

การพัฒนาเทคนิคเพื่อหาปริมาณเรดอน-222 ในอาคารโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

นาย วิฑิต ผึ้งกัน



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

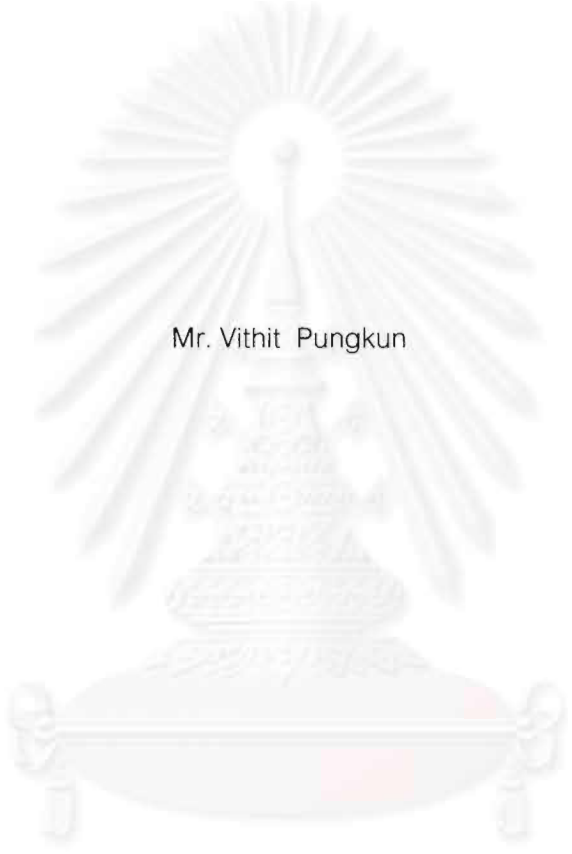
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-972-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR DETERMINING INDOOR RADON-222
USING ACTIVATED CHARCOAL ADSORPTION



Mr. Vithit Pungkun

สถาบันวิทยบริการ
สงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology
Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 1999
ISBN 974-334-972-3

วิถีต ผึ้งกัน : การพัฒนาเทคนิคเพื่อหาปริมาณเรดอน-222 ในอาคารโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.
(DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR DETERMINING INDOOR RADON-222 USING
ACTIVATED CHARCOAL ADSORPTION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.
ศิริวัฒนา ปัญชรเทวกุล , 58 หน้า. ISBN 974-334-972-3.

ได้พัฒนาเทคนิคสำหรับการหาความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศ เทคนิคที่พัฒนาขึ้นมี 3
กระบวนการ คือ กระบวนการแรกเป็นการเก็บตัวอย่างอากาศและทำให้เรดอน-222 มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดย
การดูดอากาศผ่านท่อทองแดงที่มีความยาว 3.75 เมตร ซึ่งแช่อยู่ในไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ก๊าซเรดอนเปลี่ยน
สถานะเป็นของเหลวพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และอาร์กอน แต่ไนโตรเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก
ของอากาศยังคงมีสถานะเป็นก๊าซจึงไหลผ่านออกไป กระบวนการที่สองเป็นการเปลี่ยนสถานะเรดอนกลับเป็น
ก๊าซ แล้วการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 100 กรัมบรรจุในภาชนะพลาสติก ได้ประสิทธิ
ภาพในการดูดซับก๊าซเรดอน-222 ประมาณร้อยละ 85 กระบวนการที่สามเป็นการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 609
กิโลอิเล็กตรอนโวลต์จากบิสมัท-214 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 โดยใช้หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์
(ทัลเลียม) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ได้พบว่าขีดจำกัดในการวัดปริมาณเรดอน-222 ที่ถูกดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์ 100
กรัมมีค่าเท่ากับ 0.04 นาโนคูรี จากการทดลองวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอากาศในห้องจำนวน 6 ห้องของภาควิชา
นิวเคลียร์เทคโนโลยีได้ค่าอยู่ในระหว่าง 0.059 ± 0.046 ถึง 1.400 ± 0.218 พิโคคูรีต่อลิตร และจากการคำนวณ
ได้ขีดจำกัดในการวัดเรดอน-222 ในอากาศ ประมาณ 0.1 พิโคคูรีต่อลิตร สำหรับการดูดอากาศปริมาตร 500 ลิตร
และเวลานับรังสี 5000 วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อผู้คิด วิถีต ผึ้งกัน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นพ. วิถีต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศิริวัฒนา ปัญชรเทวกุล

3971694921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: INDOOR RADON / ACTIVATED CHARCOAL / Rn-222 / Bi-214 GAMMAS

VITHIT PUNGKUN : DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR DETERMINING INDOOR RADON-222 USING ACTIVATED CHARCOAL ADSORPTION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL, 58 pp. ISBN 974-334-972-3.

A technique for determining ^{222}Rn concentration in indoor air was developed. The technique was divided into three processes. Firstly, the preconcentration sampling process where 500 litres of air was pumped through a 3.75 m long copper coil submerged in liquid nitrogen. ^{222}Rn gas was liquefied with CO_2 , O_2 and Ar while nitrogen, the main air component, still in its gaseous phase was removed. Secondly, the gas absorption process where liquid Rn was converted into gas and absorbed by activated charcoal. The absorption efficiency of ^{222}Rn by 100 g of activated charcoal packed in a plastic container was found to be about 85 %. Thirdly, the gamma-ray measurement process where 609 keV gamma-rays emitted from ^{214}Bi , a ^{222}Rn daughter, was measured 5" x 5" NaI(Tl) detector. The detection limit was found to be about 0.04 nCi of ^{222}Rn in 100g of activated charcoal used. The developed technique was finally used to determine ^{222}Rn concentration in air of 6 rooms at the Department of Nuclear Technology. The ^{222}Rn concentrations were found to be in the range of 0.059 ± 0.046 to 1.400 ± 0.218 pCi/l. The detection limit for 500 litres of sampled air and 5000 second counting time was calculated to be about 0.1 pCi/l of ^{222}Rn in air.

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อผู้ผลิต ภัทรา ฝักกัน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นาย วัชรินทร์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ธีรวัฒน์ ธีรวัฒน์
๑๖/๑๒/๒๕๔๒



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ
รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ศิริวิวัฒนา
บัญญัติเทวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ เอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และการ
ตรวจแก้วิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ Nuclear Engineering Material Laboratory ที่เอื้อเพื่อเครื่องสแกนเนอร์
เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพริ้นเตอร์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ น้องๆ และเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ
ในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสำหรับงานวิจัยนี้
และสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ให้ทุนการศึกษา

ในท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ผู้ซึ่งให้กำลังใจและ
สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ

บทที่

1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3	ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4	ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2	ทฤษฎี.....	6
2.1	การสลายตัวของกัมมันตรังสี.....	6
2.2	กัมมันตภาพรังสีของนิวเคลียสลูกที่เกิดขึ้น.....	10
2.3	สมมูลกัมมันตรังสี.....	12
2.3.1	ภาวะสมมูลแบบเชคูลาร์.....	12
2.3.2	ภาวะสมมูลแบบทรานเซียนต์.....	13
2.4	การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อเนื่องเป็นลูกโซ่.....	15
2.5	คุณสมบัติของเรดอน.....	18
2.6	วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน.....	21
2.6.1	วิธีแทรก-เอตซ์.....	21
2.6.2	วิธีการใช้กระดาษกรอง.....	22
2.6.3	วิธีใช้ภาชนะเคลือบสารเรืองรังสี.....	22
2.6.4	วิธีการใช้ถ่านกัมมันต์.....	23

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3	วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศภายในอาคารที่พัฒนาขึ้น.....25
3.1	การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่จะนำมาวัดรังสี.....25
3.2	การดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์.....27
3.3	การวัดรังสีแกมมาของบิสมีท-214.....28
4	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย.....29
4.1	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....29
4.1.1	ระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่จะนำมาวัดรังสี.....29
4.1.2	ระบบดูดซับเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์.....31
4.1.3	ระบบวัดรังสีแกมมา.....32
4.1.3.1	ระบบวัดรังสีแกมมาสำหรับการเปรียบเทียบสารละลายมาตรฐาน เรเดียม.....32
4.1.3.2	ระบบวัดรังสีแกมมาสำหรับการหาปริมาณความเข้มข้นของ ก๊าซเรดอน.....32
4.1.4	ระบบวัดรังสีอัลฟาสำหรับการเปรียบเทียบสารละลายมาตรฐานเรเดียม.....32
4.1.5	สารละลายเรเดียม-226 และต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน.....32
4.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....34
4.2.1	การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียม.....34
4.2.1.1	การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสี Semiconductor แบบ HP(Ge).....34
4.2.1.2	การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสีอัลฟา แบบเซอร์เฟสแบริเออร์.....35
4.2.2	การเตรียมถ่านกัมมันต์มาตรฐาน35
4.2.3	การหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนของถ่านกัมมันต์.....36
4.2.4	การทดลองตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น.....39
5	ผลการวิจัย.....40
5.1	การหาความแรงของสารละลายเรเดียม.....40
5.1.1	การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสี Semiconductor แบบ HP(Ge).....40

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5.1.2 การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หิววัดรังสีอัลฟาแบบ เซอร์เฟสแบรีเออร์.....	41
5.2 การทำถ่านกัมมันต์มาตรฐาน.....	42
5.3 การหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนของถ่านกัมมันต์.....	46
5.4 การทดลองตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น.....	46
6 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	51
6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	51
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
รายการอ้างอิง.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	58



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดเทียบกับความเข้มข้นของเรดอนในอากาศ.....	2
2.1	อนุกรมเอกติเนียม.....	19
2.2	อนุกรมทอเรียม.....	20
2.3	อนุกรมยูเรเนียม.....	20
3.1	แสดงจุดเดือดของก๊าซต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอากาศ.....	26
5.1	ความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV ของบิสมัท-214 จากสารละลายเรเดียม 0.2003 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์.....	40
5.2	ความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV ของบิสมัท-214 จากสารละลายเรเดียม 0.2003 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์.....	41
5.3	การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสีอัลฟาแบบเซอร์เฟสแบริเออร์.....	41
5.4	ผลการนับรังสีของถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่มีเรเดียม 0.18 ± 0.0377 nCi ที่ระยะเวลาต่างๆกัน.....	43
5.5	ผลการนับรังสีของถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่มีเรเดียม 0.12 ± 0.0251 nCi ที่ระยะเวลาต่างๆกัน.....	44
5.6	ผลการนับรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV ของบิสมัท-214 จากถ่านกัมมันต์ 2 ชุดในการหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอน.....	46
5.7	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในห้องต่างๆ.....	47
5.8	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	48
5.9	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 เมื่อเปิดและปิดประตูหน้าต่าง.....	49
6.1	ระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเฉลี่ยภายในอาคารในประเทศต่างๆ.....	53
6.2	ระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในอาคารที่มีความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงในประเทศต่างๆ	54

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แหล่งการได้รับรังสีของมนุษย์.....	2
2.1 แสดงกัมมันตภาพรังสีเมื่อเวลาใดๆ	9
2.2 การเกิดสมดุลงแบบเชคูลาร์ของเรเดียม-226 กับเรดอน-222.....	13
2.3 การเกิดสมดุลงแบบทรานเซียนด์ของยูเรเนียม-234 และทอเรียม-230.....	14
2.4 การไม่เกิดสมดุลงของสารกัมมันตรังสี.....	15
2.5 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีของเรดอน-222เป็นผลผลิตครึ่งชีวิตสั้น พอโลเนียม-218 และพอโลเนียม-214.....	17
2.6 Electronic configuration ของเรดอน.....	19
2.7 แสดงรอยอนุภาคแอลฟาของก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นบนฟิล์ม.....	21
2.8 Zn(Ag) Scintillation Flask.....	22
2.9 แสดงภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับก๊าซเรดอน.....	23
3.1 องค์ประกอบของอากาศปกติที่ระดับน้ำทะเล.....	25
3.2 แสดงการจัดระบบการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน.....	27
3.3 แสดงระบบการดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์.....	28
4.1 ท่อทองแดงซึ่งต่อกับ Flask ที่นำมาใช้ในระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน...30	
4.2 ระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน.....	30
4.3 ถ่านกัมมันต์บรรจุในภาชนะพลาสติกสำหรับดูดซับก๊าซเรดอนจากอากาศ.....	31
4.4 ระบบการวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอน.....	33
4.5 ลักษณะการต่อภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ 2 ชุดสำหรับการหาประสิทธิภาพ การดูดซับก๊าซเรดอน.....	38
5.1 ความเข้มข้นรังสีแกมมาพลังงานพลังงาน 609 keV จากบิสมีท-214 ที่วัดได้จาก ถ่านกัมมันต์ที่มีเรเดียม (a) 0.12 nCi (b) 0.18 nCi.....	45
5.2 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ห้องต่างๆ.....	48
5.3 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	49
5.4 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 เมื่อเปิดและปิดประตู/หน้าต่าง.....	50

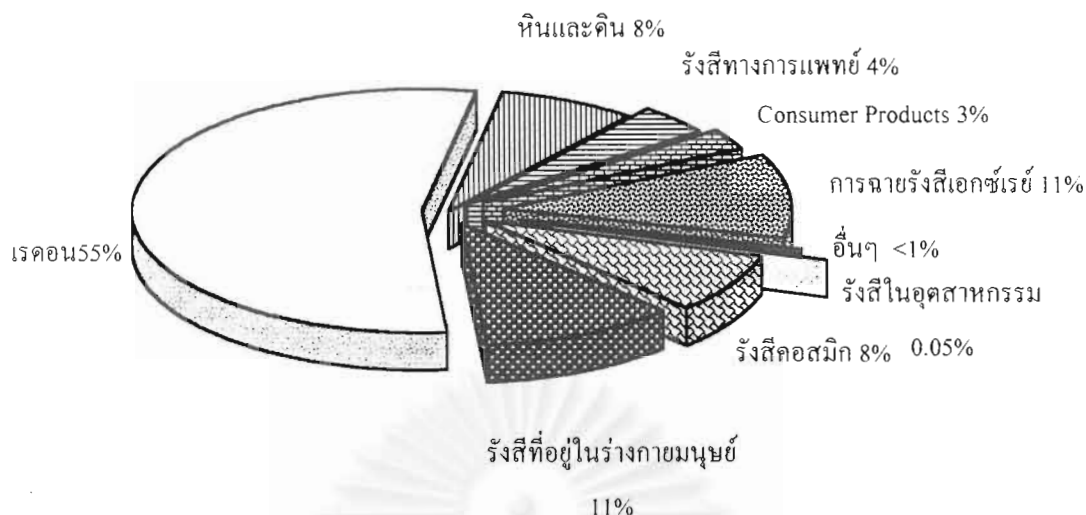


1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ธาตุต่างๆที่พบในธรรมชาติที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 83 ล้วนเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีทั้งสิ้น ธาตุเหล่านี้อยู่ในอนุกรมการสลายตัวตามธรรมชาติ แบ่งออกได้เป็น 3 อนุกรม คือ อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมนี้เริ่มจากยูเรเนียม-238 (U-238) อนุกรมแอกทิเนียม ซึ่งเริ่มจากยูเรเนียม-235 (U-235) และอนุกรมทอเรียม ซึ่งเริ่มจาก ทอเรียม-232 (Th-232) อนุกรมต่างๆ เหล่านี้จะสลายตัวให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีต่อเนื่องกันหลายชนิดจนไปสิ้นสุดที่ไอโซโทปคงตัวของแต่ละอนุกรม คือ ตะกั่ว-206 (Pb-206) ตะกั่ว-207 (Pb-207) และตะกั่ว-208 (Pb-208) ตามลำดับ นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากอนุกรมทั้งสามส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของแข็งยกเว้นเรดอน (radon) ที่อยู่ในรูปของก๊าซ นิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้มีค่าครึ่งชีวิตยาวบ้างสั้นบ้าง สลายตัวให้รังสีอัลฟา เบตาและ/หรือแกมมา แตกต่างกันไป หากจะคำนึงถึงด้านความสำคัญของสุขภาพของมนุษย์แล้ว นิวไคลด์ที่อยู่ในรูปของก๊าซคือเรดอนจะมีความสำคัญมากกว่านิวไคลด์ที่อยู่ในรูปของของแข็งเนื่องจากก๊าซสามารถเข้าไปในร่างกายโดยผ่านกระบวนการหายใจของมนุษย์ นอกจากนี้เรดอนยังสลายตัวให้อนุภาคอัลฟา จึงยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์มากขึ้นหากได้รับก๊าซเรดอนเข้าไปภายในร่างกาย

เมื่อพิจารณาถึงแหล่งของการได้รับรังสีของมนุษย์จะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่มนุษย์ได้รับรังสีจากธรรมชาติถึง 82 % (จากเรดอน 55% , รังสีที่อยู่ในร่างกายมนุษย์ 11 % , จากรังสีคอสมิก 8% , จากหินและดิน 8%) ที่เหลือมาจากรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น 18% ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารังสีที่มนุษย์ได้รับนั้นมาจากก๊าซเรดอน-222 เป็นส่วนใหญ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 แหล่งการได้รับรังสีของมนุษย์⁽¹⁾

ตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอาคาร (ในหน่วยพิโคคูรีต่อลิตร) เพิ่มขึ้น อัตราความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดก็เพิ่มขึ้นด้วย ที่ความเข้มข้นของเรดอน 4 พิโคคูรีต่อลิตร จะมีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดเป็น 3 เท่าของคนทั่วไปที่ไม่สูบบุหรี่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเรดอนเป็น 20 พิโคคูรีต่อลิตร อัตราเสี่ยงจะเพิ่มเป็น 15 เท่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเรดอนเป็น 200 พิโคคูรีต่อลิตร อัตราเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นและมากกว่า 75 เท่า

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดเทียบกับความเข้มข้นของเรดอนในอากาศ⁽²⁾

pCi/L	อัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน
2000	>75 เท่าเทียบกับปกติ*
200	75 เท่าเทียบกับปกติ
40	30 เท่าเทียบกับปกติ
20	15 เท่าเทียบกับปกติ
4	3 เท่าเทียบกับปกติ

*เทียบกับปกติ คือ ค่าเฉลี่ยของคนปกติที่ไม่สูบบุหรี่ที่เป็นโรคมะเร็งที่ปอด

ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศมีปริมาณแตกต่างกันออกไปแล้วแต่สถานที่ แต่ที่น่าสนใจคืออากาศภายในอาคาร เนื่องจากจะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนสูงกว่าอากาศภายนอกอาคาร ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในอาคารมีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณของเรเดียม-226 จากชั้นใต้ดินที่จะสลายตัวให้ก๊าซเรดอนซึมผ่านเข้ามาสู่อาคาร
2. เรดอนที่เกิดมาจากวัสดุที่ใช้สร้างอาคาร
3. เรดอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำและแหล่งให้พลังงาน เช่น ก๊าซ ถ่านหิน เป็นต้น
4. อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศและอัตราการระบายอากาศ

การวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็นในหลายประเทศ เพื่อคาดคะเนความเสี่ยงอันตรายจากก๊าซเรดอนได้มีการพัฒนาวิธีการวัดก๊าซเรดอนภายในอาคารมากมายหลายวิธี การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน-222 ในอากาศภายในอาคาร โดยเปลี่ยนสถานะของก๊าซเรดอน-222 ในอากาศให้เป็นของเหลว โดยใช้ไนโตรเจนเหลวหล่อเย็นและดูดซับก๊าซเรดอน-222 ด้วยถ่านกัมมันต์เมื่อเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นก๊าซ แล้ววัดรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จากบิสมัท-214 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 ภายหลังการเกิดสภาวะสมดุลของกัมมันตรังสีกับเรดอน-222

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคการหาปริมาณก๊าซเรดอน-222 ในอาคารด้วยวิธีการดูดซับก๊าซร่วมกับ การวัดรังสีแกมมา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นของเรดอน-222 ในตัวอย่างอากาศโดยวิธีเก็บผ่านไนโตรเจนเหลวและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์
2. วัดรังสีแกมมาจากตัวอย่างถ่านกัมมันต์ด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl)
3. ทดลองตรวจวัดปริมาณเรดอน-222 ในอาคารด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารและหนังสืออ้างอิงที่เกี่ยวข้อง
2. จัดระบบวัดรังสีแกมมาและทดสอบประสิทธิภาพ
3. ออกแบบและจัดระบบการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน
4. หาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์
5. วัดรังสีแกมมาของ บิสมัท-214 จากถ่านกัมมันต์
6. ทดลองตรวจวัดก๊าซเรดอน-222 ในอาคารด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น
7. สรุปผลการทำวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการหาปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. I.Kobal และคณะ⁽³⁾ แห่งมหาวิทยาลัย Ljubljana , Yugoslavia ได้ทำการวิจัยเรื่อง An Alpha-Scintillation Method for Measuring Low Radon Concentrations in Air โดยทำการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่มีอยู่ต่ำในอากาศโดยดูดอากาศ 20-100 ลิตร ผ่านกรดซัลฟูริกเข้มข้นเพื่อดูดความชื้น หลังจากนั้นผ่านอากาศเข้าไปในท่อที่ขดอยู่ในไนโตรเจนเหลว เรดอนจะอยู่ภายในท่อที่ขดอยู่ จากนั้นจะนำก๊าซเรดอนเข้าสู่ระบบวัดรังสีแบบอัลฟาซินทิลเลชันในระบบนี้สามารถวัดความเข้มข้นที่มากกว่า 0.01 pCi/L ได้

2. ในปี ค.ศ. 1994 W.M.Arafa และคณะ⁽⁴⁾ แห่งมหาวิทยาลัย Qatar , Qatar ได้ทำการวิจัยเรื่อง Some Improvements of Charcoal Measurement Techniques Used for Indoor Radon Measurements in Qatar โดยพัฒนาเทคนิคการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนโดยใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับก๊าซเรดอน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการวัดรังสีโดยใช้หัววัดรังสี 2 หัววัดแทนการวัดรังสีด้วยหัววัดรังสีหัววัดเดียว ซึ่งต้องให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับก๊าซเรดอนอย่างน้อย 4 วันถึงจะนำมาวัดรังสี

3. ในปี ค.ศ.1993 Ching-Jiang Chen และคณะ⁽⁵⁾ แห่ง Taiwan Radiation Monitoring Center, Taiwan ได้ทำการวิจัยเรื่อง Surveillance of Indoor and Outdoor Radon Concentrations in Taiwan โดยได้หาค่าปริมาณการได้รับรังสีของประชาชนชาวไต้หวันจาก

เรดอนและรังสีแกมมา ซึ่งจะวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนโดยใช้ เซลลูโลสไนเตรทฟิล์ม (CN) และวัดรังสีแกมมาโดยใช้ Thermoluminescent Dosimeter (TLD) ,CaSO₄ : Tm โดยสุ่มส่งฟิล์ม CN ไปยังบ้านจำนวน 250 หลังทิ้งไว้ 2 เดือน ส่วน TLD ส่งไปยังบ้านต่างๆจำนวน 42 หลัง ทิ้งไว้ 3 เดือน ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเฉลี่ยในอาคารเท่ากับ 10 Bq/m³ ส่วนนอกอาคารเท่ากับ 4 Bq/m³ การได้รับรังสีแกมมาเท่ากับ 0.12 μGyh⁻¹ ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณการได้รับรังสีของประชาชนชาวใต้วันเฉลี่ย 1 ปี เท่ากับ 0.5 mSv 0.035 mSv และ 0.59 mSv สำหรับเรดอนภายในอาคาร ภายนอกอาคาร และการได้รับรังสีแกมมาตามลำดับ

4. ในปี พ.ศ.2541 ฤทธิ มีสัจย์⁽⁶⁾ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิเวศศาสตร์ เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาความเข้มข้นของเรดอน-222 ในน้ำโดยใช้เครื่องวัดลิควิดซินทิลเลชันชนิดวิเคราะห์รูปร่างพัลส์ ซึ่งหาความเข้มข้นของเรดอน-222 ระดับต่ำในน้ำ ทำโดยใช้เครื่องวัดลิควิดซินทิลเลชันระดับต่ำมากของ Wallac Quantulus 1220 ชนิดวิเคราะห์รูปร่างพัลส์ ด้วยการวัดรังสีอัลฟาจากเรดอน-222 ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 การวัดที่ให้ประสิทธิภาพสูงจะต้องคำนึงถึงการลดสิ่งรบกวนขณะวัดรังสี เช่น การรบกวนของรังสีเบตาเพื่อแยกนับเฉพาะรังสีอัลฟา นอกจากนี้การลดการรบกวนจากรังสีอัลฟาของเรดิโอนิวไคลด์อื่นในน้ำยังสามารถใช้การสกัดเรดอน-222 ด้วยโทลูอีน การสกัดที่ได้ผลดีนั้นจะต้องใช้โทลูอีนจำนวน 20 มิลลิลิตร จากตัวอย่างน้ำจำนวน 500 มิลลิลิตร แล้วใช้สารละลายโทลูอีนที่ได้จำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมรวมกับคอกเทลจำนวน 10 มิลลิลิตร ภายในขวดแก้วบรรจุตัวอย่าง ผลการวัดรังสีในระดับการรบกวนต่ำนี้สามารถนำไปใช้ในการวัดหาความเข้มข้นของเรดอน-222 จากตัวอย่างน้ำในสิ่งแวดล้อมได้เช่น น้ำบาดาล น้ำผิวดิน น้ำประปา น้ำแร่ น้ำฝน และน้ำพุร้อน โดยมีค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัดเรดอน-222 เท่ากับ 4.49×10^{-3} Bq/liter ขณะที่ใช้เวลาในการวัดตัวอย่าง 240 นาที

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Radioactive Decay) ^(7,8,9)

สารกัมมันตรังสี (Radioactive Material) มีสมบัติประการหนึ่ง คือ มีการสลายตัวตลอดเวลา อัตราการสลายตัวนี้ไม่ขึ้นกับอิทธิพลต่างๆ เช่น สถานะทางเคมี อุณหภูมิ ความดัน และอายุของนิวเคลียส อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีใดๆ เป็นปริมาณโดยตรงกับจำนวนอะตอมของกัมมันตรังสีในขณะนั้น

ถ้า N คือจำนวนอะตอมของกัมมันตรังสี และ $-\frac{dN}{dt}$ คืออัตราการสลายตัวที่เวลา t ใดๆ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$-\frac{dN}{dt} \propto N(t) \quad (2.1)$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N(t) \quad (2.2)$$

เมื่อ λ คือค่าคงที่การสลายตัว (Decay Constant)

ทำการอินทิเกรต (Integral) สมการ (2.2) จะได้

$$\int -\frac{dN}{N} = \lambda \int dt$$

$$-\ln N(t) = \lambda t + C$$

ให้ N_0 คือจำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีที่เวลา $t = 0$

N คือจำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีที่เวลา $t = t$

$$\therefore \text{เมื่อ } t = 0, \quad -\ln N_0 = C$$

$$\text{ดังนั้นที่ } t = t, \quad -\ln N = \lambda t - \ln N_0$$

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

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

ถ้าเวลาผ่านไป $T_{1/2}$ จำนวนอะตอมจะเหลืออยู่เพียงครึ่งหนึ่งของอะตอมเริ่มแรก คือ เหลือเป็น $N_0/2$ แล้ว $T_{1/2}$ จะเรียกว่า เวลาครึ่งชีวิต (Half - life) ซึ่งคำนวณได้โดยการแทนค่า $t = T_{1/2}$ และ $N = N_0/2$ ลงในสมการ (2.3) จะได้

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

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

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

$$= 0.693$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.4)$$

ค่าอายุเฉลี่ย (Mean life , τ) ของอะตอมของสารกัมมันตรังสี หมายถึง ค่าที่ได้จากการรวมของอายุทุกๆอะตอมของนิวไคลด์ก่อนการสลายตัวหารด้วยจำนวนอะตอมทั้งหมด ดังนั้น

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \lambda N(t) dt}{N_0} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.5)$$

อัตราการสลายตัวมักเรียกว่า “กัมมันตภาพรังสี” หรือ “ความแรงรังสี” ซึ่งนิยมเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า “Activity” ใช้ตัวย่อว่า A จะเขียนค่ากัมมันตรังสีเป็นรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (2.6)$$

ดังนั้นจากสมการ (2.2) และ (2.6) จะได้ว่า

$$A = \lambda N \quad (2.7)$$

และจากสมการ (2.3) เมื่อนำ λ คูณทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\begin{aligned} \lambda N(t) &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} \\ A &= A_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (2.8)$$

หน่วยของกัมมันตภาพรังสี นิยมใช้เป็นหน่วย “คูรี (Curie)” ย่อเป็น Ci

ความเข้มรังสี 1 Ci หมายถึงสารกัมมันตรังสีมีการสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที ซึ่งเท่ากับความเข้มรังสีของเรเดียม-226 1 กรัม

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ disintegration per second (dps)}$$

$$1 \text{ Ci} = 10^{-3} \text{ kCi} \quad (\text{Kilocurie})$$

$$= 10^{-6} \text{ MCi} \quad (\text{Megacurie})$$

$$= 10^3 \text{ mCi} \quad (\text{Millicurie})$$

$$= 10^6 \text{ } \mu\text{Ci} \quad (\text{Microcurie})$$

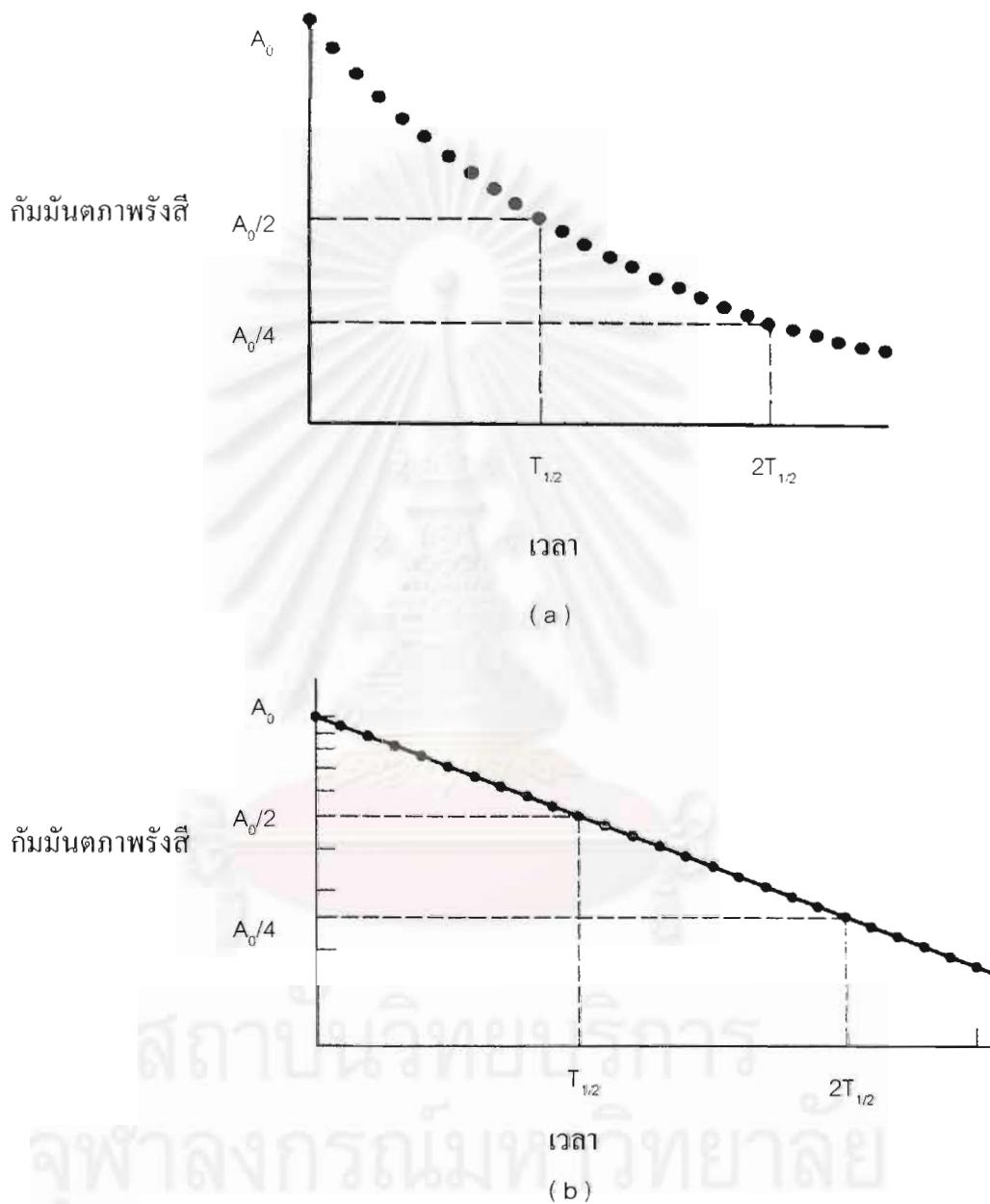
$$= 10^{12} \text{ pCi} \quad (\text{Picocurie}) \text{ etc.}$$

ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้หน่วย Becquerel (Bq) แทน dps. โดยที่

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

และใน SI Unit นิยมเขียนหน่วย dps เป็น s^{-1} อย่างไรก็ตามหน่วย Ci ยังเป็นที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันเนื่องจากความเคยชิน

ในบางครั้งค่า Activity หรือ ความแรงรังสี จะบอกเป็นความแรงต่อหน่วยน้ำหนัก หรือ หน่วยปริมาตร เช่น Ci/g , $\mu\text{Ci/ml}$ เป็นต้น ซึ่งเราเรียกว่า “ความแรงรังสีจำเพาะ(Specific Activity)” จากสมการที่ (2.8) และกราฟในรูปที่ (2.1) กัมมันตภาพรังสีจะลดลงแบบ exponential



รูปที่ 2.1 แสดงกัมมันตภาพรังสีเมื่อเวลา T ใดๆ (a) Linear plot (b) Semilog plot ⁽⁷⁾

2.2 กัมมันตภาพรังสีของนิวเคลียสลูกที่เกิดขึ้น (Growth of Daughter Activities) ^(7.8,9)

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจะก่อให้เกิดสารกัมมันตรังสีอีกชนิดหนึ่งต่อเนื่องกันเป็นลำดับ โดยมีนิวเคลียสเริ่มต้น(ชนิดที่ 1)เป็นนิวไคลด์เริ่มต้น รุ่นที่สืบต่อมา(ชนิดที่ 2) เป็นนิวไคลด์ลูก และรุ่นหลาน(ชนิดที่ 3)

จากการสมมุติฐานจะเริ่มต้นด้วยอะตอม N_0 ของ นิวเคลียสเริ่มต้น ที่ $t = 0$ และไม่มีอะตอมสลายตัว

$$\begin{aligned} N_A(t=0) &= N_0 \\ N_B(t=0) &= N_C(t=0) = \dots = 0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

ค่าคงที่ของการสลายตัวถูกแทนด้วย λ_A , λ_B จากการคำนวณ สมมุติให้ นิวเคลียสรุ่นหลาน เป็นอะตอมสุดท้ายของการสลายตัวและไม่สลายตัวต่อ



จำนวนอะตอมของอะตอมเริ่มต้นลดลงตามเวลา

$$dN_A(t) = -\lambda_A N_A(t) dt \quad (2.10)$$

จำนวนอะตอมของอะตอมรุ่นลูกเพิ่มขึ้นตามผลของการสลายตัวของอะตอมเริ่มต้นและลดลงตามผลของการสลายตัวของตัวมันเอง

$$dN_B(t) = \lambda_A N_A(t) dt - \lambda_B N_B(t) dt \quad (2.11)$$

จำนวนอะตอมของอะตอมเริ่มต้นหาได้จากการอินทิเกรตสมการ (2.10)

$$N_A(t) = N_A^0 e^{-\lambda_A t} \quad (2.12)$$

จากสมการ (2.11) จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$dN_B(t) + \lambda_B N_B(t) dt = \lambda_A N_A^0 e^{-\lambda_A t} dt \quad (2.13)$$

สมการ (2.13) คูณด้วย $e^{\lambda_B t}$ จะได้

$$dN_B(t)e^{\lambda_B t} + \lambda_B N_B(t)e^{\lambda_B t} dt = \lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} dt \quad (2.14)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} d(N_B e^{\lambda_B t}) &= \lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} dt \\ &= \frac{\lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}}{\lambda_B - \lambda_A} d(\lambda_B - \lambda_A)t \end{aligned} \quad (2.15)$$

อินทิเกรตสมการ (2.15) ได้

$$N_B e^{\lambda_B t} = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} + C \quad (2.16)$$

ถ้า $t=0$, $N_B(t) = N_B^0$ ดังนั้น

$$C = N_B^0 - \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A}$$

แทนค่า C ใน (2.16) จะได้

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) + N_B^0 e^{-\lambda_B t} \quad (2.17)$$

สมการที่ (2.14) และ (2.17) ใช้ในการคำนวณจำนวนอะตอมของ A และ B ที่เวลา t ใดๆ ตามลำดับ สำหรับการหาจำนวนอะตอมของ C ที่เวลา t ใดๆ $N_C(t)$ จะหาได้จาก

$$N_C(t) = N_A^0 - N_A(t) - N_B(t) \quad (2.18)$$

2.3 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium) ^(7,8)

ในกรณีที่ธาตุกัมมันตรังสีมีการสลายตัวต่อเนื่องกัน ถ้านิวเคลียสแม่ (Parent nucleus) มีครึ่งชีวิตยาวกว่านิวเคลียสลูก (daughter nucleus) มีโอกาสที่จะเกิดสมดุลกัมมันตรังสีได้ 2 กรณี คือ

2.3.1 ภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์ (Secular Equilibrium)

2.3.2 ภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient Equilibrium)

การเกิดภาวะสมดุลทั้งสองแบบนี้อธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

2.3.1 ภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์

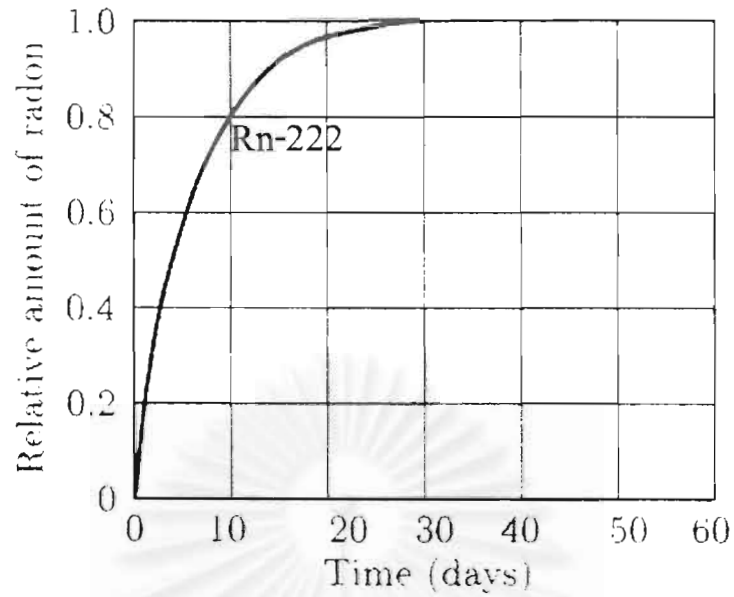
เกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสแม่มีค่าครึ่งชีวิตยาวกว่านิวเคลียสลูกมาก คือประมาณ 10^4 เท่าหรือมากกว่า จากสมการที่ (2.17) ถ้าเมื่อเวลา $t = 0$, $N_B(t) = 0$ กรณีนี้ $T_{1/2}(A) \gg T_{1/2}(B)$ หรือ $\lambda_A \ll \lambda_B$ ดังนั้น $\lambda_B - \lambda_A \approx \lambda_B$ และ $e^{-\lambda_B t}$ มีค่าน้อยมาก จะได้

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A^0 e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A(t)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \lambda_A N_A(t) = \lambda_B N_B(t) \quad (2.19)$$

ที่จุดสมดุลของสมดุลแบบเซคูลาร์นี้ กัมมันตภาพรังสี (Activity) ของนิวเคลียสแม่กับนิวเคลียสลูกมีค่าเท่ากัน ตัวอย่างของการเกิดและการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีเมื่อเกิดภาวะสมดุลแบบถาวร ได้แก่การเกิดสมดุลของเรเดียม-226 (Ra-226) กับ เรดอน-222 (Rn-222) โดยเรเดียม-226 มีค่าครึ่งชีวิต 1602 ปี ส่วนเรดอน-222 มีค่าครึ่งชีวิต 3.82 วัน ซึ่งจำนวนนิวไคลด์ของเรดอน-222 จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงจุดสมดุลแบบเซคูลาร์เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 28 วัน หรือ 267 ชั่วโมง ดังสมการ และรูปที่ 2.2





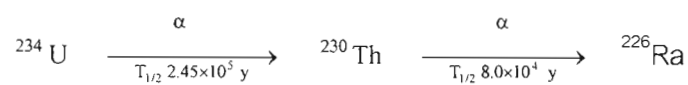
รูปที่ 2.2 การเกิดสมดุลแบบเซคูลาร์ของเรเดียม-226 กับเรดอน-222⁽⁸⁾

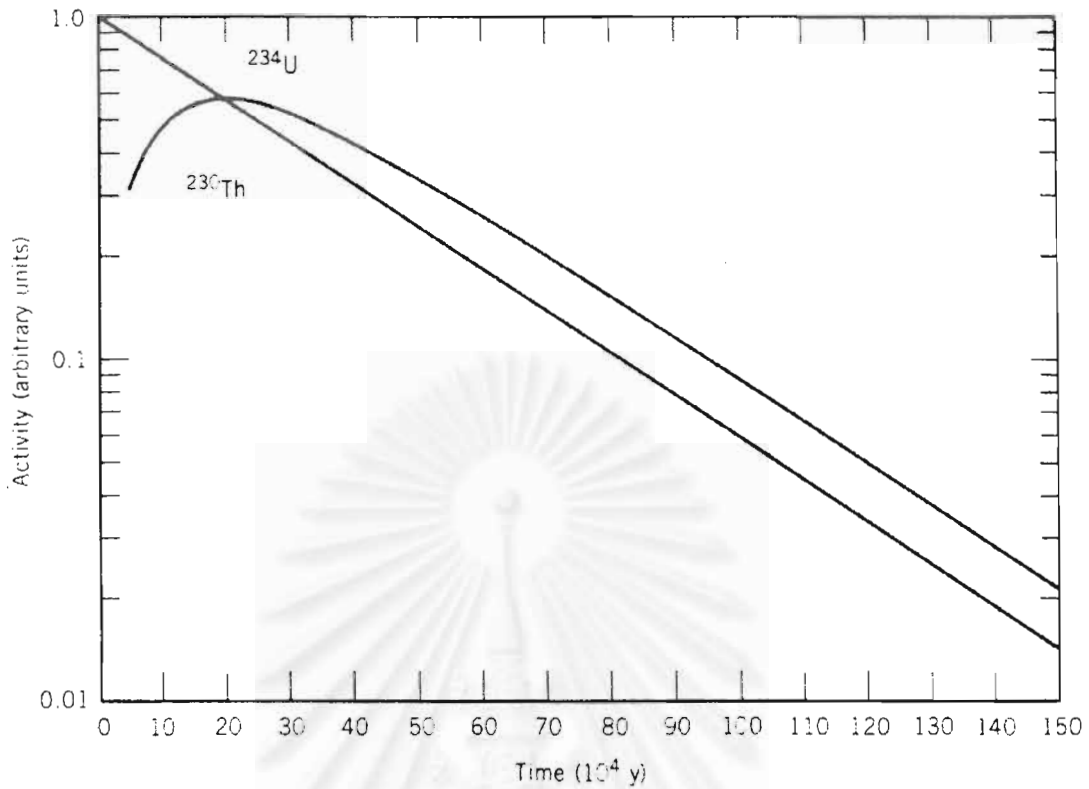
2.3.2 สมดุลแบบทรานเซียนต์

เกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสแม่มีค่าครึ่งชีวิตมากกว่านิวเคลียสลูกไม่มากนัก $T_{1/2}(A) > T_{1/2}(B)$ ประมาณ 10 เท่า นั่นคือ $\lambda_A < \lambda_B$ เมื่อ t มีค่ามากๆ เทอม $e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t} \approx e^{-\lambda_A t}$ จากสมการ (2.17) เมื่อ $t = 0 \therefore N_B(t) = 0$ จะได้

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A^0 e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(t) \quad (2.20)$$

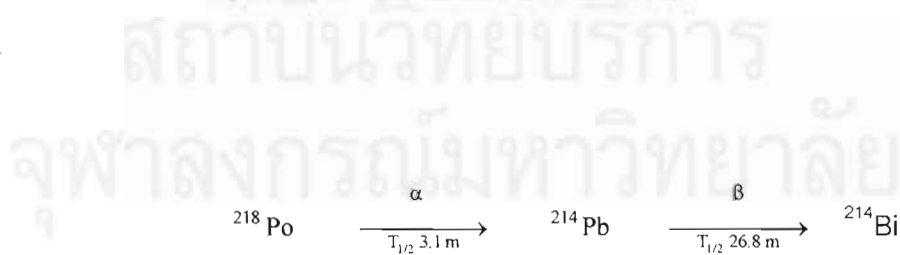
ตัวอย่างของการเกิดสมดุลแบบทรานเซียนต์ได้แก่ การเกิดสมดุลของยูเรเนียม-234 (U-234) กับ ทอเรียม-230 (Th-230) โดยยูเรเนียม-234 มีค่าครึ่งชีวิต 2.45×10^5 ปี ส่วนทอเรียม-230 ค่าครึ่งชีวิต 8.0×10^4 ปี ดังสมการและรูปที่ 2.3

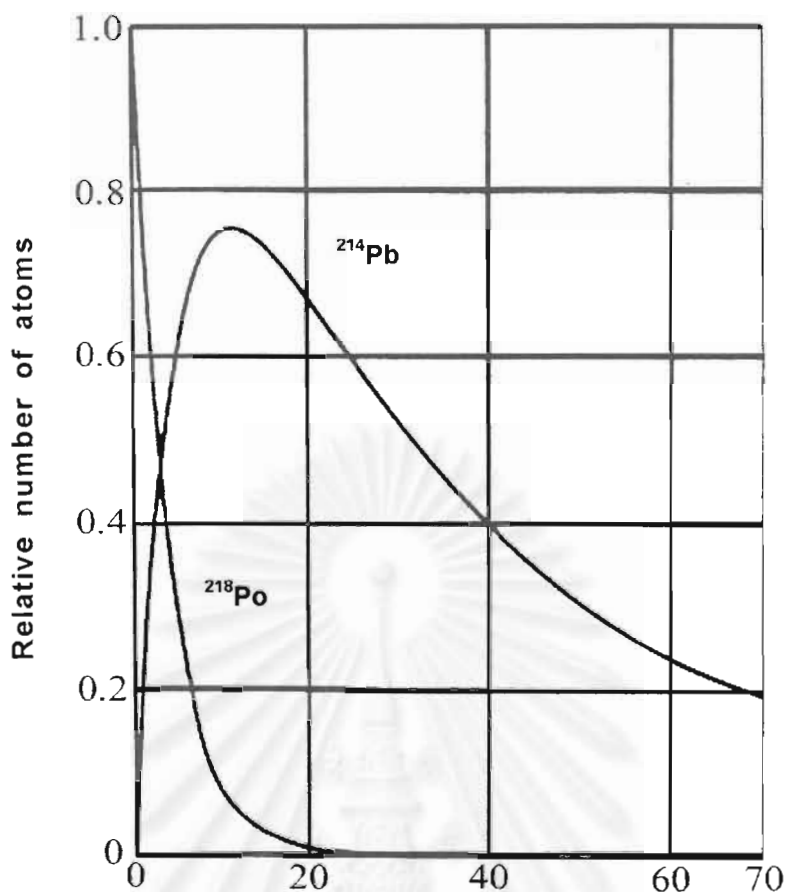




รูปที่ 2.3 การเกิดสมดุลแบบทรานเซียนต์ของยูเรเนียม-234 และ ทอเรียม-230 ⁽⁷⁾

ถ้าหากว่านิวเคลียสแม่มีครึ่งชีวิตสั้นกว่านิวเคลียสลูก สมดุลกัมมันตรังสีไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่นการสลายตัวของพอลอเนียม (Po-218) ไปเป็นตะกั่ว-214 (Pb-214) โดยที่พอลอเนียม-218 มีค่าครึ่งชีวิต 3.1 นาที ส่วนตะกั่ว-214 มีค่าครึ่งชีวิต 26.8 นาที ดังสมการและรูปที่ 2.4

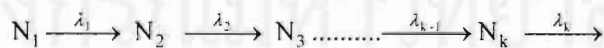




รูปที่ 2.4 การไม่เกิดสมดุลของสารกัมมันตภาพรังสี⁽⁸⁾

2.4 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ (Radioactive Decay Series)^(7,8)

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจากนิวเคลียสแม่ไปเป็นนิวเคลียสลูกซึ่งจะสลายตัวต่อไปเป็นนิวเคลียสรุ่นหลาน และอาจจะสลายตัวต่อไปอีกต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ พิจารณาการสลายตัวต่อเนื่องกันของอนุกรม (series) ต่อไปนี้



อัตราการเปลี่ยนแปลง (rate of change) ของจำนวนอะตอมของธาตุในอนุกรมเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 dN_1 &= -\lambda_1 N_1 dt \\
 dN_2 &= (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) dt \\
 dN_3 &= (\lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3) dt \\
 &\dots\dots\dots \\
 dN_k &= (\lambda_{k-1} N_{k-1} - \lambda_k N_k) dt
 \end{aligned}$$

จากสมการทั่วไปข้างต้นทำการอินทิเกรต (ที่เวลา $t = 0$, $N_1 = N_1^0$ และ $N_2^0, N_3^0, \dots, N_k^0 = 0$) จะได้

$$\begin{aligned}
 N_k &= N_1^0 \sum_{i=1}^k h_i e^{-\lambda_i t} \\
 &= N_1^0 (h_1 e^{-\lambda_1 t} + h_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + h_k e^{-\lambda_k t}) \quad (2.21)
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$$h_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_k - \lambda_1} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \frac{\lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_1} \dots \frac{\lambda_{k-1}}{\lambda_{k-1} - \lambda_1} \quad (2.22a)$$

$$h_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{\lambda_2}{\lambda_k - \lambda_2} \frac{\lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} \dots \frac{\lambda_{k-1}}{\lambda_{k-1} - \lambda_2} \quad (2.22b)$$

$$h_k = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_k} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_k} \frac{\lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_k} \dots \frac{\lambda_{k-1}}{\lambda_{k-1} - \lambda_k} \quad (2.22c)$$

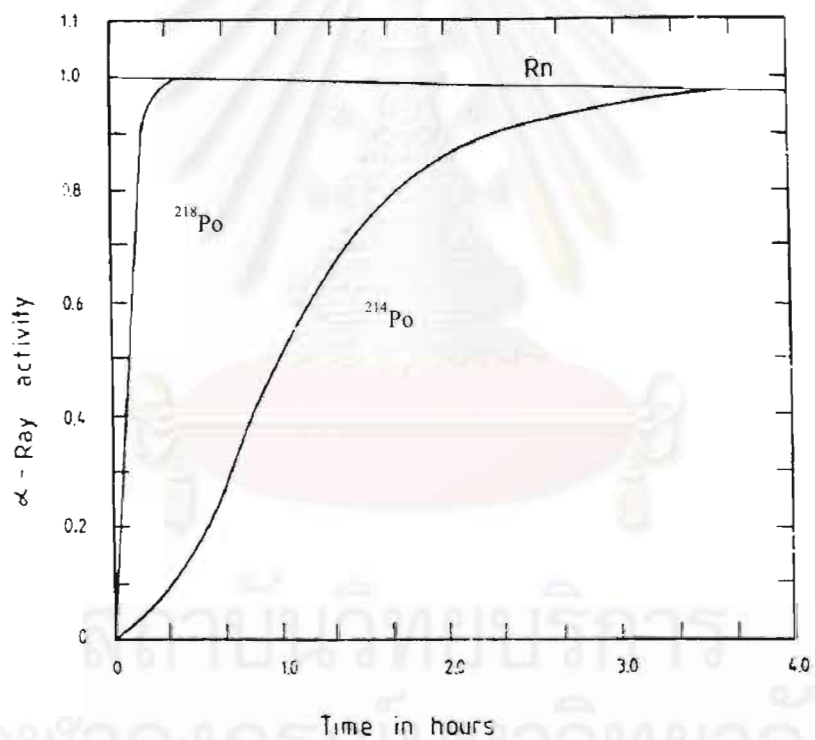
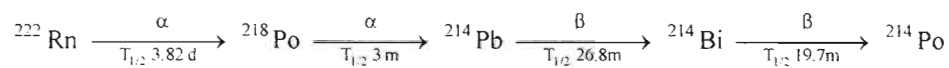
ซึ่งสมการ (2.21) เรียกว่า สมการการสลายตัวอย่างต่อเนื่องของเบทแมน (Bateman Equations) จากเงื่อนไขที่กล่าวไว้ว่า เมื่อ N_k ที่เวลา $t = 0$ มีค่าเท่ากับ 0 และ $k \neq 1$ จะได้ว่า ค่าคงที่ในสมการ (2.22c) มีผลรวมเป็นศูนย์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\sum_{k=1}^i h_k = 0 \quad (2.23)$$

โดยที่ i คือ นิวไคลด์ที่พิจารณา

ตัวอย่างการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ได้แก่ การสลายตัวของเรดอน-222 เป็นผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นพอโลเนียม-218 (Po-218) , ตะกั่ว-214 (Pb-214) , บิสมัท-214 (Bi-214) และพอโลเนียม-210 (Po-210) โดยเรดอน-222 มีค่าครึ่งชีวิต 3.82 วัน พอโลเนียม-218 มีค่า

ครึ่งชีวิต 3 นาที ตะกั่ว-214 มีค่าครึ่งชีวิต 26.8 นาที และบิสมัท-214 มีค่าครึ่งชีวิต 19.7 วัน ดังสมการ และรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีของเรดอน-222 เป็นผลผลิตครึ่งชีวิตสั้นพอโลเนียม-218 และพอโลเนียม-214⁽¹⁰⁾

2.5 คุณสมบัติของเรดอน (Radon Characteristics) ⁽¹¹⁾

สัญลักษณ์ : Rn

Atomic Number : 86

Atomic Mass : (222.0) amu

จุดหลอมเหลว : -71.0 °C (202.15 °K , -95.8 °F)

จุดเดือด : -61.8 °C (211.35 °K , -79.24 °F)

จำนวนโปรตอน / อิเล็กตรอน : 86

จำนวนนิวตรอน : 136

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ : ไม่มีสีเมื่ออยู่ในอุณหภูมิปกติ แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เรดอนจะเปล่งแสงสีเหลืองสุกใสและเมื่อลดอุณหภูมิลงอีกเรดอนจะมีสีส้มแดง เรดอนเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นและ อยู่ในกลุ่มของก๊าซเฉื่อย ⁽¹²⁾

ความหนาแน่น : (gas ที่ 1 atm และ 0 °C) : 9.73 g/L

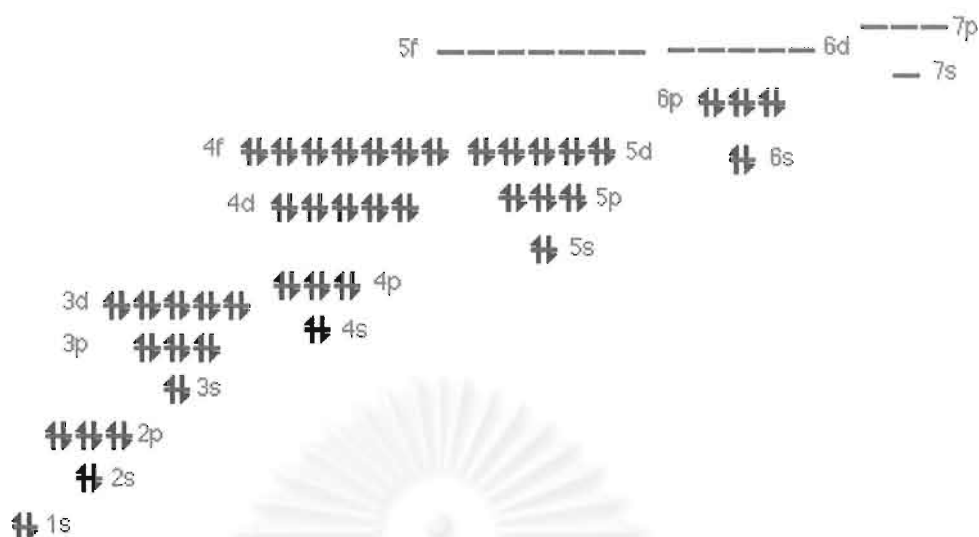
(liquid ที่ boiling point) : 4.4 ⁽¹³⁾

ความสามารถในการถูกละลายได้ : water : 224 CC/L ⁽¹³⁾

ไอโซโทปและการค้นพบ : ปัจจุบันชื่อเรดอนนี้ใช้เรียกเมื่อหมายถึง เรดอนไอโซโทป 222 ส่วนเรดอนไอโซโทป 220 จะถูกเรียกว่า ทอรอน (Thoron) และเรดอนไอโซโทป 219 จะถูกเรียกว่า แอคตินอน (Actinon)

ก๊าซแอกตินอน หรือ เรดอน-219 นั้นสลายตัวให้รังสีอัลฟา มีค่าครึ่งชีวิต 4.0 วินาที ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1904 โดย Friedrich O. Giesel และ Andreloris Debierne ส่วนก๊าซทอรอน หรือ เรดอน-220 สลายตัวให้รังสีอัลฟาเช่นกัน และมีค่าครึ่งชีวิต 55.6 วินาที ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1899 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ R.B.Owens และ Ernest Rutherford ส่วนเรดอน-222 เป็นไอโซโทปที่มีค่าครึ่งชีวิตนานที่สุด คือ 3.82 วัน ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1900โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ Friedrich Ernst Dorn ซึ่งตอนแรกใช้ชื่อ ไนตอน (niton) และถูกเปลี่ยนชื่อเป็นเรดอนเมื่อปี ค.ศ. 1923 ⁽¹⁰⁾

การเกิดปฏิกิริยา : เนื่องจากอะตอมของเรดอนมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 8 ซึ่งมี Electron configuration คือ $[Xe].4f^{14}.5d^{10}.6s^2.6p^6$ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 จึงไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอื่นๆ แต่เรดอนก็ไม่ใช่ก๊าซเฉื่อยที่สมบูรณ์เพราะมีสารประกอบเกิดขึ้นเป็นเรดอนฟลูออไรด์ (Radon Fluoride) เหมือนกับก๊าซเฉื่อยบางตัว เช่น คริปทอน (Krypton) และซีนอน (Xenon) ซึ่งสารประกอบนี้ถูกค้นพบเมื่อ ค.ศ. 1962



รูปที่ 2.6 Electronic configuration ของเวดอน ⁽¹²⁾

การเกิดและการสลายตัวของก๊าซเวดอน : เวดอนมีอยู่ทั่วไปในอากาศโดยแพร่กระจายออกมาจากพื้นผิวโลกจากการสลายตัวของเรเดียมในดิน หินและทราย เวดอนในธรรมชาติมีอยู่ 3 ไอโซโทป คือ เวดอน-219 เวดอน-220 และ เวดอน-222 ซึ่งมาจากการสลายตัวของอนุกรมแอกติเนียม (ตารางที่ 2.1) ทอเรียม (ตารางที่ 2.2) และยูเรเนียม (ตารางที่ 2.3) ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 อนุกรมแอกติเนียม ⁽⁶⁾

Element	Symbol	Half-life	Energy (MeV)			Percent γ occurrence
			α	β	γ	
92 uranium	²³⁵ U	7.0×10^8 y	4.38	—	0.185	12
90 thorium	²³¹ Th	25.5 h	—	0.30	0.25	90
91 protoactinium	²³¹ Pa	3.3×10^4 y	5.06	—	many	
89 actinium	²²⁷ Ac	21.8 y	4.95	0.046	many	
90 thorium	²²⁷ Th	18.7 d	6.04	—	many	
88 radium	²²³ Ra	11.4 d	5.86	—	many	
86 radon	²¹⁹ Rn	4.0 s	6.82	—	0.27	11
84 polonium	²¹⁵ Po	1.78 ms	7.38	—	—	—
82 lead	²¹¹ Pb	36.1 m	—	1.36	0.83	20
83 bismuth	²¹¹ Bi	2.15 m	6.62	0.59	0.35	?
81 thallium	²⁰⁷ Tl	4.79 m	—	1.44	0.90	0.16
82 lead	²⁰⁷ Pb		[stable]			

ตารางที่ 2.2 อนุกรมทอเรียม⁽⁸⁾

Element	Symbol	Half-life	Energy (MeV)			Percent γ occurrence
			α	β	γ	
90 thorium	²³² Th	1.40 × 10 ¹⁰ y	4.00	—	0.06	23
88 radium	²²⁸ Ra	5.8 y	—	0.054	—	—
89 actinium	²²⁸ Ac	6.13 h	—	1.11	0.09	30
90 thorium	²²⁸ Th	1.91 y	5.43	—	0.08	28
88 radium	²²⁴ Ra	3.7 d	5.68	—	0.24	5
86 radon	²²⁰ Rn	55.6 s	6.29	—	—	—
84 polonium	²¹⁶ Po	145 ms	6.78	—	—	—
82 lead	²¹² Pb	10.6 h	—	0.36	0.238	81
83 bismuth	²¹² Bi	60.6 m	6.05	2.20	0.04	17
84 polonium	²¹² Po	300 ns	8.78	—	—	—
81 thallium	²⁰⁸ Tl	3.1 m	—	1.79	2.62	100
82 lead	²⁰⁸ Pb			[stable]		

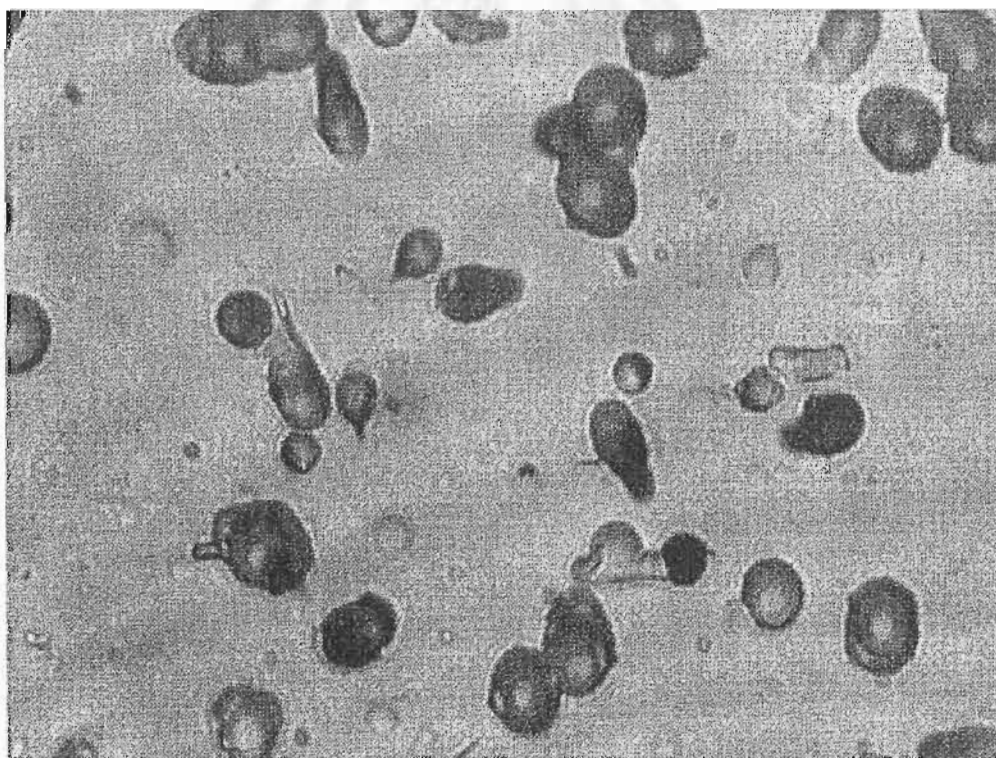
ตารางที่ 2.3 อนุกรมยูเรเนียม⁽⁸⁾

Element	Symbol	Half-life	Energy (MeV)			Percent γ occurrence
			α	β	γ	
92 uranium	²³⁸ U	4.5 × 10 ⁹ y	4.2	—	0.048	23
90 thorium	²³⁴ Th	24.1 d	—	0.19	0.09	4
91 protoactinium	²³⁴ Pa ^m	1.17 m	—	2.29	1.0	0.6
92 uranium	²³⁴ U	2.5 × 10 ⁵ y	4.8	—	0.05	28
90 thorium	²³⁰ Th	7.5 × 10 ⁴ y	4.8	—	0.068	24
88 radium	²²⁶ Ra	1600 y	4.8	—	0.186	4
86 radon	²²² Rn	3.82 d	5.49	—	0.5	0.07
84 polonium	²¹⁸ Po	3.05 m	6.00	—	—	—
82 lead	²¹⁴ Pb	26.8 m	—	0.65	0.24	4
83 bismuth	²¹⁴ Bi	19.9 m	5.5	1.5	0.61	47
84 polonium	²¹⁴ Po	164 μs	7.7	—	0.8	0.014
82 lead	²¹⁰ Pb	22.3 y	—	0.016	0.046	81
83 bismuth	²¹⁰ Bi	5.0 d	—	1.16	—	—
84 polonium	²¹⁰ Po	138 d	5.30	—	0.80	0.001
82 lead	²⁰⁶ Pb			[stable]		

2.6 วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน คือ

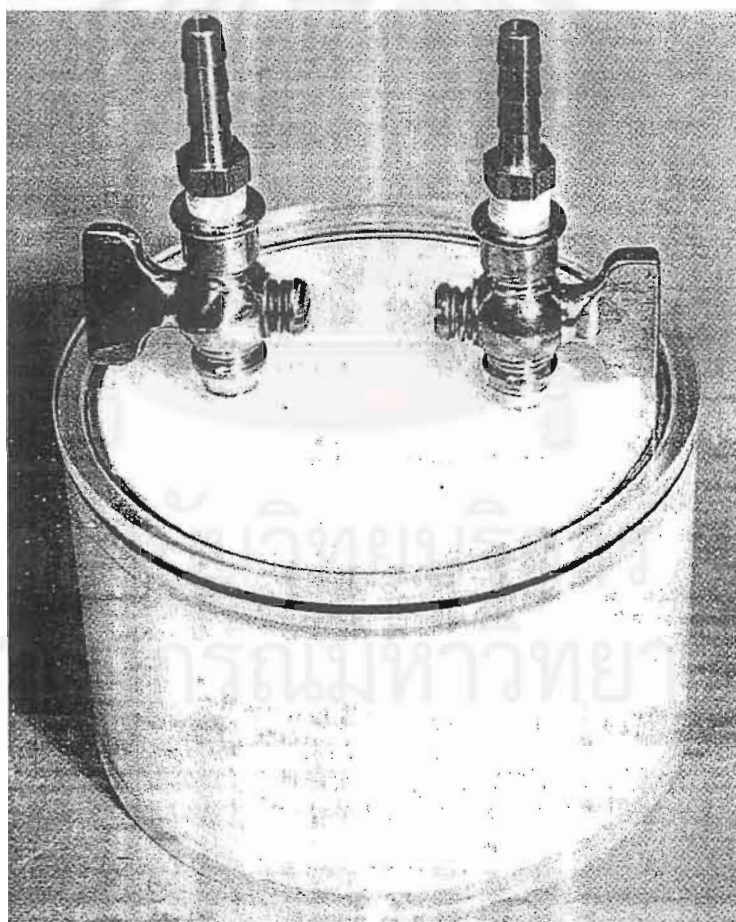
2.6.1 วิธีแทรก-เอตซ์ (Track Etch Method) วิธีการนี้จะใช้ฟิล์มโปวางไว้ในบริเวณที่ต้องการที่จะวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน หลังจากนั้นจะนำฟิล์มที่วางไว้นามาล้างแล้วนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อับรอยของอนุภาคอัลฟาของก๊าซเรดอนก็จะทราบความเข้มข้นของก๊าซเรดอน วิธีการนี้มีข้อดีคือเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ก็มีข้อเสียบางอย่างเช่น ต้องทิ้งฟิล์มวัดรังสีไว้นานถึง 3 – 4 สัปดาห์และมีความแปรปรวนในการนับรอยของอนุภาคอัลฟา ต้องใช้เวลานานในการวัดจึงจะเกิดความแม่นยำ อย่างไรก็ตามได้มีผู้พัฒนาวิธีการนับรอยอนุภาคที่สะดวกรวดเร็วมาใช้ เช่น การใช้สปาร์คเคาน์เตอร์ การใช้เทคนิคและระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 แสดงรอยอนุภาคอัลฟาของก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นบนฟิล์ม

2.6.2 วิธีการใช้กระดาษกรอง (Filter Method) วิธีการนี้จะทำการดูดอากาศบริเวณที่ต้องการทราบความเข้มข้นของก๊าซเรดอนผ่านกระดาษกรองแล้วนำกระดาษกรองนั้นไปวัดรังสีของนิวไคลด์ลูก (Daughter Nuclide) ที่เกิดจากเรดอนในอากาศที่ติดอยู่บนกระดาษกรอง ซึ่งสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้ วิธีการนี้ต้องกำหนดระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศและการวัดรังสีอัลฟา/บีตา เป็นระยะๆ

2.6.3 วิธีใช้ภาชนะเคลือบสารเรืองรังสี (Scintillation Chamber Method) ซึ่งพัฒนาโดย Lucas ⁽¹⁴⁾ วิธีการนี้จะใช้สังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)] ฉาบผนังภายในของภาชนะทรงกระบอกที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติก จากนั้นทำการดูดอากาศเข้าไป เมื่ออนุภาคอัลฟาจากก๊าซเรดอนที่ปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับสังกะสีซัลไฟด์จะให้แสงออกมา จึงใช้หลอดทวีความเข้มแสง (Photomultiplier tube , PMT) วัดแสงที่ออกมา วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ต้องทำการเปลี่ยนสังกะสีซัลไฟด์บ่อยๆ เนื่องจากจะเกิดการปนเปื้อน และจะต้องจัดระบบให้อยู่ในที่มืด แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพสูง จึงเหมาะสำหรับการวัดก๊าซเรดอนในอาคารทั่วไปและในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.8 ZnS(Ag) Scintillation flask

2.6.4 วิธีการใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Method) วิธีการนี้จะผ่านอากาศที่ต้องการทราบความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเข้าไปในถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่ดูดซับก๊าซเรดอน จากนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์นั้นไปเก็บให้ถึงสมดุล จากนั้นจึงนำไปวัดรังสี วิธีนี้ไม่ยุ่งยาก และสามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่เมื่อก๊าซเรดอนในอากาศมีความเข้มข้นต่ำ วิธีนี้อาจวัดไม่ได้ และ/หรือมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากรังสีแกมมาจากนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 ที่ต้องการวัดรังสี เป็นแบรคกราวด์ของระบบวัดรังสีแกมมาอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุปกรณ์กำบังรังสีไม่ดีพอ



รูปที่ 2.9 แสดงภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับก๊าซเรดอน

วิธีวัดปริมาณก๊าซเรดอนข้างต้นมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป แต่สำหรับการวัดก๊าซเรดอนระดับต่ำ สามารถเพิ่มความแม่นยำและถูกต้องในการวัดรังสีได้อีก I.Kobal และคณะ⁽³⁾ ได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศโดยการปล่อยเอนอากาศด้วยไนโตรเจนเหลว ซึ่งจะทำให้ไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอากาศถูกกำจัดออกไป ก๊าซเรดอนจึงมีความเข้มข้นสูงขึ้น จากนั้นทำการวัดรังสีอัลฟาจากเรดอน-222 โดยใช้วิธีของ Lucas ตามหัวข้อ 2.6.3 เมื่อเปลี่ยนสถานะเรดอนกลับไปเป็นก๊าซ ซึ่งทำให้สามารถวัดก๊าซเรดอน-222 ลงไปได้ต่ำถึง 0.01 pCi/L



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

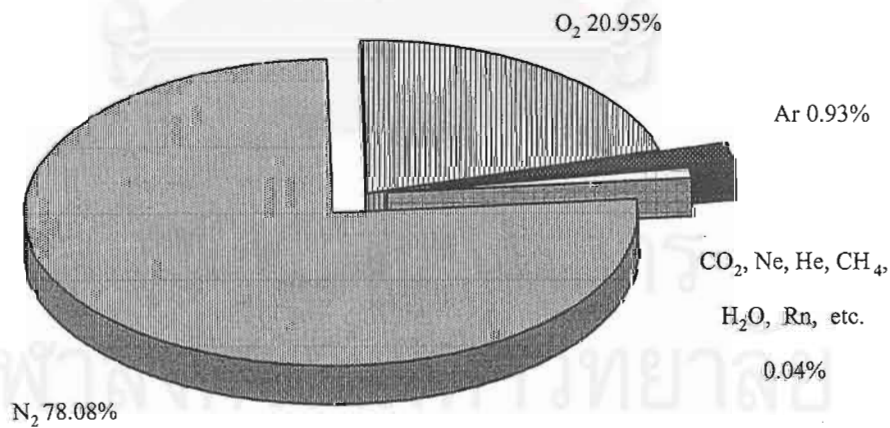
บทที่ 3

วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ในอากาศภายในอาคารที่พัฒนาขึ้น

ในงานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในอาคาร โดยจะทำการทดลองใน 3 ขั้นตอน คือ

3.1 การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่จะนำมาวัดรังสี

โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารต่าง ๆ นั้นจะมีจุดเดือดที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะสามารถแยกออกจากกันได้ อากาศปกติที่ระดับน้ำทะเลจะประกอบไปด้วย ไนโตรเจน 78.08% ออกซิเจน 20.95% อาร์กอน 0.93% ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซอื่นๆ ซึ่งรวมทั้งก๊าซเรดอนด้วย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของอากาศปกติที่ระดับน้ำทะเล ⁽¹⁵⁾

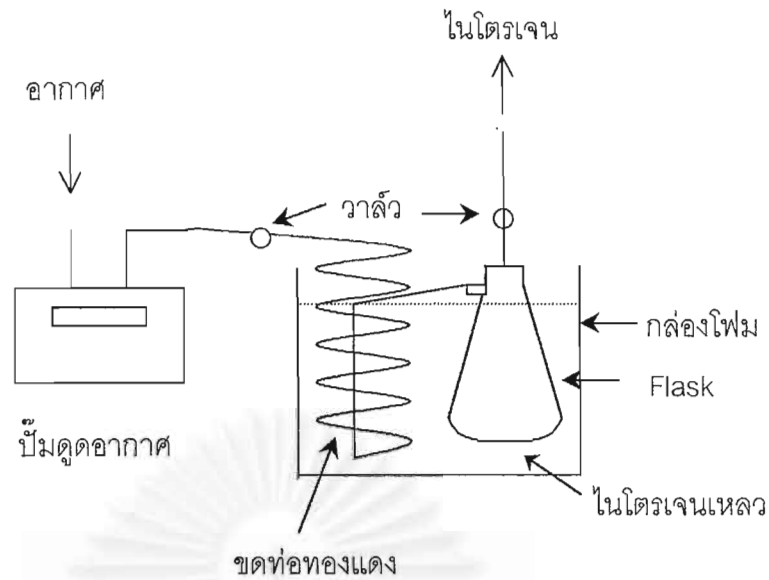
ตารางที่ 3.1 แสดงจุดเดือดของก๊าซต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอากาศ⁽¹²⁾

ก๊าซ	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
ไนโตรเจน	-195.8
ออกซิเจน	-182.962
อาร์กอน	-185.7
คาร์บอนไดออกไซด์	-65
เรดอน	-61.8

เมื่อพิจารณาถึงจุดเดือดของแต่ละตัวนั้นแสดงดังตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าก๊าซแต่ละชนิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของอากาศนั้นมีจุดเดือดที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะใช้ไนโตรเจนเหลวซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ -196 องศาเซลเซียสเป็นตัวหล่อเย็นระบบ เพื่อเปลี่ยนสถานะของก๊าซเรดอนจากก๊าซเป็นของเหลว ส่วนก๊าซไนโตรเจนจะยังคงเป็นก๊าซจะไหลผ่านออกไป

เมื่อพิจารณาจุดเดือดของก๊าซที่เป็นองค์ประกอบในตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าตามทฤษฎีแล้วก๊าซออกซิเจน อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรดอน จะเปลี่ยนสภาพจากก๊าซเป็นของเหลวและอยู่ภายในท่อซึ่งขดอยู่ในไนโตรเจนเหลวเนื่องจากอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซเหล่านั้นสูงกว่าอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว ยกเว้นก๊าซไนโตรเจนซึ่งจะยังคงสภาพเป็นก๊าซอยู่ จึงสามารถออกไปได้ จะเห็นได้ว่าจะสามารถกำจัดก๊าซไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณ 78.08 % ในอากาศออกไปได้ ในทางปฏิบัตินั้นอุณหภูมิของไนโตรเจนจะไม่ถึง -196 องศาเซลเซียสเนื่องจากสูญเสียความร้อนให้กับระบบ ดังนั้นก๊าซออกซิเจนและก๊าซอาร์กอนจึงอาจจะยังคงเป็นก๊าซและออกไปได้บางส่วน แต่ก๊าซเรดอนจะยังคงเป็นของเหลวอยู่ภายในท่อที่ขดอยู่ ทำให้ได้ก๊าซเรดอนที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะดูดอากาศผ่านเครื่องวัดปริมาตรของอากาศเพื่อที่จะวัดปริมาตรของอากาศ ต่อจากนั้นอากาศจะผ่านเข้าไปในขดท่อทองแดงที่อยู่ในภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวแสดงดังรูปที่ 3.2



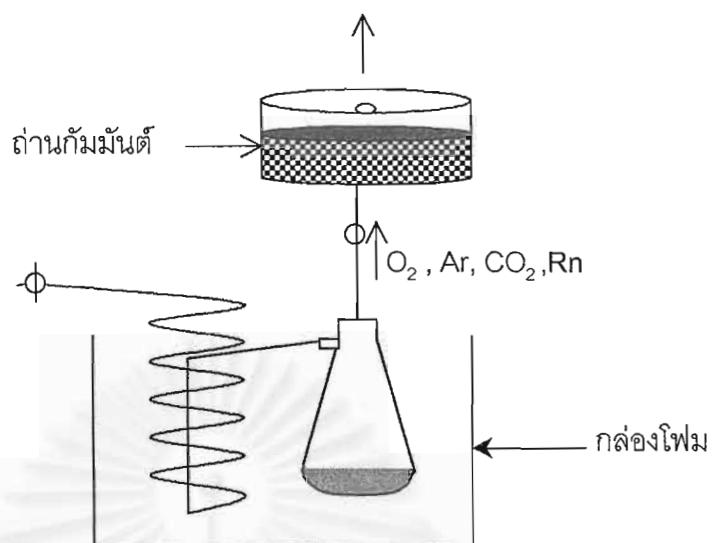
รูปที่ 3.2 แสดงการจัดระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

3.2 การดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์

เมื่อนำภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวออก ก๊าซเรดอนที่อยู่ในท่อที่ขดก็จะผ่านเข้าไปในถ่านกัมมันต์ซึ่งอยู่ในภาชนะบรรจุอย่างช้าๆ เนื่องจากยังใส่ขดท่อทองแดงไว้ในโฟมเพื่อไม่ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อผ่านก๊าซเรดอนเข้าไปจะถูกดูดซับไว้โดยถ่านกัมมันต์ แสดงดังรูปที่ 3.3 เก็บถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับก๊าซเรดอนไว้ให้ถึงจุดสมดุลแล้วนำไปวัดรังสีแกมมาจากบิสมัท-214

3.3 การวัดรังสีแกมมาที่เกิดจากบิสมัท-214

เมื่อถึงสมดุลทางกัมมันตรังสีจะนำถ่านกัมมันต์มาวัดรังสีแกมมาจาก บิสมัท-214 ด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว × 5 นิ้ว ซึ่งอยู่ในอุปกรณ์กำบังรังสีเพื่อลดการรบกวนของแบรคกราวด์จากสิ่งแวดล้อม (เนื่องจาก บิสมัท-214 เป็นแบรคกราวด์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ) ต่อหัววัด NaI(Tl) เข้ากับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer) หาค่าจำนวนนับของ บิสมัท-214 เพื่อที่จะคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอน



รูปที่ 3.3 แสดงระบบการดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

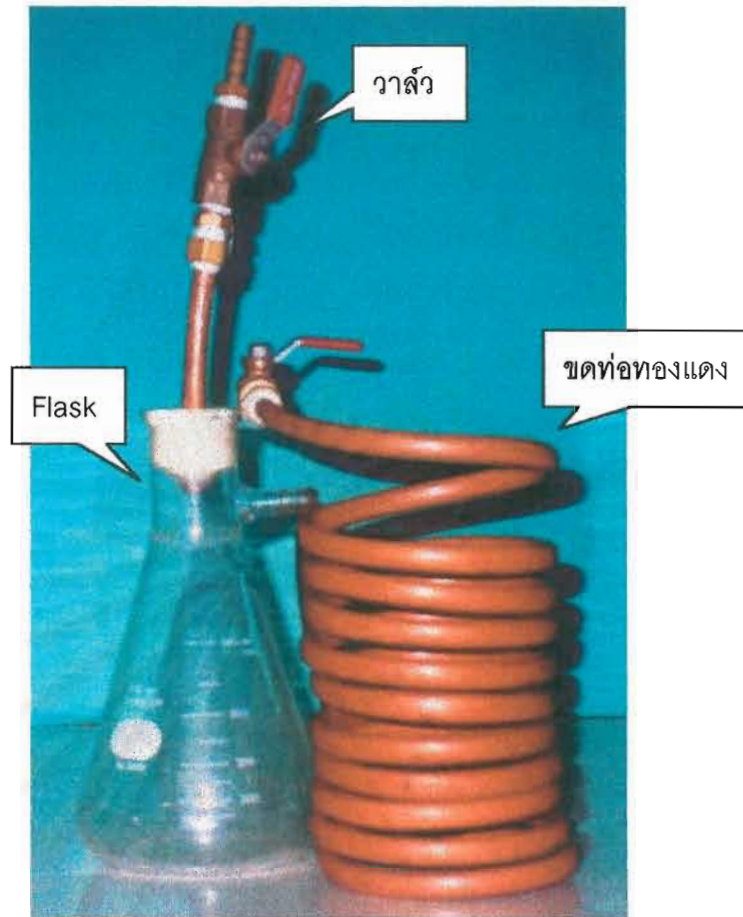
4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.1.1 ระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่จะนำมาวัดรังสี

- ท่อทองแดงขนาด 3 หุน ยาว 375 เซนติเมตร ขดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ซึ่งขดได้รวม 10 รอบ (10 ชั้น)
- flask ขนาด 500 ml สำหรับต่อกับท่อทองแดงเพื่อเป็นที่รองรับของเหลวซึ่งถูกควบคุมด้วยไนโตรเจนเหลว
- วาล์วเปิด-ปิดสำหรับต่อบริเวณปลายทั้งสองข้างของท่อทองแดงเพื่อใช้สำหรับเก็บก๊าซและปล่อยก๊าซ
- ถังโฟมสำหรับใส่อุปกรณ์เพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนและใส่ไนโตรเจนเหลว
- บั๊มสำหรับดูดอากาศ ซึ่งมีเครื่องวัดปริมาตรอากาศซึ่งปรับเทียบให้มีอัตราการดูดอากาศ 50 ลิตรต่ออนาที
- ไนโตรเจนเหลว ใช้เป็นตัวหล่อเย็นระบบเพื่อเปลี่ยนสถานะของก๊าซเรดอนให้เป็นของเหลว

ระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และ 4.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



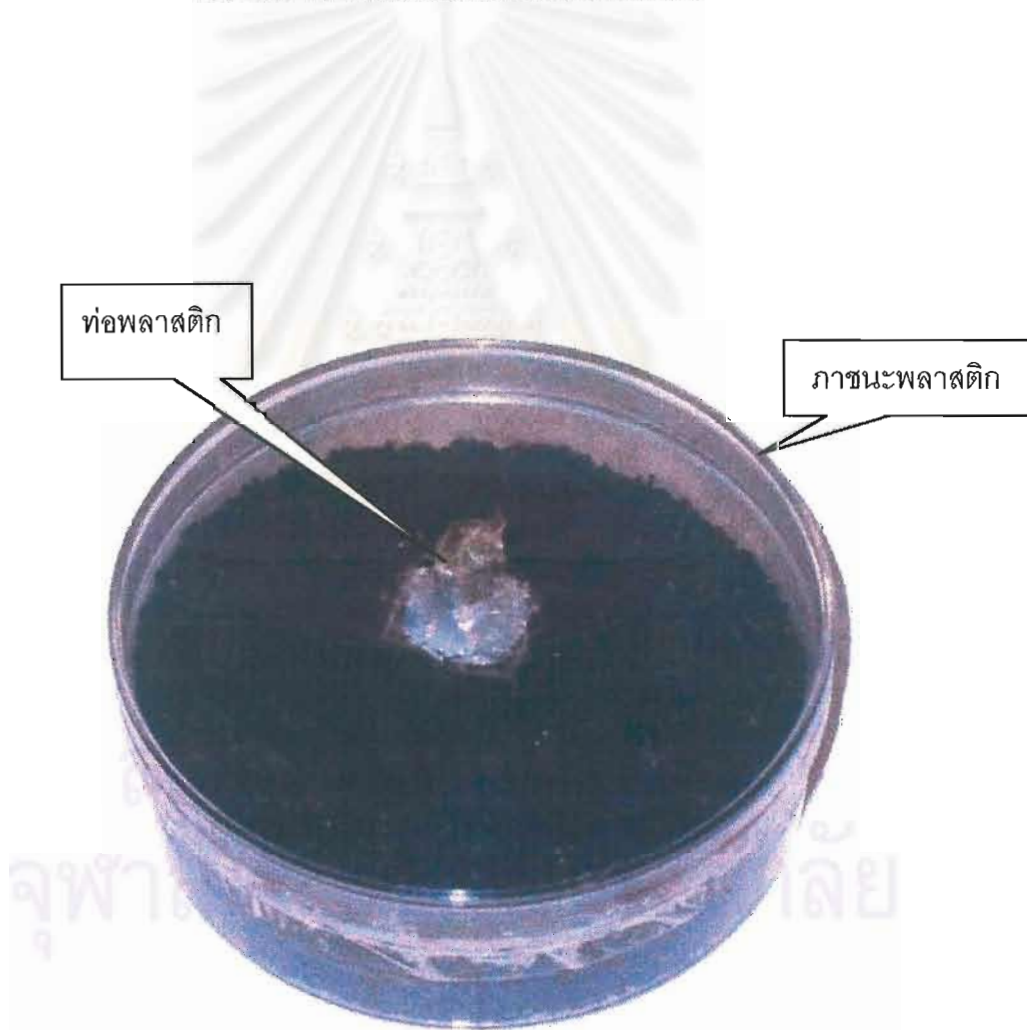
รูปที่ 4.1 ท่อทองแดงซึ่งต่อกับ Flask ที่นำมาใช้ในระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน



รูปที่ 4.2 ระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

4.1.2 ระบบการดูดซับเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์

- ก่องพลาสติกกลมมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร เจาะรูทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อให้อากาศไหลผ่านได้ ฝาด้านบนมีท่อพลาสติกยาว 2 เซนติเมตร สวมต่อกับรูที่เจาะซึ่งเชื่อมต่อให้แน่นด้วยกาวซิลิโคน สายยางสั้น ๆ นี้ทำเป็นที่สวมสายยางที่ต่อมาจากชุดท่อทองแดง
- ถ่านกัมมันต์ของ Calgon Activated Carbon ชนิด PCB ขนาด 6X16 mesh ถ่านกัมมันต์นี้ถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมงก่อนการใช้งาน ถ่านกัมมันต์ที่อบแล้วจะนำไปใส่ในก่องพลาสติกก่องละ 100 กรัม จากนั้นปิดผนึกให้แน่นโดยไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าออกได้เลย



รูปที่ 4.3 ถ่านกัมมันต์บรรจุในภาชนะพลาสติกสำหรับดูดซับก๊าซเรดอนจากอากาศ

4.1.3 ระบบวัดรังสีแกมมา

4.1.3.1 ระบบวัดรังสีแกมมาสำหรับการเปรียบเทียบสารละลายมาตรฐาน เรเดียม

ประกอบด้วยหัววัดรังสีแกมมา Semiconductor แบบ HP(Ge) ซึ่งอยู่ในที่กำบังรังสีต่อเข้ากับพรีแอมพลิฟายเออร์ (Preamplifier) แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักตาสูง (High Voltage Power Supply) และเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

4.1.3.2 ระบบวัดรังสีแกมมาสำหรับการหาปริมาณความเข้มข้นของก๊ากซ์ เรดอน

ประกอบด้วยหัววัดรังสีแกมมา NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว × 5 นิ้ว ซึ่งอยู่ในที่กำบังรังสี ต่อเข้ากับพรีแอมพลิฟายเออร์ แอมพลิฟายเออร์ พัลเซอร์ (Pulser) แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักตาสูง และเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.4

4.1.4 ระบบวัดรังสีอัลฟาสำหรับการเปรียบเทียบสารละลายมาตรฐานเรเดียม

ประกอบด้วยหัววัดรังสีอัลฟาแบบเซอร์เฟซแบเรียเตอร์ (Surface Barrier Detector) บั้มสุญญากาศ ภาชนะสุญญากาศสำหรับบรรจุหัววัดรังสีและตัวอย่าง พรีแอมพลิฟายเออร์ แอมพลิฟายเออร์ เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง และแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักตาสูง

4.1.5 สารละลายเรเดียม-226 และต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ประกอบด้วย

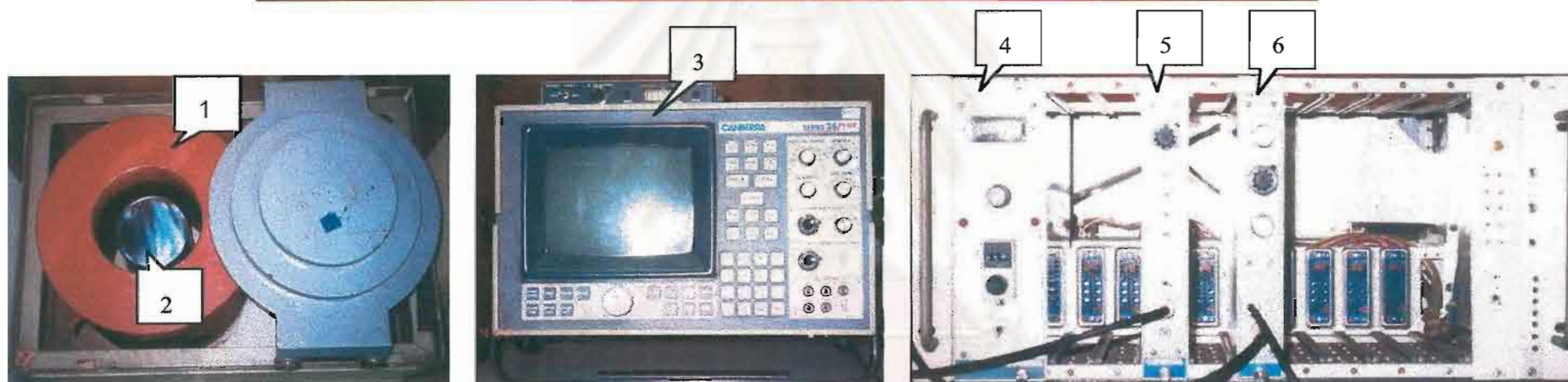
- สารละลายเรเดียมสำหรับผสมถ่านกัมมันต์เพื่อทำถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่ทราบปริมาณเรเดียมและเรดอน
- ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 0.964 μCi ใช้สำหรับเปรียบเทียบความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma Spectrometry)
- ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทอเรียม-230 ความแรง 5 และ 8 nCi ใช้สำหรับเปรียบเทียบความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมด้วยวิธีอัลฟาสเปกโตรเมตรี (Alpha Spectrometry)

การพัฒนาเทคนิคเพื่อหาปริมาณเรดอน-222 ในอาคาร

โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR DETERMINING INDOOR RADON-222

USING ACTIVATED CHARCOAL ADSORPTION



- (1) อุปกรณ์กำบังรังสี (2) หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว × 5 นิ้ว (3) เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (4) แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง
(5) ฟิลส์เซอร์ (6) แอมพลิฟายเออร์

รูปที่ 4.4 ระบบการวัดรังสีแกมมาที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

4.2.1 การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียม

เนื่องจากสารละลายเรเดียม-226 ที่จะใช้ในการคลุกกับถ่านกัมมันต์เพื่อใช้เป็นถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่ทราบปริมาณเรเดียม-226 สำหรับการวัดปริมาณเรดอน-222 ที่ดูดซับมาจากอากาศ มีความจำเป็นต้องปรับเทียบใหม่เพื่อให้ทราบความแรงรังสีที่แน่นอนในการวิจัยนี้ ได้ดูดสารละลายเรเดียมออกมาจากขวดสารละลายด้วยไมโครปิเปตต์ หยดลงบนภาชนะพลาสติกขนาดเล็กที่มีฝาปิด นำไปชั่งน้ำหนักได้ 0.2003 กรัม นำไประเหยให้แห้งแล้วปิดฝา ผนึกไว้ให้เกิดสมดุลย์ทางกัมมันตรังสีกับนิวไคลด์ลูก จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสี HP(Ge) และวัดรังสีอัลฟาด้วยหัววัดรังสีเซอร์เฟสแบริเออร์

4.2.1.1 การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสี

Semiconductor แบบ HP(Ge)

1. จัดระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดรังสี Semiconductor HP(Ge) แบบ portable
2. วัดแบบคร่าวๆเป็นเวลา 30000 วินาที
3. นำต้นกำเนิดรังสีแอลฟามาตรฐานเรเดียม ความแรงรังสี 0.964 μCi ไปวัดรังสีแกมมาจาก บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV เป็นเวลา 1000 วินาที
4. นำสารละลายเรเดียมซึ่งหยดไว้ 0.2003 กรัม ในภาชนะพลาสติกมาวัดรังสีแกมมาจาก บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV เป็นเวลา 30000 วินาที
5. นำค่าจำนวนนับรังสีสุทธิ(หักแบบคร่าวๆ) ของเรเดียม 0.2003 กรัมไปคำนวณหาค่าความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมที่หยดไว้ โดยการเทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานเรเดียม-226

ในการหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียม-226 นี้ได้ทำ 2 ครั้ง คือเมื่อเวลาผ่านไป 2 และ 4 สัปดาห์ภายหลังการหยดสารละลายเรเดียม-226 0.2003 กรัม แล้วทำให้แห้ง ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่านิวไคลด์ลูกของเรเดียม-226 คือ บิสมัท-214 อยู่ในสมดุลย์ทางกัมมันตรังสีกับเรเดียม-226 หรือไม่ ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

4.2.1.2 การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสีอัลฟาแบบเซอร์เฟสแบริเออร์

1. นำภาชนะสูญญากาศ (Vacuum chamber) ที่บรรจุหัววัดรังสีอัลฟา ต่อเข้ากับ Vacuum Pump ฟรีแอมป์ลิฟายเออร์ แอมป์ลิฟายเออร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักตาสูงและเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
2. นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ทอเรียม-230 (Th-230) ความแรงรังสี 8 ± 1.6 nCi ซึ่งให้รังสีอัลฟาพลังงาน 4.68 MeV วัดรังสีอัลฟาเป็นเวลา 1000 วินาที
3. นำต้นกำเนิดรังสี ทอเรียม-230 ซึ่งมีความแรงรังสี 5 nCi ไปวัดรังสีอัลฟาเป็นเวลา 1000 วินาที เพื่อใช้เป็นตัวตรวจสอบผลการหาความแรงรังสี
4. นำภาชนะบรรจุเรเดียมจากขั้นตอนที่ผ่านมา เปิดฝาออกนำไปวัดรังสีอัลฟาเป็นเวลา 2400 วินาที
5. นำค่าที่ได้จากข้อ 3 , 4 และ 5 มาคำนวณหาค่าความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมที่หาค่าได้

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.3

4.2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์มาตรฐาน

ในการวัดหาปริมาณเรดอน-222 จากอากาศที่ถูกดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์ จำเป็นต้องเตรียมถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่ทราบปริมาณเรดอน-222 ที่แน่นอนเพื่อให้ลักษณะเรขาคณิตของสารมาตรฐานและตัวอย่างเหมือนกัน ในกรณีนี้ได้ใช้วิธีหดยดสารละลายเรเดียม-226 ที่ทำการปรับเทียบแล้วลงในถ่านกัมมันต์ ในการวิจัยครั้งนี้ได้เตรียมถ่านกัมมันต์มาตรฐานโดยหดยดสารละลายเรเดียม-226 ลงไป 0.3007 กรัม ซึ่งคิดเป็นความแรงรังสีเท่ากับ 0.180 ± 0.019 nCi หรือนอกจากนี้ได้เตรียมถ่านกัมมันต์อีก 1 ตัวอย่างที่หดยดสารละลายเรเดียมลงไป 0.2003 กรัม เพื่อใช้ในการตรวจสอบผลการวัดรังสี ขั้นตอนในการปฏิบัติมีดังนี้

1. นำถ่านกัมมันต์ที่อบไว้แล้วมาใส่กล่องพลาสติกกลม 3 กล่องๆ ละ 100 กรัม
2. กล่องที่ 1 ปิดฝาให้สนิทแล้วใช้เทปกาวปิดรอยต่อระหว่างฝากับตัวกล่องให้สนิท เก็บเอาไว้เป็น blank

3. ก่อตั้งที่ 2 หยดสารละลายเรเดียมลงไปในตัวถ้ำกัมมันต์ 0.2003 กรัม โดยหยดให้กระจายทั่วบริเวณตัวถ้ำกัมมันต์ ปิดฝาใช้เทปกาวปิดรอยต่อให้สนิทซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ
4. ก่อตั้งที่ 3 หยดสารละลายเรเดียมลงไปในตัวถ้ำกัมมันต์ 0.3007 กรัม โดยหยดให้กระจายทั่วบริเวณตัวถ้ำกัมมันต์ ปิดฝาใช้เทปกาวปิดรอยต่อให้สนิทซึ่งใช้เป็นตัวถ้ำกัมมันต์มาตรฐาน
5. นำทั้งสามกล่องมาวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) 5" × 5" เป็นเวลา 5000 วินาที บันทึกค่าจำนวนนับรังสีของพีค บีสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV

จากนั้นทำการวัดรังสีเป็นระยะๆ เช่นเดียวกับในข้อ 5 เกือบทุกวันประมาณ 1 เดือน เพื่อให้แน่ใจว่าเกิดสภาพสมดุลทางกัมมันตรังสี

ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.4 ; 5.5 และกราฟรูปที่ 5.1

4.2.3 การหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนของตัวถ้ำกัมมันต์

การหาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเรดอนของตัวถ้ำกัมมันต์ในการวิจัยนี้ ใช้วิธีต่อภาชนะพลาสติกที่บรรจุตัวถ้ำกัมมันต์ 2 ชุดเข้าด้วยกัน ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 4.5 แล้วดูดอากาศจากแร่ยูเรเนียมผ่านตัวถ้ำกัมมันต์ทั้งสองชุดขึ้นมา เมื่อนำภาชนะทั้งสองมาวัดรังสีแกมมาภายหลังการเกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี จากความแตกต่างของควมแรงรังสีที่วัดได้ สามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเรดอนได้ดังนี้

$$\text{ถ้าให้ปริมาณก๊าซเรดอนที่ดูดจากแร่ยูเรเนียม} = X$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเรดอน} = \epsilon$$

$$\text{และปริมาณก๊าซเรดอนที่ถูกดูดซับไว้ในภาชนะแรก} = a$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเรดอนที่ถูกดูดซับไว้ในภาชนะที่สอง} = b$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{a}{\epsilon} = X \quad (4.1)$$

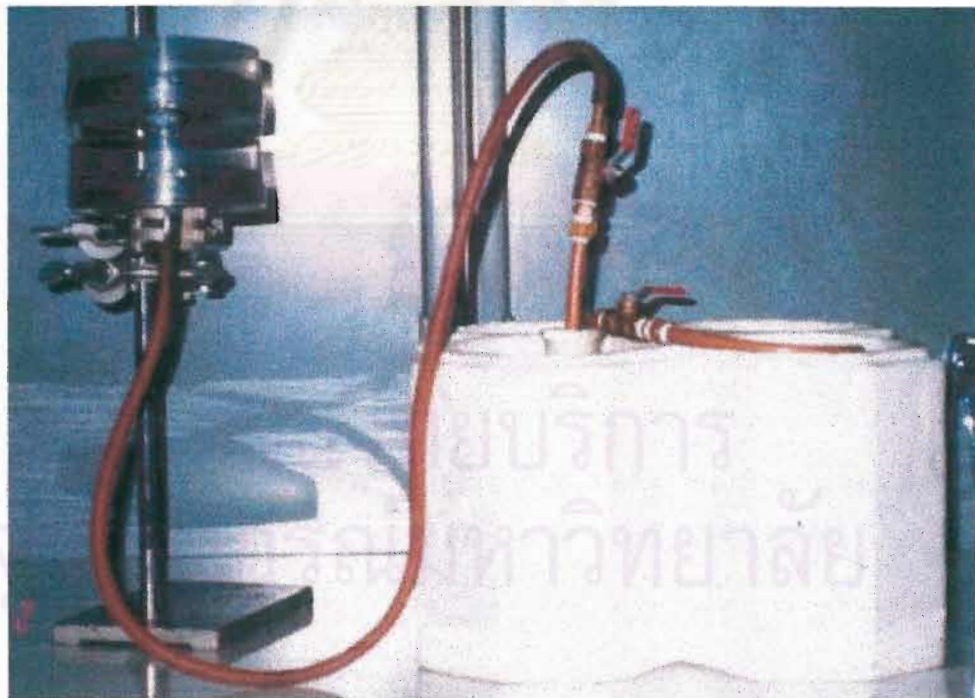
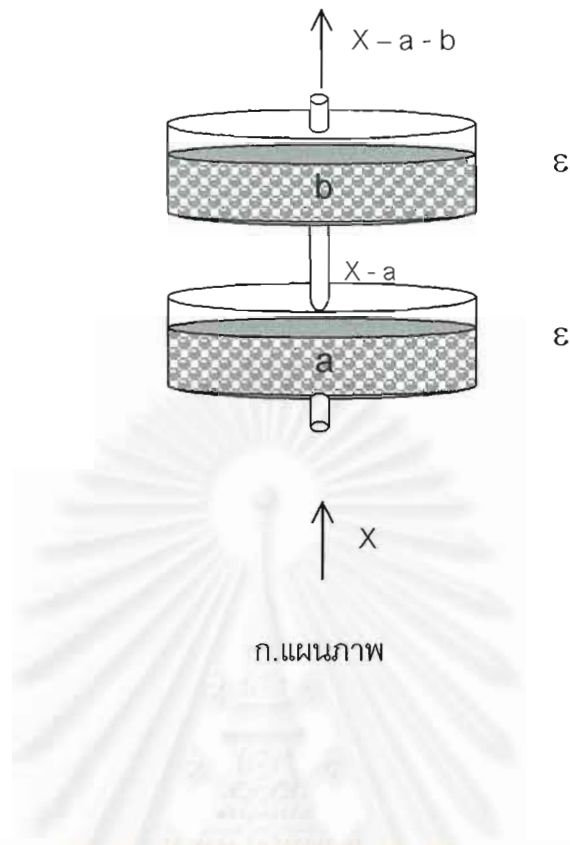
$$\frac{b}{\epsilon} = X - a \quad (4.2)$$

$$\therefore \epsilon = \frac{a - b}{a} \quad (4.3)$$

ขั้นตอนในการปฏิบัติมีดังนี้

1. นำกล่องพลาสติกจำนวน 2 กล่องมาเจาะรูที่ด้านบนและล่าง ต่อเชื่อมระหว่างกล่องพลาสติกบนและล่างด้วยสายยาง แล้วเชื่อมรอยต่อต่างๆให้แน่น
2. นำถ่านกัมมันต์ที่อบแล้วใส่ในกล่องพลาสติกบนและล่าง กล่องละ 100 กรัม ปิดฝาเชื่อมรอยต่อของฝาให้สนิทด้วยเทปกาว ปิดรูบนและล่างซึ่งใช้สำหรับอากาศผ่านให้สนิทด้วยเทปกาว แสดงดังรูปที่ 4.3
3. นำแร่ยูเรเนียมมาใส่ถึงพลาสติกเจาะรูด้านบนและด้านล่างเพื่อให้อากาศเข้าด้านล่างแล้วผ่านแร่ยูเรเนียมออกด้านบน
4. ต่อระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเข้ากับถังพลาสติกที่ใส่แร่ยูเรเนียม โดยใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านแร่ยูเรเนียมในถังพลาสติกแล้วผ่านเข้าไปในขวดทอทองแดงซึ่งแช่อยู่ในไนโตรเจนเหลว โดยดูดอากาศที่อัตราการไหล 50 ลิตรต่อนาที เป็นเวลานาน 10 นาที
5. หลังจากครบ 10 นาที ปิดปั๊มอากาศ ปิดวาล์วหัวท้ายของท่อทองแดง ยกขวดทอทองแดงออกจากไนโตรเจนเหลวนำไปใส่ไว้ในกล่องโฟมอีกอันหนึ่งเพื่อไม่ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
6. ต่อสายยางเชื่อมวาล์วที่ติดกับ Flask กับกล่องถ่านกัมมันต์
7. แกะเทปกาวที่ติดอยู่ด้านบนของกล่องพลาสติกที่ใส่ถ่านกัมมันต์ออกเพื่อให้อากาศผ่านได้จากนั้นเปิดวาล์วให้อากาศค่อยๆผ่านกล่องพลาสติกที่ใส่ถ่านกัมมันต์จากกล่องด้านล่างขึ้นไปกล่องด้านบน
8. เมื่ออากาศผ่านออกหมด แยกกล่องพลาสติกที่ใส่ถ่านกัมมันต์บนและล่างออกจากกัน ใช้เทปกาวปิดรูต่างๆให้สนิททิ้งไว้ให้สมดุลย์ทางกัมมันตรังสีประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วนำกล่องพลาสติกที่ใส่ถ่านกัมมันต์ทั้งกล่องบนและล่างมาวัดรังสีแกมมาด้วยระบบวัดรังสีที่เตรียมไว้ บันทึกค่าจำนวนนับทางรังสี ของพีค บิสมีท-214 ที่พลังงาน 609 keV
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-8 ซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองที่ได้และหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์

ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 5.6



ข.รูปถ่าย

รูปที่ 4.5 ลักษณะการต่อภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ 2 ชุดสำหรับการหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอน

4.2.4 การทดลองตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น

เทคนิคหาปริมาณก๊าซเรดอนในอากาศที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย วิธีเก็บตัวอย่างอากาศโดยการหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวให้ก๊าซเรดอนเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแล้วดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาจากนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 คือ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV

เพื่อทดสอบเทคนิคที่พัฒนาขึ้นจึงได้ทดลองตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในบางห้องของตึกภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ที่มีที่ตั้งและลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน โดยมีขั้นตอนในทางปฏิบัติดังนี้

1. นำถ่านกัมมันต์ 100 กรัมที่อบแล้วมาบรรจุในกล่องพลาสติกที่เจาะรูบนและล่างปิดฝาและใช้เทปกาวปิดผนึกให้แน่นที่รอยต่อของฝา
2. ทำการดูดอากาศผ่านระบบเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจำนวน 500 ลิตร ซึ่งจะทำให้การสุ่มตัวอย่างที่ห้องต่างๆ ในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ห้อง 105 ห้องปฏิบัติการเคมี ห้อง 306 ห้องนิเวศรอน ห้องใต้ดิน และห้อง 203
3. เมื่อครบ 500 ลิตร ยกขวดหลอดทองแดงออกจากไนโตรเจนเหลวแล้วใส่ไว้ในกล่องโฟม ปล่อยให้อากาศผ่านถ่านกัมมันต์อย่างช้าๆ เมื่ออากาศหมดปิดผนึกกล่องใส่ถ่านกัมมันต์ให้สนิทแล้วทิ้งไว้ให้ถึงจุดสมดุลทางกัมมันตรังสี
4. นำกล่องพลาสติกที่บรรจุถ่านกัมมันต์ในข้อ 3 มาวัดรังสีแกมมาของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV เป็นเวลา 5000 วินาที
5. คำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศจากประสิทธิภาพในการดูดซับและความเข้มรังสีของถ่านกัมมันต์มาตรฐาน

ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.2 นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดปริมาณก๊าซเรดอนในห้อง 306 ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน รวมทั้งการเปิดและปิดประตูหน้าต่าง เพื่อตรวจสอบปริมาณก๊าซเรดอน ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 , 5.9 และกราฟในรูปที่ 5.3 และ 5.4

บทที่ 5 ผลการวิจัย

5.1 การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียม

การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียม-226 ที่จะนำไปใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์มาตรฐานสำหรับการหาปริมาณก๊าซเรดอน-222 ที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์ได้ใช้ 2 วิธี ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

5.1.1 การหาความแรงรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้หัววัดรังสี Semiconductor แบบ HP(Ge)

การหาความแรงรังสีวิธีนี้เป็นการวัดรังสีแกมมาของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของเรเดียมที่หยดไว้ 0.2003 กรัม ที่ทำให้สมดุลแล้วจึงนำมาวัดรังสี ความแรงรังสีที่จุดสมดุลของ บิสมัท-214 จะเท่ากับความแรงรังสีของเรเดียมและก๊าซเรดอน หลังจากหยดสารละลายเรเดียมแล้วทิ้งไว้ 2 และ 4 สัปดาห์นำมาวัดรังสี ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV ของบิสมัท-214 จากสารละลายเรเดียม 0.2003 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์

SAMPLE	จำนวนนับ*		CPS	NET COUNT (per second)
	INTEGRAL	AREA		
Ra 0.964 μ Ci / 1000s	145207	117079 \pm 416	117.079 \pm 0.4160	117.0722 \pm 0.4160
สารละลายเรเดียม / 30000s	1397	645 \pm 46	0.0215 \pm 0.0015	0.0147 \pm 0.0020
Blank /30000s	884	204 \pm 40	0.0068 \pm 0.0013	

* เฉลี่ยจากการนับ 2 ครั้ง

หมายเหตุ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากสถิติในการนับรังสีเท่านั้นไม่ได้รวมความไม่แน่นอนของความแรงของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

ได้ %Efficiency = 0.3282 \pm 0.0012%

และ ความแรงรังสีของเรเดียม = 0.1210 \pm 0.0004 nCi

ตารางที่ 5.2 ความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV ของบิสมัท-214 จากสารละลายเรเดียม
0.2003 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์

SAMPLE	จำนวนนับ*		CPS	Net Count (per second)
	INTEGRAL	AREA		
Ra 0.964 μ Ci / 1000s	149482	120786 \pm 422	120.7860 \pm 0.4220	120.7790 \pm 0.4420
สารละลายเรเดียม / 30000s	1385	665 \pm 46	0.0221 \pm 0.0015	0.0151 \pm 0.0020
Blank /30000s	920	208 \pm 40	0.0070 \pm 0.0013	

* เฉลี่ยจากการนับ 2 ครั้ง

ได้ %Efficiency = 0.3386 \pm 0.0012 %

และความเข้มรังสีของเรเดียม = 0.1205 \pm 0.0004 nCi

5.1.2 การหาความเข้มรังสีของสารละลายเรเดียมโดยใช้ห้วงวัดรังสีอัลฟาแบบ เซอร์เฟสแบริเออร์

การหาความเข้มรังสีของสารละลายเรเดียม 0.2003 กรัม โดยการวัดรังสีอัลฟา
ของเรเดียมที่ออกมาเทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทอเรียม-230 ที่มีความเข้มรังสี 5
nCi และ 8 ± 1.6 nCi ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความเข้มรังสีอัลฟาของสารละลายเรเดียม 0.2003 กรัม

SAMPLE	INTEGRAL	AREA	CPS
สารละลายเรเดียม / 2400 s	2100	1008 \pm 57	0.4200 \pm 0.0240
Th-230 8 ± 1.6 nCi / 1000 s	28571	27893 \pm 171	27.8930 \pm 0.1710
Th-230 5 nCi / 1000 s	17560	16905 \pm 135	16.9050 \pm 0.1350

ได้ %Efficiency = 9.4233 \pm 1.8855 %

และความแรงรังสีของเรเดียมเมื่อเทียบกับ $\text{Th-230 } 8 \pm 1.6 \text{ nCi} = 0.1205 \pm 0.0251 \text{ nCi}$
เมื่อนำทอเรียม-230 ความแรงรังสี 5 nCi มาลองทดสอบเพื่อเป็นการยืนยัน พบว่าได้
ความแรงรังสี $4.8485 \pm 0.9710 \text{ nCi}$ ซึ่งคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อย

ผลการวัดความแรงรังสีของสารละลายเรเดียม 0.2003 กรัม ได้ผลเท่ากันคือ 0.12 nCi
อย่างไรก็ตามได้เลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัดรังสีอัลฟา เนื่องจากทราบ
ความแปรปรวนของความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานด้วย

5.2 การทำถ่านกัมมันต์มาตรฐาน

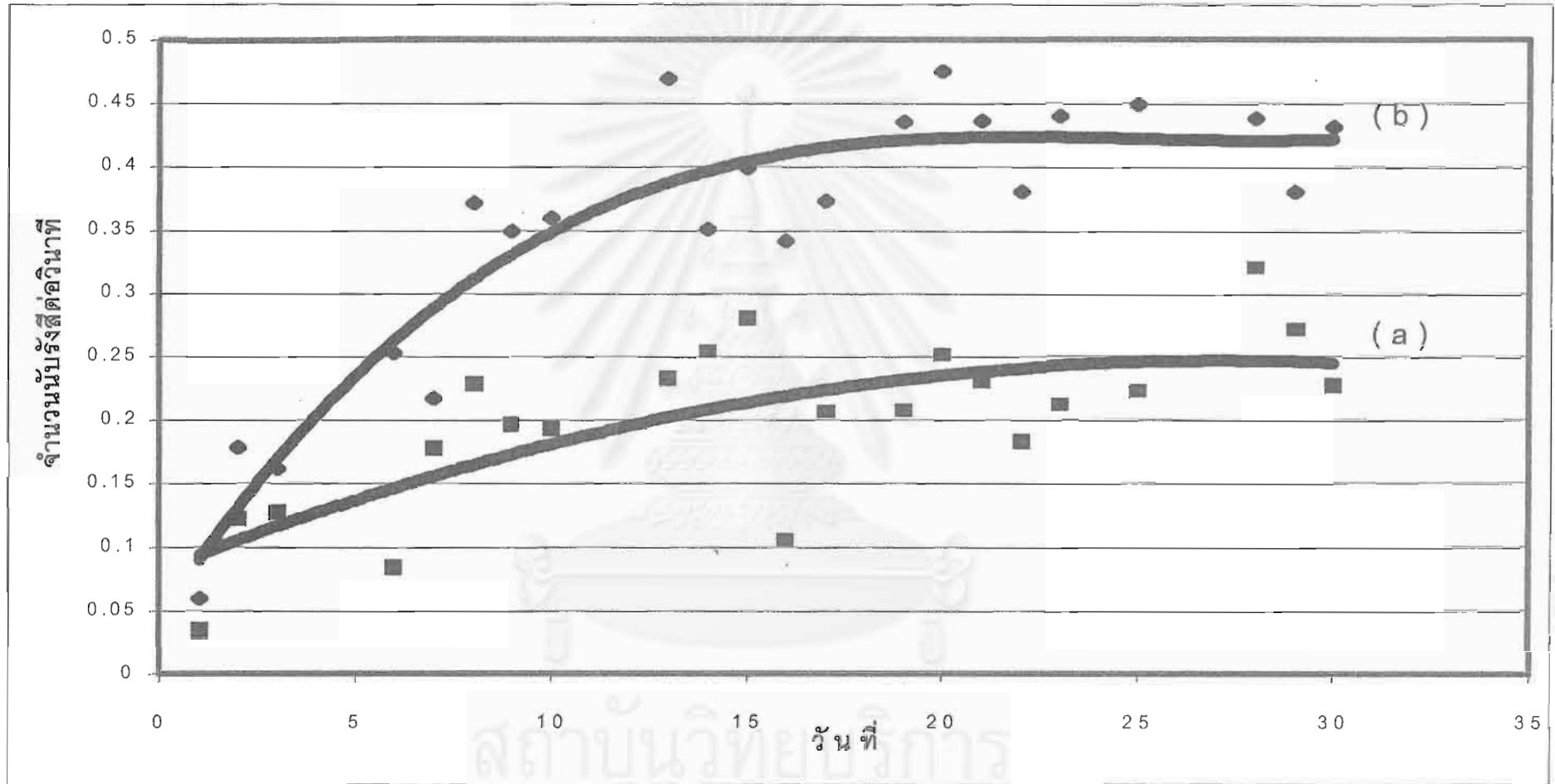
จากการวัดรังสีแกมมาของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609 keV ของถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่มี
เรเดียม $0.18 \pm 0.0377 \text{ nCi}$ และตัวอย่างทดสอบที่มีเรเดียม $0.12 \pm 0.0251 \text{ nCi}$ เก็บทุกวันเป็น
เวลา 1 เดือน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.4 และ 5.5 กราฟในรูปที่ 5.1 ซึ่งพบว่าระยะเวลา
ประมาณ 20 วัน จึงเกิดสภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสี เมื่อนำผลการวัดรังสีของทั้งสองตัวอย่างมา
ทดลองคำนวณความแรงรังสี พบว่าเมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของการนับรังสีต่อเวลา ตั้งแต่วันที่ 21 ถึง 30
จะได้ความแรงรังสีของตัวอย่างทดสอบ ($0.12 \pm 0.0251 \text{ nCi}$) มีความแรงรังสี 0.1016 ± 0.0310
nCi ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ทราบดีพอสมควร เมื่อพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 5.4 ผลการนับรังสีของถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่มีแอกทีวิตี 0.18 ± 0.0377 nCi ที่ระยะเวลา
ต่างๆ กัน

วันที่	จำนวนนับรังสี ต่อ 5000 วินาที		จำนวนนับรังสีสุทธิ	จำนวนนับรังสีต่อวินาที
	BLANK	0.18 ± 0.0377 nCi		
1	25360 ± 159	25654 ± 163	294 ± 228	0.0588 ± 0.0456
2	25354 ± 159	26246 ± 162	892 ± 227	0.1784 ± 0.0454
3	25425 ± 159	26230 ± 162	805 ± 227	0.1610 ± 0.0454
6	25688 ± 160	26951 ± 164	1263 ± 229	0.2526 ± 0.0458
7	25588 ± 160	26675 ± 163	1087 ± 228	0.2174 ± 0.0456
8	25115 ± 158	26968 ± 164	1853 ± 228	0.3706 ± 0.0456
9	25169 ± 159	26913 ± 164	1744 ± 228	0.3488 ± 0.0456
10	24966 ± 158	26759 ± 164	1793 ± 228	0.3586 ± 0.0456
13	24764 ± 157	27109 ± 165	2345 ± 228	0.4690 ± 0.0456
14	25133 ± 159	26884 ± 164	1751 ± 228	0.3502 ± 0.0456
15	25228 ± 159	27220 ± 165	1992 ± 229	0.3984 ± 0.0458
16	25725 ± 160	27430 ± 166	1705 ± 231	0.3410 ± 0.0462
17	25330 ± 159	27193 ± 165	1863 ± 229	0.3726 ± 0.0458
19	25509 ± 160	27683 ± 166	2174 ± 231	0.4348 ± 0.0462
20	25388 ± 159	27760 ± 167	2372 ± 231	0.4744 ± 0.0462
21	25647 ± 160	27825 ± 167	2178 ± 231	0.4356 ± 0.0462
22	25722 ± 160	27622 ± 166	1900 ± 231	0.3800 ± 0.0462
23	25451 ± 160	27645 ± 166	2194 ± 230	0.4388 ± 0.0460
25	25307 ± 159	27548 ± 166	2241 ± 230	0.4482 ± 0.0460
28	25301 ± 159	27487 ± 166	2186 ± 230	0.4372 ± 0.0460
29	25294 ± 159	27192 ± 165	1898 ± 230	0.3796 ± 0.0460
30	25631 ± 160	27786 ± 167	2155 ± 231	0.4310 ± 0.0462

ตารางที่ 5.5 ผลการนับรังสีของถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่มีเรเดียม 0.12 ± 0.0251 nCi ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน

วันที่	จำนวนนับรังสี ต่อ 5000 วินาที		จำนวนนับรังสีสุทธิ	จำนวนนับรังสีต่อวินาที
	BLANK	0.12 ± 0.0251 nCi		
1	25360 ± 159	25533 ± 160	173 ± 226	0.0346 ± 0.0452
2	25354 ± 159	25967 ± 161	613 ± 226	0.1226 ± 0.0452
3	25425 ± 159	26064 ± 161	639 ± 226	0.1278 ± 0.0452
6	25688 ± 160	26112 ± 162	424 ± 228	0.0848 ± 0.0456
7	25588 ± 160	26479 ± 163	891 ± 228	0.1782 ± 0.0456
8	25115 ± 158	26259 ± 162	1144 ± 226	0.2288 ± 0.0452
9	25169 ± 159	26153 ± 162	984 ± 227	0.1968 ± 0.0454
10	24966 ± 158	25935 ± 161	969 ± 226	0.1938 ± 0.0452
13	24764 ± 157	25930 ± 161	1166 ± 225	0.2332 ± 0.0450
14	25133 ± 159	26402 ± 162	1269 ± 227	0.2538 ± 0.0454
15	25228 ± 159	26630 ± 163	1402 ± 228	0.2804 ± 0.0456
16	25725 ± 160	26248 ± 162	523 ± 228	0.1046 ± 0.0456
17	25330 ± 159	26359 ± 162	1029 ± 227	0.2058 ± 0.0454
19	25509 ± 160	26542 ± 163	1033 ± 228	0.2066 ± 0.0456
20	25388 ± 159	26642 ± 163	1254 ± 228	0.2508 ± 0.0456
21	25647 ± 160	26805 ± 164	1158 ± 230	0.2316 ± 0.0460
22	25722 ± 160	26640 ± 163	918 ± 229	0.1836 ± 0.0458
23	25451 ± 160	26508 ± 163	1057 ± 228	0.2114 ± 0.0456
25	25307 ± 159	26416 ± 163	1109 ± 227	0.2218 ± 0.0454
28	25301 ± 159	26899 ± 164	1598 ± 228	0.3196 ± 0.0456
29	25294 ± 159	26645 ± 163	1351 ± 228	0.2702 ± 0.0456
30	25631 ± 160	26765 ± 164	1134 ± 229	0.2268 ± 0.0458



รูปที่ 5.1 ความเข้มรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จากบิสมัท-214 ที่วัดได้จากถ่านกัมมันต์ที่มีเรเดียม (a) 0.12 nCi และ (b) 0.18 nCi

5.3 การหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนของถ่านกัมมันต์

การหาค่าประสิทธิภาพของการดูดซับก๊าซเรดอนโดยการดูดก๊าซเรดอนจากแร่ยูเรเนียมผ่านภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ 2 ชุดที่ต่อกัน เมื่อนำไปวัดรังสีแกมมาแล้วสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพในการดูดซับ ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการนับรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV ของบิสมัท-214 จากถ่านกัมมันต์ 2 ชุด ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอน

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
จำนวนนับรังสีต่อ 5000 วินาที			
Blank	25647 ± 160	25269 ± 159	26268 ± 162
ถ่านกัมมันต์ชุดที่ 1 (a)	57410 ± 240	80238 ± 283	68537 ± 262
ถ่านกัมมันต์ชุดที่ 2 (b)	31527 ± 178	32420 ± 180	31523 ± 178
จำนวนนับรังสีสุทธิ			
a – Blank	31763 ± 288	54969 ± 325	42269 ± 308
b – Blank	5880 ± 239	7151 ± 240	5255 ± 240
จำนวนนับรังสีต่อวินาที			
a	6.3526 ± 0.058	10.9938 ± 0.065	8.4538 ± 0.062
b	1.1760 ± 0.048	1.4302 ± 0.048	1.051 ± 0.048
%ε	81.50 ± 1.40	87.00 ± 0.89	87.57 ± 1.12

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเรดอนของถ่านกัมมันต์คือ $85.36 \pm 0.67\%$

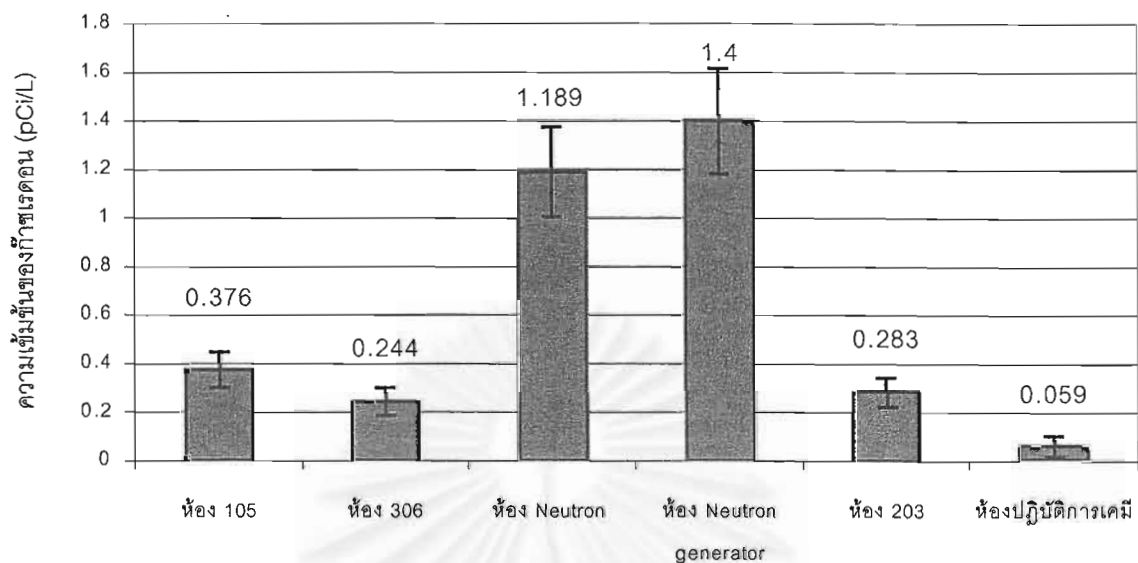
5.4 การทดลองตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น

ในการทดลองตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารนั้นจะทำการทดลองตรวจวัดภายในอาคารของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลแสดงดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ห้องต่างๆ

ห้อง	ลักษณะของห้อง	จำนวนนับรังสีต่อ 5000วินาที		จำนวนนับ รังสีสุทธิ	จำนวนนับ รังสีต่อวินาที	จำนวนนับรังสีต่อ วินาที (แก้ค่า ที่ $85.36 \pm 0.67\%$)	ความเข้มข้น ของก๊าซเรดอน (pCi/L)
		BLANK	SAMPLE				
ห้อง 105	อยู่ชั้น 1ผนัง 2 ด้านเป็นคอนกรีตที่เหลือเป็นคอนกรีต และกระจกอย่างละครึ่ง มีประตูเข้าออกประตูเดียว	25330 ± 159	27210 ± 165	1880 ± 229	0.3760 ± 0.046	0.4405 ± 0.054	0.376 ± 0.073
ห้อง 306	อยู่ชั้น 3 ผนัง 3 ด้านเป็นคอนกรีตที่เหลือเป็นคอนกรีต และกระจกอย่างละครึ่ง มีประตูเข้าออก 2 ประตู	25330 ± 159	26549 ± 163	1219 ± 227	0.2438 ± 0.045	0.2856 ± 0.053	0.244 ± 0.059
ห้อง Neutron	อยู่ชั้น 1 ผนังเป็นคอนกรีตทั้งหมดประตูปิดมิดชิด การระบายของอากาศไม่ดี	25307 ± 159	31247 ± 177	5940 ± 238	1.1880 ± 0.048	1.3917 ± 0.056	1.189 ± 0.187
ห้อง Neutron Generator	อยู่ใต้ดินผนังเป็นคอนกรีตทั้ง 4 ด้านพื้นเป็นคอนกรีต มีทางเข้าเฉพาะด้านบน	25307 ± 159	32311 ± 180	7004 ± 240	1.4008 ± 0.048	1.6410 ± 0.056	1.400 ± 0.218
ห้อง 203	อยู่ชั้น 2 ผนัง 3 ด้านเป็นคอนกรีตที่เหลือเป็นคอนกรีต และกระจกอย่างละครึ่ง มีประตูเข้าออกประตูเดียว	25301 ± 159	26717 ± 163	1416 ± 228	0.2832 ± 0.056	0.3318 ± 0.053	0.283 ± 0.063
ห้องปฏิบัติ การเคมี	ผนังมีด้านเดียวที่เป็นคอนกรีตอีกด้านหนึ่งเป็น คอนกรีตและกระจกอย่างละครึ่ง เปิดประตูหน้าต่าง ระบายอากาศตลอดเวลา	25676 ± 160	25970 ± 161	294 ± 227	0.0588 ± 0.045	0.0689 ± 0.053	$0.059 \pm 0.046^*$

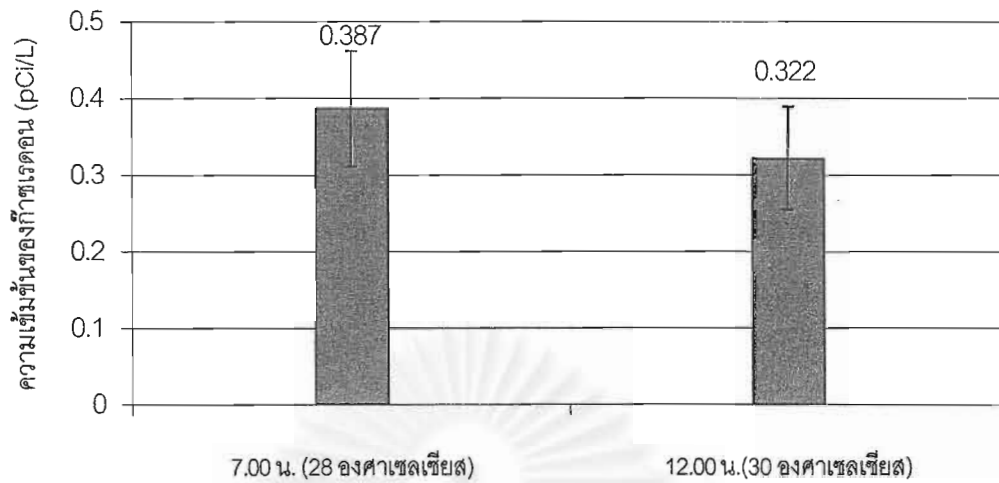
* ค่าที่ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์



ภาพที่ 5.2 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ห้องต่างๆ

ตารางที่ 5.8 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

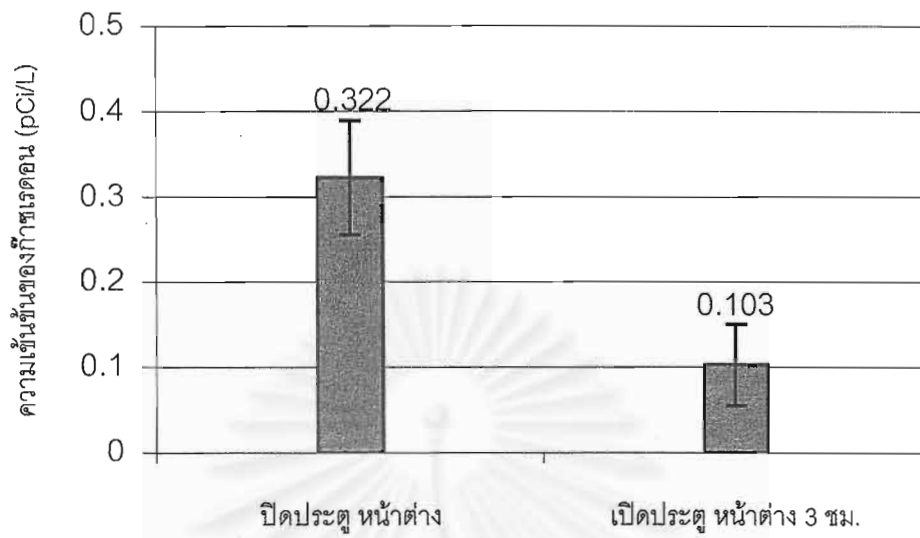
เวลา (อุณหภูมิ °C)	จำนวนนับ รังสีสุทธิต่อ 5000 วินาที	จำนวนนับรังสี สุทธิต่อวินาที	จำนวนนับรังสีสุทธิต่อ วินาที(แก้ค่า ϵ ที่ $85.36 \pm 0.67 \%$)	ความเข้มข้น ของก๊าซเรดอน (pCi/L)
7.00 น. (28°C)	1935 ± 232	0.387 ± 0.046	0.4533 ± 0.054	0.387 ± 0.075
12.00 น. (30°C)	1611 ± 231	0.322 ± 0.046	0.3774 ± 0.054	0.322 ± 0.067



รูปที่ 5.3 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 ที่อุณหภูมิต่างกัน

ตารางที่ 5.9 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 เมื่อเปิดและปิดประตู/หน้าต่าง

	จำนวนนับ รังสีสุทธิต่อ 5000 วินาที	จำนวนนับรังสี สุทธิต่อวินาที	จำนวนนับรังสีสุทธิต่อ วินาที (แก้ค่า ϵ ที่ $85.36 \pm 0.67\%$)	ความเข้มข้น ของก๊าซเรดอน (pCi/L)
ปิดประตู หน้าต่าง	1611 ± 231	0.322 ± 0.046	0.3774 ± 0.054	0.322 ± 0.067
เปิดประตู หน้าต่าง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	510 ± 226	0.102 ± 0.045	0.12 ± 0.053	0.103 ± 0.048



รูปที่ 5.4 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้อง 306 เมื่อเปิดและปิดประตู/หน้าต่าง

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการพัฒนาวิธีหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอน-222 ในอากาศ ในการวิจัยนี้มีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยดูดอากาศเข้าไปยังขวดทอทองแดงที่แช่อยู่ในไนโตรเจนเหลว เพื่อเปลี่ยนสถานะก๊าซเรดอนให้เป็นของเหลวพร้อมกับก๊าซออกซิเจนคาร์บอนไดออกไซด์ อาร์กอน ส่วนไนโตรเจนซึ่งมีอยู่ในอากาศถึงร้อยละ 78 ยังคงเป็นก๊าซจึงไหลผ่านออกไป เมื่อของเหลวที่ได้ถูกเปลี่ยนสถานะกลับเป็นก๊าซโดยการนำภาชนะเก็บของเหลวออกมาจากไนโตรเจนเหลว จะได้ก๊าซที่มีเรดอนในอัตราส่วนที่สูงขึ้นมาก

ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

ขั้นตอนที่ 2 การดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์ โดยการนำก๊าซที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ต่อท่อไปให้ไหลผ่านถ่านกัมมันต์ 100 กรัม ที่บรรจุอยู่ในภาชนะพลาสติกอย่างช้าๆ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดจับก๊าซเรดอนไว้ได้ประมาณร้อยละ 85

ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 100 นาที

ขั้นตอนที่ 3 การวัดรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จากบิสมัท-214 ภายหลังจากก๊าซเรดอนที่ถูกจับไว้ในถ่านกัมมันต์ถูกเก็บไว้นานประมาณอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้ถึงสภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสี จะถูกนำไปวัดรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จากบิสมัท-214 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาประสิทธิภาพสูงคือ NaI(Tl) ขนาด 5" × 5" ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 320 นาที

รวมเวลาทั้งสิ้นในการหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศโดยใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นประมาณ 430 นาที โดยขีดจำกัดในการวิเคราะห์ประมาณ 0.1 pCi/L สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศ 500 ลิตร และเวลานับรังสี 5000 วินาที

จากจำนวนนับรังสีที่ได้สามารถคำนวณความเข้มข้นของเรดอน-222 ในตัวอย่างอากาศที่ถูกดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์ โดยเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นของเรดอน-

222 และจากปริมาตรอากาศ 500 ลิตรที่ดูดผ่านชุดท่อทองแดง รวมทั้งประสิทธิภาพในการดูดซับ ก๊าซเรดอนของถ่านกัมมันต์ ทำให้ทราบความแรงรังสีของก๊าซเรดอน-222 ภายในห้องต่างๆ ในตึก ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี โดยเลือกห้องซึ่งมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน รวมทั้งทดลอง วัดที่เวลาต่างกัน เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าก๊าซเรดอน-222 มีค่าอยู่ ระหว่าง 0.059 – 1.4 pCi/L เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิงในตารางที่ 6.1 จะเห็น ว่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ส่วนค่าที่มีค่าต่ำได้จากห้องที่อยู่ชั้นบนของตึกและมีสภาพการระบาย อากาศที่ดี ผนังห้องบางส่วนเป็นกระจก ส่วนค่าที่สูงเกิน 1 pCi/L ห้องหนึ่งเป็นห้องชั้นล่างที่มีผนัง คอนกรีตทึบทุกด้านไม่มีทางระบายอากาศ นอกจากทางประตูเข้า/ออก อีกห้องหนึ่งเป็นห้องใต้ดิน มีทางเข้า/ออกทางบันไดด้านบนเท่านั้น

จากการตรวจวัดก๊าซเรดอน-222 ในห้องเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าได้ค่าความเข้มข้นน้อยลง และเมื่อเปิดประตู/หน้าต่าง ห้องทั้งไว้ก็ทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่วัดได้น้อย ลงไปมาก อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้อย่างชัดเจน เพียงแต่เป็นการทดสอบวิธี ที่พัฒนาขึ้น

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการวัด ปริมาณก๊าซเรดอน-222 ในอากาศในระดับปกติได้สะดวก รวดเร็วและแม่นยำทั้งยังสามารถที่จะ พัฒนาให้มีความไวสูงขึ้นและมีความถูกต้องมากขึ้นต่อไป ซึ่งได้กล่าวไว้ในข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 6.1 ระดับความเข้มข้นของเรดอนเฉลี่ยภายในอาคารในประเทศต่างๆ^(5,16)

ประเทศ	จำนวนที่อยู่อาศัยที่ทดสอบ	วิธีที่ทดสอบ	ความเข้มข้นของเรดอน (pCi / L)
เยอรมัน	5970	Track etch	1.08
ฟินแลนด์	2154	Track etch	1.73
อังกฤษ	2000	Track etch	0.76
สวีเดน	602	Track etch	1.81
เนเธอร์แลนด์	215	Track etch	0.72
สวิตซ์เซอร์แลนด์	123	Track etch	1.62
สหรัฐอเมริกา	30,000	Track etch	1.76
ไต้หวัน	42	Track etch	0.27
แคนาดา	13,413	Grab Sampling*	0.45
ออสเตรเลีย	729	Grab Sampling*	0.40
นอร์เวย์	120	Grab Sampling*	1.3 – 2.0

หมายเหตุ Grab Sampling หมายถึง เป็นการเก็บอากาศที่ต้องการจะทราบความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาทำการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนด้วยวิธีแทรก-เอตซ์ วิธีใช้ภาชนะเคลือบสารเรืองรังสีหรือวิธีการใช้ถ่านกัมมันต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 ระดับความเข้มข้นของเรดอนภายในอาคารที่มีความเข้มข้นเรดอนสูงในประเทศ
ต่างๆ⁽¹⁶⁾

ประเทศ	จำนวนที่อยู่อาศัยที่ ทดสอบ	วิธีที่ทดสอบ	ความเข้มข้นของเรดอน (pCi / L)
สวีตซ์เซอร์แลนด์			
ทางตะวันออกเฉียง ใต้ของเทือกเขาแอลป์	32	Track etch	6.9
ทางตอนกลางของ เทือกเขาแอลป์	88	Track etch	4.7
อังกฤษ			
Cornwall	329	Track etch	10.5
Devon	150	Track etch	5.67
Central Uplands	150	Track etch	4.86

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ถ้าต้องการลด Detection Limit ควรจะปรับปรุงเรื่องอุปกรณ์กำบังรังสี เนื่องจาก
อุปกรณ์กำบังรังสีที่ใช้อยู่ไม่ดีพอ แบรคกราวนิจสูง

6.2.2 ถ้าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนต่ำๆ สามารถใช้เวลาในการเก็บอากาศเพิ่มขึ้นจะ
ทำให้สามารถลด Detection Limit ลงไปได้อีก

6.2.3 ควรออกแบบภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ใหม่โดยให้ท่อทางเข้าและทางออกของ
ก๊าซออกเยื้องกัน ซึ่งน่าจะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเรดอนดีกว่า

6.2.4 ใช้ Dry CO₂ ผสม Acetone ทำหน้าที่หล่อเย็นให้กับระบบแทนไนโตรเจนเหลว เนื่องจาก Dry CO₂ ผสม Acetone มีอุณหภูมิ -85 องศาเซลเซียส จะทำให้อองศ์ประกอบอื่นๆ ของอากาศยังเป็นก๊าซอยู่ไหลออกไปได้ ยกเว้นเรดอนซึ่งเป็นของเหลว ทำให้ได้ก๊าซเรดอนในอัตราส่วนที่สูงขึ้น

6.2.5 ใช้ถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนซึ่งมีจำหน่ายแทนการทำถ่านกัมมันต์มาตรฐานเองจะทำให้ได้ค่าที่แน่นอนมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. U.S. Department of Energy. Office of Environmental Management. Radiation in the Environment. DOE/EM-0065P. August 1994.
2. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effect and Risks of Ionizing Radiation. United Nations New York, 1982.
3. Kobal, I., Skofljanec, M., Kristan, J. An alpha-scintillation method for measuring low radon concentration in air. IAEA-SM-217/44 : 173-180.
4. W.M.Arafa, H. Alneimi, L. Al-Houty and Abou-Leila. Some Improvement of Charcoal Measurement Techniques Used for Indoor Radon Measurements in Qatar. Radiat. Phys. Chem. Vol.44.No.12 (19894) : 237-240.
5. Ching-Jiang Chen, Chi-Chang Liu and Yu-Ming Lin. Surveillance of Indoor and Outdoor Radon Concentrations in Taiwan. Nucl. Sci. J. 31 (1994) : 117-128.
6. ฤทธิ์ มีสัตย์. การหาความเข้มข้นของเรดอน-222 ในน้ำโดยใช้เครื่องวัดลึควิดซินทิลเลชันชนิดวิเคราะห์รูปร่างพัลส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
7. T.E.Hodgson, E.Gadioli and E.Gadioli Erba. Introductory Nuclear Physic. Clarendon Oxford, 1997.
8. Kenneth S., Krane. Introductory Nuclear Physic. John Willey&Son Publisher, 1980.
9. Larmarsh, John R. Introduction to Nuclear Engineering. 2nd Edition. Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company, 1983.

10. จินตนา รัตนชัยเจริญ. การวัดเรดอนจากแรมอนาไซต์ ตะกั่วดินบุก ลิกไนต์และถ่านลิกไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
11. Bentor, Yinon. Chemical Element.com-Radon. Mar. 1,2000.
<http://www.chemicalelements.com/elements/rn.html>.
12. Mark Winter. <http://www.webelements.com/webelements/elements/text/key/Rn.html>.
19 August 1999.
13. Lawerence H. Keith and Marry M. Walker. Handbook of air toxics: sampling, analysis, and properties. USA. : CRC Press, Inc., 1995.
14. Henry F. Lucas. Improved low-level alpha-scintillation counter for radon. The review of scientific instruments. Vol.28.No.9. (1957) : 680-682.
15. John Mc Mory, Robert C. Ray. Chemistry. New Jersey : Prentice – Hall International, Inc., 1995.
16. Reto Cramer and Werner Burkart. The Radon Problem. Radiat. Phys. Chem.
Vol.34.No.2 (1989) : 251-259.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วิทิต ผึ้งกัน เกิดเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2518 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2539 เข้าศึกษาระดับปริญญาโท สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย