ซึ่งยาวพอที่จะแพร่กระจายจากใต้พื้นดินสู่บรรยากาศ ปริมาณแก๊สเรดอน บนพื้นผิวโลกจึงมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับแก๊สทอรอน ซึ่งมีครึ่งชีวิตเพียง 54.5 วินาที เรดอนสลายตัวให้ผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เป็นอันตราย การเกิดและการสลายตัวของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ (9) 1.2.2.1 ดังนั้นเรดอน จึงนับว่าก่อเกิดอันตรายแก่มนุษย์มากกว่าทอรอน (^{Rn} -220) ซึ่งเป็นไอโซโทปเดียวกัน อนุกรมยูเรเนียม ไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-206 ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร

1.3 <u>วัตถุประสงค์</u>

- เพื่อศึกษาหาสมการมาตรฐาน สำหรับการวัดระดับความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอน

- เพื่อศึกษาการวัดระดับความเข้มข้นผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอนที่มีอยู่ในอากาศทั้งภายใน-ภายนอก อาคาร และเพื่อให้มีไว้ซึ่งข้อมูลระดับมูลฐาน ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากได้มีการสำรวจหาแหล่งแร่ยูเรเนียมและทอเรียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นระดับความเข้มข้นของผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอนที่มีตามธรรมชาติ จึงเป็นข้อมูลที่จำเป็น

- เพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ประชาชนได้รับ อันเนื่องจากผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอน และเพื่อคาดคะเนโอกาสการเกิดโรคมะเร็งที่ปอด จากการได้รับผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน

- เพื่อคาดคะเน ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน และทอรอน กับอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศ

ในประเทศไทยไม่เคย ดำเนินการศึกษากระบวนการตามที่ได้เสนอเป็นหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้มาก่อน จึงสมควรที่จะได้ริเริ่ม เพื่อให้เป็นแนวทางในการเก็บข้อมูลที่สำคัญนี้ ไว้ใช้ในอนาคตต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การเก็บข้อมูล ได้ทำการเก็บที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยวัดความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน และแก๊สทอรอน ภายในและภายนอกอาคาร ที่มีในอากาศตามธรรมชาติ โดยการดูดผ่านกระดาษกรอง และนำกระดาษกรองนั้นมาเข้าเครื่องวัดสารนับกัมมันตภาพรังสีแอลฟา ที่เวลาต่างๆกัน และคำนวณหาระดับความเข้มข้นของ พอโลเนียม-218 (RaA) ,ตะกั่ว-214 (RaB) , บิสมัท-214 (RaC) , ตะกั่ว-212 (ThB) และบิสมัท-212 (ThC) ที่มีอยู่ในอากาศตามธรรมชาติ และนำค่าความเข้มข้นเหล่านี้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ประชากรได้รับ รวมทั้งหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศอีกด้วย

1.5 ความสำคัญและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบวิธีการหาสมการมาตรฐานในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน และแก๊สทอรอน

1.5.2 ทราบค่าระดับมูลฐานของความเข้มข้นของผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอน และแก๊สทอรอน ที่มีในอากาศตามธรรมชาติ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

1.5.3 ทราบปริมาณรังสีที่ประชากรได้รับ อันเนื่องมาจาก ไอโซโทปรังสีดังกล่าว ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นและมีอยู่แล้วในธรรมชาติ อันจะเป็นแนวทางการประเมินจำนวนตายด้วยโรคมะเร็งที่ปอด

1.5.4 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของแก๊สเรดอนและแก๊สทอรอน กับ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศ

1.5.5 อาจใช้วิธีการวัดเรดอนนี้ ให้เป็นวิธีสำรวจหาแหล่งแร่ยูเรเนียมทางอ้อม โดยอาศัยแก๊สเรดอนเป็นตัวชี้บอก เพราะแก๊สเรดอนเป็นแกสกัมมันตรังสีชนิดเดียวที่เกิดจากการสลายตัวของยูเรเนียม-238 ในการสำรวจจะทำการตรวจวัด แก๊สเรดอนบริเวณผิวดินตามจุดต่างๆ เป็นระยะๆ แล้วนำผลการตรวจวัดไปทำแผนที่แสดงความเข้มข้นของแก๊สเรดอน (Radon Concentration map) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการสำรวจยูเรเนียมที่ได้ผลเช่นกัน

วิธีการตรวจวัดแก๊สเรดอน สามารถใช้สำรวจทอเรียมได้ ทั้งนี้เพราะทอเรียมที่พบในธรรมชาติโดยทั่วไป ก็พบเกิดรวมอยู่กับยูเรเนียม เช่น แร่โมนาไซต์ และซามาร์สไกต์ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย