

การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรือนด้วยพลาสติก CR-39



นางสาวบรรทม ไสลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF A CALIBRATION PROCESS FOR RADON GAS MEASUREMENT
WITH CR-39 PLASTIC



Miss Banthom Sola

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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอน
ด้วยพลาสติก CR-39

โดย

นางสาวบรรทม ไสลา

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

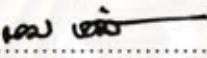
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

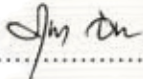
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

นายไพฑูรย์ วรรณพงษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(นายไพฑูรย์ วรรณพงษ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์เดชา ทองอร่าม)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.จันทนี แจ่มแสงทอง)

บรรทม โสลา : การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39. (IMPROVEMENT OF A CALIBRATION PROCESS FOR RADON GAS MEASUREMENT WITH CR-39 PLASTIC) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม นายไพฑูรย์ วรรณพงษ์, 81 หน้า.

การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 พบว่า ควรเก็บพลาสติก CR-39 ไว้ในช่องแช่แข็งอุณหภูมิ -20°C เสมอ สำหรับตลับวัดชุดควบคุมควรเก็บในโถดูดความชื้นทำสุญญากาศ เงื่อนไขการขนส่งคือควรบรรจุตลับวัดในถุงพลาสติกทำสุญญากาศและบรรจุในถุงซิปล็อคมึนียมอีกหนึ่งชั้น

ถังปรับเทียบที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่ทำจากเหล็กไร้สนิมความหนา 4 มิลลิเมตร ไร้รอยต่อ สามารถช่วยป้องกันการรั่วซึม และพื้นผิวไม่สะสมประจุไฟฟ้า ถังมีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง 40 เซนติเมตร ทำให้มีปริมาตรประมาณ 50 ลิตร ซึ่งพอเหมาะทำให้การกระจายตัวของก๊าซเรดอนสม่ำเสมอ ถังมีฝาซึ่งยึดแน่นกับถังด้วยตัวล็อก 8 ตัว พร้อมด้วยวงยางกันรั่ววางอยู่ระหว่างฝาและขอบถัง บนฝามีข้อต่อ Swagelok ตัวเมียติดตั้งอยู่ 4 ตัว, 2 ตัวสำหรับการหมุนวนก๊าซเรดอนในถัง, อีก 2 ตัวสำหรับต่อเข้ากับเครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบไอออนไนเซชัน (ATMOS 12 dpx)

การกัดรอยพลาสติก CR-39 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (6.25 M NaOH) ที่อุณหภูมิ 98°C ควรใช้เวลาในการกัดรอย 1.5 ชั่วโมง จะได้รอยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วง 7-70 ไมครอน ซึ่งพอเหมาะสำหรับการอ่านรอยด้วยโปรแกรม Image J

การประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 กระทำโดย 2 วิธี วิธีแรกได้เปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่อง ATMOS 12 dpx พบว่าค่าเรดอนที่คำนวณได้จากการปรับเทียบและที่อ่านได้จากเครื่องวัดมีความแตกต่างกันร้อยละ 1 วิธีที่สองได้เปรียบเทียบการวัดกับ NIRS ประเทศญี่ปุ่น พบว่าค่าเรดอนที่คำนวณได้มีความแตกต่างจากค่าอ้างอิงของ NIRS ไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ภาควิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต.....*บรรทม โสลา*
 สาขาวิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*นเรศร์ จันทน์ขาว*
 ปีการศึกษา 2551.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....*ไพฑูรย์ วรรณพงษ์*

4970402021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : RADON GAS / SOLID-STATE NUCLEAR TRACK DETECTOR (SSNTD)
/COMPARISON / EXPOSURE CHAMBER / CALIBRATION

BANTHOM SOLA : IMPROVEMENT OF A CALIBRATION PROCESS FOR RADON
GAS MEASUREMENT WITH CR-39 PLASTIC. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
NARES CHANKOW; THESIS CO-ADVISOR : MR. PAITON WANABONGSE, 81 pp.

The calibration process for radon gas measurement with CR-39 plastic has been improved; the CR-39 plastics should be stored in a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ freezer; the control radon cups should be stored in an evacuated desiccator; the transport condition of radon cup is that it should be contained within an evacuated plastic bag and put inside another zip lock aluminum bag. A new radon exposure chamber was constructed; it is made of 4 mm thick stainless steel. This helps prevent any surface leakage and any accumulation of static charges. The pot has both the diameter and height of 40 cm, accommodating an inside volume of about 50 L. The not-so-big volume gives rise to the uniform distribution of radon gas. The pot and the lid are tightened together with 8 screw-driven clamps, with a rubber o-ring placed in between. Four female Swagelok connectors were installed on the lid; two connectors are for circulation of radon gas; the other two are for connecting with a radon monitoring instrument. Etching should be performed using a solution of sodium hydroxide (6.25 M NaOH) at $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, with the etching time of 1.5 hour. Under this condition diameters of the etched tracks would be around 7-70 microns, which are suitable for the analysis with Image J software. Evaluation for the improvement on radon calibration was based on two criteria. The first one was by comparison of the measuring results obtained by CR-39 plastics and by the radon monitoring instrument, ATMOS 12 dpx. It was found that the results differed only about one per cent. The second one was by the inter-comparison with NIRS of Japan. It was found that radon concentrations of TINT and the reference values of NIRS differed less than 20 %, which is acceptable.

Department :Nuclear Technology.....Student's Signature..... *Banthom Sola*

Field of Study :Nuclear Technology....Advisor's Signature..... *Nares Chankow*

Academic Year : ..2008.....Co-Advisor's Signature..... *Paiton Wanabongse*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษา นายไพฑูรย์ วรรณพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการทำวิจัย สนับสนุนและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นายเจน อินนุ้มพันธ์ ช่างเทคนิคอาวุธโส กลุ่มวิศวกรรมนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ช่วยสร้างถังวัดก๊าซเรดอนที่ออกแบบชิ้นใหม่ และนางสาววชิราภรณ์ ผิวล่อง นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้คำแนะนำในการใช้เครื่องวัดจำนวนแฟล่งก่ตอน

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับการทำงาน

สุดท้ายขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ เป็นอย่างสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎี.....	6
2.1 เรดอน (Radon-222).....	6
2.2 การสลายตัวแบบอนุกรม (Decay series).....	7
2.3 วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอน.....	15
2.4 เทคนิคการตรวจวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39.....	17
2.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	19

บทที่	หน้า
3 การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39.....	20
3.1 ข้อมูลพื้นฐานกระบวนการเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39.....	20
3.1.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39.....	20
3.1.2 ตู้วัดก๊าซเรดอนแบบเดิมที่ใช้ในการเปรียบเทียบ.....	21
3.2 การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วย พลาสติกCR-39.....	22
3.2.1 การเก็บรักษา.....	22
3.2.2 ขนส่งพลาสติก CR-39	23
3.2.3 การเปรียบเทียบโดยใช้ถังเปรียบเทียบก๊าซเรดอน.....	24
3.2.4 การกักรอยพลาสติก CR-39.....	32
3.2.5 การอ่านรอย CR-39.....	32
3.3 ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วย พลาสติก CR-39.....	37
3.2.1 เปรียบเทียบผลการวัดโดยใช้ระบบการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับ เครื่องวัด Pulse-counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx.....	37
3.2.2 เปรียบเทียบผลการวัดโดยใช้ระบบการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับ National Institute of Radiological Science (NIRS) ประเทศญี่ปุ่น....	37
4. วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย.....	38
4.1 การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วย พลาสติก CR-39.....	38
4.1.1 การเก็บรักษา.....	38
4.1.2 การขนส่งพลาสติก CR-39.....	41
4.1.3 การเปรียบเทียบโดยใช้ถังวัดเรดอน.....	42
4.1.4 การกักรอยพลาสติก CR-39.....	48
4.1.5 การอ่านรอย.....	49

บทที่	หน้า
4.2 ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วย พลาสติกCR-39.....	51
4.2.1 เปรียบเทียบผลการวัดโดยใช้ระบบการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับ เครื่องวัด Pulse-counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx.	51
4.2.2 เปรียบเทียบการวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนโดยใช้ระบบ การเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับ National Institute of Radiological Science (NIRS) ประเทศญี่ปุ่น.....	53
5. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.1.1 การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วย พลาสติก CR-39.....	55
5.1.2 การประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัด ก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39.....	57
5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย.....	57
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	68
ภาคผนวก ง.....	75
ภาคผนวก จ.....	78
ภาคผนวก ฉ.....	79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของรอยแอลฟาจากเรดอนบนแผ่นพลาสติก CR-39 ในการเก็บด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 4 เดือน.....	39
ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นของรอยแอลฟาจากเรดอนบนแผ่นพลาสติก CR-39 ในการเก็บในโถดูดความชื้นแบบต่าง ๆ	40
ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นของรอยแอลฟาจากเรดอนบนพลาสติก CR-39 จากการเก็บรักษาด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ.....	42
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบการวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน สำหรับตู้วัดก๊าซเรดอน แบบเดิมและแบบใหม่.....	46
ตารางที่ 4.5 การหาเวลาที่เหมาะสมในการกัตรอยของ CR-39 เพื่อให้เกิดรอยแอลฟา จากเรดอนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วง 7~70 ไมครอน	48
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) และค่าคลาดเคลื่อนการนับรอย (E) ของการอ่านด้วยเครื่อง Radosys กับ โปรแกรม ImageJ และนับด้วยตา.....	50
ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นรอยจากการวัดเรดอนในอากาศด้วยพลาสติก CR-39.....	52
ตารางที่ 4.8 สรุปผลการเปรียบเทียบการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 กับ ATMOS 12 dpx.....	52
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 โดยใช้กระบวนการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงใหม่ของ สทน. กับ NIRS.....	54

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238.....7
ภาพที่ 2.2	กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบเซคิวลาร์ (Secular equilibrium).....9
ภาพที่ 2.3	กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบทรานเซียนท์ (Transient equilibrium).....10
ภาพที่ 2.4	กราฟแสดงกรณีไม่เกิดสมดุลกัมมันตรังสี (No equilibrium).....11
ภาพที่ 2.5	แผนภาพแสดงลักษณะการเกิดรอยบนพลาสติก CR-39.....17
ภาพที่ 2.6	ลักษณะรอยอนุภาคแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39.....18
ภาพที่ 2.7	ลักษณะของพลาสติก CR-39 และการบรรจุลงตลับวัด.....18
ภาพที่ 3.1	เครื่องนับวัดรอยอัตโนมัติของบริษัท RADOSYS21
ภาพที่ 3.2	ลักษณะตู้ปรับเทียบก๊าซเรดอนแบบเดิมที่ใช้ในการปรับเทียบ.....22
ภาพที่ 3.3	การเก็บรักษาแผ่นพลาสติก CR-39 หลังจากรับเรดอน.....23
ภาพที่ 3.4	การติดตั้งที่แขวนตลับวัดเหมือนการแขวนในสถานที่วัดจริง25
ภาพที่ 3.5	ลักษณะถังวัดก๊าซเรดอนที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่.....25
ภาพที่ 3.6	Flow-through radon source สารมาตรฐานเรดอนที่ใช้ในการปรับเทียบ.....26
ภาพที่ 3.7	สเปคตรัมรังสีแอลฟาจากเรดอนวัดด้วยเครื่อง ATMOS 12 dpx.....27
ภาพที่ 3.8	แผนภาพการทำงานภายในเครื่องวัดก๊าซเรดอน ATMOS 12 dpx.....28
ภาพที่ 3.9	เครื่องวัดเรดอนแบบ Pulse-counting Ionization Chamber ATMOS 12 dpx..29
ภาพที่ 3.10	การไล่อากาศเรดอนออกจากต้นกำเนิด.....30
ภาพที่ 3.11	ระดับความเข้มข้นของเรดอน 3 ระดับ วัดด้วยเครื่อง ATMOS 12 dpx.....30
ภาพที่ 3.12	แผนผังการต่อระบบปรับเทียบการวัดเรดอน.....31
ภาพที่ 3.13	การตรวจวัดอุณหภูมิระหว่างกัตรอยพลาสติก CR-39.....32
ภาพที่ 3.14	ลักษณะเครื่องนับวัดรอยโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J.....33
ภาพที่ 3.15	ภาพถ่ายรอยแอลฟา 1 แผ่น CR-39 กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย x 40 เท่า.....33

ภาพที่ 3.16	การวัดรอยแอลฟาจากเรดอนใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย x 40 เท่า โดยใช้ เครื่องวัดชนิดต่าง ๆ.....	34
ภาพที่ 3.17	แสดงลักษณะการวิเคราะห์รอยของโปรแกรม Image J.....	35
ภาพที่ 3.18	ระบบการนับรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา.....	36
ภาพที่ 4.1	การเก็บรักษาแผ่นพลาสติก CR-39 ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	39
ภาพที่ 4.2	วิธีการเก็บรักษาชุดดักควบคุมการวัดโดยเก็บในโถดูดความชื้นแบบต่าง ๆ.....	40
ภาพที่ 4.3	การทดลองขนส่งพลาสติก CR-39 ตามเงื่อนไขทั้ง 5 ข้อ.....	41
ภาพที่ 4.4	ถังเปรียบเทียบที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่รูปทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิม sus 304.....	43
ภาพที่ 4.5	ตู้เปรียบเทียบแบบเดิมรูปทรงสี่เหลี่ยมทำจากพลาสติกอะคริลิกใส.....	44
ภาพที่ 4.6	เครื่อง Pulse-counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx.....	45
ภาพที่ 4.7	เครื่องนับวัดรอยอัตโนมัติของบริษัท RADOSYS.....	45
ภาพที่ 4.8	ระบบนับวัดรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และ ตรวจสอบด้วยตา...46	
ภาพที่ 4.9	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศ กับความหนาแน่นของรอย ของตู้เปรียบเทียบก๊าซเรดอนแบบเดิม.....	47
ภาพที่ 4.10	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศ กับความหนาแน่นของรอย ของตู้เปรียบเทียบก๊าซเรดอนแบบใหม่.....	47
ภาพที่ 4.11	การวัดขนาดรอยแอลฟาในช่วง 7~70 ไมครอน ด้วยเครื่อง Hemacytomete.....	49
ภาพที่ 4.12	การเปรียบเทียบผลการวัดเรดอนในอากาศด้วยพลาสติก CR-39 กับ ATMOS 12 dpx.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคนิคการวัดก๊าซเรดอนด้วย CR-39 ในประเทศไทย ยังมีอุปสรรคในการวิเคราะห์ผล ซึ่งการประเมินค่าที่วัดได้ยังขาดความถูกต้องแม่นยำในการวัดอยู่มาก อีกทั้งมีความยุ่งยากในกระบวนการวิเคราะห์และการควบคุมกระบวนการระหว่างวิเคราะห์ผล ดังนั้นในประเทศไทยจึงควรมีการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ให้เร็วที่สุด เพื่อให้การวัดเรดอนด้วย CR-39 ในงานวิจัยที่กำลังมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

ในปัจจุบันการวัดก๊าซเรดอนด้วยแผ่น CR-39 มีการนำไปใช้ในการทำงานและงานวิจัยการวัดก๊าซเรดอนในดินและในอากาศ ในงานที่ต้องการวัดเพื่อเก็บค่าเฉลี่ยเรดอนเป็นเวลานาน ๆ เนื่องจากเป็นแผ่นวัสดุรังสีที่สามารถติดตั้งการวัดได้นานและต่อเนื่อง อาจเป็นเดือนหรือปี ซึ่งการวัดนาน ๆ เป็นการลดค่าความแปรปรวนในการวัดให้น้อยลง เป็นประโยชน์มากในการประเมินการได้รับก๊าซเรดอนของประชาชนในระยะเวลาเป็นปี เช่น การวัดก๊าซเรดอนในอาคารบ้านเรือน ในโรงงานแร่ เพื่อประเมินคุณภาพชีวิตการป่วยเป็นมะเร็งปอด และการได้รับเรดอนของประชากรที่อยู่บริเวณใกล้เคียงสถานที่ที่มีก๊าซเรดอนสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับการป่วยมะเร็งปอด [1 - 6]

ในงานวิจัยอีกด้านหนึ่งได้มีการประยุกต์ใช้การวัดปริมาณก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 โดยการวัดการปล่อยก๊าซเรดอนเพื่อยืนยันแนวรอยเลื่อนที่มีโอกาสทำให้เกิดแผ่นดินไหว (Active fault) หรืออาจใช้ทำนายการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้า ดังเช่นที่เคยเกิดในเมืองโกเบ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งการประเมินค่าปริมาณก๊าซเรดอนมีความเข้มข้นของเรดอนค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 2 - 3 เดือน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวถึง 4 - 5 เท่า และสูงกว่าระดับปกติราว 10 เท่า แล้วค่อยลดอย่างรวดเร็วก่อนเกิดแผ่นดินไหว งานเหล่านี้ล้วนต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง [7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบโดยใช้ตู้ปรับเทียบเรดอนและต้นกำเนิดสารรังสีมาตรฐานเรเดียม-226 ที่ปรับเทียบจากต่างประเทศแล้ว และควบคุมคุณภาพกระบวนการและปัจจัยที่มีผลต่อการเปรียบเทียบหรือการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 อย่างละเอียด เพื่อให้การเปรียบเทียบ CR-39 ให้ผลการวัดที่มีความถูกต้อง มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ CR-39 ในการวัดเรดอนในงานอื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ให้มีความถูกต้องแม่นยำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. กระบวนการเปรียบเทียบประกอบด้วย การเก็บรักษาและขนส่งพลาสติก CR-39, การเปรียบเทียบโดยใช้ถังเปรียบเทียบ, การกักรอย และอ่านรอย
2. ประเมินผลการวัดด้วยพลาสติก CR-39 ที่เปรียบเทียบแล้ว และเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดก๊าซเรดอนอื่น ๆ
3. งานวิจัยนี้ดำเนินการสำหรับห้องปฏิบัติการวิจัยการวัดก๊าซเรดอนในสิ่งแวดล้อมและสถานประกอบการที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ที่ผ่านการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดสารรังสีมาตรฐานที่ผ่านการเปรียบเทียบจากต่างประเทศแล้ว มีวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการวิเคราะห์ผลการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ที่ทำให้ผลการวัดมีความถูกต้อง สามารถประเมินผลความแม่นยำถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนในการวัด
2. เพื่อเป็นแนวทางแบบวิธีที่เข้าสู่ระบบมาตรฐานได้
3. นำไปใช้สำหรับการวัดก๊าซเรดอนในอาคารบ้านเรือน, สำหรับการวัดก๊าซเรดอนในการศึกษาแนวรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) และการตรวจวัดก๊าซเรดอนในงานอื่น ๆ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทดลองการเก็บรักษาตลับที่บรรจุ CR-39 ก่อนนำไปวัด เพื่อให้มีการรบกวนจากแบคกราวด์ (background) หรือรังสีภูมิหลังน้อยที่สุด
3. ทดลองศึกษาเงื่อนไขการขนส่งพลาสติก CR-39 พร้อมกับกำหนดข้อปฏิบัติการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ทางไปรษณีย์
4. เตรียมตลับวัด CR-39 สำหรับวัดค่าแบคกราวด์ และเปรียบเทียบการวัด
5. ออกแบบสร้างและทดสอบถังเปรียบเทียบก๊าซเรดอนแบบใหม่
6. เปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 โดยใช้สารมาตรฐานที่เชื่อถือได้ ระหว่างระบบเปรียบเทียบแบบใหม่และแบบเดิม

7. ศึกษาการควบคุมเงื่อนไขการใช้เวลาในการกัดรอยพลาสติก CR-39
8. ศึกษาวิธีการนักรอยที่ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงโดยใช้โปรแกรมนักรอยผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับการใช้เครื่องอ่านอัตโนมัติ (Radosys)
9. ประเมินผลความถูกต้องแม่นยำและความคลาดเคลื่อนจากการใช้พลาสติก CR-39 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว จากระบบปรับเทียบที่ปรับปรุงขึ้น ด้วย 2 วิธี คือ การเปรียบเทียบกับเครื่องวัดก๊าซเรดอนชนิดอื่น และเปรียบเทียบผลการวัดกับหน่วยงานมาตรฐานระดับสากล
10. สรุป วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ 2538 ไพฑูรย์ วรรณพงษ์ และคณะ ได้ทำการวัดและปรับเทียบค่ามาตรฐานก๊าซเรดอน [8] ซึ่งเห็นว่าในงานพัฒนาและวิจัยการวัดการปรับเทียบค่ามาตรฐานก๊าซเรดอนควรเริ่มจากการดำเนินการจัดหาเครื่องมือการวัดที่มีความจำเป็นในการวัดที่จะให้ผลถูกต้องแม่นยำ และศึกษาทดลองการใช้งานที่มีความเหมาะสม มีการจัดหาสารมาตรฐานก๊าซเรดอนที่สามารถเทียบได้ถึงสถาบันมาตรฐานในต่างประเทศและวิธีการใช้สารมาตรฐานในการปรับเทียบ และได้มีการจัดสร้างตู้วัดก๊าซเรดอนสำหรับใช้วัดและปรับเทียบโดยปล่อยให้ก๊าซเรดอนฟุ้งกระจายอยู่ในตู้เพื่อให้เครื่องมือทำการวัด การจัดสร้างอุปกรณ์ควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อให้การปรับเทียบ และการวัดอย่างมีประสิทธิภาพ รายงานผลการแสดงผลการปรับเทียบ และเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนระหว่างเครื่องมือสำคัญบางชนิดและการประยุกต์ใช้ผลงานวิจัยและพัฒนาทางปฏิบัติ

ปี คศ. 1994 R. Shweikani และ G. Raja ได้ออกแบบก่อสร้าง และทดลองปรับเทียบตู้วัดเรดอนตัวใหม่ [9] โดยออกแบบเพื่อให้สามารถใช้กับเทคนิคการวัดเรดอนทั้งแบบ active และ passive ถังวัดเป็นทรงลูกบาศก์กล่องสี่เหลี่ยมทำด้วย pixy glass ปริมาตรประมาณ 0.65 ลูกบาศก์เมตร ด้านบนเป็นที่เปิดวงกลมมีระบบล็อก 2 ชั้น สำหรับเป็นที่ตัวอย่างเข้าและออกอย่างไม่ให้รบกวนจากความเข้มข้นเรดอนนอกตู้วัด และวัดการแพร่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของเรดอนในระดับต่าง ๆ ภายในตู้วัด โดยเพิ่มพัดลมเข้าไป 2 ตัว ความเร็วปรับได้ ติดตั้งในมุมตรงกันข้ามทำให้ปริมาตรของก๊าซเรดอนมีความสม่ำเสมอ การปรับเทียบตู้วัดเรดอนเพื่อใช้ในการทำวิจัยและศึกษาพฤติการณ์ของเรดอน ในการปรับเทียบการวัดเรดอนทั้งแบบ passive และ

active ใช้ต้นกำเนิดเรเดียม-226 ความแรงรังสี 122 kBq วางที่ด้านล่างตู้วัด และเพื่อให้ปล่อยเรดอนออกมา

การเปรียบเทียบผลการวัดจากตู้วัดที่สร้างขึ้นใหม่ผ่านการปรับเทียบแล้ว กับการวัดที่ประเทศนอร์เวย์ พบว่า ผลการวัดที่ออกมาใกล้เคียงกับผลการวัดที่นอร์เวย์มาก และได้มีการศึกษาการกระจายตัวของเรดอนภายในตู้วัด โดยจัดเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ระดับ ซึ่งผลปรากฏว่าการกระจายตัวของก๊าซภายในตู้ดีมาก

ถังวัดก๊าซเรดอนที่สร้างขึ้นปรับเทียบง่าย ปัจจุบันทำให้เกิดการสมดุลงภายในตู้วัดได้แก่ ต้นกำเนิดของก๊าซ ความเร็วของพัดลม ความเข้มข้นของเรดอนและลูกหลานในตู้วัด ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน และตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผล ตู้วัดก๊าซเรดอนมีความสำคัญมากในงานวัดก๊าซเรดอน ตู้วัดที่ผลิตขึ้นมีราคาประมาณ 500 เหรียญสหรัฐอเมริกา

พ.ศ. 2544-2545 ไพฑูรย์ วรรณพงษ์ และคณะ ได้ทำการสำรวจระดับก๊าซเรดอนด้วยอุปกรณ์บันทึกรอยอนุแอลฟา [6] ซึ่งได้ใช้อุปกรณ์แบบนับรอยแอลฟา (alpha-track detector) เป็นอุปกรณ์การนับรอย ได้กระทำขึ้นโดยเลือกแหล่งที่มีความสำคัญสามแหล่ง ได้แก่ที่อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น, อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา และอำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ พบระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีแนวโน้มสูงกว่าจุดสำรวจอีกสองจุด

ใน พ.ศ 2549 วไลดา อุณเรือน ได้ศึกษาการวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารด้วยอุปกรณ์บันทึกรอยแอลฟา [10] โดยทำการหาระดับความเข้มข้นของทอรอน-220 ในอากาศ โดยนำหลักการเกิดรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39 มาใช้วัดและปรับเทียบค่าความเข้มข้นของทอรอน แล้วแบ่งกระบวนการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนที่ 1 การปรับเทียบก๊าซทอรอนในห้องปฏิบัติการทำการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดก๊าซทอรอน คือ ไล่ตะเกียงเจ้าพายุ ในการปล่อยก๊าซทอรอนฟุ้งกระจายในตู้วัดที่มีพลาสติก CR-39 บรรจุไว้ ขั้นตอนที่ 2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม ในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล ทำการทดลองโดยนำ CR-39 ไปรับแอลฟาจากก๊าซทอรอน-220 ตามอาคารบ้านเรือน เป็นเวลา 6 - 9 เดือน จากนั้นนำ CR-39 มาสกัดรอยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6.25 M ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำมาอ่านรอย

จากการทดลองก็พบว่าวัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนมีผลต่อปริมาณก๊าซทอรอน คืออาคารที่สร้างด้วยคอนกรีตจะมีก๊าซทอรอนสูงกว่าอาคารที่สร้างด้วยวัสดุประเภทไม้ และคอนกรีต นอกจากนี้อายุและการระบายอากาศของบ้านก็มีผลต่อการสะสมของก๊าซทอรอนในบ้านเช่นเดียวกัน คือ บ้านที่มีอายุน้อยกว่า 1 ปีจะมีปริมาณก๊าซทอรอนสูงกว่าอายุอื่น ๆ และบ้านที่ระบายอากาศไม่ดีมีปริมาณทอรอนสูงทั้งนี้ปริมาณก๊าซทอรอนอาจเกี่ยวกับตัวแปรอื่น ๆ แต่จากการศึกษาครั้งนี้ก็บอกว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซทอรอนที่ตรวจวัดในอาคารบ้านเรือนอยู่ในระดับต่ำและไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้พักอาศัย

ในปี ค.ศ. 2004 G. Hoon and J. Killee ได้ทำการสร้างระบบวัดเรดอนในสิ่งแวดล้อมโดยใช้ CR-39 เป็นเครื่องวัด [11] ซึ่งระบบวัดเรดอนในสิ่งแวดล้อมนี้ประกอบด้วยตลับวัดเรดอนวิธีการกักรอย ระบบนับรอย จักรระบบ ตลับวัดเป็นรูปทรงกระบอกซึ่งมีรัศมี 52.2 เซนติเมตร และสูง 3.2 เซนติเมตร ในการใช้ก็จะติดหรือผนึก CR-39 ไว้กับด้านบนของตลับนี้ มีคาร์บอนที่อิมมิดีแอตในตัว detector chamber เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดประจุไฟฟ้าสถิต เงื่อนไขการกักรอยที่เหมาะสมสำหรับ CR-39 ที่ใช้วัดเรดอนในสิ่งแวดล้อม ใช้ NaOH ที่เตรียมได้ความเข้มข้น 6 N ที่ 70 °C ใช้เวลาดักรอยมากกว่า 7 ชั่วโมง มีค่า bulk etching rate คือ $1.14 \pm 0.03 \mu\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เส้นผ่าศูนย์กลางของรอยที่เกิดจากเรดอนและลูกหลานพบว่าอยู่ในช่วง 10 ~ 25 μm ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมภาพของรอยที่สำรวจจากระบบนับรอย ซึ่งประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กล้อง CCD และโปรแกรมนับภาพ และ Calibration factor ที่ได้จากการปรับเทียบระบบนี้คือ $0.105 \pm 0.006 \text{ tracks cm}^{-2} \text{ per Bq m}^{-3} \text{ d}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 เรดอน (Ra – 222)

เรดอน เป็นก๊าซเฉื่อยชนิดหนึ่งที่เป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่ปราศจากสี กลิ่นและรส ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารใด ๆ จึงเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระโดยปราศจากพันธะเกี่ยวข้องกับสาร หรือโมเลกุลอื่น ๆ แต่ก็อาจเกาะติดกับก๊าซบางชนิดได้ เช่น ออกซิเจน มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ มีอยู่ทุกหนแห่งในปริมาณต่างกันตามชนิดของวัสดุ เช่น ดิน หิน น้ำ ฯลฯ รวมทั้ง สภาวะแวดล้อม เช่น กระแสลม อุณหภูมิ ความกดอากาศ ฯลฯ มีจุดเดือดเท่ากับ -61.8 และจุดหลอมเหลว $= -71.0$ °C ความหนาแน่น 9.13 กรัมต่อลิตร ณ สภาวะปกติ ซึ่งมากกว่าอากาศถึง 7.53 เท่า (อากาศมีความหนาแน่น 1.29 กรัมต่อลิตร) จึงถือว่ามีน้ำหนักมากที่สุดในบรรดาก๊าซในธรรมชาติ สามารถละลายน้ำได้ การละลายลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น [12]

เรดอน เป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่มีแหล่งกำเนิดจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ ก๊าซเรดอนที่เกิดตามธรรมชาติในเปลือกโลกซึ่งถือเป็นก๊าซเรดอนนอกอาคาร เช่น จากดิน หิน น้ำใต้ดินต่าง ๆ โดยเฉพาะชั้นหินหรือดินประกอบด้วยยูเรเนียมหรือเรเดียมมากปริมาณก๊าซเรดอนก็จะมากตามไปด้วย อีกแหล่งหนึ่งคือแหล่งกำเนิดเรดอนภายในตัวอาคาร ซึ่งเกิดจากบริเวณพื้นที่ที่ก่อสร้างบ้านหรือวัสดุที่นำมาก่อสร้างบ้าน ถ้าหากมียูเรเนียมหรือเรเดียมอยู่มากปริมาณก๊าซเรดอนที่สะสมในตัวบ้านก็จะมากตามไปด้วยเช่นกัน กรณีนี้นักวิชาการด้านนี้ให้คำแนะนำคือ ในการสร้างบ้านควรให้มีการระบายอากาศที่ดีก็จะลดการสะสมก๊าซเรดอนได้เช่นกัน [13]

เรดอน เป็นผลิตภัณฑ์กัมมันตรังสีที่สลายตัวต่อจากเรเดียม (Ra-226) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอนุกรมยูเรเนียม ในระหว่างที่เกิดการสลายตัวจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีแอลฟา (พลังงาน 5.49 MeV) ถึงร้อยละ 95 ของพลังงานทั้งหมด ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของรังสีแกมมา (พลังงาน 0.186 MeV) มีค่าครึ่งชีวิต 3.8235 วัน มีไอโซโทปรังสีหลายชนิดเกิดต่อจากการสลายตัวของเรดอน-222 (Rn-222) เช่น บิสมัท-214 (Bi-214), ตะกั่ว-214 (Pb-214) ซึ่งปล่อยออกมาหลายพลังงาน และ โพลอเนียม-210 (Po-210) สลายตัวให้อนุภาคแอลฟา



ภาพที่ 2.1 อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238

2.2 การสลายตัวแบบอนุกรม (Decay Series) [14]

การสลายตัวแบบอนุกรม คือ การที่ธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีลูกตัวหนึ่ง และธาตุลูกหลานก็มีการสลายตัวให้กัมมันตรังสีตัวอื่นต่อไปเรื่อย ๆ เช่นการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม และอนุกรมแอกติเนียม เป็นต้น ถ้าค่าครึ่งชีวิตของกัมมันตรังสีลูกสั้นกว่ากัมมันตรังสีแม่ จะเกิดสภาวะที่เรียกว่าการสมดุลทางกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium) ซึ่งเกิดได้ในกรณีที่ธาตุกัมมันตรังสีมีการสลายตัวต่อเนื่องกัน โดยที่นิวไคลด์แม่ (parent nuclide) มีค่าครึ่งชีวิตยาวกว่านิวไคลด์ลูก (daughter nuclide) สมดุลทางกัมมันตรังสีมี 2 กรณี คือ

2.2.1 การสมดุลแบบเซคิวลาร์ (Secular equilibrium) จะเกิดขึ้นเมื่อนิวไคลด์แม่มีค่าครึ่งชีวิตยาวกว่านิวไคลด์ลูกมาก คือประมาณ 10^4 เท่า หรือมากกว่า จากสมการการสลายตัวต่อเนื่อง

$$\frac{dN_A(t)}{dt} = -\lambda_A N_A(t) \quad (1)$$

$$\frac{dN_B(t)}{dt} = \lambda_A N_A(t) - \lambda_B N_B(t) \quad (2)$$

โดยจากการแก้สมการ differential สมการ ที่ (1) และ (2) จะได้

$$N_A(t) = N_A^0 e^{-\lambda_A t} \quad (3)$$

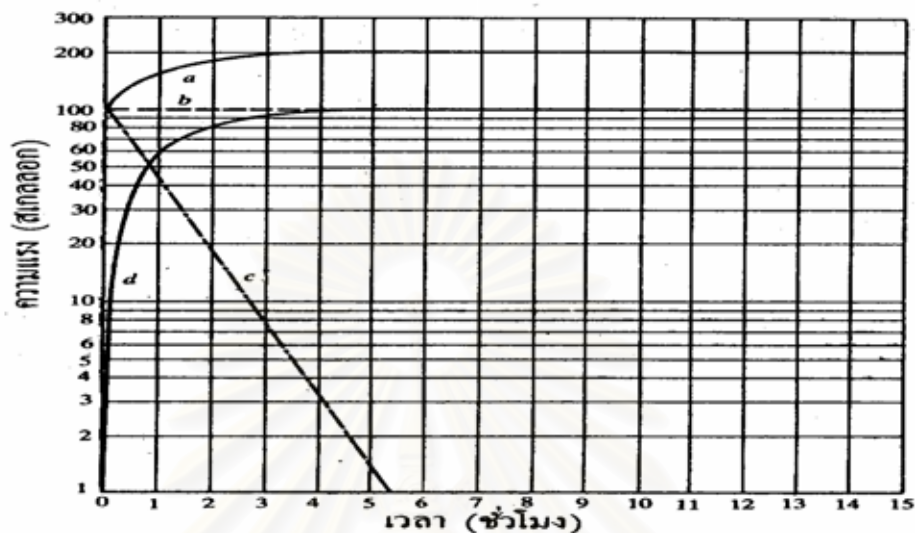
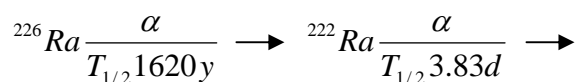
$$\text{และ } N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A^0 e^{-\lambda_A t - \lambda_B t} \quad (4)$$

เมื่อเวลาเริ่มต้น $t = 0$, $N_B(t) = 0$ กรณีนี้ $T_{1/2}(A) \gg T_{1/2}(B)$ หรือ $\lambda_A \ll \lambda_B$ ดังนั้น $\lambda_B - \lambda_A \cong \lambda_B$ ฉะนั้นเทอม $e^{-\lambda_B t}$ จึงมีค่าน้อยมาก จะได้

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A^0 e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A(t) \quad (5)$$

$$\text{หรือ } \lambda_A N_A(t) = \lambda_B N_B(t) \quad (6)$$

หมายความว่า กรณีการสมดุลแบบเซคิวลาร์ (Secular equilibrium) ความแรงรังสีที่จุดสมดุลของนิวไคลด์แม่ กับนิวไคลด์ลูก มีค่าความแรงรังสีเท่ากันตัวอย่างของสมดุลแบบนี้ ได้แก่ การสลายตัวของเรเดียม-226 ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 1,620 ปี สลายตัวให้เรดอน-222 ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3.28 วัน จึงเกิดการเกิดสมดุลแบบนี้เมื่อเข้าสู่สมดุลแล้วพบว่าความแรงของเรเดียม-226 จะเท่ากับ ความแรงรังสีของเรดอน-222 การเข้าสู่สมดุลแบบสมดุลมีลักษณะ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบเซคิวลาร์ (Secular equilibrium)

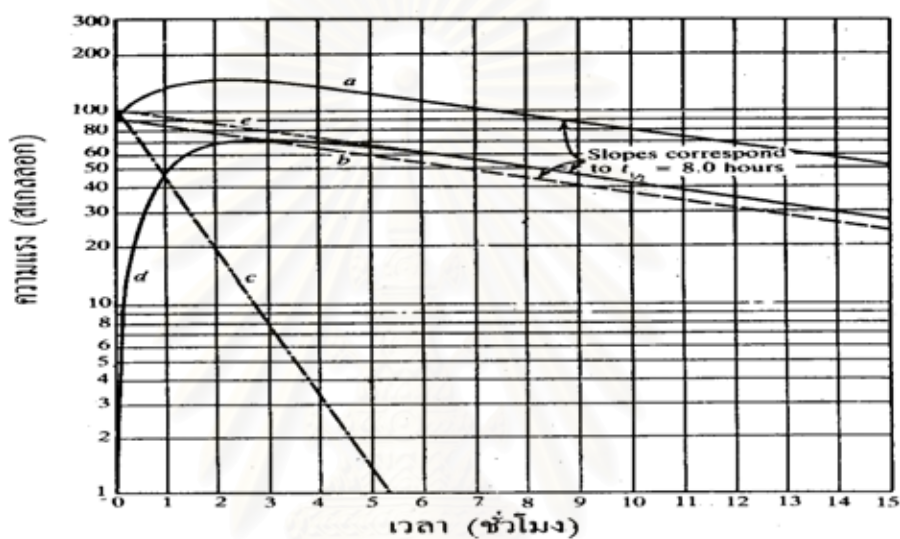
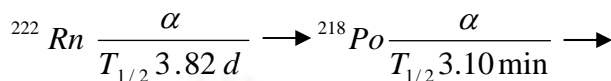
- กัมมันตภาพรังสีรวมของนิวไคลด์แม่และนิวไคลด์ลูก เริ่มมีเฉพาะนิวไคลด์แม่
- กัมมันตภาพรังสีนิวไคลด์แม่
- การสลายตัวกรณีเริ่มต้นมีเฉพาะนิวไคลด์ลูก
- กัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ลูก สลายจากเมื่อเริ่มต้นมีเฉพาะนิวไคลด์แม่

2.2.2 สมดุลแบบทรานเซียนท์ (Transient equilibrium) กรณีนี้เกิดเมื่อ นิวไคลด์แม่มีค่าครึ่งชีวิตมากกว่านิวไคลด์ลูก ประมาณ 10 เท่า นั่นคือ $\lambda_A < \lambda_B$ เมื่อ t มีค่ามาก ๆ เทอม $e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t} \approx e^{-\lambda_A t}$ จากสมการที่ (4) และ เมื่อที่ $t = 0$, $N_B(t) = 0$ จะได้ สมการ

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(t) \quad (7)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อเข้าสู่สมดุลแบบทรานเซียนท์ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเกิดกัมมันตรังสีลูกและการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีลูกคงที่

ตัวอย่างของสมดุลแบบทรานเซียนท์ ได้แก่ การสลายตัวของเรดอน-222 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 3.82 วัน สลายตัวให้พอโลเนียม-218 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 3.10 นาที ลักษณะการเข้าสู่สมดุลแบบนี้ ดังภาพที่ 2.3

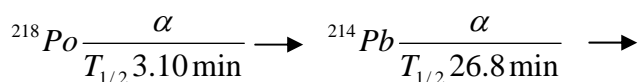


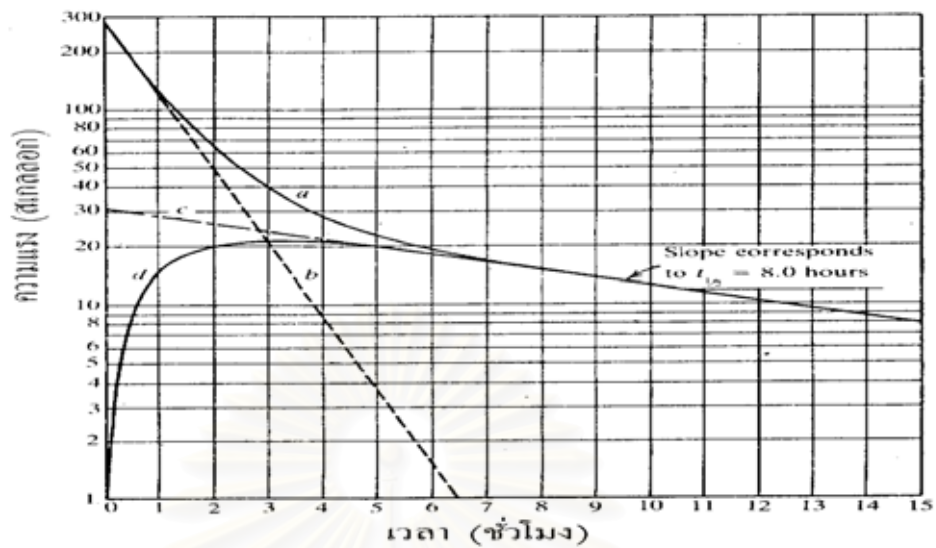
ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบทรานเซียนท์ (Transient equilibrium)

- กัมมันตภาพรังสีรวมของนิวไคลด์แม่และนิวไคลด์ลูก เริ่มมีเฉพาะนิวไคลด์แม่
- กัมมันตภาพรังสีนิวไคลด์แม่
- การสลายตัวของนิวไคลด์ลูก กรณีเริ่มต้นมีเฉพาะนิวไคลด์ลูก
- กัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ลูก สลายจากเมื่อเริ่มต้นมีเฉพาะนิวไคลด์แม่
- กัมมันตภาพรังสีรวมของนิวไคลด์ลูก กรณีที่เริ่มต้นมีนิวไคลด์ลูกอยู่แล้ว

ถ้าหากกัมมันตรังสีตั้งต้นมีค่าครึ่งชีวิตสั้นกว่ากัมมันตรังสีลูก ($\lambda_B > \lambda_A$) สมดุลกัมมันตรังสีก็จะไม่อาจเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของพอโลเนียม-218 ไปเป็นตะกั่ว-214 ดังภาพที่

2.4



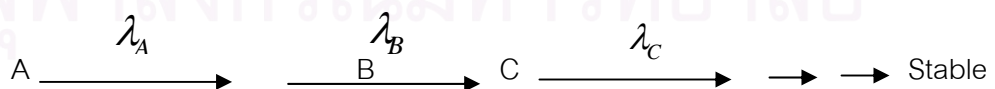


ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงกรณีไม่เกิดสมดุลกัมมันตรังสี (No equilibrium)

- a) กัมมันตภาพรังสีรวมของนิวไคลด์แม่และนิวไคลด์ลูก เริ่มมีเฉพาะนิวไคลด์แม่
- b) กัมมันตภาพรังสีนิวไคลด์แม่
- c) การสลายตัวของนิวไคลด์ลูก กรณีเริ่มต้นมีเฉพาะนิวไคลด์ลูก
- d) กัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ลูก สลายจากเมื่อเริ่มต้นมีเฉพาะนิวไคลด์แม่

ในการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวเปรียบเทียบก๊าซเรดอนต้องการทราบค่าปริมาณก๊าซเรดอนจากสารมาตรฐานวิธีการดังกล่าวต่อไปนี้จะใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซเรดอนในลักษณะของการเกิดสมดุลแบบเซคิวลาร์ จากการสลายตัวของเรเดียม-226 ไปเป็นเรดอน-222

ดังกล่าวมาแล้วว่า การสลายตัวแบบอนุกรม คือ การที่ธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นตัวหนึ่งสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีลูกตัวหนึ่ง และธาตุลูกนี้ก็จะมีการสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีตัวอื่นต่อไป ซึ่งจะมีสมการทั่วไปดังนี้



การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เป็นดังสมการ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลง} = \text{อัตราการเกิด} - \text{อัตราการสลาย}$$

ในการสลายตัวต่อเนื่องของไอโซโทปรังสีจำนวนใด ๆ จะเป็นไปตามสมการ differential [8] ดังนี้ (เมื่อ N คือ จำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสี)

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (8)$$

คือค่าสลายตัวของไอโซโทปรังสีตั้งต้น โดยมีค่าคงที่ของการสลายตัวคือ $\lambda = 0.693 / \text{ค่าครึ่งชีวิต}$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (9)$$

คือค่าสลายตัวของไอโซโทปตัวที่สอง เมื่อ $\lambda_1 N_1$ คือผลอันเกิดจากการสลายตัวของไอโซโทปก่อนหน้า และ $\lambda_2 N_2$ คือจำนวนที่สูญหายไปอันเกิดจากการสลายตัวของไอโซโทปปัจจุบัน ผลที่เหลือคือการสลายตัวสุทธิของไอโซโทปปัจจุบัน

ในทำนองเดียวกันสำหรับไอโซโทปตัวที่สาม

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \quad (10)$$

และสำหรับไอโซโทปตัวต่อ ๆ ไปใด ๆ

$$\frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n \quad (11)$$

จำนวนอะตอมของสมาชิกตัวที่ n^{th} ที่เวลา t ใด ๆ คำนวณโดยสมการ Bateman ได้ดังนี้

$$N_n(t) = c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t} + c_3 e^{-\lambda_3 t} + \dots + c_n e^{-\lambda_n t} \quad (12)$$

เมื่อให้ $N_1(0)$ เป็นจำนวนอะตอมเริ่มต้นของไอโซโทปตัวแรกของโซ่การสลายตัว จะได้ค่าคงที่

$$c_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_{n-1})} N_1(0).$$

$$c_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} N_1(0)$$

.

.

.

.

.

และ

$$c_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} N_1(0) \quad (13)$$

ชุดของสมการต่าง ๆ เหล่านี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Bateman equations ซึ่งมี
ความสำคัญ สามารถนำมาใช้คำนวณหาความสัมพันธ์ต่างๆอันเกิดจากการสลายตัวต่อเนื่องของ
ไอโซโทปรังสีใด ๆ

ในกรณีที่ได้แยกเอาธาตุเรเดียมออกจากอนุกรมการสลายตัวยูเรเนียมแล้ว ไอโซโทป
รังสีเรเดียม-226 จะสลายตัวต่อไปได้เป็นก๊าซไอโซโทปรังสีเรดอน-222 ในขณะที่ เรเดียม-226 มี
ค่าครึ่งชีวิตยาวถึง 1620 ปี แต่ก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นมีค่าครึ่งชีวิตเพียง 3.82 วัน

จำนวนอะตอมของก๊าซเรดอนที่เวลา t ใด ๆ สามารถหาได้โดยใช้สมการของ Bateman
ดังนี้

$$N_{Rn} = N_2(t) = c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t} \quad (14)$$

- เมื่อ λ_1 คือค่าคงที่การสลายตัวของเรเดียม-226 มีค่าเท่ากับ $0.693 / (1620 \times 365 \times 24 \times 60) = 8.14 \times 10^{-10}$ ต่อนาที
- λ_2 คือค่าคงที่การสลายตัวของเรดอน-222 มีค่าเท่ากับ $0.693 / (3.82 \times 24 \times 60) = 1.26 \times 10^{-4}$ ต่อนาที

$$c_1 = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_1(0)$$

และ
$$c_2 = \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 - \lambda_2)} N_1(0)$$

ดังนั้น
$$N_{Rn} = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_1(0) (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (15)$$

เพราะเหตุว่า λ_1 มีค่าน้อยมาก ดังนั้น $(\lambda_2 - \lambda_1)$ มีค่าเป็นประมาณ λ_2 และ $e^{-\lambda_1 t}$ มีค่าประมาณ 1 และเพราะว่าค่าครึ่งชีวิตของเรเดียม-226 ยาวมาก ดังนั้น N_1 มีค่าเป็นประมาณ $N_1(0)$ ซึ่งเป็นเช่นนี้ได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อเทียบกับค่าครึ่งชีวิตของเรเดียม-226

ดังนั้น
$$N_{Rn} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (16)$$

นั่นคือ
$$N_{Rn} \lambda_2 = N_1 \lambda_1 (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (17)$$

หรือ
$$Activity = Activity_{Rn} (1 - e^{-\lambda_{Rn} t}) \quad (18)$$

จะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 วัน ค่าสลายตัวของก๊าซเรดอนซึ่งเป็นผลผลิตจะเท่ากับค่าสลายตัวของเรเดียม ซึ่งเป็นตัวต้นกำเนิด เรียกว่าเกิด secular equilibrium ปริมาณของเรดอนเกือบจะคงที่ตลอดไป โดยสลายตัวต่อไปด้วยค่าครึ่งชีวิตของเรเดียม

นั่นคือถ้าเก็บกักผลการสลายตัวของเรเดียมไปเป็นก๊าซเรดอนไว้ไม่ให้มีการรั่วไหลได้ เมื่อเวลาผ่านไป 30 วันจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\text{อัตราการสลายตัวของก๊าซเรดอน} = \text{อัตราการสลายตัวของเรเดียม}$$

สารมาตรฐานรังสีก๊าซเรดอนต้องให้ปริมาณก๊าซเรดอนที่รู้ค่าความเข้มข้นที่ถูกต้องแม่นยำเพื่อใช้สำหรับการปรับเทียบอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้วัดก๊าซเรดอน สิ่งสำคัญที่สุดคือการทำงานที่ต้องทราบปริมาณที่แน่นอนของก๊าซเรดอนที่จะจ่ายไปให้แก่เครื่องมือวัดที่นำมาทำการปรับเทียบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 18 โดย $Activity_{Rn}$ คือ ปริมาณก๊าซเรดอนที่จะเกิดขึ้น $Activity_{Ra}$ คือ ค่าความแรงรังสีของสารมาตรฐานเรเดียม-226 λ_{Rn} คือ ค่าคงที่การสลายตัวของเรดอน-222 t คือ เวลาที่ผ่านไปปล่อยให้เรดอนเกิดขึ้น ซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ 18 ดังกล่าวเมื่อเริ่มต้นโดยใส่ก๊าซเรดอนเต็มจนหมด แล้วทิ้งให้เติบโตขึ้นในระยะเวลาต่าง ๆ

ในการปรับเทียบจะใช้ปริมาณก๊าซเรดอน 3 ระดับ คือ ต่ำ กลาง และสูง ในการปรับเทียบจากนั้นใช้ความแรงรังสีทั้ง 3 ระดับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอน (Bq/m^3) กับจำนวนความหนาแน่นของรอยที่เกิด ($tracks/mm^2$) สามารถคำนวณค่าเรดอนจากสมการความสัมพันธ์จากกราฟปรับเทียบ (Calibration curve) [15]

2.3 วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอน [16]

3.2.1 วิธีการใช้ถ่านกัมมันต์ (Activate Charcoal Method) เทคนิคที่เก็บตัวอย่างจากอากาศไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทเช่น ถุงพลาสติก, กระป๋อง หรือเครื่องแก้ว ที่มีปริมาตรระหว่าง 5-20 ลิตร บรรจุด้วยถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำตัวอย่างกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ หากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีความเข้มข้นเรดอนต่ำจะต้องเก็บตัวอย่างมาก จากนั้นอัดตัวอย่างในภาชนะเก็บตัวอย่างที่มีปริมาตรเล็กลงเพื่อวิเคราะห์รังสีโดยวิธีวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

2.3.2 วิธีใช้ภาชนะเคลือบสารเรืองแสง (Scintillation Chamber Method) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาโดย Lucas จึงเรียกย่อว่า Lucas cell โดยใช้ผงซิงค์ซัลไฟด์ $[ZnS(Ag)]$ ฉาบภายในภาชนะทรงกระบอกที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติก ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนของหัววัด จากนั้นทำการเชื่อมต่อหัววัดเข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) เมื่อต้องการวัดก็ดูดตัวอย่างอากาศเข้าสู่หัววัดอนุภาคที่ถูกปล่อยจากการสลายตัวของเรดอนชนกับผนังที่เคลือบด้วยผงซิงค์ซัลไฟด์ $[ZnS(Ag)]$ ก็จะทำปฏิกิริยาแล้วให้แสงออกมาใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าเมื่อวัดแสงที่ออกมา

2.3.3 วิธีวัดด้วย liquid scintillator เทคนิคนี้นับแสงที่ปล่อยออกมาเช่นกันแต่จะใช้ liquid scintillator แทนผงซิงค์ซัลไฟด์ $[ZnS(Ag)]$ ผสมเรดอนใน scintillator โดยปล่อยอากาศที่มีเรดอนผ่านสารละลายอินทรีย์ เรดอนจะละลายในสารละลายอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่ำ นำสารละลายผสมเรดอนบรรจุในขวดแก้วเล็ก ๆ เพื่อวัดด้วย liquid scintillator เรดอน-222 จะสลายตัวเรื่อย ๆ

2.3.4 วิธีการวัดด้วย ionization chamber เทคนิคนี้ทำการวัดอนุภาคแอลฟาที่ปล่อยออกมาจากการสลายตัวของเรดอนและลูกหลานภายในเครื่องวัด Ionization chamber ซึ่งวัดสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการแตกไอออน เทคนิคนี้สามารถทำการนับแต่สัญญาณที่เกิดจากการสลายตัวได้ หรือจะทำการวัดกระแสที่เกิดจากผลรวมของการสลายตัวทั้งหมดก็ได้ ในการทดลองเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนในอาคารบ้านเรือนจะใช้เครื่องมือชิ้นนี้เปรียบเทียบกับ CR-39

2.3.5 วิธีการใช้กระดาษกรอง (Filter paper) เป็นการดูอากาศในบริเวณที่ต้องการทราบความเข้มข้นเรดอนผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำกระดาษกรองวัดรังสีนิวไคลด์ลูกที่เกิดจากเรดอนในอากาศที่ติดอยู่ที่กระดาษกรอง แต่วิธีนี้ต้องกำหนดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศและการวัดรังสีแอลฟาหรือรังสีบีตาเป็นระยะ ๆ

2.3.6 วิธีแทรก-เอตซ์ (Track Etch Method) วิธีการนี้จะใช้แผ่นฟิล์มวางบริเวณที่ต้องการทราบความเข้มข้นเรดอนจากนั้นจึงนำแผ่นฟิล์มมาจุ่มด้วยกรดและด่าง แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อนับรอยอนุภาคแอลฟาจากเรดอนทำให้ทราบความเข้มข้นเรดอน วิธีนี้มีข้อดีคือเสียค่าใช้จ่ายน้อยและมีประโยชน์ในกรณีที่ต้องการวัดทิ้งไว้เป็นเวลานาน ข้อเสีย คือ รอยที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากทำให้การนับรอยมีความผิดพลาดค่อนข้างสูง

2.4 เทคนิคการตรวจวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

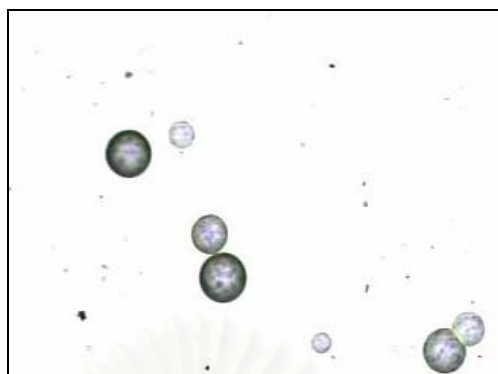
เป็นการใช้เทคนิคตรวจวัดก๊าซเรดอนด้วยอุปกรณ์บันทึกรอย (Solid-state nuclear track detector – SSNTD) ด้วยพลาสติก CR-39 ซึ่งเป็นวิธีการวัดเรดอนแบบแทรก-เอตช์ (Track Etch Method) นั้นเป็นการนับรอยของแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนและลูกหลาน

2.4.1 พลาสติก CR-39 ทำจากพลาสติกชนิดที่เรียกว่า โพลีอัลลิสไดกลีคอล คาร์บอเนต (Polyallyldiglycol carbonate), PAD CR-39 ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใน ค.ศ 1993 และในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้เป็นเลนส์แว่นตา ในปี 1987 นักฟิสิกส์ที่ มหาวิทยาลัย Berkeley แคลิฟอร์เนีย ได้รายงานว่าเป็นตัวที่สามารถวัดอนุภาคที่เป็นประจุได้ดีเยี่ยม ต่อมาจึงมีบริษัทต่าง ๆ ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้วัดก๊าซเรดอน [10]

2.4.2 หลักการ การตรวจวัดเรดอนด้วยแผ่นพลาสติก CR-39 เป็นเทคนิคการวัดรังสีโดยอาศัยหลักการที่อนุภาคที่มีประจุ (แอลฟา) ชนกับแผ่นพลาสติก CR-39 (เนื่องจากอนุภาคถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในอะตอมของวัสดุ) ทำให้จุดที่ถูกชนกับอนุภาคมีโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนไป เกิดเป็นรอยที่เสียหายขนาดเล็กมาก เมื่อนำไปกัดด้วยสารเคมีที่เหมาะสมจะทำให้รอยขยายใหญ่ขึ้น จากนั้นทำการประเมินความหนาแน่นของรอยบนแผ่นพลาสติกโดยการนับรอยอนุภาคที่เข้าชนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 3.5 แผนภาพแสดงลักษณะการเกิดรอยบนพลาสติก CR-39



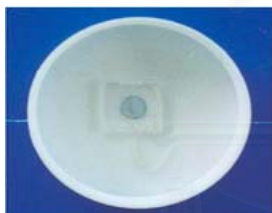
ภาพที่ 2.6 ลักษณะระยอยอนุภาคแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39

2.4.3 ลักษณะของพลาสติก CR-39 และการบรรจุลงตลับวัด



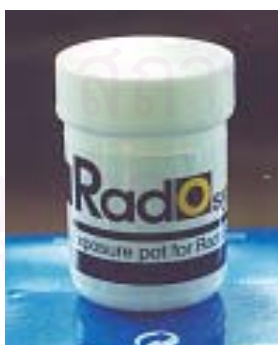
แผ่นพลาสติก CR-39

แผ่นพลาสติก CR-39 ขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร
แสดงรหัสของแผ่นสำหรับอ่านด้วยเครื่องอัตโนมัติ



ฝาตลับ CR-39

นำแผ่นพลาสติกติดเข้ากับส่วนฝาด้วยดินน้ำมัน



ตลับวัดที่ติดแผ่นพลาสติก CR-39

นำฝาปิดครอบตลับวัด หมุนเกลียวให้สนิทเก็บใน
ถุงพลาสติกอย่างหนา ป้องกันอากาศเข้าเมื่อจะ
นำไปวัดเรดอนจึงตัดถุงเอาตลับออกนำไปวาง
ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด

ภาพที่ 2.7 ลักษณะของพลาสติก CR-39 และการบรรจุลงตลับวัด

2.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) [17]

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้วัดการกระจายของข้อมูล เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลแต่ละตัวจะแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด คำนวณโดยการนำเอาคะแนน X แต่ละตัวลบด้วยมัธยฐานเลขคณิต (μ) ของข้อมูลชุดนั้น ซึ่ง $X - \mu$ แต่ละตัวอาจมีค่าเป็นลบ ($X < \mu$) หรือบวก ($X > \mu$) จึงต้องยกกำลังสองของคะแนนเบี่ยงเบนแต่ละตัวนั้นเพื่อให้เครื่องหมายลบหมดไป แล้วหาค่าเฉลี่ยของผลบวกของกำลังสองของคะแนนเบี่ยงเบน

สำหรับข้อมูลที่ไม่จัดกลุ่มค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ

ข้อมูลประชากร $SD = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$

ข้อมูลตัวอย่าง $SD = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N - 1}}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอน ด้วยพลาสติก CR-39

การใช้เทคนิคตรวจวัดก๊าซเรดอนด้วยอุปกรณ์บันทึกรอย (Solid-state nuclear track detector - SSNTD) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเรดอนกับมะเร็งปอด การตรวจวัดก๊าซเรดอนเพื่อค้นหาแนวรอยเลื่อน (radon mapping) ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหว หรือวัดก๊าซเรดอนในอากาศเพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่น ๆ การตรวจวัดจำเป็นต้องปรับเทียบอุปกรณ์ SSNTD ซึ่งเป็นชนิดพลาสติก CR-39 เวลาวัดติด CR-39 บนฝาตลับวัดให้ก๊าซเรดอนแพร่เข้าสู่ตลับได้โดยซึมผ่านผิวและเกลียวฝา เพื่อให้ผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำ และการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ มีความถูกต้องสูงสุด

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 กระบวนการปรับเทียบประกอบด้วย การเก็บรักษา, ขนส่งพลาสติก CR-39, การปรับเทียบโดยใช้ถังปรับเทียบ, การกักรอย และการอ่านรอย จากนั้นประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ด้วย 2 วิธี คือ การเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องวัดก๊าซเรดอนชนิดอื่น และเปรียบเทียบผลการวัดกับหน่วยงานที่มีมาตรฐานการวัดระดับสากล

3.1 ข้อมูลพื้นฐานกระบวนการปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

3.1.1 ขั้นตอนการปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

การปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 การปฏิบัติทำในตู้ปรับเทียบเรดอน (Radon chamber) ทำจากแผ่นอะคริลิกหนาประมาณ 15 มิลลิเมตร ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้คือ สารเรเดียม-226 การปรับเทียบเริ่มจากไล่ก๊าซเรดอนออกจากต้นกำเนิดด้วยปั๊มในอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ปริมาณเรดอนจะเหลือน้อยมาก ทิ้งให้เรดอนเติบโต (Build up) จนได้ความแรงรังสีในระดับที่ใช้ปรับเทียบแล้วหมุนวนก๊าซเรดอน (flow radon gas) 15 นาที ภายในตู้ปรับเทียบที่วางตลับ CR-39 ไว้ ปล่อยให้ CR-39 รับเรดอนจนครบเวลา (Radon exposure time) นำแผ่น CR-39 ชุดตลับปรับเทียบ (Calibration cup group) และชุดตลับควบคุม (Control cup group) ไปกักรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

เข้มข้น 6.25 M อุณหภูมิ 90 °C ปล่อยให้แห้งหนึ่งคืน แล้วอ่านรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์หรือเครื่องนับวัดรอยอัตโนมัติของบริษัท Radosys ดังภาพที่ 3.1 จากนั้นนำความหนาแน่นรอย (track density, tracks/cm²) มาคำนวณหาค่าความไวในการวัดก๊าซเรดอนของพลาสติก CR-39 (Calibration factor, C.F) ชุดนี้ แล้วใช้ค่า C.F นี้ในการคำนวณหาค่าเรดอนจากการนำแผ่นพลาสติก CR-39 ในชุดเดียวที่ใช้วัดก๊าซเรดอน [8]



ภาพที่ 3.1 เครื่องนับวัดรอยอัตโนมัติของบริษัท RADOSYS

3.1.2 ตู้วัดก๊าซเรดอนแบบเดิมที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ตู้เปรียบเทียบเรดอนแบบเดิมรูปทรงเหลี่ยมทำจากแผ่นอะคริลิกพลาสติกหนา 15 มิลลิเมตร กันความชื้นได้ดี มีการป้องกันการรั่วซึมของก๊าซเรดอน กันอากาศได้มีฝาหรือบานปิดเปิด เพื่อเป็นที่เข้าออกเมื่อบรรจุตัววัดพลาสติก CR-39 มีลิ้น 2 ลิ้น สำหรับต่อเข้ากับเครื่องวัด ความเข้มข้นของเรดอนขณะเปรียบเทียบ และมีอีก 2 ลิ้น สำหรับเปิดให้เรดอนเข้าออกจากต้นกำเนิดรังสีเข้าสู่ตู้ ตู้เปรียบเทียบมีขนาดความยาว 66.5 เซนติเมตร ความกว้าง 66.5 เซนติเมตร และความสูง 45 เซนติเมตร ความจุภายในเท่ากับ 0.199 ลูกบาศก์เมตร ตู้มีท่อดูดอากาศออกทางด้านบนเพื่อระบายอากาศออกอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ค่าเวลาสิ้นสุดการรับเรดอนถูกต้อง ภายในติดตั้งพัดลมขนาดเล็กไว้ 2 ตัว ในมุมที่เอียงกันเพื่อให้การหมุนเวียนของก๊าซเรดอนมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทุกจุด พร้อมติดตั้งที่สำหรับแขวนตัววัดในลักษณะเหมือนหย้อยไว้สำหรับระบอวัดวางแนวอนนเรียงบนกล่องเพื่อให้ระบอวัดสูงขึ้นจากพื้นตู้ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ตู้ปรับเทียบก๊าซเรดอนแบบเดิมที่ใช้ในการปรับเทียบ

3.2 การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ประกอบด้วย การเก็บรักษา การขนส่งพลาสติก CR-39 การปรับเทียบโดยใช้ถังปรับเทียบ การกักรอย และอ่านรอย

3.2.1 การเก็บรักษา

การวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ต้องมีการเก็บรักษาแผ่น CR-39 เพื่อควบคุมคุณภาพการวัดให้มีความถูกต้องที่สุด การเก็บรักษาอาจแบ่งได้ 3 ช่วง คือ

ก. การเก็บรักษาและตรวจสอบก่อนนำไปใช้ ควรเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ -20°C หรือตามคำแนะนำของบริษัทผู้ขาย เพื่อไม่ให้ CR-39 เสื่อมคุณภาพ และป้องกันการรับรังสี

ข. การเก็บรักษา CR-39 ที่บรรจุในตลับวัด เพื่อป้องกันความชื้น ฝุ่น หรือ รังสี จึงควรเตรียมบรรจุ CR-39 ลงตลับวัดก่อนใช้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด สามารถป้องกันเรดอนในสิ่งแวดล้อม (Background) ได้ ผู้ทำวิจัยเลือกวิธีการเก็บรักษา 4 วิธี คือ

1. เก็บในโถดูดความชื้น
2. เก็บในแช่อุณหภูมิ -20°C
3. เก็บในกล่องกระดาษ
4. เก็บในตู้ไม้สังเคราะห์

ทดลองเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เลือกวิธีที่เหมาะสมกับการเก็บตลับควบคุม และการเก็บตัวอย่าง

ค. การเก็บรักษาแผ่น CR-39 หลังจากรับเรดอน เมื่อ CR-39 รับเรดอนครบเวลา ต้องรีบเก็บรักษา เพื่อป้องกันการรับเรดอนเพิ่มซึ่งมีผลให้ค่าเรดอนสูงกว่าความจริง และ การกักรอยต้องทำพร้อมกันทั้งชุดตัวอย่าง ชุดควบคุม และชุดเปรียบเทียบ วิธีการเก็บรักษาที่ง่าย ไม่สิ้นเปลือง กันเรดอนได้ในระดับหนึ่ง เช่น เก็บในถุงพลาสติกทำสุญญากาศ ถุงซิปลอะลูมิเนียม ถุงพลาสติกหนาซีลด้วยเครื่องซีล และเมื่อบรรจุแล้วนำไปเก็บในตู้แช่



ภาพที่ 3.3 วิธีการเก็บรักษาแผ่นพลาสติก CR-39 หลังจากรับเรดอน

(ก) เก็บในถุงพลาสติกหนาทำสุญญากาศ (ข) เก็บในถุงซิปลอะลูมิเนียม (ค) เก็บในถุงพลาสติก

3.2.2 ขนส่งพลาสติก CR-39

การวัดเรดอนกรณีที่คุณตรวจวัดไม่สามารถเดินทางไปได้จะส่งอุปกรณ์ไปทางไปรษณีย์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเงื่อนไข และขั้นตอนการขนส่งพลาสติก CR-39 โดยตั้งเงื่อนไขการขนส่งเป็น 5 เงื่อนไข คือ

ก. กำหนดเงื่อนไขในการขนส่ง CR-39

เงื่อนไข A บรรจุตลับวัด CR-39 1 ตลับ ในถุงซิปลอะลูมิเนียม ซ้อนทับด้วยถุงซิปลอะลูมิเนียม

เงื่อนไข B บรรจุตลับวัด CR-39 1 ตลับ ในถุงพลาสติกหนาซีลปิดซ้อนทับด้วยถุงซิปลอะลูมิเนียม

เงื่อนไข C บรรจุตลับวัด CR-39 1 ตลับ ในถุงพลาสติกหนา ซีลปิดสนิทซ้อนด้วยถุงซิปลอะลูมิเนียม

เงื่อนไข D บรรจุตลับวัด CR-39 1 ตลับ ในถุงพลาสติกหนา 0.2 มิลลิเมตร ทำสุญญากาศซ้อนทับด้วยถุงซิปลอะลูมิเนียม

เงื่อนไข E เตรียมตลับวัด CR-39 1 ตลับ

ทุกเงื่อนไขทำอีกตลับในลักษณะเดียวกันเพื่อเป็นตลับควบคุม บรรจุตลับวัดตามเงื่อนไข A, B, C, D, E และ ตลับควบคุม พร้อมข้อปฏิบัติการวาง CR-39 ลงกล่องไปรษณีย์จัดส่งไปสถานที่วัดเรดอน

ข. ข้อปฏิบัติการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ทางไปรษณีย์ ผู้รับต้องปฏิบัติ ดังนี้

1. เมื่อได้รับซองตลับ CR-39 เปิดซองตรวจสอบตลับว่า ไม่แตก เป็นรอยร้าว (ห้ามเปิดฝาทลับเด็ดขาด)

2. นำไป วางในตำแหน่ง มุมบ้าน ห้องนอน หรือห้องที่อาศัยอยู่ประจำ ในระดับเหนือหน้าอก (ป้องกันการเคลื่อนย้าย เช่น เด็กหยิบเล่น) เป็นเวลา 3 เดือน ห้ามวางในที่แคบร้อน มีน้ำ ฝนตกถึง หรือเสี่ยงต่อการเคลื่อนย้าย

3. ครบกำหนดบรรจุตลับวัดในลักษณะเดิมที่ได้รับ โดยชั้นที่ตัดไม่ต้องซีลปิด

4. ครบ 3 เดือน ก่อนส่งกลับให้ตัดถุงชั้นในสุดของตลับควบคุม (Control cup) ออกให้มีลักษณะเดียวกับตลับวัด (Radon diffusion cup)

5. กรอกแบบสอบถาม (ภาคผนวก ก)

6. ส่งกลับมาที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) งานวัดเรดอน ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อม กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ 9/9 หมู่ 7 ต. ทราชมูล

อ. องครักษ์ จ. นครนายก 26120

3.2.3 การปรับเทียบโดยใช้ถังปรับเทียบก๊าซเรดอน

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงระบบปรับเทียบโดยออกแบบสร้างและทดสอบการใช้งานถังปรับเทียบใหม่ การปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ในถังปรับเทียบมีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

ก. ถังปรับเทียบก๊าซเรดอนที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการปรับเทียบการวัดเรดอนในอากาศ ถังมีรูปทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิม (stainless steel) sus 304 หนา 4 มิลลิเมตร กันความชื้นได้อย่างดี ป้องกันการรั่วซึมของก๊าซเรดอน และที่สำคัญไม่ดูดประจุบวกของแอลฟา ลดการสะสมก๊าซเรดอนตามขอบมุมถึง การปรับเทียบจะวางถังลงในตู้ดูดควัน (fume hood) เพื่อดูดเรดอนออกอย่างรวดเร็วหลังจากที่ปรับเทียบเสร็จ และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ขนาดถังมีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง 40 เซนติเมตร เท่ากัน มีความจุภายใน 50 ลิตร ด้านบนมีที่แขวนตลับวัดเรดอน จำนวน 10-20 จุด ออกแบบให้เหมาะกับการวัดก๊าซเรดอนตามบ้านเรือน ดังภาพที่ 3.4 โดยด้านบนมีฝาปิดด้วยระบบลิ้นกรองฝาเจาะเป็นรูเพื่อใส่ข้อต่อ 4 จุด ซึ่งจุดที่ 1 ข้อต่อกับ ATMOS ให้อากาศเข้า (Air in), จุดที่ 2 ข้อต่อกับ ATMOS ให้อากาศออก (Air out), จุดที่ 3 ต่อกับ ต้นกำเนิดเรดอน (Radon source) ให้เรดอนเข้า และ จุดที่ 4 ต่อกับต้นกำเนิดเรดอนให้เรดอนออก ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 การติดตั้งที่แขวนตลับวัดเหมือนการแขวนในสถานที่วัดจริง



ภาพที่ 3.5 ลักษณะถังวัดก๊าซเรดอนที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่

หลังจากออกแบบสร้างเสร็จได้ทดสอบการรั่วถังโดยดูอากาศออกจากถัง 2 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน (ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข) ผลทดสอบพบว่าถังไม่รั่ว สามารถใช้งานได้อย่างดี จากนั้นได้ทดสอบการกระจายตัวของเรดอนภายในถัง (วิธีการทดสอบและผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข) การทดสอบพบว่าการกระจายตัวเรดอนภายในถังสม่ำเสมอทุกจุด ยกเว้นจุดที่เป็นท่อต่อเรดอนเข้าถังวัด ในการปรับเทียบจึงไม่ควรแขวนตลับวัดที่จุดนี้

ถึงปรับเทียบที่ออกแบบมีการกระจายตัวของเรดอนสม่ำเสมอ ไม่สะสมประจุตามมุมถึง ป้องกันการรั่วและความชื้นได้ดี ระยะเวลาการสิ้นสุดการรับเรดอนของพลาสติก CR-39 ที่แน่นอน เนื่องจากตัวดูดควันมีกำลังมากกว่าหลายเท่าเมื่อเทียบกับปริมาตรถึง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานระหว่างปรับเทียบต้องวัดเรดอนภายในห้องปฏิบัติการด้วย ATMOS 12 dpx อีกเครื่อง เพื่อตรวจสอบการรั่วของก๊าซเรดอนขณะปรับเทียบด้วย

ข. สารมาตรฐานเรดอน สารเรเดียม-226 คือ สารรังสีที่ใช้กันทั่วไปเพื่อเป็นต้นกำเนิด ก๊าซเรดอนเป็นแบบปล่อยเรดอนออกได้สะดวก โดยใช้อุปกรณ์ดูดอากาศให้หมุนวนสารมาตรฐาน เรเดียม-226 ที่ใช้เป็นผงแห้งของเรเดียมปิดทับด้วยชั้นกระดาษกรองเพื่อไม่ให้ฟุ้งกระจายออก และบรรจุในภาชนะโลหะอีกชั้น เหตุที่ใช้โลหะบรรจุต้นกำเนิดเรเดียม-226 เพราะเมื่อเรเดียม-226 สลายตัวให้ลูกหลานได้แก่ เรดอน-222, พอลอเนียม-214 และ พอลอเนียม-210 ซึ่งการสลายตัวแต่ละครั้งจะให้รังสีแอลฟา เมื่อไปจับกับอิเล็กตรอนกลายเป็นก๊าซฮีเลียมทำให้เพิ่มความดันภายใน ต้นกำเนิดเรเดียม ภาชนะบรรจุเรเดียมส่วนใหญ่เลือกใช้โลหะเพราะทนความดันได้ดีกว่าวัสดุอื่น ๆ [18] ภาชนะบรรจุต้นกำเนิดเรดอนมีลิ้น เพื่อให้อากาศหมุนเวียน เรียกสารมาตรฐานนี้ว่า Flow-through radon source ซึ่งสามารถให้เรดอนออกมาได้ถึงร้อยละ 98 จากเรดอนทั้งหมดที่เกิดในภาชนะ ค่าสารมาตรฐานต้นกำเนิดรังสีเรดอนปรับเทียบกับสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา [8]



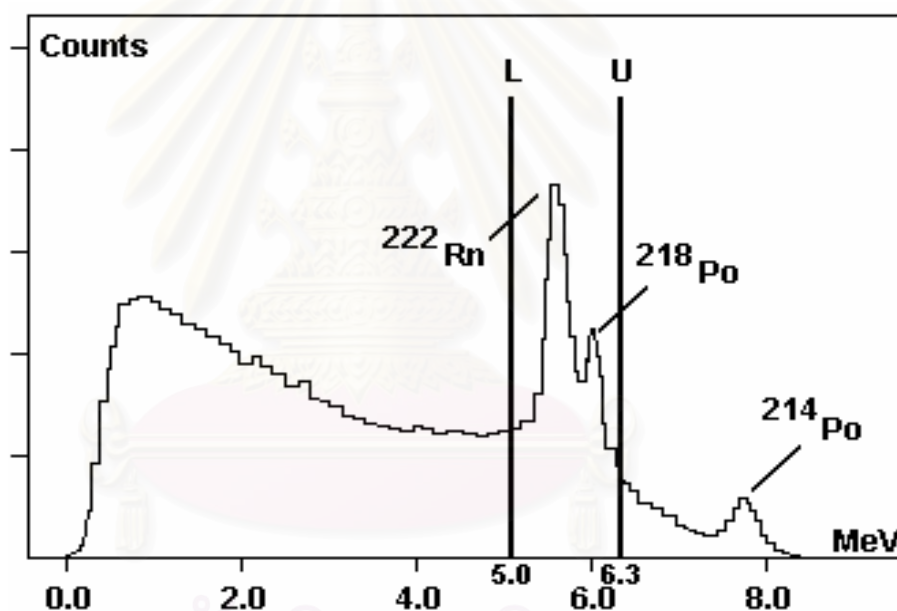
ภาพที่ 3.6 Flow-through radon source สารมาตรฐานเรดอนที่ใช้ในการปรับเทียบ

ค. เครื่องวัดมาตรฐานการวัดค่าเรดอน ในการปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วย

พลาสติก CR-39 ประกอบด้วย 2 วงจร คือ

1. วงจรการให้เรดอนเข้าในตู้ปรับเทียบ
2. วงจรตรวจวัดค่าเรดอนภายในตู้ปรับเทียบ

เครื่องวัดที่ใช้เป็นแบบ Pulse-counting Ionization chamber ATMOS 12 dpx เหตุที่ใช้เนื่องจากมีข้อดี คือ 1. เป็นระบบวัดแบบปฐมภูมิ (ionization chamber) 2. เป็นแบบที่วิเคราะห์พลังงานของอนุภาคแอลฟา (Pulse counting) วัดขนาดพัลส์เพื่อแยกพลังงานของเรดอน-222 (5.5 MeV), พอลิเนียม-218 (6.0 MeV) และ พอลิเนียม-214 (7.8 MeV) มีความแม่นยำในการวิเคราะห์เพราะสามารถแยกแต่ละพลังงานได้ ดังภาพที่ 3.7

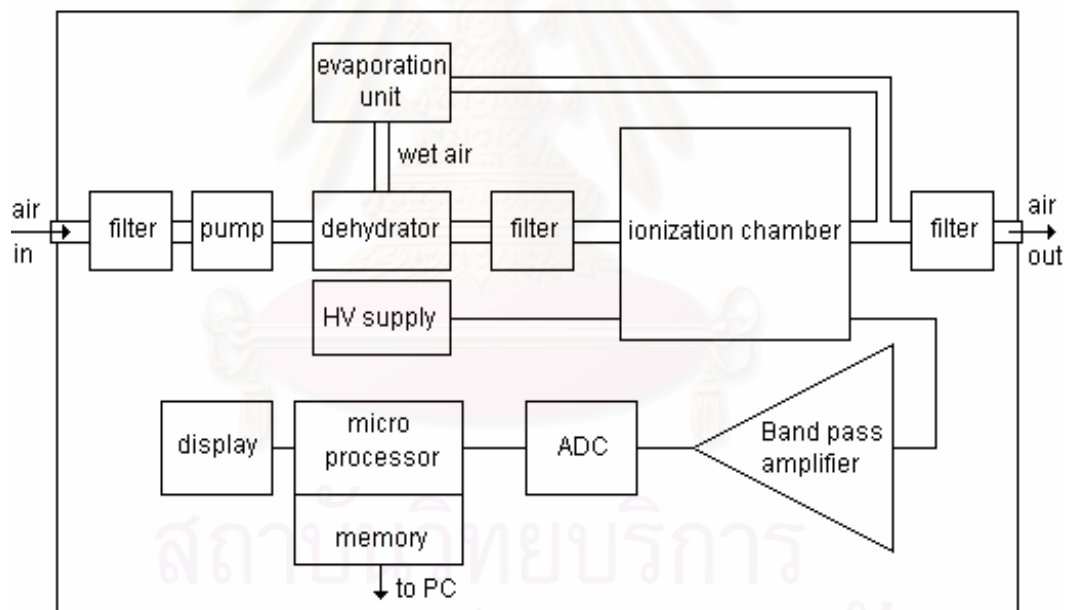


ภาพที่ 3.7 สเปกตรัมรังสีแอลฟาจากการวัดโดยเครื่องวัด ATMOS 12 dpx

มีอุปกรณ์ดูดความชื้น (dehydrator) ภายในตัวทำให้สะดวกต่อการใช้งาน อากาศจะเข้าสู่ระบบลดความชื้นก่อนที่จะเข้าสู่ระบบวัดเรดอน เมื่อเปิดเครื่องประมาณ 15 นาที ก็สามารถอ่านค่าได้ สามารถตั้งเวลาการประเมินผลการวัดได้ ตั้งแต่ 10 นาที 30 นาที 1 ชั่วโมง หรือ 8 ชั่วโมง แล้วแต่ ความต้องการ หากใช้เวลาในการวัดนานจะได้ผลค่าเฉลี่ยที่ดีขึ้น

หลักการวัดของเครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบ Pulse-counting Ionization Chamber ATMOS 12 dpx โดยอากาศถูกดูดเข้าสู่เครื่องวัดที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที ผ่านกระดาษกรองซึ่งกันลูกหลานก๊าซเรดอนที่เกิดอยู่ภายนอกไม่ให้ผ่านเข้าสู่หัววัด อุปกรณ์ลดความชื้น ทำให้ความชื้นของอากาศลดลง โดยทำให้อากาศผ่านความเย็นและควบแน่นที่อุปกรณ์ ที่ถูกควบคุมปิดเปิดด้วย thermostat ละอองน้ำเย็นที่เกิดขึ้นถูกนำออกจากอากาศด้วยวัสดุที่ใช้ดูดน้ำที่ทำด้วยใยผ้า และถูกทำให้ระเหยออกไปทางด้านร้อนของ Peltier element ดังภาพที่ 3.8

ก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในอากาศถูกวัดในหัววัด Ionization chamber แบบ pulse-counting ซึ่งนับวัดอนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยในการสลายตัวของนิวเคลียสของเรดอน-222 และลูกหลานคือ พอลอเนียม-218 และ พอลอเนียม-214 ปริมาณของอากาศทั้งหมดเป็นประมาณ 2 ลิตร ปริมาตรส่วนที่มีความไวในการวัดของหัววัดเป็นประมาณ 0.6 ลิตร



ภาพที่ 3.8 แผนภาพการทำงานภายในเครื่องวัดก๊าซเรดอน ATMOS 12 dpx

การทำงานของเครื่องมือได้นิยามเขตพื้นที่ในสเปกตรัมเป็นสามส่วน คือ A, B และ C คำนวณหาค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนดังนี้

Dead-time compensated radon concentration = $(C_1N_A - C_2N_B)/(1 - C_3N_C)$
 Bq/m³

เมื่ออัตราค่านับวัดในขอบเขตหน้าต่างทั้งสามคือ N_A , N_B และ N_C และ ค่าคงที่
 $C_1 = 2710$, $C_2 = 3794$ และ $C_3 = 0.0065$

เครื่องวัดได้รับการปรับเทียบจากสถาบันมาตรฐานห้องปฏิบัติการวัดก๊าซเรดอนของ
 ประเทศผู้ผลิต คือ ที่ Swedish Radiation Protection Authority ประเทศสวีเดน [8] (รายละเอียด
 เพิ่มเติมและใบรับรองแสดงในภาคผนวก ค)



ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบ Pulse-counting Ionization Chamber ATMOS 12 dpx

ง. หลักการปรับเทียบ

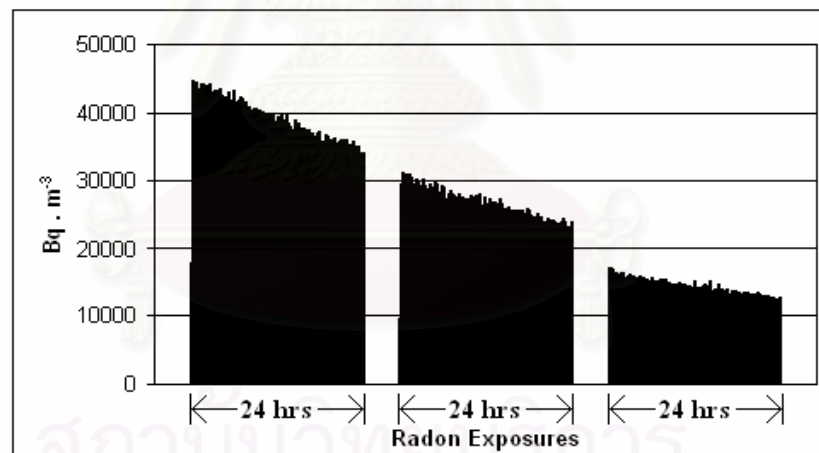
การปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 (Calibration for radon gas measurement with CR-39 plastic) ทำภายในถังปรับก๊าซเรดอน การปรับเทียบจำเป็นมากที่ต้อง
 รู้ค่าเรดอนที่ถูกต้องภายในถัง ขั้นตอนการปรับเทียบประกอบด้วย

1. ไล่แก๊สเรดอนออกจากต้นกำเนิด ดังภาพที่ 3.10 เป็นเวลา 15 นาที โดยปั๊มอากาศ (Minipump) 2 ลิตรต่อนาที เรดอนจะเหลือน้อยมากจนประมาณค่าว่าเรดอนในต้นกำเนิดเป็นศูนย์



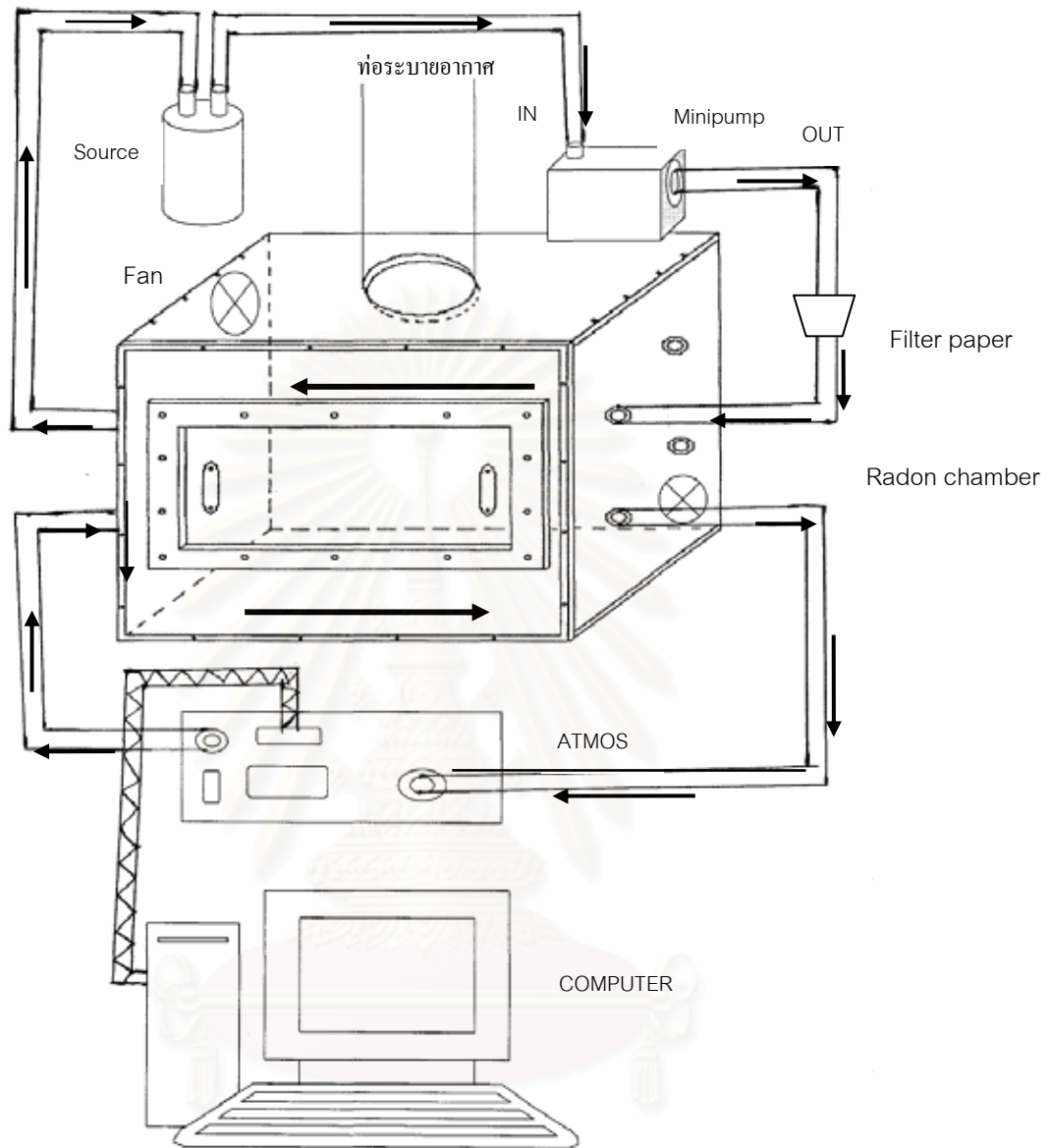
ภาพที่ 3.10 การไล่อากาศเรดอนออกจากต้นกำเนิด

2. ทิ้งให้เรดอนเติบโต (Radon build up) เพื่อกำหนดปริมาณเรดอนในระดับความแรงที่ต้องการปรับเทียบโดยหาเวลา (t) จากสูตร $A_{Rn-222} = A_{Ra-226} (1 - \exp^{-\lambda t})$ ในการทดลองได้ทิ้งให้เรดอน build up จนได้ระดับความแรงรังสี 3 ระดับ คือ ระดับ ต่ำ กลาง และ สูง ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.11

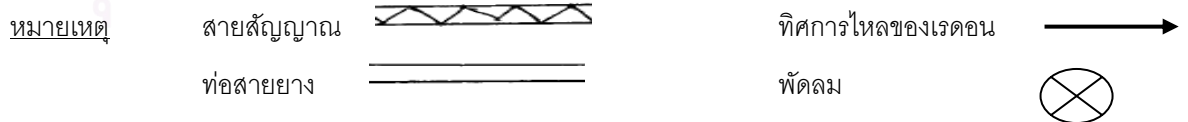


ภาพที่ 3.11 ระดับความเข้มข้นของเรดอน 3 ระดับ วัดด้วยเครื่อง ATMOS 12 dpx

3. การหมุนวนก๊าซเรดอนเข้าสู่ปรับเทียบ (flow gas) บั้มีสารมาตรฐานเรดอนให้ไหลวนเป็นวงจร ก๊าซเรดอนถูกดึงออกจากภาชนะบรรจุผ่านกระดาษกรอง เพื่อจับลูกหลานของเรดอนก่อนเข้าถึงปรับเทียบ ดังภาพที่ 3.12 แสดงแผนผังการต่อระบบปรับเทียบการวัดเรดอน



ภาพที่ 3.12 แผนผังการต่อระบบปรับเทียบการวัดเรดอน



4. การรับเรดอนของพลาสติก CR-39 (Radon Expose) ที่ให้ตลับ CR-39 รับเรดอน ภายในถึงปรับเทียบตามเวลาที่กำหนดเมื่อครบเวลาจึงนำออกมาที่รอยและอ่านรอย

3.2.4 การกัดรอยพลาสติก CR-39

เงื่อนไขการกัดรอยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการวัดเรดอนแบบ SSNTD ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงเงื่อนไขการกัดรอยพลาสติก CR-39 ของบริษัท TASL ประเทศอังกฤษ โดยควบคุมเงื่อนไขการกัดรอยใช้อุณหภูมิ 90 °C สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 6.25 M และหาเวลาที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ขนาดรอยอยู่ในช่วงเหมาะต่อการนับต่อการอ่านด้วยโปรแกรม Image J จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย x 40 เท่า



ภาพที่ 3.13 การตรวจวัดอุณหภูมิระหว่างกัดรอยพลาสติก CR-39

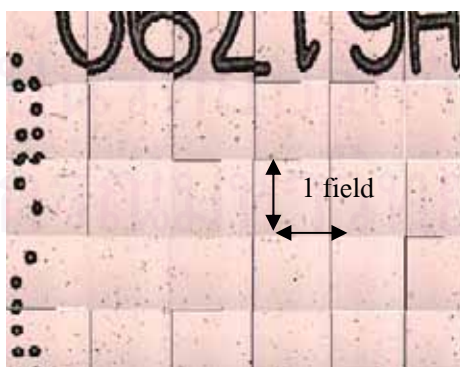
3.2.5 การอ่านรอย CR-39

การอ่านรอยที่มีความคลาดเคลื่อนน้อย ทำให้การคำนวณปริมาณเรดอนที่วัดถูกต้องมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองเปรียบเทียบวิธีการอ่านแบบเดิมคือใช้เครื่องอ่านรอยอัตโนมัติ Radosys กับการนับรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา ดังภาพที่ 3.14 โดยมีเงื่อนไขว่าพลาสติก CR-39 จะต้องทำความสะอาดด้วยน้ำยาเช็ดเลนส์ แล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าเช็ดแว่นก่อนถ่ายภาพ CR-39 ทุกครั้ง เนื่องจากภาพที่สกปรกทำให้การใช้โปรแกรมนับรอยมีความผิดพลาดสูง



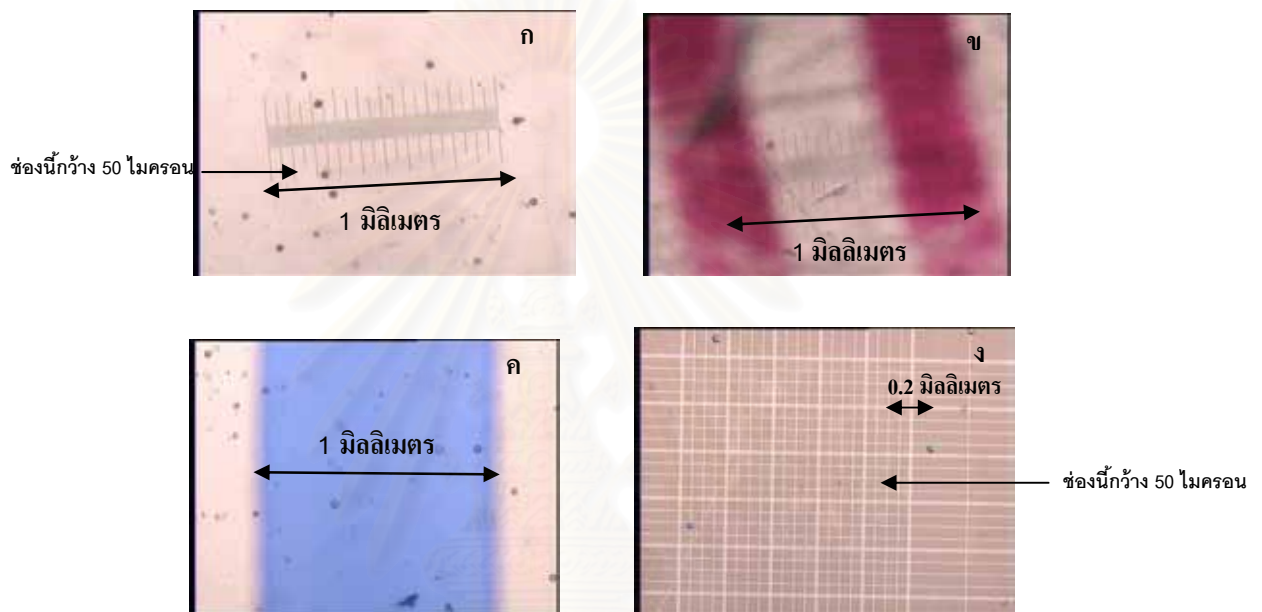
ภาพที่ 3.14 ลักษณะเครื่องนับวัดรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J

นับรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา เป็นการบันทึกภาพเก็บเป็นไฟล์แล้วนำไปอ่านรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ รอยที่เกิดจากการกัดรอยสามารถดูโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย $\times 40$ เท่า ภาพที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ (monitor) เกิดจากการใช้กล้องจุลทรรศน์เชื่อมต่อกับกล้อง CCD คุณภาพสูง (high-quality monochrome charge coupled) CCTV camera เชื่อมต่อกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J โปรแกรมถ่ายภาพจะแสดงบนจอมอนิเตอร์ แล้วทำการถ่ายภาพ (Snapshot) ที่ละ 1 field 1 หนึ่งแผ่นพลาสติก CR-39 จะมี 30 field เก็บเป็นไฟล์ แล้วนำ แต่ละ field ไปอ่านรอยด้วยโปรแกรม Image J



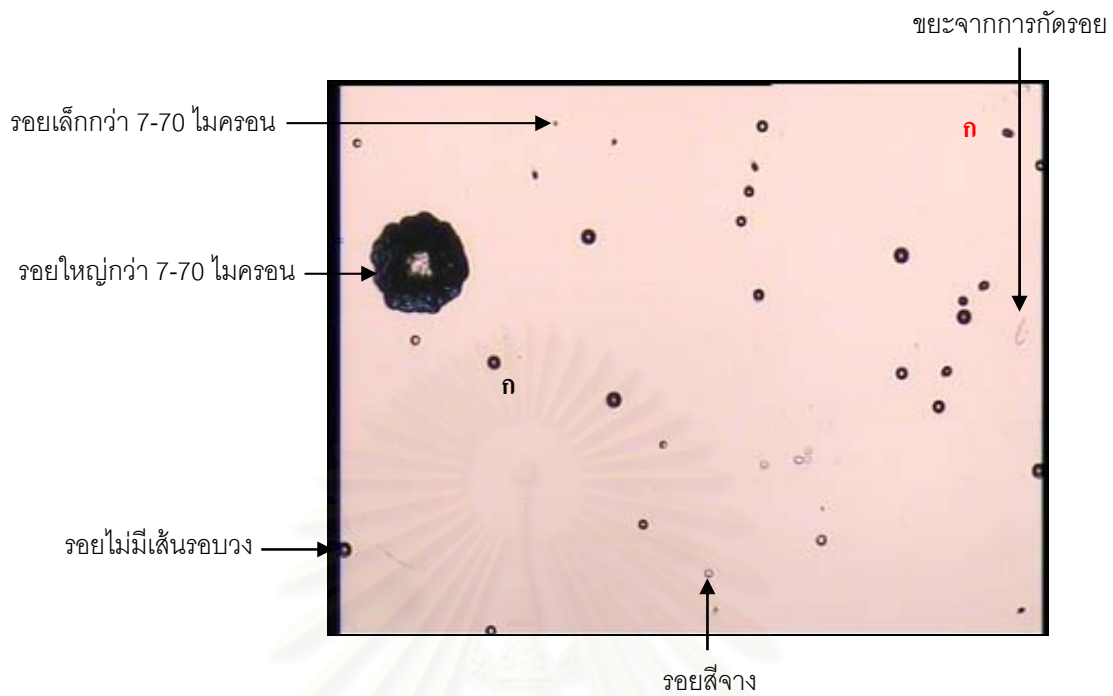
ภาพที่ 3.15 ภาพถ่ายรอยแอลฟา 1 แผ่น CR-39 กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย $\times 40$ เท่า

โปรแกรมจะปรากฏรอยเป็นจุดสีดำ โดยปรับพื้นหลังสีชมพูอ่อนทำให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น ขนาดรอยดูจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้อง CCTV camera จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยในช่วง 7~70 ไมครอน ซึ่งทราบจากการวัดด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิด คือ ใช้ไม้บรรทัดวัดได้กล้องจุลทรรศน์ 2. ใช้ไมโครมิเตอร์(micrometer) 3. ใช้ Hemacytometer (ข้อมูลเพิ่มในภาคผนวก ง) เพื่อนำขนาดรอยที่วัดได้ไปกำหนดขนาดรอย (Size) ในโปรแกรม Image J

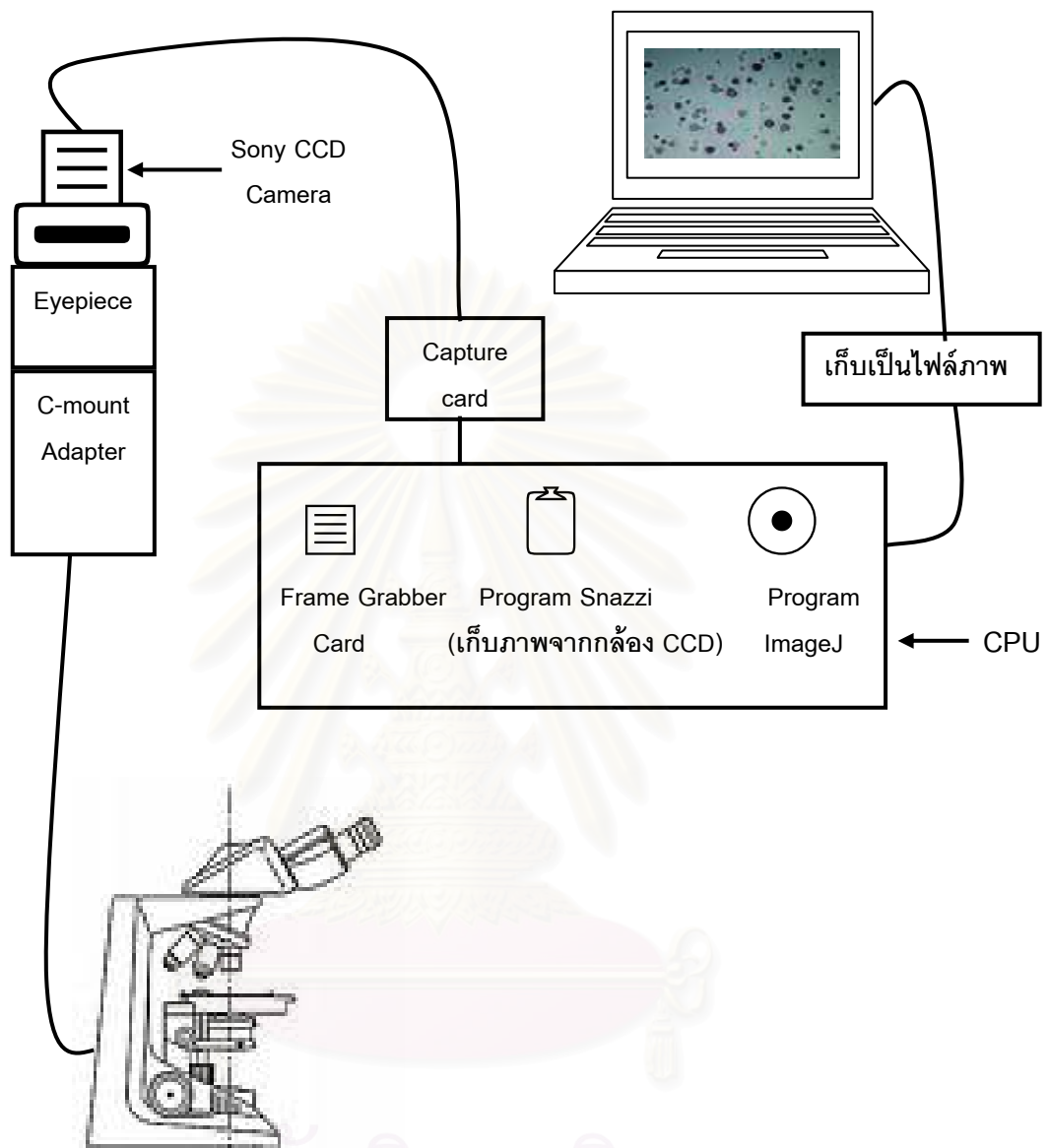


ภาพที่ 3.16 การวัดรอยแอลดจากเรดอนใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า โดยใช้เครื่องวัดชนิดต่าง ๆ (ก) ไมโครมิเตอร์ (ข) ไมโครมิเตอร์ร่วมกับไม้บรรทัด (ค) พลาสติกสี่ขนาด 1 มิลลิเมตร (ง) Hemacytometer

กำหนดให้โปรแกรมนับเฉพาะรอยขนาด 7 ~ 70 ไมครอน ไม่นับรอยมีพื้นที่และเส้นรอบวงที่น้อยหรือมากกว่าช่วงที่กำหนด, ภาพที่ถ่ายมาครั้งเดียว (ไม่มีเส้นรอบวง) และภาพที่สีจางดังภาพที่ 3.17 คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้โปรแกรมไม่นับขยะที่เกิดจากการกัดรอย ทำให้การนับมีความถูกต้องมากขึ้น ระบบการนับรอยที่ปรับปรุงขึ้นแสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.17 แสดงลักษณะการวิเคราะห์รอยของโปรแกรม Image J (ก) ไฟล์ภาพถ่ายรอยแอลฟา 1 field (ข) ผลการอ่านรอยด้วยโปรแกรม Image J



ภาพที่ 3.18 ระบบนับวัดรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

3.3.1 เปรียบเทียบผลการวัดโดยใช้ระบบการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับเครื่องวัด Pulse-counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx

ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินผลการปรับปรุงระบบเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยแผ่นพลาสติก CR-39 ที่ปรับปรุงขึ้น โดยทดลองเปรียบเทียบผลการวัดด้วยพลาสติก CR-39 ที่ผ่านการเปรียบเทียบ กับเครื่องวัด ATMOS 12 dpx วิธีการเริ่มจากนำตลับวัดเรดอนเข้าไปวางในถังเปรียบเทียบจำนวน 5 ตลับ และ ต่อเครื่องวัด ATMOS 12 dpx เข้ากับถังปล่อยเรดอนเข้าไปปริมาณหนึ่ง ทิ้งไว้ 70 ชั่วโมง นำมาคัดรอยและอ่านรอย เปรียบเทียบปริมาณเรดอนที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธี

3.3.2 เปรียบเทียบผลการวัดโดยใช้ระบบการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับ National Institute of Radiological Sciences (NIRS) ประเทศญี่ปุ่น

หลังจากปรับปรุงระบบเปรียบเทียบและตรวจสอบจนเสร็จสมบูรณ์ทุกขั้นตอนแล้ว จากนั้นได้เข้าร่วมเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนกับ National Institute of Radiological Science (NIRS) ประเทศญี่ปุ่นโดยส่งพลาสติก CR-39 จำนวน 12 ชิ้น ไป รับเรดอนที่ห้องปฏิบัติการวัดเรดอนของ NIRS เมื่อรับเรดอนแล้ว NIRS จะส่งอุปกรณ์กลับมาเพื่อคัดรอย อ่านรอย และคำนวณปริมาณเรดอนที่ได้รับที่ห้องปฏิบัติการของ NIRS ด้วยวิธีการและหาค่าเรดอน จากสมการเปรียบเทียบ (calibration curve) ที่ผ่านการปรับปรุงขึ้นใหม่จากงานวิจัยนี้ แล้วเปรียบเทียบผลที่อ่านได้กับปริมาณเรดอนที่รับจริงหรือค่าอ้างอิง (Reference value) จาก NIRS ความเข้มข้นของเรดอนที่วัดด้วยตลับวัดเรดอน (radon cup) ควรมีค่าความแตกต่างของข้อมูลไม่เกินร้อยละ 20 จึงจะถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ (Acceptable agreement) [11]

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

การปรับปรุงขบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนแบบ Solid-state nuclear track detectors โดยใช้พลาสติก CR-39 เริ่มจากหาวิธีเก็บรักษาที่เหมาะสม, กำหนดวิธี และเงื่อนไขการขนส่งพลาสติก CR-39, ออกแบบและสร้างถังปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอนขึ้นใหม่ ให้การวัดมีความคลาดเคลื่อนลดลง, หาเวลาที่เหมาะสมในการกักรอย และนับรอยด้วยโปรแกรม Image J จากนั้นประเมินผลการปรับปรุงการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 จากงานวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบ Ionization Chamber ATMOS 12 dpx และเปรียบเทียบการวัดกับ National Institute of Radiological Sciences (NIRS) ประเทศญี่ปุ่น

4.1 การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

4.1.1 การเก็บรักษา

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย มีวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ต่อไปนี้

1. พลาสติก CR-39 ขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร และตลับวัด CR-39 ของบริษัท TASL ประเทศอังกฤษ
2. ถูขีปอะลูมิเนียมกันอากาศหนา 0.5 มิลลิเมตร ซื้อมาจากประเทศญี่ปุ่น
3. ถูพลาสติกหนา 0.5 มิลลิเมตร ซื้อมาจากประเทศญี่ปุ่น
4. พลาสติกหนา 0.2 มิลลิเมตร
5. เครื่องทำสุญญากาศ รุ่น Freshield บริษัท ซี อี เอส จำกัด
6. กล่องเก็บของขนาดใหญ่
7. โถดูดความชื้น
8. ตู้แช่อุณหภูมิ -12~(-20) °C ยี่ห้อ General Electric

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

บรรจุพลาสติก CR-39 ลงตลับวัด (ภาคผนวก จ) แล้วบรรจุตลับลงถูพลาสติกหนา 0.2 มิลลิเมตร ทำสุญญากาศ ซึ่ปิดชั้นด้วยถูพลาสติกหนา 0.5 มิลลิเมตร และชั้นนอกอีกชั้นด้วยถูขีปอะลูมิเนียม นำไปเก็บรักษาด้วยวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เป็นเวลา 4 เดือน วิธีละ 4 ตลับ

1. โถดูดความชื้น
2. ตู้แช่ อุณหภูมิ -20 °C
3. กล่องกระดาษ
4. ลินชักไม้สังเคราะห์

เมื่อครบ 4 เดือน นำพลาสติก CR-39 ไปกักรอยฝั่งให้แห้งหนึ่งคืนแล้วอ่านรอย นำมาหาค่าความหนาแน่นของรอย (tracks/cm²), หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD.) และวิเคราะห์ผล แล้วเลือกวิธีที่เหมาะสมกับการเก็บชุดดับควบคุม และตัวอย่าง

ค. ผลการทดลองเก็บรักษาและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองเก็บรักษาแผ่นพลาสติก CR-39 ด้วยวิธีต่าง ๆ 4 วิธี แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของรอยแอลฟาจากเรดอนบนแผ่นพลาสติก CR-39 ในการเก็บรักษาด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 4 เดือน

วิธีเก็บรักษา	ความหนาแน่นของรอย (tracks /cm ²) บนแผ่นพลาสติก CR-39 แผ่นที่					
	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1. เก็บในโถดูดความชื้น	63.8	65	67.5	71.3	66.9	3.3
2. เก็บในตู้แช่ -20 °C	56.9	70	67.5	47.5	60.3	9.3
3. เก็บในกล่องกระดาษ	61.3	-	66.3	63.6	63.7	2.0
4. เก็บในตู้ไม้สังเคราะห์	68.8	81.3	60	63.8	68.4	9.3

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีข้อมูล เนื่องจากตัวอย่างชำรุด

S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการวัดการกระจายแบบหนึ่งของกลุ่มข้อมูล ใช้วัดการกระจายตัวของรอยบนแผ่นพลาสติก CR-39



ภาพที่ 4.1 การเก็บรักษาแผ่นพลาสติก CR-39 ด้วยวิธีต่างๆ

- (1) เก็บในโถดูดความชื้น (2) เก็บในตู้แช่ -20 °C
(3) เก็บในกล่องกระดาษ (4) เก็บในตู้ไม้สังเคราะห์

จากการทดลองพบว่าวิธีที่เหมาะสมสำหรับกรณีเตรียมตลับพลาสติก CR-39 ไข่มาก ๆ คือ เก็บในตู้แช่ -20 °C มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรอยเท่ากับ 60.31 tracks /cm² ค่า S.D. เท่ากับ 9.29

สำหรับการเก็บรักษาชุดดัดควบคุม ควรเก็บรักษาในโถดูดความชื้นเพราะเป็นวิธีที่มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรอยไม่สูง คือ เท่ากับ 66.87 tracks /cm² ค่า S.D. เท่ากับ 3.31 ซึ่งแสดงว่าวิธีนี้สามารถป้องกันเรดอนได้ดีแต่เก็บได้ปริมาณน้อย และสามารถทำเป็นสุญญากาศได้ จึงทดลองเพิ่มเติมโดยเลือกวิธีนี้เก็บรักษาชุดดัดควบคุมการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ในโถดูดความชื้น แบบต่าง ๆ เป็นเวลา 4 เดือน (30/ 05/2008 - 30/09/2008) ผลการทดลองการเก็บดัดควบคุมแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นของรอยแอลฟาจากเรดอนบนแผ่นพลาสติก CR-39 ในการเก็บรักษาในโถดูดความชื้นแบบต่าง ๆ

วิธีเก็บรักษาใน โถดูดความชื้น โดยภายใน	ความหนาแน่นของรอย (tracks /cm ²) บนแผ่นพลาสติก CR-39 แผ่นที่								ค่าเฉลี่ย	S.D.
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1. ไม่เป็นสุญญากาศ	137	132	70	70	68	51	63	71	82.6	32.6
2. เป็นสุญญากาศ	20	42	43	40	45	41	40	35	38.3	7.9
3. อากาศมีสารดูดความชื้น	112	98	97	109	75	78	103	88	95	13.6



ภาพที่ 4.2 วิธีการเก็บรักษาชุดดัดควบคุมการวัดโดยวิธีเก็บในโถดูดความชื้นแบบต่าง ๆ

(1) ภายในไม่เป็นสุญญากาศ (2) ภายในเป็นสุญญากาศ (3) อากาศมีสารดูดความชื้น

จากผลการทดลองเก็บรักษาชุดดัดควบคุมพบว่าวิธีการเก็บที่เหมาะสม คือ การเก็บในโถดูดความชื้นภายในเป็นสุญญากาศ มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรอยเท่ากับ 38.3 tracks/cm² มีค่า S.D. เท่ากับ 7.9

วิธีที่เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างมาก ๆ คือ เก็บในตู้เย็น -20 °C และวิธีการเก็บดัดควบคุมหรือกรณีตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ คือ เก็บในโถดูดความชื้นภายในเป็นสุญญากาศ

4.1.2 การขนส่งพลาสติก CR-39

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. แผ่นพลาสติก CR-39 จากบริษัท TASL ประเทศอังกฤษ
ขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร
2. ตลับบรรจุแผ่นพลาสติก CR-39 จากบริษัท TASL ประเทศอังกฤษ
3. ถุงซีปอะลูมิเนียมกันอากาศหนา 0.5 มิลลิเมตร จากประเทศญี่ปุ่น
4. ถุงซีปพลาสติกกันอากาศหนา 0.5 มิลลิเมตร จากประเทศญี่ปุ่น
5. ถุงซีปพลาสติกกันอากาศหนา 0.5 มิลลิเมตร ซื้อมาภายในประเทศไทย
6. พลาสติกเม็ดกันกระแทก
7. เครื่องทำสุญญากาศ รุ่น Freshield บริษัท ซี อี เอส จำกัด
8. พลาสติกหนา 0.8 มิลลิเมตร

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

เตรียมชุดตลับวัดเรดอนตามเงื่อนไขในการขนส่ง CR-39 ทั้ง 5 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 4 ตลับ เก็บรักษาไว้ในกล่องพัสดุในห้องโถง เป็นเวลา 4 เดือน ดังภาพที่ 4.3 จึงนำแผ่น CR-39 มาگذรรอยแล้วหาความหนาแน่นของรอย (track/mm²), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเกิดรอย (S.D.) วิเคราะห์ผลการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการขนส่งพลาสติก CR-39



ภาพที่ 4.3 การทดลองขนส่งพลาสติก CR-39 ตามเงื่อนไขทั้ง 5 ข้อ

ค. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดลองขนส่งพลาสติก CR-39 โดยวางตลับวัดตามเงื่อนไขต่าง ๆ ไว้ในห้องโถงเมื่อครบ 4 เดือน นำมาวัดรอยหาค่าความหนาแน่นรอย (tracks/cm²) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (S.D.) แสดงผลการทดลองตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นของรอยแอลฟาจากเรดอนบนพลาสติก CR-39 จากการเก็บรักษาด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ

ชุดที่	ความหนาแน่นของรอย (tracks/cm ²)				
	เงื่อนไข A	เงื่อนไข B	เงื่อนไข C	เงื่อนไข D	เงื่อนไข E
1	197.5	95	71.3	39.8	243.8
2	137.5	66.3	67.5	27.9	182.5
3	173.5	105	61.3	40	252.5
4	132.5	70	41.3	42	276.3
เฉลี่ย	160.3	84.1	60.3	37.4	238.8
S.D.	30.9	18.9	13.4	6.4	18.4

หมายเหตุ ตลับ CR-39 ที่บรรจุแผ่นพลาสติก CR-39 แล้วถูกบรรจุด้วยวัสดุซึ่งเรียงลำดับจาก ในสุดไปนอกสุดตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้ แล้วค่อยบรรจุลงในกล่องพัสดุ

เงื่อนไขที่ A ถุงซีปไส และถุงซีปอะลูมิเนียม

เงื่อนไขที่ B ถุงพลาสติกหนา 0.1 มม. และถุงซีปอะลูมิเนียม

เงื่อนไขที่ C ถุงหนาซีลปิดสนิท ถุงซีปไส และถุงซีปอะลูมิเนียม

เงื่อนไขที่ D ถุงพลาสติกหนา 0.2 มม. สูญญากาศ และถุงซีปอะลูมิเนียม

เงื่อนไขที่ E ทิ้งไว้เปล่า ๆ ไม่ได้ใส่ถุง

จากผลการทดลองพบว่า เงื่อนไขการขนส่งพลาสติก CR-39 ที่มีความเหมาะสมที่สุดคือเงื่อนไข D ซึ่งเป็นการบรรจุตลับ CR-39 ลงถุงพลาสติกหนา 0.2 มิลลิเมตร ทำสูญญากาศ ซ้อนทับด้วยถุงซีปอะลูมิเนียม ความหนาแน่นของรอยเรดอนเฉลี่ย 37.42 track/cm² ค่า S.D. เท่ากับ 6.42

4.1.2 การเปรียบเทียบโดยใช้ถังวัดเรดอน

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. ตู้วัดเรดอนแบบเดิม และถังวัดแบบที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่
2. สารมาตรฐานเรเดียม-226 แบบ Flow-through radon source
3. เครื่องวัดมาตรฐานค่าเรดอนแบบ Ionization Chamber ATMOS 12 dpx

4. แผ่นพลาสติก CR-39 บรวจในตลับวัด
5. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมอ่านค่าเรดอนจากเครื่องวัด ATMOS 12 dpx
6. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
7. Fume hood
8. Minipump
9. เครื่องดูดสูญญากาศ

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างและทดสอบถังปรับเทียบก๊าซเรดอนขึ้นใหม่ ถังมีรูปทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิมชนิด sus 304 เป็นการดัดแปลงถังสเตนเลส เพื่อใช้สำหรับเป็นถังปรับเทียบการวัดก๊าซเรดอน อุปกรณ์วัดก๊าซเรดอนที่ใช้เป็นชนิดพลาสติก Solid-state nuclear track CR-39 (allyl diglycol carbonate polymer) ถังมีความหนา 4 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการรั่วซึมและที่สำคัญคือพื้นผิวไม่สะสมประจุไฟฟ้า ถังมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูง 40 เซนติเมตรเท่ากัน มีปริมาตรภายในประมาณ 50 ลิตร ปริมาตรที่พอเหมาะทำให้การกระจายตัวเรดอนสม่ำเสมอ ด้านบนถังมีฝาปิดทำจากเหล็กไร้สนิม มีการป้องกันการรั่วของก๊าซด้วยการวางยางเส้นโดยรอบขอบฝาถึงที่ต่อกับตัวถัง และยึดแน่นด้วยตัวหนีบขันน็อต (screw-driven champ) 8 ตัว ที่ฝาด้านบนถังติดหัวต่อ Swagelok ตัวเมีย 4 จุด ใช้สำหรับการไหลวนของก๊าซเรดอน 2 จุด และใช้ต่อเข้ากับระบบวัดก๊าซเรดอน 2 จุด ถังปรับเทียบเรดอนที่ออกแบบสร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ถังปรับเทียบที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่รูปทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิม sus 304



ภาพที่ 4.5 ตู้ปรับเทียบแบบเดิมรูปทรงเหลี่ยมทำจากพลาสติกอะครีลิกใส

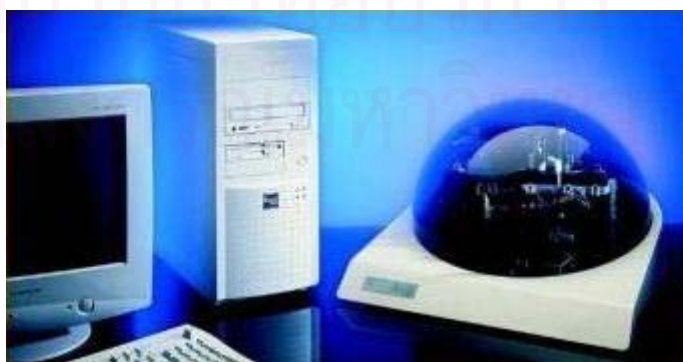
ถังปรับเทียบก๊าซเรดอนได้มีการทดสอบการรั่วโดยวิธีการดูดอากาศภายในถังออกโดยใช้ vacuum pump ดังภาพที่ 4.4 จะทำความดันบรรยากาศภายในถังลดลงและใช้ vacuum gauge ทำการทดสอบเป็นเวลา 5 วัน ซึ่งเท่ากับเวลาปกติในการรับเรดอนขณะปรับเทียบ หากเข็มของมาตรวัดไม่ตกแสดงว่าถังวัดเรดอนไม่รั่ว

ในการวัดความเข้มข้นของเรดอนภายในและภายนอกถังวัด จะใช้เครื่องวัดก๊าซเรดอนชนิด ATMOS 12 dpx 2 เครื่อง ซึ่งผลิตโดย Gammadata MattekNIK ประเทศสวีเดน การวัดก๊าซเรดอนภายนอกเป็นการเฝ้าระวังอาจเกิดการรั่วของก๊าซเรดอนระหว่างปรับเทียบ เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญมาก



ภาพที่ 4.6 เครื่อง Pulse-counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบสำหรับวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ที่ระดับความเข้มข้นของเรดอนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ กลาง และสูง ระหว่างวิธีการเปรียบเทียบแบบเดิมใช้ตู้เปรียบเทียบก๊าซเรดอนรูปทรงสี่เหลี่ยมทำจากพลาสติกอะครีลิคใส ดังภาพที่ 4.5 พลาสติก CR-39 ที่ใช้วัดมีขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร กัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.25 M ที่อุณหภูมิ 90 °C ใช้เวลา 4 ชั่วโมง รอยที่เกิดขึ้นนับรอยโดยใช้เครื่องนับรอยอัตโนมัติที่ผลิตโดยบริษัท RADOSYS ประเทศฮังการี ดังภาพที่ 4.7 กับการเปรียบเทียบแบบใหม่ในถังเปรียบเทียบก๊าซเรดอนแบบรูปทรงกระบอกสเตนเลสที่พัฒนาขึ้น พลาสติก CR-39 ที่ใช้วัดมีขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร กัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6.25 M ที่อุณหภูมิ 98 °C ใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง ทำการนับรอยที่เกิดขึ้น โดยใช้การถ่ายภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์แล้วเก็บเป็นไฟล์ จากนั้นนับรอยด้วยโปรแกรม Image J ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 เครื่องนับวัดรอยอัตโนมัติของบริษัท RADOSYS



ภาพที่ 4.8 ระบบนับรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา

ค. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

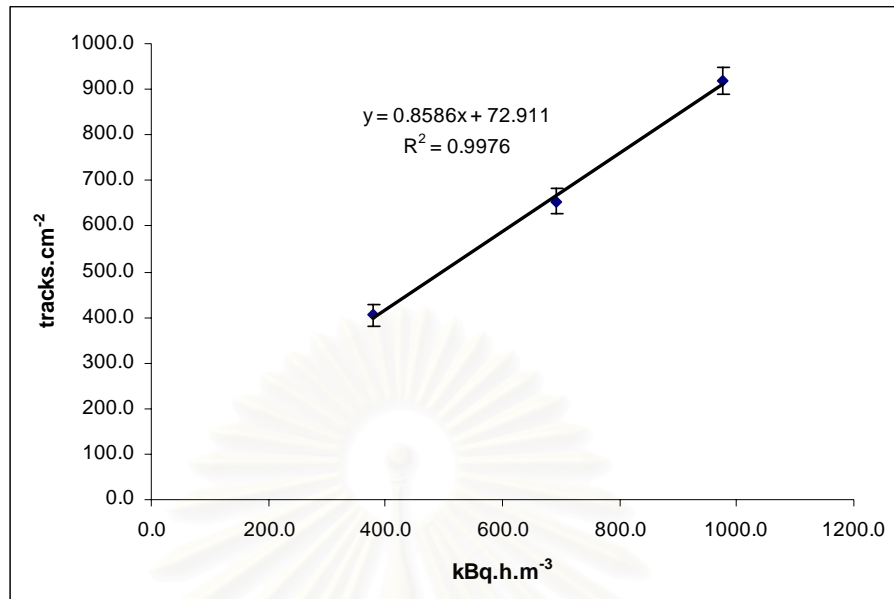
การทดลองเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับโดยใช้ตู้เปรียบเทียบแบบเดิมและถังเปรียบเทียบแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบการวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน สำหรับตู้วัดก๊าซเรดอนแบบเดิมและแบบใหม่

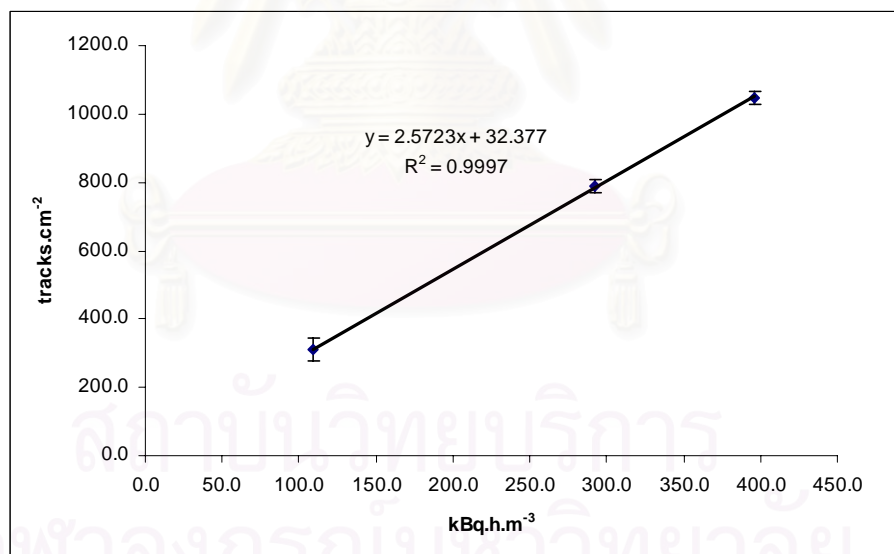
ตู้วัดก๊าซเรดอน	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนรวม	ความหนาแน่นของรอย	% ความคลาดเคลื่อนในการนับรอย
	(kBq.h.m ⁻³)	(Tracks cm ⁻²)	
แบบเดิม ซึ่งเป็นตู้ทรงเหลี่ยมทำด้วยอะคริลิก	378.6 (ต่ำ)	404.8	8.7
	693.2 (กลาง)	653.7	12.1
	975.0 (สูง)	917.6	13.0
แบบใหม่ ซึ่งเป็นถังสเตนเลส	109 (ต่ำ)	310.0	18.8
	292 (กลาง)	790.8	4.1
	396 (สูง)	1046.5	2.6

หมายเหตุ : ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนรวม = integrated radon concentration ในหน่วย kBq.h.m⁻³ ซึ่งได้จากการทิ้ง CR39 ไว้ในถังเปรียบเทียบที่มีความเข้มข้นของเรดอน a kBq.m⁻³ เป็นเวลา h ชั่วโมง

จากนั้นนำผลการทดลองเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนโดยใช้ตู้เปรียบเทียบแบบเดิม และถังเปรียบเทียบแบบใหม่มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนกับความหนาแน่นของรอย ดังภาพที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งใช้เป็นสมการกราฟเปรียบเทียบ (calibration curve)



ภาพที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศ
กับความหนาแน่นของรอย ของตัวเปรียบเทียบก๊าซเรดอนแบบเดิม



ภาพที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศ
กับความหนาแน่นของรอย ของตัวเปรียบเทียบก๊าซเรดอนแบบใหม่

ผลการทดลองเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนโดยใช้ตัวเปรียบเทียบแบบเดิม และถ่วงเปรียบเทียบแบบใหม่พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนในการนับรอยแอลฟาตกลงจากร้อยละ 11.3 เหลือประมาณร้อยละ 8.5 และค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากขึ้น คือจาก 0.9976 เป็น 0.9997 ตามลำดับ

4.4 การกัดรอยพลาสติก CR-39

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. ชุดสำหรับกัดรอยพลาสติก CR-39 ของบริษัท Radosys
2. พลาสติก CR-39 ของบริษัท TASL ประเทศอังกฤษ
3. เทอร์โมมิเตอร์ อุณหภูมิ 100 °C
4. อุปกรณ์วัดจำนวนแพลงก์ตอน (Hemocytometer)
5. สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 6.25 M
6. สารละลายอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 20

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

ได้ถ่ายภาพรอยเรดอนบนพลาสติก CR-39 ใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย x 40 แล้ววัดขนาดด้วย Hemocytometer พบว่า ภาพรอยมีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 7~70 ไมครอน งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการกัดรอยพลาสติก CR-39 เพื่อให้รอยมีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 7~70 ไมครอน เริ่มจากให้พลาสติก CR-39 รับเรดอน 1 kBq/m³ แล้วกัดรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.25 M อุณหภูมิ 98 °C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง, 1.5 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, และ 2.5 ชั่วโมง ใช้พลาสติก CR-39 เส้นใยละ 2 แผ่น สุ่มรอยมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นละ 20 รอย

ค. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

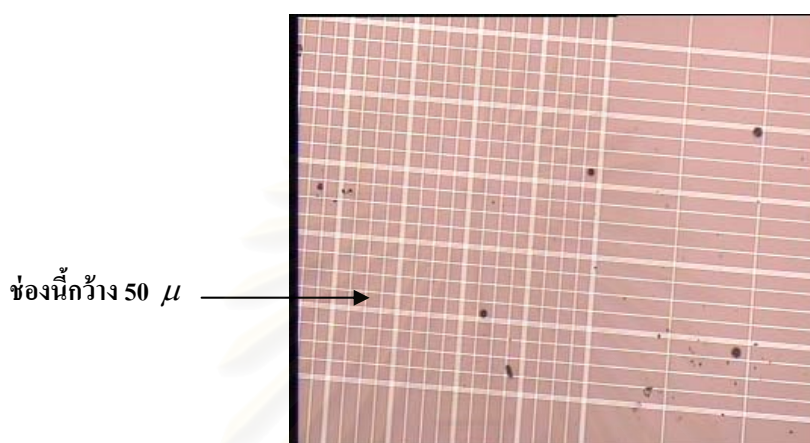
ตารางที่ 4.5 การหาเวลาที่เหมาะสมในการกัดรอยพลาสติก CR-39 เพื่อให้รอยแอลฟาจากเรดอนมีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 7-70 ไมครอน

etching time(h)	Track No. of the first piece																				assume
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A	B	A	A	A	A	A	A	B	A
2	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	A	B	B	B	C	B
1.5	B	C	B	C	C	B	C	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	C
2	NA	C	B	B	C	C	C	C	C	NA	C	C	NA	C	C	C	NA	C	C	C	C

etching time(h)	Track No. of the second piece																				assume
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A	A
1.5	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B
2	B	C	B	C	C	C	C	C	NA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C
2.5	NA	C	C	C	C	C	AN	C	C	C	C	C	C	C	NA	NA	C	C	NA	B	C

- หมายเหตุ : A หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอย < 7 ไมครอน
 : B หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยอยู่ในช่วง 7-70 ไมครอน
 : C หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอย > 7 ไมครอน
 : NA หมายถึง ขนาดรอยขยายใหญ่จนติดรอยข้างเคียงที่อยู่ติดกัน ๆ จนวัดขนาดไม่ได้

จากผลการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการกัตรอยพลาสติก CR-39 ของบริษัท TASL (บริษัทแนะนำให้ใช้เวลากัตรอย 2 ชั่วโมง) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.25 M ที่อุณหภูมิ 98 °C พบว่าควรใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อให้รอยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 7-70 ไมครอน ดังภาพที่ 4.11 ช่วงขนาดรอยที่เหมาะสมต่อการอ่านด้วยโปรแกรม Image J กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย x 40 เท่า



ภาพที่ 4.11 การวัดขนาดรอยแอลฟาในช่วง 7-70 ไมครอน ด้วยเครื่อง Hemacytometer

4.5 การอ่านรอย

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. พลาสติก CR-39 ของบริษัท TASL
2. เครื่องนับวัดรอยแบบอัตโนมัติ ของบริษัท RADOSYS ประเทศอังกฤษ
3. ระบบการนับรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการทดลองอ่านรอยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอ่านรอยแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39 ระหว่าง 2 วิธี คือ ใช้ระบบการนับรอยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J และตรวจสอบด้วยตา กับการใช้เครื่องอ่านรอยแบบอัตโนมัติของบริษัท RADOSYS การทดลองเริ่มจากปรับเทียบการวัดที่ระดับความแรงรังสี 3 ระดับที่แตกต่างกัน นำมา กัตรอยและอ่านรอยด้วย 2 วิธี ดังกล่าว แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอ่านรอยของทั้ง 2 วิธี โดยดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อวัดการกระจายตัวของรอย และ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการอ่านรอย (Error of track count : E) แล้วจึงวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบการอ่านรอยทั้ง 2 วิธี

ค. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านรอยพลาสติก CR-39 ระหว่าง 2 วิธี ดังตารางที่ 4.6 ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าความคลาดเคลื่อนการนับรอย (E) ของการอ่านรอยด้วยเครื่อง RADOSYS กับ โปรแกรม Image J และการนับด้วยตา

ระดับความเข้มข้น ของเวดอน	หมายเลข CR-39	อุปกรณ์นับรอย (tracks/cm ²)	
		Radosys	Image J
ต่ำ	H62049	608	967
	H62055	576.92	941
	H62058	585.47	930
	H62061	519.23	976
	H62063	617.52	1006.5
	ค่าเฉลี่ย	581.43	964.1
	S.D.	38.45	30.18
	E (%)	6.61	3.13
กลาง	H62068	829.06	1496.5
	H62071	841.88	1572.5
	H62075	920.94	1615
	H62076	931.62	1639.5
	H62077	675.21	1399
	ค่าเฉลี่ย	839.74	1544.5
	S.D.	102.74	97.79
	E (%)	12.23	6.33
สูง	H62038	1211.54	1890.5
	H62049	1228.63	2005.5
	H62046	1111.11	1806
	H62051	982.90	1780.5
	H62056	903.84	1729.5
	ค่าเฉลี่ย	1087.60	1842.4
	S.D.	141.89	108.19
	E (%)	13.04	5.87

จากผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการอ่านรอยด้วยโปรแกรม Image J และ เครื่องนับรอย RADOSYS ในระดับความแรงรังสี 3 ระดับ พบว่าค่าการอ่านรอยด้วยโปรแกรม Image J ที่ความหนาแน่นรอยเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับ มีค่า S.D. และ E เท่ากับ 78 และร้อยละ 5.11 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าการอ่านด้วย RADOSYS ที่มีค่าเฉลี่ย S.D. และ E เท่ากับ 94.36 และร้อยละ 10.63 ตามลำดับ การนับรอยโดยใช้โปรแกรม Image J มีค่า S.D. แสดงว่าการกระจายตัวของรอยสม่ำเสมอ การอ่านรอยในแต่ละแผ่นพลาสติก CR-39 ได้ค่าใกล้เคียงกัน และค่า E ต่ำแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนในการอ่านต่ำ การอ่านรอยมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

4.2 ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

4.2.1 เปรียบเทียบผลการวัดโดยใช้ระบบการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับเครื่องวัด Pulse-counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. ถังเปรียบเทียบก๊าซเรดอน (Radon chamber)
2. เครื่องวัดมาตรฐานการวัดค่าเรดอน Ionization chamber ATMOS 12 dpx
3. แผ่นพลาสติก CR-39 บรรจุในตลับวัด และกระบอแก้ววัด
4. คอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมอ่านค่าเรดอนจากเครื่องวัด ATMOS 12 dpx
5. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
6. เครื่องวัดก๊าซเรดอน RAD7
7. Fume hood

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินผลการปรับปรุงระบบเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนพลาสติก CR-39 ที่ปรับปรุงขึ้น โดยเปรียบเทียบผลการวัดด้วยพลาสติก CR-39 ที่ผ่านการเปรียบเทียบจากงานวิจัยนี้กับเครื่องวัด ATMOS 12 dpx วิธีการเริ่มจากนำตลับวัดเรดอนเข้าไปวางในถังวัดจำนวน 5 ตลับ และต่อเครื่องวัด ATMOS 12 dpx กับถัง ดังภาพที่ 4.12 แล้วปล่อยเรดอนเข้าไปปริมาณหนึ่งทิ้งไว้ 70 ชั่วโมง นำมาคัดรอยและอ่านรอย แล้วเปรียบเทียบปริมาณเรดอนที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธี



ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลการวัดเรดอนในอากาศด้วยพลาสติก CR-39 กับ ATMOS 12 dpx

ค. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นรอยจากการวัดเรดอนในอากาศด้วยพลาสติก CR-39

sample		Control	
number of CR-39	tracks/cm ²	number of CR-39	tracks/cm ²
426	257.5	002	125.0
449	222.5	179	117.5
459	283.75	199	132.5
470	265.0	069	96.25
491	228.7	192	123.75
average	251.5	average	119.0
net track density =		132.5	tracks/cm ²

ความหนาแน่นรอยเท่ากับ 132.5 tracks/cm² จากนั้น นำมาอ่านค่าเรดอนจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรอยและระดับความแรงรังสี 3 ระดับ จากกราฟความสัมพันธ์จากการปรับเทียบ ดังภาพที่ 4.9

จากสมการ

$$y = 2.5723x - 32.349$$

เมื่อ

$$y = 132.5 \text{ tracks/cm}^2$$

ดังนั้น

$$X = \frac{132.5 + 32.349}{2.5723}$$

$$\text{Integrated radon concentration} = 38.93 \text{ kBq.h/m}^3$$

$$\text{หรือ Radon concentration} = 556.20 \text{ Bq/m}^3$$

ค่าความเข้มข้นเรดอน (Radon concentration) ในอากาศที่วัดด้วย ATMOS 12 dpx 551 Bq/m³ เวลารับเรดอน (Radon exposure time) 70 ชั่วโมง ดังนั้น ค่าความเข้มข้นเรดอนรวม (Integrated radon concentration) = 38.6 kBq.h/m³

ตารางที่ 4.8 สรุปการเปรียบเทียบการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 กับ ATMOS12 dpx

ค่าที่เปรียบเทียบ	อุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซเรดอน	
	ATMOS 12 dpx	Plastic CR-39
1. ค่าความเข้มข้นเรดอน (Bq/m ³)	551	556
2. ค่าความเข้มข้นเรดอนรวม 38.6 (kBq.h/m ³)	38.6	38.9
3. เวลารับเรดอน (h)	70	70

ค่าเรดอนที่วัดด้วย ATMOS 12 dpx และ Plastic CR-39 มีค่าแตกต่างกันประมาณร้อยละ 1

4.2.2 เปรียบเทียบการวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนโดยใช้ระบบการปรับเทียบที่ปรับปรุงขึ้นกับ National Institute of Radiological Science (NIRS) ประเทศญี่ปุ่น

ก. วัสดุและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. ถังวัดเรดอน
2. สารมาตรฐานเรเดียม-226 แบบ Flow-through radon source
3. เครื่องวัดมาตรฐานการวัดค่าเรดอน Ionization chamber ATMOS 12 dpx
4. แผ่นพลาสติก CR-39 บรรจุในตลับวัด
6. คอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมอ่านค่าเรดอนจากเครื่องวัด ATMOS 12 dpx
7. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
8. เครื่องวัดอุณหภูมิ
9. Fume hood
10. Minipump
11. เครื่องดูดสูญญากาศ

ข. วิธีการดำเนินการวิจัย

หลังจากปรับปรุงระบบปรับเทียบและตรวจสอบจนเสร็จสมบูรณ์ทุกขั้นตอนแล้ว จากนั้นได้เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดก๊าซเรดอนกับ NIRS ประเทศญี่ปุ่น โดยส่งพลาสติก CR-39 จำนวน 12 ชิ้น ไปรับเรดอนที่ห้องปฏิบัติการวัดเรดอนของ NIRS เมื่อรับเรดอนแล้ว NIRS จึงส่งอุปกรณ์กลับมาเพื่อทำการกัตรอย อ่านรอย และคำนวณปริมาณเรดอนที่ได้รับที่ห้องปฏิบัติการของ NIRS ด้วยวิธีการและหาค่าเรดอนจากสมการปรับเทียบที่ปรับปรุงขึ้นใหม่จากงานวิจัยนี้ ดังภาพที่ 4.10 แล้วเปรียบเทียบค่าเรดอนที่คำนวณได้กับปริมาณเรดอนที่รับจริงหรือค่าอ้างอิง (Reference value) ของ NIRS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 โดยใช้กระบวนการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงใหม่ ของ สทน. กับ NIRS

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 โดยใช้กระบวนการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงใหม่ ของ สทน. กับของ NIRS

ระดับ ความ เข้มข้น เรดอน	ความหนาแน่น รอยจาก CR-39 ที่ส่งไปรับเรดอน ที่ NIRS (tracks.cm ⁻²)	เวลา รับ เรดอน (h)	ผลการวัดเรดอนจากงานวิจัยนี้				ค่าเรดอนอ้างอิงของ NIRS			
			ค่าความเข้มข้น เรดอนรวม		ค่าความเข้มข้น เรดอน		ค่าความเข้มข้น เรดอนรวม		ค่าความเข้มข้น เรดอน	
			(kBq.h.m ⁻³)	Error (%)	(kBq.m ⁻³)	Error (%)	(kBq.h.m ⁻³)	Error (%)	(kBq.m ⁻³)	Error (%)
ต่ำ	287.5	100	99.3	32.4	1	0.3	96	32.4	0.96	-
กลาง	2810	65	1080.2	84.1	16.6	1.3	617	84.1	9.49	-
สูง	3434	119	1322.8	271.4	11.1	2.3	1107	271.4	9.30	-

จากผลการเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ที่ส่งไปรับเรดอนที่ NIRS แล้วนำมาอ่านค่าเรดอน โดยใช้สมการเปรียบเทียบจากระบบเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นจากงานวิจัยนี้ พบว่า ระดับความเข้มข้นของเรดอนระดับต่ำ และ ระดับสูง ค่าความแตกต่างรวม ประมาณร้อยละ 12 ซึ่งความเข้มข้นของเรดอนที่วัดด้วยถ้วยวัดเรดอน (radon cup) ควรมีค่าความแตกต่างของ ข้อมูลไม่เกินร้อยละ 20 จึงจะถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ (acceptable agreement) [11] แต่ ความเข้มข้นเรดอนระดับกลางมีค่าเรดอนสูงกว่าค่าอ้างอิง (รายงานผลการเปรียบเทียบการวัดและค่าอ้างอิงของ NIRS แสดงในภาคผนวก ฉ) NIRS แจ้งว่าที่ระดับความเข้มข้นเรดอนระดับกลางมีความผิดพลาดในการทดลอง และจะทำการเปรียบเทียบใหม่เฉพาะระดับกลางนี้เท่านั้น

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนแบบ Solid-state nuclear track detector โดยใช้พลาสติก CR-39 (allyl diglycol carbonate polymer) ได้แบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 เพื่อให้ผลการวัดให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และอีกส่วนเป็นการประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ซึ่งผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

การทดลองหาวิธีการเก็บรักษาและการขนส่งพลาสติก CR-39 ที่ดีที่สุด พบว่าวิธีที่เหมาะสมต่อการเก็บพลาสติก CR-39 กรณีเตรียมตัวอย่างไว้มาก ๆ ควรเก็บรักษาใน ตู้แช่ -20°C การเก็บรักษาที่ควบคุมควรเก็บในโถดูดความชื้นภายในเป็นสุญญากาศ เงื่อนไขการขนส่งพลาสติก CR-39 ที่เหมาะสม คือ เงื่อนไข D เป็นการบรรจุระดับพลาสติก CR-39 ลงในถุงพลาสติกหนา 0.2 มิลลิเมตร ทำสุญญากาศซ้อนทับด้วยถุงซิปล็อคมึนแล้วค่อยบรรจุลงกล่องพัสดุก่อนส่งไปวางในที่ต่าง ๆ ที่ต้องการวัดก๊าซเรดอน

การปรับปรุงกระบวนการปรับเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 โดยการใช้ถังปรับเทียบขั้นตอนนี้ได้ออกแบบสร้างถังปรับเทียบขึ้นใหม่ ถังทำจากถังเหล็กกล้าไร้สนิม sus 304 (stainless steel sus 304) เป็นการดัดแปลงถังสแตนเลสเพื่อใช้ปรับเทียบการวัด ถังหนา 4 มิลลิเมตร ไร้รอยต่อสามารถป้องกันการรั่วซึม และความชื้นได้ดี ที่สำคัญพื้นผิวไม่สะสมประจุไฟฟ้าลดการสะสมของเรดอนตามมุม ถังมีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง 40 เซนติเมตร เท่ากัน ปริมาตรภายใน 50 ลิตร ปริมาตรภายในที่พอเหมาะทำให้การกระจายตัวเรดอนสม่ำเสมอ ถังมีฝาสำหรับปิด ด้านล่างฝาติดตั้งสำหรับแขวนตลับวัดประมาณ 10 - 20 จุด ระหว่างถังกับฝามียางวางแล้วใช้ตัวล็อก 8 ตัว ล็อกรอบฝา เพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซ และด้านบนฝามีข้อต่อตัวผู้ติดตั้งไว้บนฝา 4 ตัว 2 ตัวสำหรับปล่อยก๊าซเรดอนจากต้นกำเนิดเรดอนเข้าสู่ถัง อีก 2 ตัวสำหรับต่อเข้ากับเครื่องวัด ATMOS 12 dpx ภายในถังเพื่อวัดก๊าซเรดอนขณะปรับเทียบ

ถึงปรับเปลี่ยนมีระยะเวลาการสิ้นสุดของการรับเรดอนที่แน่นอน เนื่องจากการปรับเปลี่ยนทำในตู้ดูดควันที่มีกำลังมากกว่าหลายเท่าเมื่อเทียบกับปริมาตรถึง ถึงใช้งานง่าย และสะดวกขึ้น เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ในระหว่างปรับเปลี่ยนต้องวัดก๊าซเรดอนภายในห้องปฏิบัติการด้วย ATMOS 12 dpx อีกเครื่องเพื่อตรวจสอบการรั่วของก๊าซเรดอนระหว่างปรับเปลี่ยน

จากนั้นได้ทดลองเปรียบเทียบผลการปรับเปลี่ยนการวัดก๊าซเรดอนระหว่างระบบเดิมปรับเปลี่ยนใช้ตู้ปรับเปลี่ยนสี่เหลี่ยมทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีนกับระบบใหม่ปรับเปลี่ยนใช้ตู้ปรับเปลี่ยนทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิมอ่านรอยด้วยโปรแกรม Image J และตรวจสอบด้วยตา ซึ่งผลการเปรียบเทียบ พบว่า ระบบใหม่มีค่าความคลาดเคลื่อนการนับรอยแอลฟาร้อยละ 7.8 ซึ่งลดลงเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่มีค่าความคลาดเคลื่อนการนับรอยแอลฟาร้อยละ 11.8 และมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากขึ้น คือ 0.9997 เมื่อเทียบกับระบบเดิมมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9976

การกักรอยและอ่านรอย พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการกักรอยพลาสติก CR-39 ของบริษัท TASL ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6.25 M ที่อุณหภูมิ 98 °C ควรใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อได้รอยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 7 ~ 70 ไมครอน ถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย x 40 เท่า ซึ่งเป็นช่วงขนาดรอยที่เหมาะสมสำหรับการนับรอยด้วยโปรแกรม Image J จากการทดสอบที่ระดับความแรงรังสีของก๊าซเรดอน 3 ระดับ การนับรอยด้วยโปรแกรม Image J พบว่า ความหนาแน่นรอยเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย เท่ากับ 78 และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการนับรอยเฉลี่ยร้อยละ 5.11 % ซึ่งต่ำกว่าการอ่านรอยด้วยเครื่อง RADOSYS ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย เท่ากับ 94.36 และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการนับรอยเฉลี่ยร้อยละ 10.63 การนับรอยโดยใช้โปรแกรม Image J มีค่า S.D. ต่ำแสดงว่าการกระจายตัวของรอยสม่ำเสมอ การอ่านรอยในแต่ละแผ่นพลาสติก CR-39 ได้ค่าใกล้เคียงกัน และค่า E ต่ำแสดงว่าการความคลาดเคลื่อนในการอ่านต่ำ การอ่านรอยมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2 การประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39

การเปรียบเทียบผลการวัดเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ที่ผ่านการเปรียบเทียบ กับเครื่องวัด ATMOS 12 dpx พบว่าค่าความเข้มข้นของเรดอนวัดด้วยพลาสติก CR-39 ที่คำนวณจากการเปรียบเทียบเท่ากับ 556 Bq/m^3 และ ค่าความเข้มข้นของเรดอนที่วัดด้วยเครื่องวัด ATOMS 12 dpx เท่ากับ 551 Bq/m^3 ซึ่งใกล้เคียงกันมาก มีค่าความแตกต่างเพียงประมาณร้อยละ 1

การเปรียบเทียบผลการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 ที่ผ่านการเปรียบเทียบจากกระบวนการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นใหม่กับ NIRS จากการนำพลาสติก CR-39 ที่ส่งไปรับเรดอนที่ NIRS แล้วนำมาอ่านค่าความเข้มข้นเรดอนโดยใช้สมการจากการเปรียบเทียบจากกระบวนการเปรียบเทียบที่ปรับปรุงขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ พบว่า ระดับความเข้มข้นเรดอนระดับต่ำและระดับสูง มีค่าความแตกต่างรวมประมาณร้อยละ 12 ซึ่งความเข้มข้นเรดอนที่วัดด้วยตัววัดเรดอนควรมีค่าความแตกต่างของข้อมูลไม่เกินร้อยละ 20 ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ (acceptable agreement) [11] แต่ความเข้มข้นเรดอนระดับกลาง ได้ค่าความเข้มข้นเรดอนสูงกว่าค่าอ้างอิง ซึ่งประเทศอื่นที่ร่วมเปรียบเทียบพร้อมกันก็ได้ผลของเรดอนที่สูงในระดับกลางเช่นเดียวกัน NIRS จึงแนะนำให้มีการเปรียบเทียบใหม่ในระดับนี้ทุกประเทศ

ความคลาดเคลื่อนจากการวัดก๊าซเรดอนด้วยตัววัดมีหลายอย่าง เช่น เงื่อนไขในการกักรอยชุดตัววัดที่ต่างกัน และปัญหาการอ่านรอยที่มีค่าการยอมรับที่แตกต่างกัน [11] เป็นต้น

5.2 วิจัยผลการวิจัย

5.2.1 การปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรดอนด้วยพลาสติก CR-39 เพื่อให้ผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำ กระบวนการเปรียบเทียบการวัดมีหลายขั้นตอน และที่สำคัญแต่ละขั้นตอนมีปัจจัยที่ต้องควบคุมหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การปรับปรุงกระบวนการเป็นไปค่อนข้างยาก เช่น การเก็บรักษาพลาสติก CR-39 ในตู้แช่ที่ $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ การเก็บในโถดูดความชื้นที่จริงให้ผลใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากพลาสติกที่เก็บมีจำนวนน้อยควรใช้โถดูดความชื้น และทำสุญญากาศ จะทำให้สามารถป้องกันการรับก๊าซเรดอนได้ผลดีขึ้นมาก ส่วนถึงเปรียบเทียบที่สร้างขึ้นใหม่ทำให้ลดปัญหาการเกาะติดหรือสะสมของเรดอนตามมุมตู้ทำให้การกระจายตัวของเรดอนสม่ำเสมอมาก แต่จุดที่เป็นข้อต่อให้ก๊าซเรดอนเข้าถึงวัดปริมาณความหนาแน่นรอยจะสูงกว่าจุดอื่นทุกครั้ง ดังนั้นการเปรียบเทียบจริงจึงไม่ควรแขวนตัวพลาสติก CR-39 ในจุดนี้ การกำหนดขนาดรอยให้มีขนาดอยู่ในช่วง 7 - 70 ไมครอน ทำให้สะดวกในการนับรอยด้วยโปรแกรม Image J และมีความถูกต้องสูง อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบด้วยตาได้อีก ทำให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น

5.2.2 การประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรือนด้วยพลาสติก CR-39 จากการวิจัยนี้ การเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบการวัดเรือนด้วยพลาสติก CR-39 กับเครื่อง ATMOS 12 dpx ปรากฏว่าผลการวัดได้ค่าเรือนที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากมีระบบเปรียบเทียบที่ถูกต้องแม่นยำ แต่การเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบกับ NIRS โดยให้ความแรงรังสี 3 ระดับ ระดับต่ำและสูง ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง แต่ระดับกลางได้ค่าที่สูงกว่าค่าอ้างอิง ประเทศอื่นที่ร่วมเปรียบเทียบก็ได้ผลเช่นเดียวกัน จึงต้องมีการเปรียบเทียบใหม่ในโอกาสต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การใช้ถังเปรียบเทียบรูปทรงกระบอกทำด้วยเหล็กไร้สนิมชนิด sus 304 ลดการสะสมของเรือน และการดูดซับจากประจุไฟฟ้าสถิตตามพื้นผิวตามขอบถังได้มาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงอัตราส่วนของปริมาตรถัง และอัตราการไหลของเรือนภายในถังที่ทำให้การกระจายตัวของเรือนภายในถังสม่ำเสมอขึ้น ทำให้ผลการเปรียบเทียบมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.3.2 ควรมีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องกับ NIRS จนกว่าจะสามารถรักษาระดับคุณภาพของระบบการเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรือน ให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5.3.3 ทดลองเปรียบเทียบสำหรับการวัดก๊าซเรือนด้วยพลาสติก CR-39 โดยใช้กระบวนการที่ปรับปรุงขึ้นกับหน่วยงานมาตรฐานสากลอื่น เพื่อให้ได้การรับรองระบบเปรียบเทียบการวัดก๊าซเรือนของประเทศไทยตามมาตรฐานสากล

รายการอ้างอิง

- [1] จำเนียร มูลเทพ. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สเรดอนกับมะเร็งปอด การสำรวจที่จังหวัดขอนแก่น. ธรรมศาสตร์เวชสาร 8 (ตุลาคม - ธันวาคม 2551) : 455.
- [2] สมบัติ บุญญประภา. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สเรดอนกับมะเร็งปอด การสำรวจที่จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัยระบบสาธารณสุข 2 (กรกฎาคม - กันยายน 2551) : 460.
- [3] P. Wanabongse. Radioactivity measurement and standardization in Thailand. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 2(2003) : 21.
- [4] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์. การเปรียบเทียบการวัดระดับแก๊สเรดอนในอาคาร 2 วิธี. วารสารวิชาการสาธารณสุข 11(พฤศจิกายน - ธันวาคม 2545) : 913.
- [5] P. Wanabongse. Current studies on radon gas in Thailand. International Congress Series 1276 (2005) : 208.
- [6] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์. การสำรวจแก๊สเรดอนด้วยอุปกรณ์บันทึกรอยแอลฟา. วารสารวิชาการสาธารณสุข 13 (พฤษภาคม - มิถุนายน 2547) : 278.
- [7] K. Wattanani, S. Emharuthai and P. Wanabongse. A feasibility study of geogenic indoor radon mapping from airborne radiometric survey in northern Thailand. Radiation Measurements (in press).
- [8] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์ และคณะ. รายงานวิชาการวัดและปรับเทียบค่ามาตรฐานแก๊สเรดอน. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2540.
- [9] R. Shweikani and G. Raja. Design, Construct and test of a Calibration radon chamber. Radiation Measurements 40 (May 2005) : 316.
- [10] วนิดา ชุ่นเรือน. การวัดปริมาณแก๊สเรดอนในอาคารบ้านเรือนด้วยอุปกรณ์บันทึกรอยอนุภาคแอลฟา CR-39. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, 2549.
- [11] GIL HOON and JAT-KILEE. Construction an environmental radon monitoring system using CR-39 nucleare track detectors. Nuclear engineering and Technology 37 (august 2005) : 359.

- [12] ถังพงษ์ ศรีสุวรรณ. การลดปริมาณก๊าซเรดอนภายในตัวอาคาร กรณีศึกษาอาคารประเภท ตึกแถวที่ใช้วัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตซึ่งมีแก๊สลอยลิกไนต์และฟอสโฟยิปซัม เป็นส่วนผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2549.
- [13] เขมะจิตติ เขมะโยธิน. การพัฒนากระบวนการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 โดยการวัดรังสีเบตา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [14] จเด็จ เย็นใจ. เอกสารประกอบการสอนวิชา 2111607 การวัดรังสีในสิ่งแวดล้อม. ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [15] P Wanabongse . Calibration of CR-39 Solid-State Nuclear Track Detector (SSNTD). Indian Journal of Physics (in press) .
- [16] นภาภาจัน สุวรรณคช. การวัดการปลดปล่อยเรดอน-222 จากวัสดุภัณฑ์บางชนิดสำหรับงานก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [17] กัลยา วาชีชัยบัญชา. หลักสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 10 . บริษัทธรรมสาร จำกัด : ศูนย์หนังสือแห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [18] Ahmet Erdal Osmanlioglu. Conditioning and long-term of spent radium sources in Turkey. Journal of Hazardous materials 134 (December 2006) : 157.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แบบสอบถาม (สำหรับผู้ปฏิบัติการวาง CR-39 เป็นผู้กรอกข้อมูลนี้เท่านั้น)

ชื่อ.....อายุ.....ปี.....เพศ.....

ที่อยู่/หน่วยงาน.....

1. ตลับวัด CR-39

แดก ไม่แดก อื่นๆ.....

2. ตลับวัด CR-39 เมื่อเขย่าเบาๆ

มีเสียง ไม่มีเสียง อื่นๆ.....

3. เมื่ออ่านขั้นตอนการวาง CR-39 เข้าใจหรือไม่

เข้าใจ ไม่เข้าใจ อื่นๆ.....

4. สถานที่วางตลับวัด CR-39

ห้องนอน ห้องนั่งเล่น อื่นๆ.....

5. บอกวิธีการวางตลับวัด CR-39 ที่ผู้วาง CR-39 ปฏิบัติ อย่างคร่าว ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

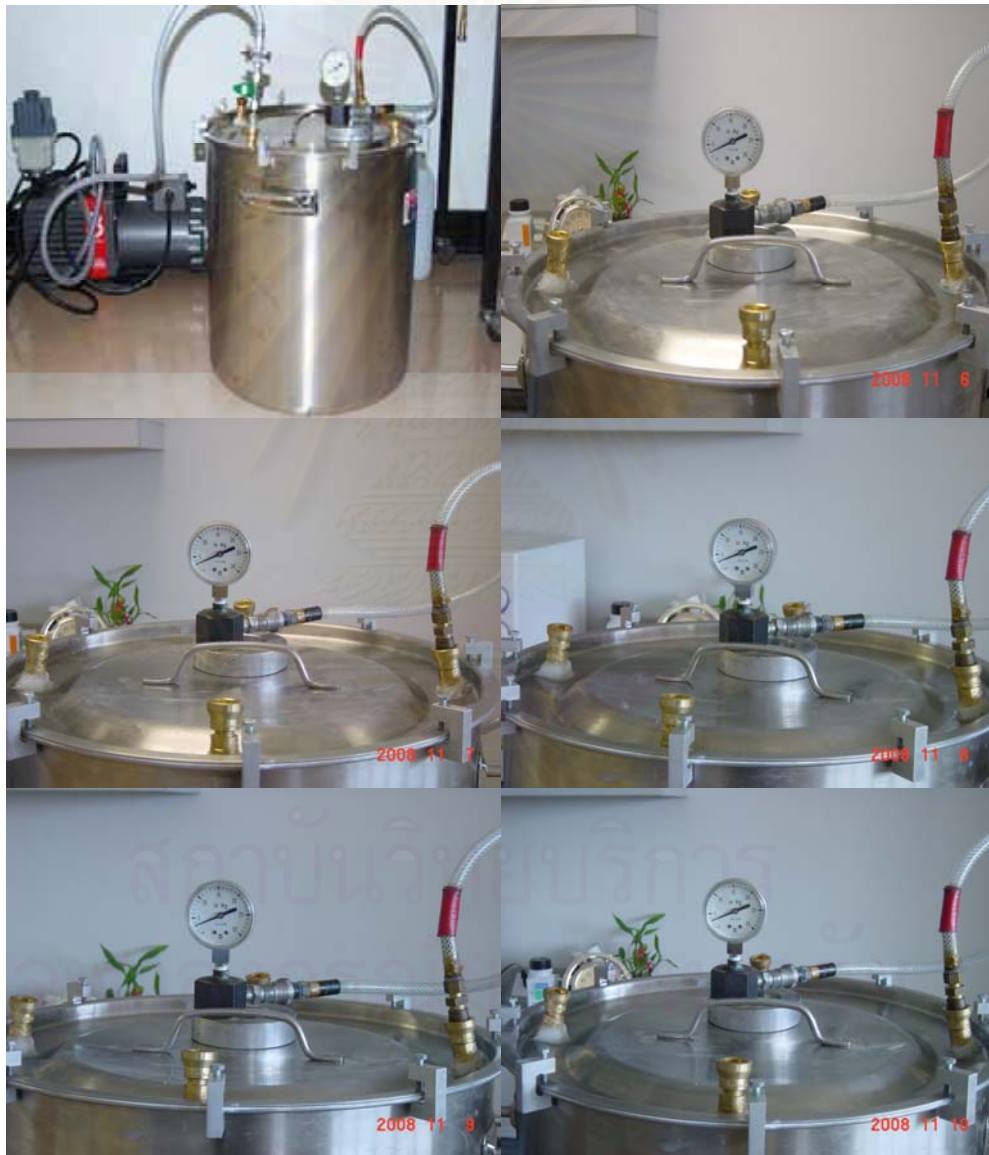
.....
.....
.....
.....

ภาคผนวก ข

การตรวจเช็คการรั่วและทดสอบการกระจายตัวของเรดอนภายในถังวัดของถังวัดเรดอน
ก่อนปรับเทียบ

การทดสอบการรั่ว

เริ่มจากทดลองดูอากาศออกจากถังวัดประมาณ 2 นาที แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 5 วัน

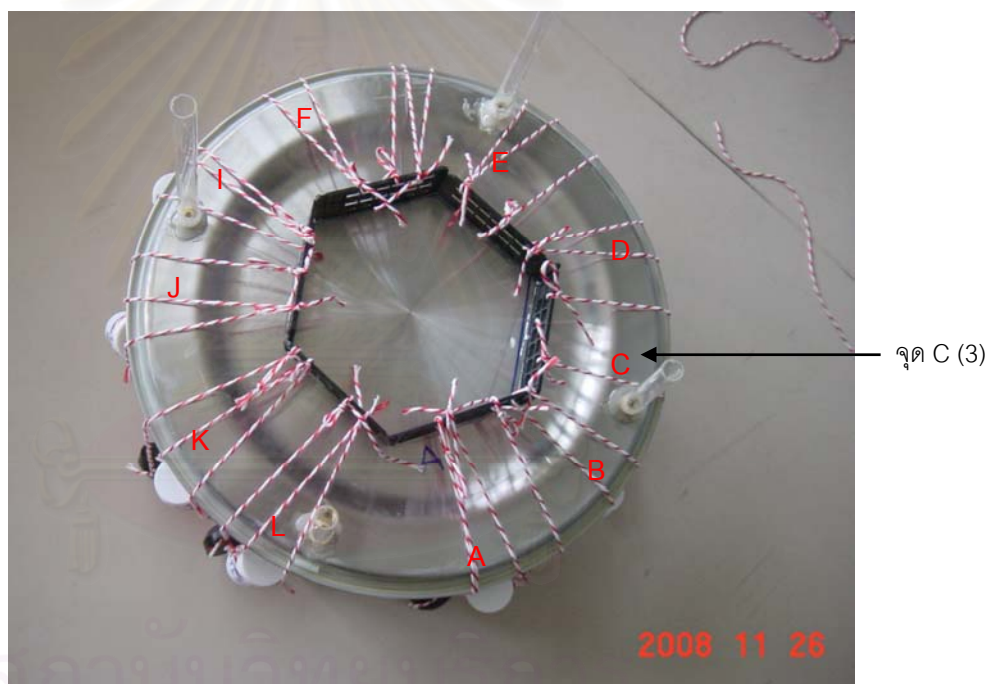


การทดสอบการรั่วของถังวัดใหม่

ผลการเช็คระบบการรั่วของถังวัดใหม่พบว่าสามารถใช้งานได้อย่างดี ไม่รั่ว

การทดสอบการกระจายตัวของเรดอนภายในถ้ำวัดใหม่

วิธีการทดสอบการกระจายตัวของเรดอนในถ้ำปรับเทียบที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่ วิธีการทดสอบทำได้โดยวางพลาสติก CR-39 ในตำแหน่งต่าง ๆ กำหนดจุด A จนถึงจุด J จำนวน 10 จุดทั่วถ้ำ ห่างจากด้านบนของถ้ำวัด 15 เซนติเมตร เพื่อความแน่ใจว่าผลการกระจายตัวของเรดอนมีความสม่ำเสมอทุกครั้งได้วาง CR-39 ในตำแหน่งเดิมแต่ทดลองปรับเทียบ 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1 ปริมาณรังสีเท่ากับ 109 kBq.h/m^3 ครั้งที่ 2 เท่ากับ 292 kBq.h/m^3 และครั้งที่ 3 เท่ากับ 396 kBq.h/m^3 แล้วเปรียบเทียบการกระจายตัวของเรดอนหรือความหนาแน่นของรอย (tracks/cm²) และ ค่า S.D.



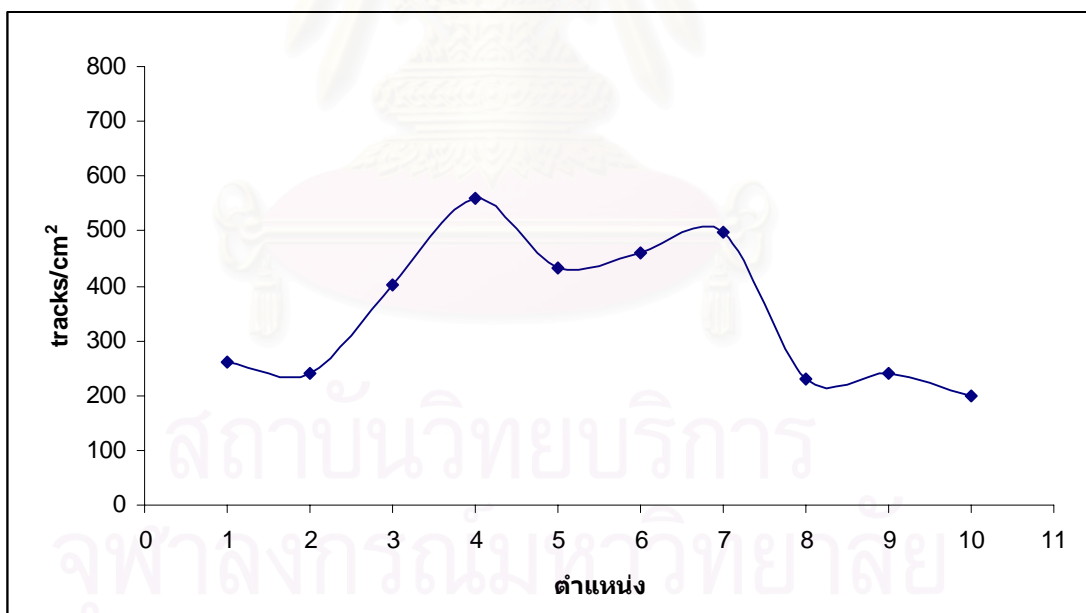
การกำหนดตำแหน่งในการศึกษาการกระจายตัวของเรดอนในถ้ำวัดใหม่

ผลการทดลองการศึกษาการกระจายตัวของเรดอนในถ้ำวัดใหม่ทั้ง 3 ครั้ง แสดงในตาราง

ที่ ก-1

ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาการกระจายตัวของเรดอนในถ้ำวัดใหม่ ครั้งที่ 1 เปรียบเทียบที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 °C ปริมาณรังสี 109 kBq.h/m³

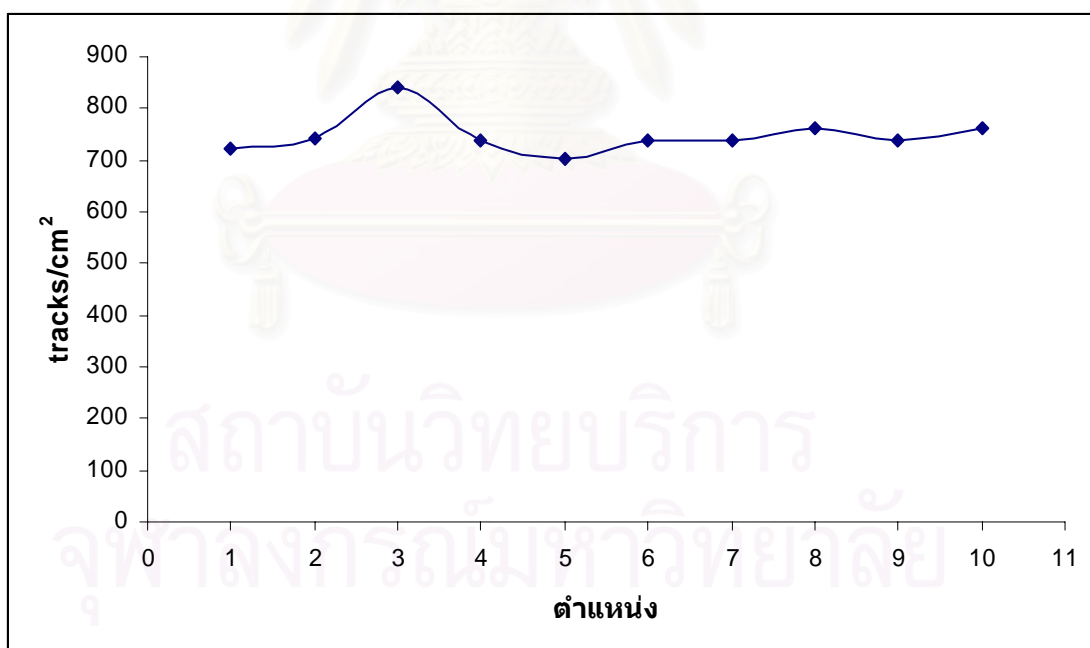
ตำแหน่ง	ชุดดัดแปลงเปรียบเทียบ		ชุดดัดแปลงควบคุม		จำนวนรอยสุทธิตั้งที่
	หมายเลข CR-39	tracks/cm ²	หมายเลข CR-39	tracks/cm ²	
A(1)	743	430	729	185	260
B(2)	721	370	720	166	240
C(3)	722	571	799	224	401.24
D(4)	751	730	792	201	560
E(5)	799	604	729	124	433.75
F(6)	741	629			458.75
I(7)	797	669			498.75
J(8)	706	400			230
K(9)	703	410			240
L(10)	721	321			198.25
ค่าเฉลี่ย				170	343
S.D				47	142.92



ภาพที่ ข-1 การกระจายตัวของเรดอนภายใต้ถ้ำวัดใหม่ การทดสอบครั้งที่ 1

ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาการกระจายตัวของเรดอนในถ้ำวัดใหม่ ครั้งที่ 2 ปรับเทียบที่อุณหภูมิ
25 °C ปริมาณรังสี 292 kBq.h/m³

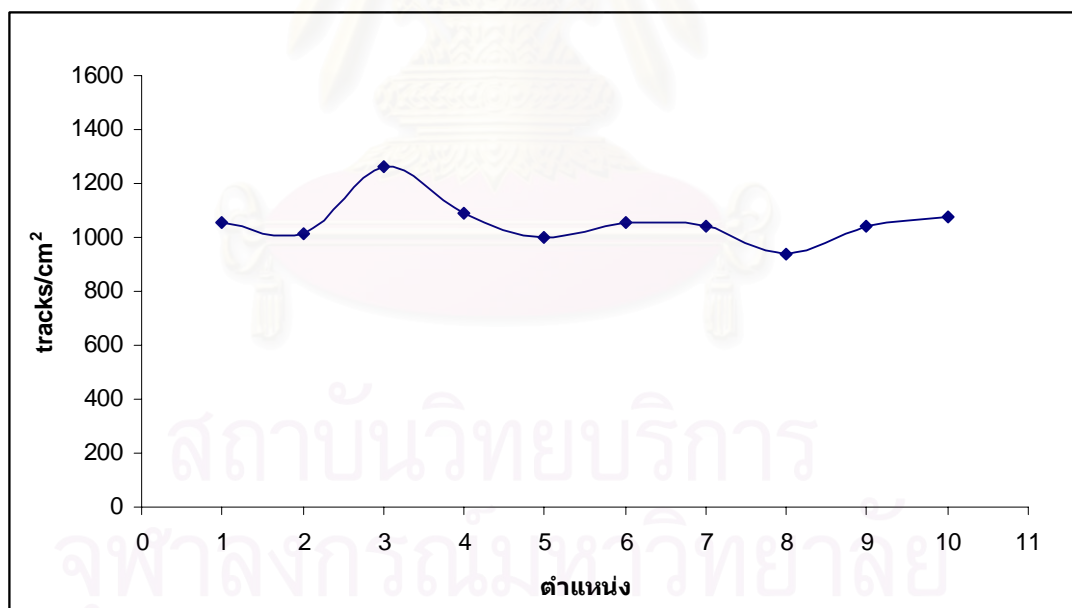
ตำแหน่ง	ชุดลับปรับเทียบ		ชุดลับควบคุม		จำนวนรอยสุทธิ
	หมายเลข CR-39	tracks/cm ²	หมายเลข CR-39		หมายเลข CR-39
A(1)	966	822.5	991	135	723.75
B(2)	969	842.5	939	37.5	743.75
C(3)	999	940	941	107.5	841.25
D(4)	923	838.8	907	65	740
E(5)	942	800	917	148.8	701.25
F(6)	902	836.3			737.5
I(7)	926	835			736.25
J(8)	976	858.8			760
K(9)	929	837.5			738.75
L(10)	963	860			761.25
ค่าเฉลี่ย				98.75	748.4
S.D				46.85	36.82



ภาพที่ ข-2 การกระจายตัวของเรดอนภายในถ้ำวัดใหม่ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ข-3 ผลการศึกษาการกระจายตัวของเรดอนในถ้ำวัดใหม่ ครั้งที่ 3 เปรียบเทียบที่อุณหภูมิ
25 °C ปริมาณรังสี 396 kBq.h/m³

ตำแหน่ง	ชุดลับปรับเทียบ		ชุดลับควบคุม		จำนวนรอยสุทธิ
	หมายเลข CR-39	tracks/cm ²	หมายเลข CR-39		หมายเลข CR-39
A(1)	727	1156	711	100	1052.75
B(2)	763	1118	714	66.25	1014
C(3)	792	1366	726	215	1262.75
D(4)	742	1190	740	71.25	1086.5
E(5)	749	1104	793	65	1000.25
F(6)	762	1160			1056.5
I(7)	722	1143			1039
J(8)	796	1039			935.25
K(9)	712	1146			1042.75
L(10)	702	1183			1079
ค่าเฉลี่ย				103.5	1056.87
S.D				63.49	84.40



ภาพที่ ข-3 การกระจายตัวของเรดอนภายในถ้ำวัดใหม่ ครั้งที่ 3

ผลการทดสอบพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 มีข้อมูลแปรปรวนเนื่องจากใช้เวลารับเรดอน (exposure time) เพียง 1 - 2 วัน ในการทดลอง ครั้งที่ 2 และ 3 จึงเพิ่ม Exposure time เป็น 4-5 วัน ความเข้มข้นเรดอนมีการกระจายตัวค่อนข้างดี ปริมาณเรดอนทั้ง 9 จุดไม่แตกต่างกันมาก มีเพียงจุดที่ C (3) ที่มีปริมาณเรดอนสูงผิดปกติ เนื่องจากจุดนั้นเป็นที่ข้อต่อให้เรดอนเข้าถ้ำปรับเทียบ

ภาคผนวก ค

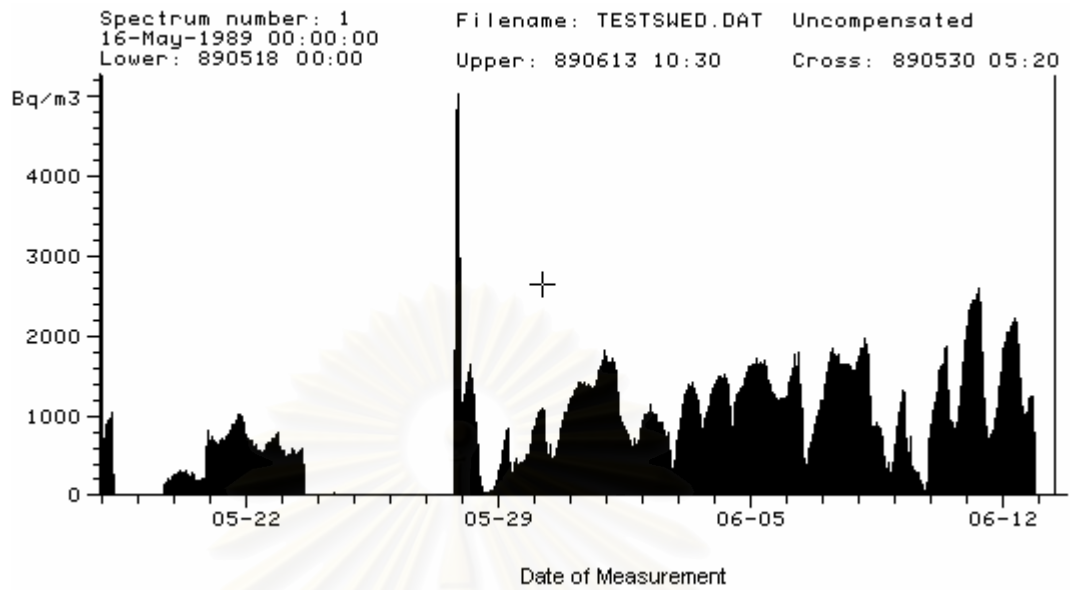
เครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบ pulse-counting ionization chamber ATMOS 12 dpx

จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญที่สถาบัน Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety (STUK) แห่งประเทศฟินแลนด์ ว่าเครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบ ATMOS 12 dpx มีความถูกต้องแม่นยำในการวัดมากที่สุด ซึ่งภาพจริงของเครื่องแสดงในรูปที่ 1 และแผนภาพของเครื่องมือแสดงในภาพที่ ค-2 และค- 3 หลักวัดของเครื่อง โดยอากาศถูกดูดเข้าสู่เครื่องวัดที่อัตรา 2 ลิตรต่อนาที ผ่านกระดาษกรองซึ่งกันลูกหลานก๊าซเรดอนที่เกิดอยู่ภายนอกไม่ให้ผ่านเข้าสู่หัววัด อุปกรณ์ลดความชื้น (dehydrator) ทำให้ความชื้นของอากาศลดลง โดยทำให้อากาศผ่านความเย็นและความชื้นที่อุปกรณ์ Peltier element ที่ถูกควบคุมปิดเปิดด้วย thermostat ละอองน้ำเย็นที่เกิดขึ้นถูกนำออกจากอากาศด้วยวัสดุดูดน้ำทำด้วยใยผ้า และถูกทำให้ระเหยออกไปทางด้านร้อนของ Peltier element

ก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในอากาศถูกวัดในหัววัด Ionization chamber แบบ pulse-counting ซึ่งนับวัดอนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยในการสลายตัวของ ^{222}Rn และ ^{218}Po ภายในช่องหัววัด (chamber) รูปทรงกระบอก ปริมาณของอากาศทั้งหมดเป็นประมาณ 2 ลิตร ปริมาตรส่วนที่มีความไวในการวัดของหัววัดเป็นประมาณ 0.6 ลิตร ซึ่งเป็นส่วนที่มีโครงสร้างของเส้นลวดตัวนำที่ถูกรักษาไว้ระหว่างขั้วของแหล่งจ่ายไฟศักย์สูง

ระหว่างเกิดการสลายตัวของเรดอนอนุภาคแอลฟาถูกปล่อยออกมา มีพลังงานที่แน่นอนค่าหนึ่ง อนุภาคนี้จะสูญเสียพลังงานของมันในขณะที่ผ่านไปอากาศทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมของก๊าซในอากาศหลุดออก (ionization) ไอออนบวกและลบที่เกิดขึ้นถูกจับไว้ที่ขั้วไฟฟ้าศักย์สูง เกิดมีกระแสไหลซึ่งต่อมาถูกแปลงให้เป็นสัญญาณพัลส์

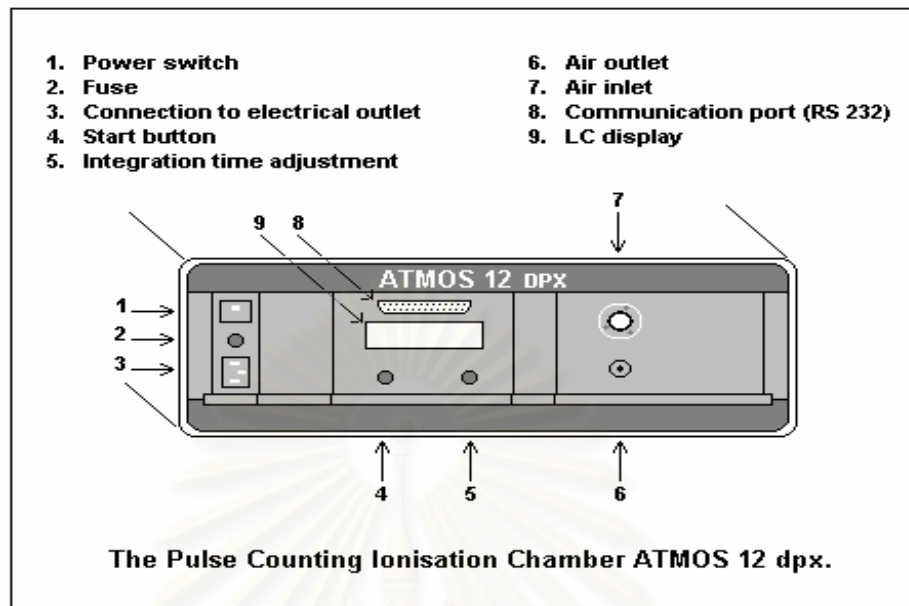
ความสูงของสัญญาณพัลส์เป็นส่วนโดยตรงกับขนาดพลังงานของอนุภาคแอลฟา การวัดความสูงของพัลส์สามารถนำไปหาค่าพลังงานอนุภาคแอลฟาได้ สัญญาณพัลส์จาก ionization chamber ถูกขยายและคัดเลือกให้เป็นไปตามความสูงโดยอุปกรณ์ analog-to-digital converter ขนาด 256 ช่องแยก (ความสูงของพัลส์เท่ากันไปอยู่ที่ช่องการวัดเดียวกัน) ผลของแผนภาพฮิสโตแกรมที่ได้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยประมวลผลที่ถูกสร้างบรรจุอยู่ในตัวเครื่องวัด ภาพการกระจายของความสูงของพัลส์ (pulse-height distribution) หรือภาพสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 4 พิคทั้งสามสอดคล้องกันกับการเกิดการดูดกลืนโดยสมบูรณ์ (full absorption) ภายในปริมาตรส่วนที่มีความไวของหัววัดของพลังงานรังสีแอลฟาจากการสลายตัวของ ^{222}Rn (5.5 MeV) และนิวไคลด์ลูก



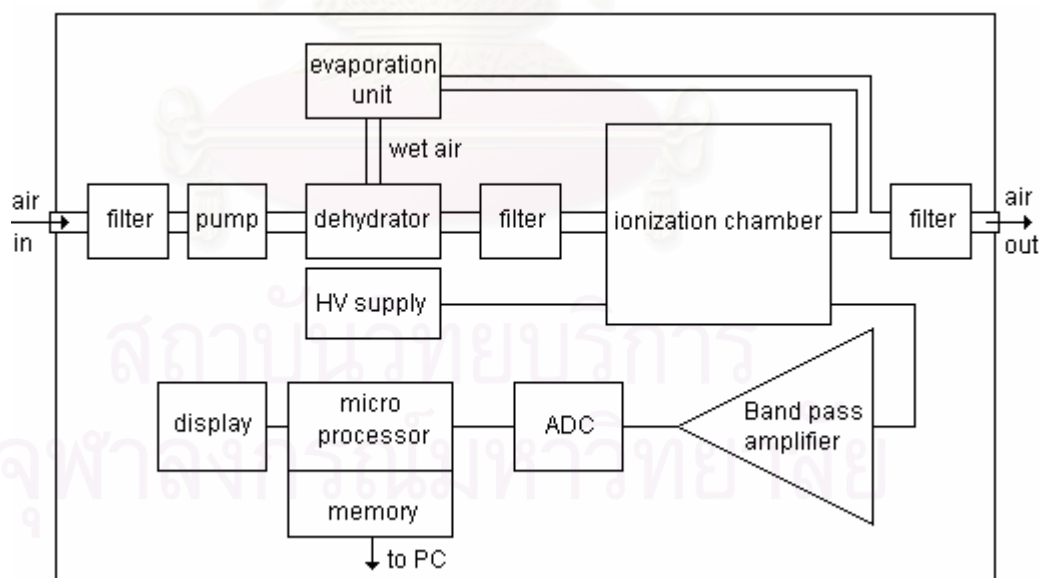
^{218}Po (6.0 MeV) และ ^{214}Po (7.8 MeV) ความสามารถในการแยกพีคพลังงานรังสีแอลฟา (energy resolution) ของระบบการวัดเป็นค่า FWHM มีค่าเท่ากับ 0.3 MeV



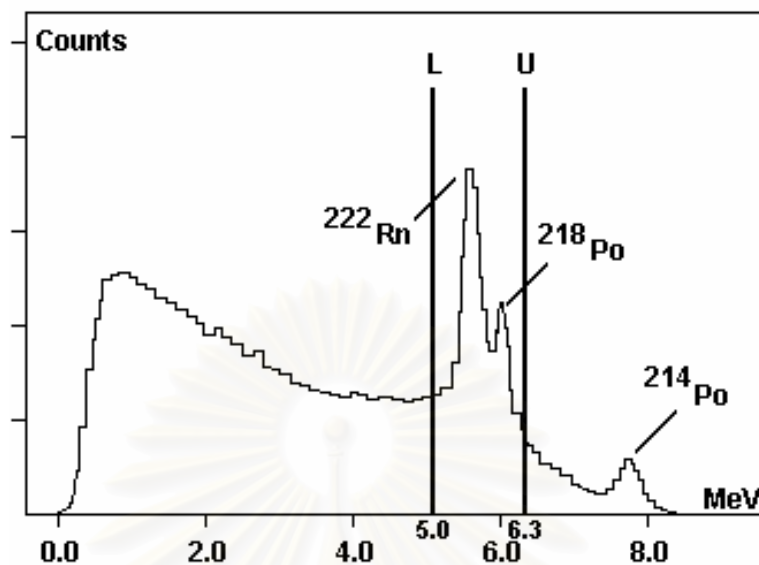
ภาพที่ ค-1 เครื่องวัดก๊าซเรดอน ATMOS 12 dpx



ภาพที่ ค-2 รายละเอียดส่วนประกอบการใช้งานเครื่องวัดก๊าซเรดอน ATMOS 12 dpx



ภาพที่ ค-3 แผนภาพการทำงานภายในเครื่องวัดก๊าซเรดอน ATMOS 12 dpx



ภาพที่ ค-4 สเปกตรัมรังสีแอลฟาได้จากการวัดโดยเครื่องวัด ATMOS 12 dpx

ภาพที่ ค-5 ตัวอย่างผลการวัดก๊าซเรดอนอย่างต่อเนื่องโดยเครื่องวัด ATMOS 12 dpx

[อิเล็กทรอนิกส์ในวงโคจรของอะตอมของก๊าซในอากาศแตกตัว (ionization) เป็นไอออนบวกและลบที่เกิดขึ้น แล้วถูกจับไว้ที่ขั้วไฟฟ้าศักดาสูง เกิดมีกระแสไหล ซึ่งต่อมาถูกแปลงให้เป็นสัญญาณพัลส์]

ดังจะเห็นได้จากภาพที่ ค-4 ว่าแต่ละพีคอยู่ควบคู่กันกับการกระจายของพัลส์แบบต่อเนื่อง ทอดไปตามความยาวทางด้านซ้ายของพีคซึ่งต่อออกไปตลอดจนถึงค่าพลังงานเป็นศูนย์ การกระจายนี้เป็นเหตุสืบเนื่องมาจากเหตุการณ์สลายตัวให้รังสีแอลฟาที่ซึ่งแนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคได้หลุดออกไปจากบริเวณที่มีความไวในการวัดของ ionization chamber ซึ่งทำให้มีการถ่ายเทพลังงานเพียงบางส่วน ก่อให้เกิดสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงน้อยๆ และปรากฏที่ช่องการวัดต่ำ ๆ ทางด้านซ้าย

ความสัมพันธ์ของขนาดของพีคทั้งสามโดยปกติเป็นดังเช่นที่แสดงในภาพที่ค-5 หลังจากที ^{222}Rn สลายตัวผลที่ได้คือ ^{218}Po ถูกจับเคลื่อนอย่างรวดเร็วโดยพลังงานจากสนามไฟฟ้า และต่อมากจะถูกจับไว้ที่ขั้วไฟฟ้า ในระหว่างการเคลื่อนที่ไป หรือถูกจับไว้ที่ขั้วไฟฟ้าแล้วมีการสลายตัวที่ต่อเนื่องไป อนุภาคแอลฟาที่เกิดขึ้นใหม่จะสามารถเข้าสู่บริเวณที่มีความไวผ่านรูปทรง solid angle ที่มีขนาดเพียงร้อยละ 50 ของรูปทรงกลมทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ทำให้พีคที่ได้ต่อมาในสเปกตรัม

ควรจะมีค่าของพีคเพียงครั้งเดียวของพีคจากการสลายตัวของ ^{222}Rn เหตุการณ์เช่นนี้เป็นไปเช่นเดียวกันสำหรับพีคจากการสลายตัวของ ^{214}Po แต่พีคนี้ยังคงถูกลดความสูงลงไปอีกบ้างโดยเหตุจากการที่อนุภาคนี้มีพลังงานสูง และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ยาวไกลกว่า ซึ่งทำให้โอกาสของการที่จะเกิดการดูดกลืนพลังงานโดยสมบูรณ์ภายในบริเวณที่มีความไวในการวัดนั้นมีค่าลดลง

เนื่องจากเวลาในการเคลื่อนที่ (drift time) ของอนุภาคต่างๆอยู่ในช่วงเวลาเป็น 1/1000 ของวินาที (milliseconds) ตัวเครื่องขยายพัลส์จึงทำงานในบริเวณย่านความถี่เป็นกิโลเฮิรท์ ซึ่งทำให้มันมีความไวต่อเสียง microphonics ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันต่อการสั่นไหว ส่วนของ ion chamber ถูกทำให้ตั้งอยู่โดยกลไกยึดติดกับโครงสร้างของเครื่องมือด้วยระบบเส้นสายยางรองกันกระเทือน (ด้วยเหตุนี้อาจทำให้รู้สึกว่าการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ภายในเมื่อตัวเครื่องถูกยกเพื่อเคลื่อนย้าย) ในระหว่างการวัดมันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องป้องกันเครื่องมือนี้จากการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนไหวใดๆซึ่งอาจทำให้ได้รับผลจากการวัดที่ผิดพลาดไป

โดยหลักการแล้วค่าอัตรานับวัดที่เป็นไปตามการกระจายพลังงานโดยสมบูรณ์ตามภาพที่ค-5 ควรจะได้ถูกใช้เป็นสัญญาณข้อมูลที่เป็นสัดส่วนกับค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศภายในหัววัด แต่อย่างไรก็ตามการที่ไอโซโทปต้นกำเนิด (parents) ของ ^{214}Po มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวกว่า เมื่อมันเกิดไปติดอยู่กับขั้วไฟฟ้าของหัววัดอาจทำให้ได้รับผลเป็นพีคของ ^{214}Po ที่ใหญ่ขึ้นกว่าปกติผิดพลาดไป ซึ่งเป็นกรณีที่เมื่อเครื่องมือถูกใช้ทำการวัดในบริเวณที่มีความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง และต่อมา (ภายในช่วงเวลาเป็นชั่วโมง) ถูกใช้วัดในบริเวณที่มีความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำ เพื่อที่จะแก้ไขปัญหานี้ เฉพาะเพียงช่วงของสเปกตรัมที่อยู่ภายในเส้นแนวเขตดังแสดงในภาพที่ 5 ที่เรียกว่าช่วงหน้าต่าง "A" เท่านั้นที่ถูกใช้ในการวัดหาความเข้มข้นก๊าซเรดอน

บริเวณบางส่วนของพื้นที่ "A" เกิดมาจากการกระจายโดยต่อเนื่อง อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากพีคของ ^{214}Po และดังนั้นมันจึงควรถูกหักลบออกไป การแก้ไขถูกกระทำด้วยวิธีการดังต่อไปนี้ โดยให้ค่านิยามเขตหน้าต่างการวัดที่สองเป็นส่วน "B" ซึ่งครอบคลุมเขตบริเวณพีคอันเนื่องมาจาก ^{214}Po จากการวัดที่ซึ่งในตอนแรกปล่อยให้หัววัดได้รับอากาศที่มีความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง และต่อมาทำการวัดได้สเปกตรัมจากอากาศที่ไม่มีก๊าซเรดอน ผลที่ได้รับในกรณีหลังนี้คือสเปกตรัมที่มีเพียงพีคของ ^{214}Po ซึ่งเกิดขึ้นจากผลของการวัดในครั้งแรก จากสเปกตรัมนี้ค่าอัตราส่วน "R" = (ค่า นับวัดในเขตหน้าต่าง "A") / (ค่า นับวัดในเขตหน้าต่าง "B") ได้ถูกคำนวณออกมา ค่า "R" ที่ได้นี้คือค่าอัตราส่วนของผลที่เกิดในช่วงหน้าต่าง "A" อันเนื่องมาจากผลในช่วงหน้าต่าง "B" และจะถูกบันทึกจำไว้ในหน่วยประมวลผลและถูกใช้ในการวัดใด ๆ ต่อ ๆ มาทุกครั้ง ในการวัดต่อไปเมื่อได้ผลการนับวัดในช่วงหน้าต่าง "B" และนำไปคูณกับค่า "R" ผลที่ได้คือค่า นับวัดบริเวณส่วนที่ลาดเอียงในเขตหน้าต่าง "A" อันเกิดจากผลในเขตหน้าต่าง "B" และนำไปหักลบออกจากค่า นับวัดใน

หน้าต่าง “A” จะได้ผลของการวัดของช่วงหน้าต่าง “A” ที่ถูกต้องแท้จริง ค่าคงที่ในการปรับเทียบเหล่านี้ได้ถูกทำการทดลองหาไว้ที่ห้องปฏิบัติการวัดก๊าซเรดอนของ Swedish National Institute of Radiation Protection (SSI)

ที่ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนสูงๆ มีผลเสียในการวัดอันเกิดจาก dead time ในส่วนของตัวเครื่องวัด ATMOS 12 dpx นั่นคือในขณะที่อุปกรณ์หน่วยประมวลผลกลางของเครื่องวัดกำลังทำงานอยู่กับสัญญาณพัลส์อันหนึ่งยังไม่เสร็จ เกิดมีสัญญาณพัลส์ตัวใหม่เข้ามา ทำให้หน่วยคอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำงานกับพัลส์ตัวใหม่นี้ได้ เครื่องมือวัดก๊าซเรดอนมีวิธีแก้ไขผลของการเกิด dead time เช่นนี้ โดยใช้โปรแกรมในตัวเครื่อง (software) การคำนวณแก้ค่า dead time ใช้สูตรดังนี้:

$$\text{Corrected Concentration} = \text{Measured Concentration} / (1 - 0.0065 * N_c)$$

เมื่อ N_c คือจำนวนพัลส์ทั้งหมดที่วัดได้ในสเปกตรัมหารด้วยเวลาการวัด และส่วนของค่า 0.0065 นั้นคือค่าอัตราส่วนของการเกิด dead time ต่อค่าอัตรานับวัดที่ได้ทั้งสเปกตรัมซึ่งได้จากการทดลองหาไว้ล่วงหน้า ค่าการวัดที่แก้ผลจากการเกิด dead time นี้ใช้ได้กับการวัดที่มีความเข้มข้นก๊าซเรดอนมากกว่า 100,000 เบ็คเคอเรล/ลบ.ม. เท่านั้น

ดังนั้นในการทำงานของเครื่องมือวัดจึงนิยามขอบเขตพื้นที่ในสเปกตรัมแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วน A, B, และ C ดังแสดงในรูปที่ 5 และใช้สูตรในการคำนวณค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนดังนี้:

$$\text{Dead-time compensated radon concentration} = (C_1 \cdot N_A - C_2 \cdot N_B) / (1 - C_3 \cdot N_C) \text{ Bq/m}^3$$

เมื่อค่าคงที่ $C_1 = 2710$, $C_2 = 3794$, และ $C_3 = 0.0065$ ขอบเขตหน้าต่างทั้งสามเป็นดังนี้:

หน้าต่าง A = ช่องวัด 70 – 95 หน้าต่าง B = ช่องวัด 96 – 125 หน้าต่าง C = ช่องวัด 0 – 191

และอัตราค่านับวัดในขอบเขตหน้าต่างทั้งสามคือ N_A , N_B , และ N_C

ในส่วนของค่า C_1 นั้นคือค่าคงที่ในการปรับเทียบเพื่อเปลี่ยนอัตราค่านับวัดในขอบเขตหน้าต่าง “A” เป็นค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดลองปรับเทียบที่ห้องปฏิบัติการ SSI ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ใบรับรองการเปรียบเทียบ



Statens strålskyddsinstitut
 Swedish Radiation Protection Authority
 Emergency Preparedness & Environmental Assessment

Datum
 2007-09-07

Var referens
 2007:2918-421

Gammadata Instrument AB
 Fredrik Lindén
 Box 15120
 750 15 Uppsala

Calibration of instrument for continuous measurements of radon

EMPLOYER: Gammadata Instrument AB
 Box 15120
 750 15 Uppsala

INSTRUMENT: Atmos no 268

CALIBRATION DATE: 2007-08-31 – 2007-09-03

Barometric pressure during the period: 1004 ± 5 mbar

CALIBRATION METHOD:

Simultaneous measurements of radon gas in air. The measurements were performed in Radon room No.2 at Swedish Radiation Protection Authority (SSI). The reference measurements were carried out with an instrument for continuous registration of radon based on ionization chamber.

TRACEABILITY:

The reference instrument is the working standard with a calibration traceable to National Institute of Standards and Technology (NIST), USA.

RESULTS:

Mean value of SSI measurements during the period 2007-08-31 12:00 – 2007-09-03 08:00	1835 Bq/m ³
During the same period mean value measured with ATM 268	1858 Bq/m ³

The uncertainties in values measured by SSI is estimated to $\pm 10\%$ (1 S.D).

Statens strålskyddsinstitut

Adress: 171 16 Stockholm, Sweden • Webbadress: www.ssi.se • E-post: ssi@ssi.se • Telefon: +46 8 729 71 00 • Fax: +46 8 729 71 08
 Besöksadress: Solna strandväg 96 • Godsmottagning: Solna strandväg 122 • Postgiro: 18 2118-0 • Organisationsnummer: 202100-0571

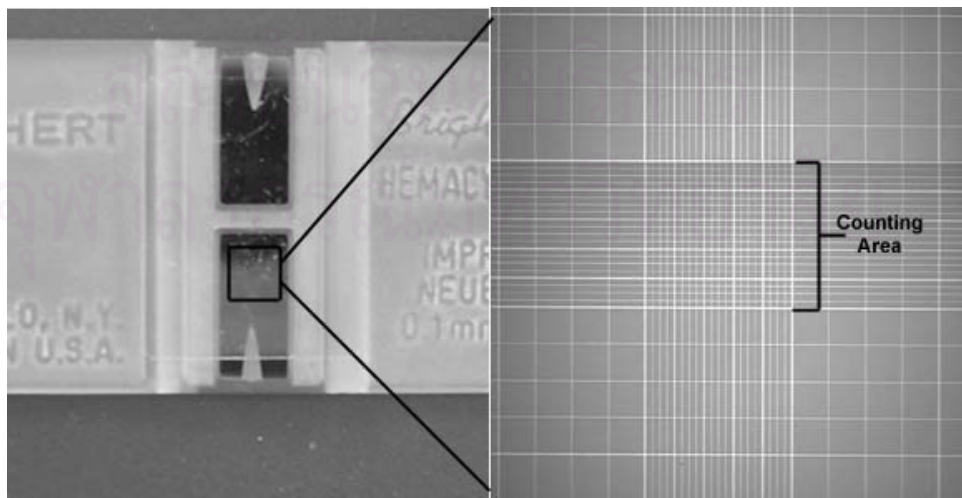
ภาคผนวก ง

Counting Cells with a Hemacytometer

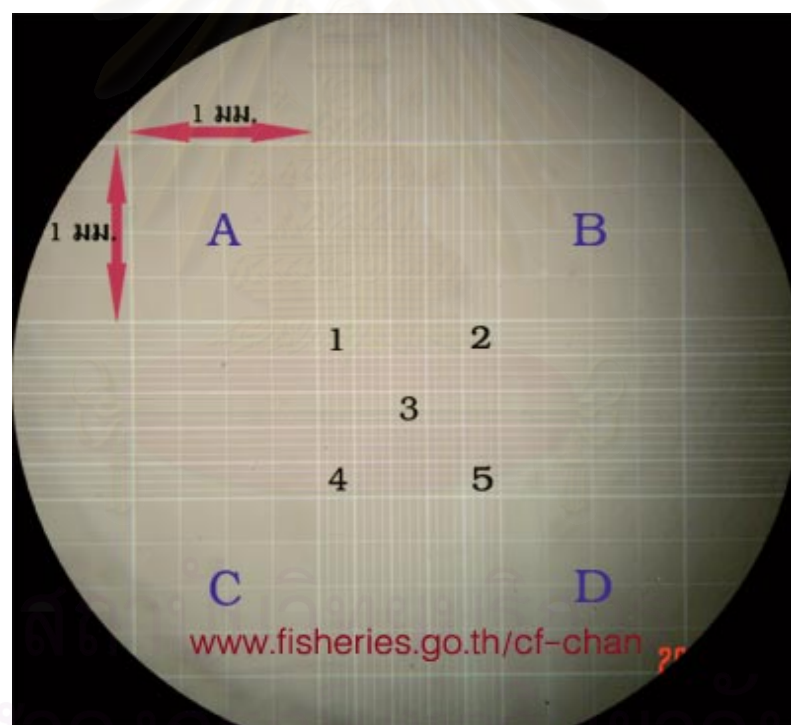
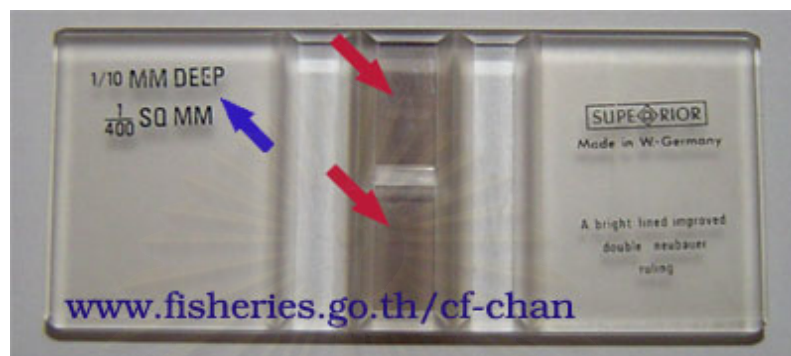
Hemacytometers were developed for counting blood cells, but can also be used to count spermatozoa. A Hemacytometer has two chambers and each chamber has a microscopic grid etched on the glass surface. The chambers are overlaid with a glass coverslip that rests on pillars exactly 0.1 mm above the chamber floor. Thus, the volume of fluid above each square of the grid is known with precision.



Counting: The full grid on a Hemacytometer contains nine squares, each of which is 1 mm square (see figure below). The central counting area of the Hemacytometer (as it will be called here) contains 25 large squares and each large square has 16 smaller squares. When counting, count only those cells on the lines of two sides of the large square to avoid counting cells twice.



Hemocytometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้นับวัดแพลงก์ตอนหรือเม็ดเลือด บอกระดับความลึก 0.1 มิลลิเมตร (ลูกศรสีน้ำเงิน) บอกการขีดตาราง IMPROVED NEUBAUER (ลูกศรสีน้ำเงิน) ช่องที่เล็กที่สุดที่วางไว้ = 1/400 ตารางมิลลิเมตร มี 2 ตาราง ตามลูกศรสีแดง



ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า

ตารางบนผิว Hemocytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า

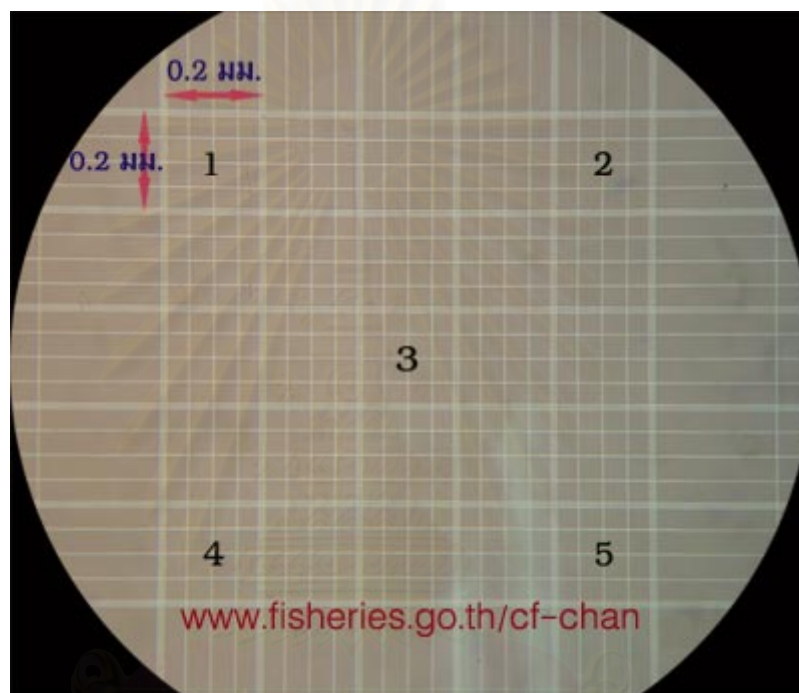
▶ ช่อง A B C D มีความกว้างและยาว = 1 มม.

▶ ปริมาตรน้ำของช่อง A B C หรือ D ช่องใดช่องหนึ่ง = ความกว้าง x ความยาว x ความลึก

▶ = 1 มม. x 1 มม. x 0.1 มม.

▶ = 0.1 ซม. x 0.1 ซม. x 0.01 ซม.

▶ = 0.0001 ลบ.ซม. หรือ 0.0001 มล. = 10^{-4} มล.



ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า

ปริมาตรช่อง 1 2 3 4 และ 5 มีความกว้างและยาวเท่ากับ 0.2 มม. และมีช่องย่อย = 50μ

▶ ปริมาตรน้ำของช่อง 1 2 3 4 หรือ 5 ช่องใดช่องหนึ่ง = ความกว้าง x ความยาว x ความลึก

▶ = 0.2 มม. x 0.2 มม. x 0.1 มม.

▶ = 0.02 ซม. x 0.02 ซม. x 0.01 ซม.

▶ = 0.000004 ลบ.ซม. หรือ 0.000004 มล. = 4×10^{-6} มล.

ภาคผนวก จ

ขั้นตอนการเตรียมตลับวัด CR-39 เตรียมตลับวัด 2 ชุด คือ

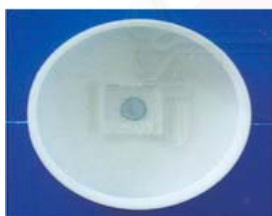
1. ชุดสำหรับวัดตัวควบคุม (control) หรือค่าพื้นหลัง (Background)
2. เตรียมชุดตลับปรับเทียบ (The calibration cup group) หรือ ชุดตลับตัวอย่าง โดยทั้ง 2 ชุด มีขั้นตอนการเตรียม ที่เหมือนกันดังนี้
 - 2.1 เตรียมตลับวัด (ตามจำนวนที่ใช้วัด) นำมาทำความสะอาดไม่ให้มีฝุ่น
 - 2.2 นำแผ่นพลาสติก CR-39 ติดเข้ากับฝาของตลับวัด ด้วยดินน้ำมัน
 - 2.3 ปิดฝาหมุนเกลียวให้สนิทเก็บในที่ที่ป้องกันอากาศเข้า

ลักษณะและองค์ประกอบ ของแผ่นพลาสติก CR-39



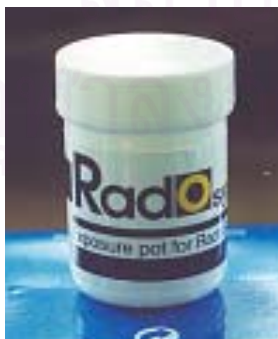
แผ่นพลาสติก CR-39

แผ่นพลาสติกขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร แสดงรหัสประจำแผ่นด้านล่างและรหัสสำหรับอ่านด้วยเครื่องอัตโนมัติด้านขวา



ฝาตลับ CR-39

นำแผ่นพลาสติกติดเข้ากับส่วนฝาด้วยดินน้ำมัน



นำฝาปิดครอบตลับวัด หมุนเกลียวให้สนิทเก็บในถุงพลาสติกอย่างหนา ป้องกันอากาศเข้าเมื่อจะวัดจึงตัดถุงเอาตลับออกมานำไปวาง ณ ตำแหน่งที่ต้องการวัด

ภาคผนวก จ

คำอ้างอิงของ ของ National Institute of Radiological Science (NIRS)

NIRS, 平成 21 年 2 月 5 日

INTERNATIONAL INTERCOMPARISON EXERCISE OF DISCRIMINATIVE RADON/THORON
DETECTORS ORGANIZED BY NATIONAL INSTITUTE OF RADIOLOGICAL SCIENCES (NIRS).

CHIBA, JAPAN

www.nirs.go.jp

REFERENCE VALUES

Thank you very much for your participation in the international intercomparison.

Reference values for radon and thoron are summarized in the table:

	Start time	Stop time	Expos. Time (h)	Average conc. (kBq m ⁻³)		Integrated conc. (kBq m ⁻³ h)			Temperature (°C)		Relative humidity (%)	
Rn Low	2008-11-17 12:20	2008-11-21 16:20	100	0.96	± 0.10	96	± 10	21.6	± 0.1	57.4	± 0.3	
Rn Medium	2008-11-28 16:20	2008-12-01 09:20	65	9.49	± 0.48	617	± 31	21.5	± 0.1	57.5	± 0.2	
Rn High	2009-01-08 16:30	2009-01-13 15:30	119	9.30	± 0.49	1107	± 58	21.2	± 0.1	58.5	± 0.8	
Tn Medium	2008-12-03 16:00	2008-12-05 15:00	47	10.71	± 1.23	503	± 58	30.5	± 0.5	43.1	± 0.7	
Tn High	2008-12-15 13:00	2008-12-17 19:00	54	18.47	± 0.93	997	± 50	30.0	± 0.3	41.3	± 0.4	

Best regards,

Dr Miroslaw Janik

Environmental Radiation Effects Group, NIRS, Chiba, Japan

E-Mail: mirek@fml.nirs.go.jp; tel.: 043-206-3111; fax: 043-206-4098

ค่าเรดอนที่อ่านด้วยสมการจากกราฟรูปที่ 4.9 จากระบบปรับเทียบของ TINT โดยส่ง
แผ่นพลาสติก CR-39 ไปรับเรดอน 3 ระดับ ที่ NIRS

EXPOSITION		Rn-Low Small Plastic		RESULTS	
Date				Date of detectors sending	4-Nov-08
Group Name/Country					23-Jan-
ID	TINT	Thailand		Date of results receiving	09
Type of detectors	J1				
No of exposed detectors	CR-39 (Radosys)			Radon concentration	1.0 kBq/m3
Serial numbers				Error	0.3 kBq/m3
				Integrated Rn concentration	99.3 kBq*h/m3
				Error	32.4 kBq*h/m3
Start of exposition	2008/11/17 12:20				
Stop of exposition	2008/11/21 16:20				
Exposition time	100:00:00	h:min:sek			
	100.00	h			
EXPOSITION		Rn-Medium Small Plastic		RESULTS	
Date				Date of detectors sending	4-Nov-08
Group Name/Country					23-Jan-
ID	TINT	Thailand		Date of results receiving	09
Type of detectors	J1				
No of exposed detectors	CR-39 (Radosys)			Radon concentration	16.6 kBq/m3
Serial numbers				Error	1.3 kBq/m3
				Integrated Rn concentration	1080.2 kBq*h/m3
				Error	84.1 kBq*h/m3
Start of exposition	2008/11/28 16:15				
Stop of exposition	2008/12/1 9:15				
Exposition time	65:00:00	h:min:sek			
	65.00	h			
EXPOSITION		Rn-High Small Plastic		RESULTS	
Date				Date of detectors sending	4-Nov-08
Group Name/Country					23-Jan-
ID	TINT	Thailand		Date of results receiving	09
Type of detectors	J1				
No of exposed detectors	CR-39 (Radosys)			Radon concentration	11.1 kBq/m3
Serial numbers				Error	2.3 kBq/m3
				Integrated Rn concentration	1322.8 kBq*h/m3
				Error	271.4 kBq*h/m3
Start of exposition	2009/1/8 16:30				
Stop of exposition	2009/1/13 15:30				
Exposition time	119:00:00	h:min:sek			
	119.00	h			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นางสาวบรรทม ไสลา
วัน เดือน ปี เกิด	4 มีนาคม 2525
ประวัติการศึกษา	
2543	จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ที่ โรงเรียนหนองสวรรค์วิทยา จ. หนองบัวลำภู
2548	จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วทบ. ชีววิทยาประยุกต์ (สาขาจุลชีววิทยา) มหาวิทยาลัยรามคำแหง จ. อุตรดิตถ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย