

การตรวจสอบรอยแตกของคอนกรีต โดยการตรวจวัดก๊าซแก๊สมันตรังสีเรดอน



นายณฤมิตร วินนุวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

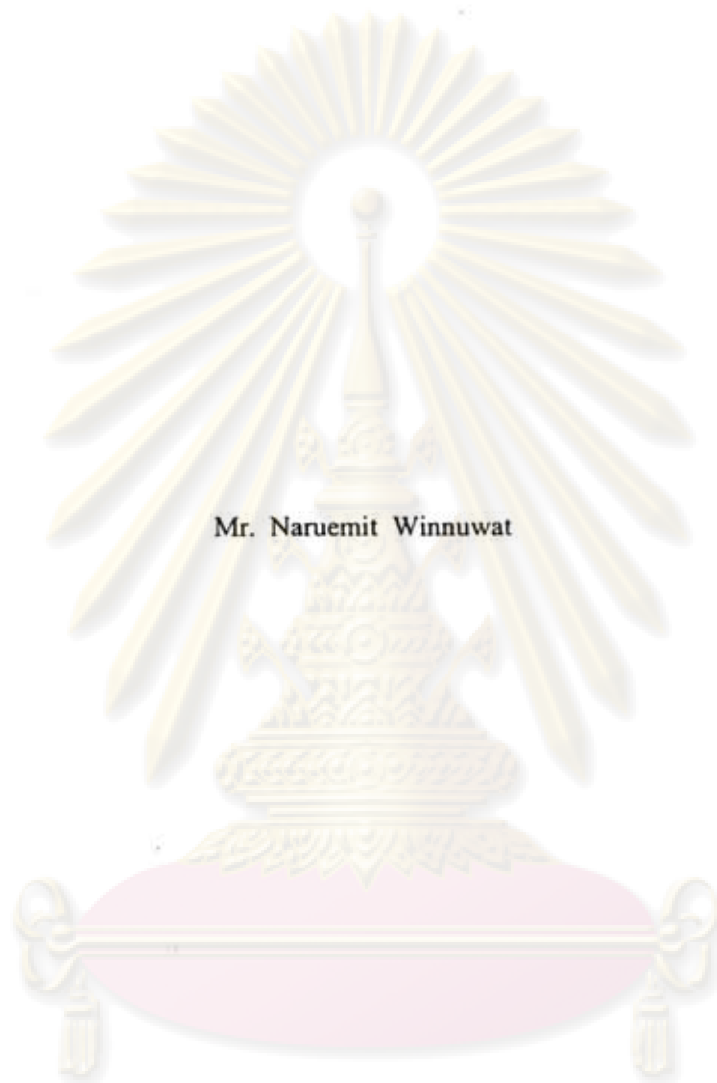
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INSPECTION OF CRACKS IN CONCRETE BY MEASURING
RADIOACTIVE RADON GAS



Mr. Naruemit Winnuwat

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

510637

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจสอบรอยแตกของคอนกรีตโดยการตรวจวัด
ก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน

โดย

นายณัฐมิต วินนุวัฒน์

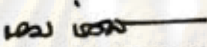
สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

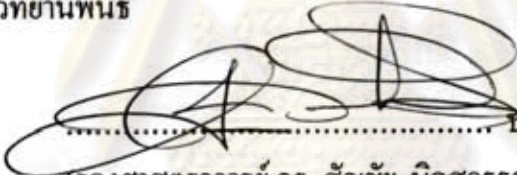
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

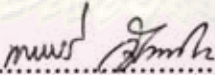
รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

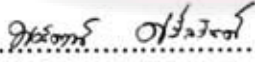
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. นุชชุม เสือศรีวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ตัญชัย นิลสุวรรณโฆมิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. พรรณิณี ศรีสวัสดิ์)

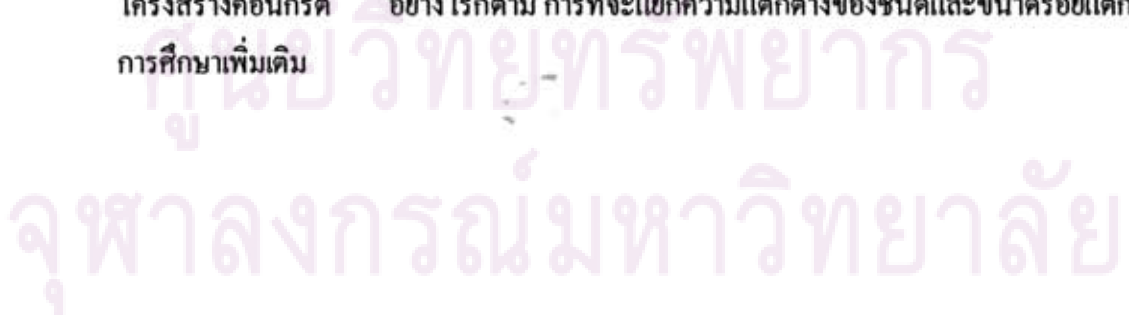

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณพร ภัทรสุมันต์)

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นฤมิตร วินนุวัฒน์ : การตรวจสอบรอยแตกของคอนกรีตโดยการตรวจวัดก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน (INSPECTION OF CRACKS IN CONCRETE BY MEASURING RADIOACTIVE RADON GAS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, 93 หน้า.

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะเสนอ เทคนิคใหม่ สำหรับการตรวจสอบรอยแตกในโครงสร้างคอนกรีต เทคนิคนี้อาศัยหลักการตรวจวัดก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยใช้หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิด ZnS(Ag) ได้ประกอบท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.3 ซม. ยาว 10 ซม. เข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ที่มีแผ่น ZnS(Ag) ติดอยู่ เพื่อนับรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอนที่ถูกกักอยู่ภายในท่อ ในขณะที่ตรวจวัดจะนำท่อไปประชิดผนังและผนังรอยต่อกับผิวคอนกรีตด้วยคินน้ำมันและ/หรือยางซิลิโคน ในการวัดรังสีทุกตัวอย่างใช้เวลา 1 ชั่วโมง และนับต่อเนื่องกันอย่างน้อย 8 ชั่วโมง

ได้ทดสอบเบื้องต้น โดยใช้ก้อนคอนกรีตที่ไม่มี และ มีรูเจาะขนาดและความลึกต่างกัน ซึ่งพบว่า จำนวนนับรังสีแอลฟาที่ได้จากแท่งคอนกรีตที่มีรูสูงกว่าแท่งที่ไม่มีรู จำนวนนับรังสีแอลฟามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามขนาด ความลึก และจำนวนรูเจาะ ต่อมาได้ทดสอบกับแท่งคอนกรีตที่ไม่มีและมียอยแตก ทำนองเดียวกันพบว่า จำนวนนับรังสีแอลฟาที่ได้จากแท่งคอนกรีตที่มีรอยแตกสูงกว่าแท่งที่ไม่มีรอยแตก จำนวนนับรังสีแอลฟามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามขนาด ความลึก และจำนวนรอยแตก ในขั้นสุดท้ายได้ทดสอบการวัดก๊าซเรดอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผนัง พื้น และเสาคอนกรีต ซึ่งพบว่าจำนวนนับรังสีแอลฟาจากพื้น ผนัง และเสาคอนกรีต เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับที่ไม่มีรอยแตก ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิคที่น่าเสนอในการตรวจหารอยแตกในโครงสร้างคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การที่จะแยกความแตกต่างของชนิดและขนาดรอยแตกยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติม



ภาควิชา...นิวเคลียร์เทคโนโลยี....
สาขาวิชา..นิวเคลียร์เทคโนโลยี....
ปีการศึกษา.....2551.....

ลายมือชื่อนิสิต...
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4970384421 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: RADON / CRACKS / CONCRETE

NARUEMIT WINNUWAT : INSPECTION OF CRACKS IN CONCRETE BY MEASURING RADIOACTIVE RADON GAS. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, 93 pp.

This research was aimed to introduce a new technique for inspection of cracks in concrete structure. The technique was based on measurement of the natural radioactive radon gas by using ZnS(Ag) scintillation alpha counter. A 5.3 cm diameter, 10 cm length cylindrical chamber equipped with a 5 cm diameter photomultiplier tube with ZnS(Ag) disc was assembled for counting only alpha particles emitting from radon gas trapped in the chamber. During measurement, the chamber was positioned on the surface of a concrete structure then sealed along the contact surface with clay and/or silicone rubber. All measurements were carried out using 1 hour counting time and continued up to at least 8 hours.

The technique was first tested using concrete blocks with and without drilled holes of different diameters and depths. It was found that the alpha counts obtained from the ones with holes were higher than those without holes. The alpha counts tended to increase with increasing of size, depth and number of drilled holes. It was then tested using concrete blocks with and without cracks. Similarly, it was found that the alpha counts obtained from the ones with cracks were higher than those without cracks. The alpha counts tended to increase with size, depth and number of cracks. It was finally tested for measurement of radon emanation from concrete walls, floors and columns. The alpha counts from walls floors and columns with cracks were significantly higher than those without cracks. It could be concluded that the introduced technique was possible to detect presence of cracks in concrete structure. However, further investigation is still needed to distinguish differences in type and size cracks.

Department: ...Nuclear Technology.....
Field of study: ..Nuclear Technology.....
Academic year:2008.....

Student's signature: *Naruemit Winnuwat*
Principal Advisor's signature: *Nares Chankow*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของรองศาสตราจารย์
นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่
เป็นประโยชน์ รวมทั้งได้ตรวจทานและแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งคณาจารย์ใน
ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่าน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือใน
การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างก้อนคอนกรีต
มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดมาใช้ในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่ได้ให้กำลังใจ และ
ความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา ตลอดระยะเวลาการศึกษา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 คอนกรีต.....	5
2.2 ลักษณะคอนกรีตบดอัด.....	11
2.3 การผสมคอนกรีต.....	11
2.4 คุณสมบัติและข้อแตกต่างของคอนกรีตที่ดีและไม่ดี.....	12
2.5 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี.....	12
2.6 สาเหตุของการเกิดรอยแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีต.....	13
2.7 ลักษณะของรอยแตกร้าวในโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	13
2.8 การแก้ปัญหาการแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	13
2.9 การสลายตัวแบบอนุกรม.....	14
2.10 สมดุลกับมันตรังสี.....	15
2.11 เรดอน.....	18
2.12 แหล่งกำเนิดเรดอน.....	22
2.13 วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอน.....	23

บทที่	หน้า
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	26
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
4. ผลการวิจัย.....	39
4.1 ผลจากการวัดตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอกที่มีและไม่มีรอยแตก โดยใช้หัววัด ZnS(Ag).....	39
4.2 ผลจากการวัดคอนกรีตในอาคารที่มีและไม่มีรอยแตก โดยใช้หัววัด ZnS(Ag).....	40
4.3 กราฟผลการวัดรังสีแอลฟาของคอนกรีต.....	41
4.4 ผลจากการหาประสิทธิภาพของระบบวัด.....	49
5. สรุป วิเคราะห์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	50
5.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	51
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	52
รายการอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	54
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	93



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง	หน้า
2.1 การสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series).....	19
2.2 การสลายตัวของอนุกรมทอเรียม (Thorium Series).....	19
2.3 การสลายตัวของอนุกรมแอกติเนียม (Actinium Series).....	20
4.1 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอก ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง.....	39
4.2 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากคอนกรีตในอาคารมีมีและไม่มีรอยแตก ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์.....	40



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1	อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238.....	1
2.1	แสดงภาวะสมดุลแบบเซคิวลาร์.....	16
2.2	แสดงภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์.....	17
2.3	แสดงภาวะที่ไม่มีการเข้าสู่สมดุล.....	18
2.4	แสดงการสลายตัวของเรเดียม-226.....	21
3.1	แผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์[ZnS(Ag)]สำเร็จรูป.....	27
3.2	แสดงแผนผังของ Chamber ที่ประกอบขึ้น.....	28
3.3	แสดงการเชื่อมต่อ Chamber เข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์.....	28
3.4	เครื่องนับรังสี LUDLUM MODEL 2200.....	29
3.5	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอก.....	29
3.6	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่มีรอยแตก.....	30
3.7	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น).....	30
3.8	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม้าเสมอ).....	30
3.9	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน).....	31
3.10	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่ทำการเจาะรู.....	31
3.11	แสดงลักษณะของคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตก ขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น).....	31
3.12	แสดงลักษณะของคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม้าเสมอ).....	32
3.13	รอยแตกของคอนกรีตในอาคารหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน).....	32
3.14	แสดงลักษณะของคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก.....	32
3.15	แสดงลักษณะของพื้นคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นร่อง.....	33
3.16	แสดงลักษณะของพื้นคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นเส้น.....	33
3.17	แสดงลักษณะของเสาคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นเส้นหลายรอย.....	33
3.18	ปั๊มดูดอากาศ MODEL MP-30.....	34
3.19	เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์.....	34
3.20	แสดงการเชื่อมต่อ Chamber ที่ติควาล์วเข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์.....	35
3.21	แผนผังการจัดระบบวัดรังสี.....	36

3.22 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบไม่ใช้ป้อนคู่อากาศ.....	36
3.23 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบใช้ป้อนคู่อากาศ.....	37
3.24 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบไม่ใช้ป้อนคู่อากาศในอาคาร.....	37
3.25 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบใช้ป้อนคู่อากาศในอาคาร.....	37
3.26 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบใช้ป้อนคู่อากาศในอาคาร(2).....	38
4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก จำนวน 9 ตัวอย่าง โดยไม่ใช้ป้อนคู่อากาศ.....	41
4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก และที่เจาะรูขนาดต่างๆกัน โดยใช้ป้อนคู่อากาศ.....	42
4.3 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่มีรอยแตก โดยไม่ใช้ป้อนคู่อากาศ.....	43
4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่มีและไม่มีรอยแตก โดยใช้ป้อนคู่อากาศ.....	44
4.5 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของผนังคอนกรีตในอาคาร โดยไม่ใช้ป้อนคู่อากาศ.....	45
4.6 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของผนังคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ป้อนคู่อากาศ.....	46
4.7 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของพื้นคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ป้อนคู่อากาศ.....	47
4.8 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของเสาคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ป้อนคู่อากาศ.....	48

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

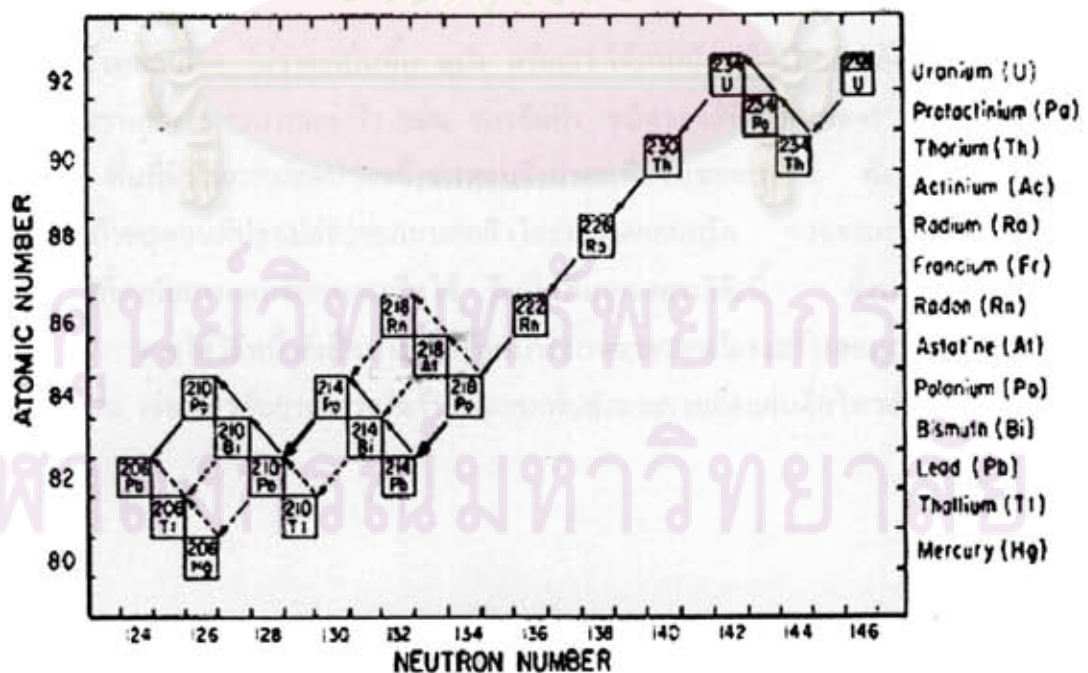
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในชีวิตประจำวัน เราสามารถพบสารกัมมันตภาพรังสีที่มีความแรงรังสีต่ำถึงความแรงรังสีปานกลางอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ สารกัมมันตภาพรังสีที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากหิน ดิน และวัสดุต่างๆที่ประกอบขึ้นด้วย หิน และ ดิน เช่น วัสดุก่อสร้าง คอนกรีต อิฐ ทราช หรือน้ำ เป็นต้น และในปัจจุบันพื้นที่ในการก่อสร้างอาคารมีจำนวนจำกัดเนื่องมาจากการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ทำให้ต้องสร้างอาคารที่มีความสูงเพื่อประหยัดพื้นที่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบ โครงสร้างและใช้วัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงและปลอดภัย

หินและดินที่มีอยู่ในโลกประกอบไปด้วยยูเรเนียมประมาณ 0.03-5 ppm โดยยูเรเนียมที่พบในธรรมชาติจะมีปริมาณของยูเรเนียม-238 อยู่ถึง 99.3% ของยูเรเนียมทั้งหมด ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก (4.47 พันล้านปี) ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 ซึ่งสลายตัวให้ไอโซโทปกับมันตรังสีเป็นอนุกรมต่อเนื่องกว่า 10 ชนิด สารกัมมันตรังสีที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) และพบมากในโครงสร้างของอาคารคอนกรีต คือ ก๊าซเรดอน-222 (Rn-222) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 (ครึ่งชีวิต 1600 ปี)



รูปที่ 1.1 อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238[1]

เรดอน-222 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีตัวหนึ่งเกิดจากการสลายตัวอันดับที่ 7 ของอนุกรมยูเรเนียม ซึ่งจะมีไอโซโทปกัมมันตรังสีตั้งต้นคือ ยูเรเนียม-238 โดยจะพบมากบริเวณเปลือกโลกอันได้แก่ หิน ดิน และแร่ต่างๆ ยูเรเนียม-238 จะมีการสลายตัวให้นิวไคลด์ลูกหลายนิวไคลด์ จนกระทั่งสลายตัวเป็นเรเดียม-226 ก่อนที่จะสลายตัวต่อไปเป็นเรดอน-222 ดังนั้นหากวัสดุภัณฑ์ก่อสร้างมีเรเดียมเป็นองค์ประกอบหลักอยู่มาก ก็จะมีการสลายตัวไปเป็นเรดอนได้มากเช่นกัน แต่จะมีเรดอนแค่บางส่วนเท่านั้นที่สามารถหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทั้งนี้จะขึ้นกับความหนาของวัสดุและความสามารถในการซึมผ่านของเรดอน ดังนั้นหากมีการนำเอาวัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณของเรเดียมมากมาก่อสร้างเป็นอาคารบ้านเรือน ก็จะมีโอกาสที่จะมีการปลดปล่อยของเรดอนออกมาเป็นปริมาณมากด้วยเช่นกัน ซึ่งหากมีการฟุ้งกระจายของเรดอนภายในอาคารบ้านเรือนเนื่องจากการเกิดรอยแตกของโครงสร้างคอนกรีต ก็จะทำให้มีก๊าซเรดอนเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากขึ้นด้วย

ก๊าซเรดอนมีคุณสมบัติเฉพาะตัวเป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) และไม่เกิดพันธะเคมี (Chemical Bond) ดังนั้นก๊าซเรดอนจึงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและสามารถเคลื่อนที่เข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการก่อสร้างเช่น คอนกรีต น้ำ เป็นต้น

ตามปกติ คอนกรีตจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมาอยู่แล้ว ซึ่งเกิดจากรีเดียม-226 ที่ปะปนมากับวัตถุดิบที่ใช้ทำซีเมนต์ ส่วนจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ นอกจากนี้หากมีส่วนผสมอื่น เช่น เถ้าถ่านหิน ก็อาจมีความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงกว่าในธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในเถ้าถ่านหินมีความเข้มข้นสูงขึ้นจากการที่ถ่านหินถูกเผาไหม้ไป การที่ก๊าซเรดอนจะซึมผ่านออกมาสู่ผิวโครงสร้างคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นพื้น ผัง หรือเสา ได้มากน้อยเพียงใดนั้น ยังขึ้นอยู่กับความแน่น ความชื้น และการแตงผิว (เช่น การขีดผิว ชนิดของสีที่ใช้ทา ฯลฯ) เมื่อมีรอยแตกเกิดขึ้น พื้นที่ผิวในการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจึงน่าจะเพิ่มขึ้นจากค่าปกติ ดังนั้นการวัดอัตราปริมาณก๊าซเรดอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผิวโครงสร้างคอนกรีต อาจสามารถบอกถึงความผิดปกติเกี่ยวกับการแตกของคอนกรีตได้ จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้ ซึ่งหากผลงานวิจัยนี้ได้ผลดี อาจได้วิธีหนึ่งที่เป็นทางเลือกใหม่ในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตที่สะดวกในการใช้งาน เช่นเดียวกับการตรวจวัดก๊าซเรดอนเพื่อทำนายการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนกับการมีอยู่ของรอยแตกในคอนกรีต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ฟิล์มเทรค-เอคซ์และ/หรือ เครื่องวัดก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนในการตรวจสอบรอยแตกของคอนกรีต

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนกับการมีอยู่ของรอยแตกในคอนกรีต

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้เทคนิคการตรวจสอบรอยแตกในคอนกรีต โดยพิจารณาจากการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบและประกอบอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน สำหรับใช้ในการตรวจวัดจากคอนกรีต

1.5.3 ศึกษาทดลองวัดก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนกับการมีอยู่ของรอยแตกในคอนกรีต

1.5.4 ทดลองตรวจวัดก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนจากคอนกรีตในอาคาร

1.5.5 สรุปวิจารณ์ผลงานวิจัย และเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี 1996 C. K. Man และ H. S. Yeung ได้ทำการศึกษาเรื่อง The effect of cracks and holes on the exhalation of radon from concrete เป็นการศึกษาเพื่อตรวจสอบการปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกจากโครงสร้างอาคารคอนกรีตที่เกิดการแตก จากการศึกษาพบว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ปลดปล่อยออกมานั้น ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของขนาดรอยแตกที่เกิดขึ้น จำนวนของรอยแตกบนผิวคอนกรีต และปริมาณก๊าซเรดอนยังไม่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของคอนกรีตที่เกิดรอยแตก โดยทำการสูบลมตัวอย่างการศึกษาจากโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดความเสียหายจากแผ่นดินไหว โดยบริเวณที่โครงสร้างพังทลายและเกิดรอยแตกจะพบปริมาณก๊าซเรดอนมากกว่า บริเวณที่ไม่เกิดความเสียหายอย่างเห็นได้ชัด

1.6.2 ปี 1989 Arthur W. Rose, Adam R. Hutter and John W. Washington ได้ทำการศึกษาเรื่อง Sampling variability of radon in soil gases เป็นการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างของดินที่จะนำมาทำเป็นวัสดุก่อสร้างและวัดปริมาณก๊าซเรดอนในตัวอย่างดิน แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากดินของแหล่งกำเนิดดินบริเวณต่างๆกันของ Pennsylvania State จากนั้นทดสอบการแตกโดยการวัดปริมาณก๊าซเรดอนจากดินตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างดินที่ทำการเก็บที่ความลึก 70 เซนติเมตรจากผิวดินจะมีปริมาณก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้น 3 ถึง 10 เท่าเมื่อทำการเก็บสถิติในหนึ่งปี และที่ความลึกมากกว่า 70 เซนติเมตรจากผิวดินจะมีปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงฤดูหนาวต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอุณหภูมิที่มีผลต่อการแพร่ของก๊าซเรดอน

1.6.3 ปี 1991 A. W. Harris and A. Atkinson ได้ทำการศึกษาเรื่อง Transport of gases in concrete barriers เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการถ่ายเทมวลของก๊าซในคอนกรีต พบว่าก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเป็นก๊าซเฉื่อยไม่เกิดพันธะเคมี และปฏิกิริยากับเนื้อคอนกรีต แต่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมที่ประกอบขึ้นเป็นคอนกรีตได้ และการแพร่ของก๊าซในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่อยู่ในเนื้อคอนกรีต โดยจะทราบได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำและซีเมนต์ในเนื้อของคอนกรีต (concrete water cement ratio) ที่ได้จากการผสมมวลรวมของคอนกรีตก่อนนำไปใช้งาน

1.6.4 ปี ค.ศ.1994 W. M. Arafa และคณะ แห่งมหาวิทยาลัยกาตาร์และประเทศกาตาร์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง "Some Improvements of Charcoal Measurement Technique Used for Indoor Radon Measurement in Qatar" โดยได้พัฒนาเทคนิคการวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอาคารโดยใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเรดอน-222 และพบว่าเทคนิคดังกล่าวให้ประสิทธิภาพการวัดเรดอน-222 ได้ดีขึ้นซึ่งใช้หัววัดรังสีสองหัววัดแทนการวัดรังสีด้วยหัววัดรังสีเพียงหัวเดียวและให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับเรดอน-222 อย่างน้อย 4 วัน ถึงจะนำมาทำการวัดรังสี

1.6.5 ปี ค.ศ. 2003 E. R. van der และคณะ แห่งมหาวิทยาลัย Nuclear Geophysics Division ได้ทำการวิจัยเรื่อง Determination of radon release rates of two types of gypsum board received from IBR, Heren, the Netherlands. โดยหาค่าอัตราการฟุ้งกระจายและอัตราการปล่อยเรดอน-222 จากแผ่นยิปซัมที่ทำมาจากยิปซัมธรรมชาติและฟอสฟอริยิปซัม โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านตู้เก็บแผ่นยิปซัม แล้วใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับก๊าซที่ออกมาจากตู้เก็บแผ่นยิปซำนั้น

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีต คือ วัสดุวิศวกรรมที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้าง โครงสร้างต่างๆ เนื่องจาก วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมีอยู่มากตามธรรมชาติ และมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับ วัสดุวิศวกรรมก่อสร้างชนิดอื่นๆ ขณะที่ประโยชน์ที่ได้รับยังตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ได้หลายรูปแบบ

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไปได้แก่

2.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

2.1.2 มวลรวม (Aggregate)

2.1.3 น้ำ (Water)

2.1.4 สารผสมเพิ่ม (Admixture)

ปัจจุบันคอนกรีตทั่วไปจะได้รับการคัดแปลงส่วนผสม เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เช่น คอนกรีตไหล (Flow Concrete) คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) คอนกรีตสมรรถนะสูง (High Performance Concrete) คอนกรีตสูบส่ง (Pumped Concrete) คอนกรีตแข็งตัวเร็ว (High Early Strength Concrete) เป็นต้น คอนกรีตเหล่านี้มักจะเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้นจากคุณสมบัติของคอนกรีตทั่วไป โดยมีการใส่สารผสมต่างๆเพิ่มลงไป เช่น สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) เป็นต้น โดยที่สัดส่วนผสมที่เลือกใช้ จะต้องมีการศึกษารายละเอียดและทดสอบให้สอดคล้องกับความต้องการของงานที่กำหนด เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน รายละเอียดของส่วนผสมหลักของคอนกรีต มีดังต่อไปนี้

2.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

2.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยทั่วไปเป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด สามารถจำแนกตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมอก.15 ได้ 5 ประเภทด้วยกันคือ

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา หรือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง (Type I Normal Portland Cement)

จัดเป็นปูนซีเมนต์มาตรฐานเหมาะกับงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติ นอกเหนือไปกว่าปกติ ส่วนใหญ่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น งานก่อสร้างเสา คาน พื้นของ

อาคารต่างๆ สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อระบายน้ำ คอนกรีตทางเท้า เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่เหมาะกับการที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตที่มีความเข้มข้นสูง หรืองานที่ไม่ต้องการให้เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำมาก จนเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตเสียหาย

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สอง (Type II Modified Portland Cement)

จัดเป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลงเพื่อให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตปานกลาง เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้นในอัตราช้ากว่าปูนประเภทที่หนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของคอนกรีตในอากาศร้อนได้ดี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เหมาะกับการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น คอมม่อนขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดิน รวมทั้งในบริเวณที่สัมผัสกับน้ำเค็มหรือน้ำทะเลเป็นครั้งคราว

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สาม (Type III High-early Strength Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้จะมีเนื้อปูนละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยปกติจะสามารถรับแรงที่อายุ 7 วัน เท่ากับที่อายุ 28 วันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานที่ต้องถอดแบบเร็วๆ เช่น คอนกรีตสำเร็จรูป หรืองานซ่อมแซมถนน หรืออาคารต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็ว

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สี่ (Type IV Low-heat Portland Cement)

เป็นซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการซึ่งต้องการควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นอัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตถ้ามากเกินไป จะเป็นอันตรายกับตัวโครงสร้างเขื่อนเนื่องจากจะทำให้เกิดขยายตัว เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิและทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวขึ้นได้

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้านทานซัลเฟตได้สูง หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ห้า

(Type V Sulphate-resistance Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานซัลเฟตสูง จึงเหมาะกับการก่อสร้างในบริเวณดินหรือน้ำที่มีส่วนประกอบของซัลเฟตเข้มข้นสูง

2.1.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement)

ปูนซีเมนต์ผสมหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ได้จากการนำเอาทรายหรือหินปูนบดละเอียดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราร้อยละ 25 ถึง 30 เพื่อให้มีปริมาณมากขึ้นและราคาถูกลง และลดการบดหาคั่วของปูนซีเมนต์เมื่อแข็งตัวแล้ว เนื่องจากคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ดังนั้นจึงเหมาะกับการก่อสร้างที่ไม่สำคัญและไม่ต้องรับแรงมาก และเนื่องจากมีคุณสมบัติแข็งตัวช้าและไม่บดหาคั่วมากนัก จึงนิยมใช้ในงานปูนก่อ ปูนฉาบ และปูนตกแต่งทั่วไป เนื่องจากสามารถช่วยลดการแตกร้าวของผิวได้

2.1.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดอื่นๆ

-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolan Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ผลิตจากการนำเอาวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอยจากถ่านหิน บดผสมกับปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง ส่วนใหญ่ใช้กับงานโครงสร้างใต้น้ำ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม เช่น งานสะพาน เขื่อน ท่าเทียบเรือ เนื่องจากมีคุณสมบัติทนซัลเฟตได้ดี

-ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสอยู่ในปริมาณที่ต่ำ จึงทำให้มีสีขาวจึงสามารถผสมกับสีฝุ่นต่างๆเพื่อให้ปูนซีเมนต์มีสีเขียว , แดง , เหลือง , ฯลฯ ได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงนิยมใช้ในงานตกแต่งต่างๆ เช่น งานหินขัด งานปูกระเบื้อง และงานสถาปัตยกรรมอื่น ๆ

-ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน (Oil Well Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดหนึ่ง ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตได้สูงผสมกับสารหน่วงปฏิกิริยาไฮดรชัน ซึ่งคุณสมบัติจะแตกต่างไปจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา ตรงที่ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมันจะสามารถก่อตัวได้ที่อุณหภูมิสูงๆ นิยมใช้งานก่อสร้างขุดเจาะบ่อน้ำมันลึก ๆ

องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสารประกอบรวมกันอยู่หลายชนิด แต่สารประกอบหลักมี 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) 3 CaO SiO_2 (C_3S)
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) 2 CaO SiO_2 (C_2S)
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate) $3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)
4. เทตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite) $4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$

Fe_2O_3 (C_4AF)

สารประกอบแต่ละชนิดเหล่านี้ สามารถปรับปริมาณเพื่อทำให้เป็นซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต่างๆตามความต้องการใช้งาน

2.1.2 มวลรวม (Aggregate)

มวลรวม (aggregates) จัดว่าเป็นวัสดุสำคัญในงานก่อสร้าง เพราะเป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ของคอนกรีตโดยมีประมาณร้อยละ 75 โดยปริมาตร โดยทั่วไปมวลรวมที่นิยมใช้ได้แก่ หินย่อย กรวด และทราย การผสมคอนกรีตโดยทั่วไปจะนำปูนซีเมนต์มาผสมกับมวลรวมได้แก่หินและทรายหยาบ ในอัตราส่วนต่างๆกันขึ้นกับลักษณะของงานก่อสร้างที่ต้องการ เช่น งานก่อสร้างทั่วไปจะนิยมใช้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ได้ จากอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร หรือประมาณ 1 : 2 : 3 โดยน้ำหนัก เป็นต้น นอกจากจะนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้มีขนาด รูปร่าง ความแข็งแรงตามต้องการแล้วยังทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลงอีกด้วย

รายละเอียดของมวลรวมโดยสังเขปมีดังนี้

ก. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียด คือวัสดุผสมคอนกรีตที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ (ช่องเปิดขนาด 4.75 มม.) ได้แก่ ทรายธรรมชาติ และทรายสังเคราะห์ ทรายธรรมชาติ นิยมทรายน้ำจืด ก่อนนำมาใช้งานต้องทำความสะอาดไม่ให้มีเศษพืชหรือสิ่งปนอยู่เพราะจะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพต่ำ ทรายที่เหมาะสมต้องมีความแข็ง เหล็กมคม และขนาดคละกัณฑ์ ที่นิยมในงานคอนกรีตจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.0 - 4.5 มิลลิเมตร

ข. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

มวลรวมหยาบ คือวัสดุผสมคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนจะ

ค้างอยู่บนตะแกรงร้อนมาตรฐานเบอร์ 4 วัสดุคงกล่าวได้แก่ หินบ้อย หรือ หินกรวด หินที่เหมาะสมจะนำมาผสมคอนกรีตควรมีลักษณะเป็นเหลี่ยม คม แข็งแกร่ง ผิวขรุขระ บิดหดตัวต่ำ ทนทานต่อการสึกหรอ เวลานำมาใช้ต้องมีขนาดคละกัน โดยทั่วไปใช้ขนาด 3/16 นิ้ว - 3 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดของคอนกรีตที่จะเทลงแบบ มวลรวมหยาบส่วนมากได้มาจากการระเบิดภูเขาหินปูนแล้วมาบ้อยด้วยเครื่องบ้อยหิน แหล่งผลิตหินบ้อยที่สำคัญของประเทศไทย ส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดสระบุรี ลพบุรี และราชบุรี

2.1.3 น้ำ (Water)

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการผสมคอนกรีต เพราะนอกจากมีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และมีผลต่อกำลัง ตลอดจนความทนทานของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว น้ำอาจมีผลกระทบต่อสีผิวของคอนกรีต และการเป็นสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ซึ่งหากแบ่งประเภทของน้ำตามสภาพการใช้งานสามารถแบ่งได้ดังนี้

- ก. น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความชื้นเหลวทำงานง่าย
- ข. น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงตามต้องการ
- ค. น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนใช้ผสมทำคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตมีความสำคัญมาก น้ำต้องสะอาดมีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm (ส่วนในล้านส่วน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน หรือจากโรงงานอุตสาหกรรมจัดว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับใช้ในการผสมคอนกรีต ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าน้ำที่ใช้มีความสะอาดเพียงพอหรือไม่ ให้ทำการทดสอบโดยทำก้อนมอร์ต้าลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ซึ่งผสมด้วยน้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกับก้อนอัด ที่อายุ 7 และ 28 วันของก้อนลูกบาศก์ มอร์ต้าร์ขนาดเท่ากันที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี หากก้อนมอร์ต้าร์ที่ใช้น้ำที่สงสัยให้กำลังอย่างน้อยร้อยละ 90 จะถือว่าน้ำนั้น ไม่มีปัญหาด้านคุณภาพและใช้ผสมคอนกรีตได้

2.1.3.1 หน้าที่หลักของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

- ก. ทำหน้าที่เข้าผสมเข้ากับปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดความร้อนที่เรียกว่า Heat of hydration ทำให้ผงปูนนั้นเป็นฝุ่นและเป็นซีเมนต์เหนียว ซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสมเกาะยึดกันแน่นเมื่อแข็งตัว

- ข. ทำน้ำเคลือบหินและทรายให้เปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะ โขยรอบและแข็งตัวยึดเกาะกันแน่น
- ค. ทำหน้าที่หล่อลื่นให้วัสดุทั้งหมดเกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้งหรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปร่างต่างๆได้

2.1.4 สารผสมเพิ่ม (Admixture)

สารผสมเพิ่มได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในวงการก่อสร้าง โดยได้มีการนำสารผสมเพิ่มมาใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีต นอกเหนือจากส่วนผสมปกติคือ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีต เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานตามที่ต้องการ เช่น ปรับปรุงความสามารถทำงานได้ การหน่วงหรือเร่งเวลาการก่อตัว ควบคุมการพัฒนา กำลังอัดตามการออกแบบ หรือปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงทนต่อสภาวะต่างๆ เป็นต้น

สารผสมเพิ่มสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทหลักคือ

- ก. สารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Agent) นิยมใช้ ในการเพิ่มความคงทนของคอนกรีตต่อสภาพอากาศที่หนาวเย็น ซึ่งสารตัวนี้จะไม่นิยมใช้ในประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อน
- ข. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) สารประกอบทางเคมีที่ละลายในน้ำ นิยมใช้สำหรับหน่วงหรือเร่งเวลาการก่อตัวหรือลดความต้องการน้ำในการผสมคอนกรีต
- ค. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture) โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นผงละเอียด นิยมใช้แทนที่หรือผสมเพิ่มปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตหรือ ใช้สำหรับทำให้ความสามารถทำงานได้และความคงทนของคอนกรีตดีขึ้น

ซึ่งพบว่าเถ้าลอย (Fly Ash) จากถ่านหินจัดเป็นส่วนหนึ่งของสารประกอบแร่ผสมเพิ่มจำพวกวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Material) ที่นิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

ทั้งนี้การพิจารณาเลือกใช้สารผสมเพิ่มจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ รวมถึงข้อจำกัดในการใช้งาน โดยควรมีการศึกษาทดลองตรวจสอบคุณภาพ และพิจารณาข้อแนะนำการใช้งานจากผู้ผลิตประกอบ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพและตรงตามความต้องการในการออกแบบและการใช้งานต่อไป

2.2 ลักษณะคอนกรีตบดอัด (Roller-Compacted Concrete, RCC)

ในขณะที่เป็นคอนกรีตสด คอนกรีตบดอัดจะมีความชื้นเพียงเล็กน้อยและมีเนื้อค่อนข้างกระด้าง คุณสมบัติการยุบตัวของคอนกรีตชนิดนี้เป็นศูนย์ (No-Slump) ในการผสมอาจใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้สูงถึง 60-70% โดยน้ำหนัก เพื่อให้มวลคอนกรีตโดยรวมเกิดความร้อนขึ้นต่ำ ในขณะที่คอนกรีตยังมีอายุน้อยเนื้อคอนกรีตจะคู่แห้งคล้ายกับหินคลุกซึ่งผสมน้ำหมาดๆ และมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักของรถบดอัดขนาดใหญ่ซึ่งใช้ความสั่นสะเทือน (Vibration Roller) ได้โดยรถไม่จมลงไปเนื้อคอนกรีต และในขณะที่ใช้ความสั่นสะเทือนไม่ทำให้เกิดการแยกตัวของมวลรวมหยาบในคอนกรีต (segregation) ได้ง่าย แต่ในขณะที่ที่เป็นคอนกรีตสด เนื้อของคอนกรีตบดอัดจะมีคุณสมบัติเชื่อมแน่น (Cohesive) อยู่มากกว่าเนื้อหินคลุกที่ใช้ในงานบดอัดชั้นพื้นทางของถนนลาดยางทั่วไป อุปกรณ์หลักที่ใช้บดอัดคอนกรีตชนิดนี้คือ รถบดล้อเหล็กเรียบขนาด 10 ตัน ชนิดที่ใช้แรงสั่นสะเทือนได้

เราไม่สามารถวัดความสามารถในการทำงานบดอัด (workability) ของคอนกรีตชนิดนี้ได้ด้วยวิธีทดสอบการยุบตัว (Slump Cone Test) ตามปกติ ดังนั้นจึงได้ใช้วิธีทดสอบพิเศษ เรียกว่า Loaded Vebe Time ซึ่งจะวัดเวลาที่ใช้ ในการสั่นสะเทือนคอนกรีตที่ตักโรยหลวมๆ ในภาชนะซึ่งจุ 9 ลิตร จนกระทั่ง paste ไหลแทรกซึมขึ้นมาทั่วช่องว่างระหว่างมวลรวมในคอนกรีตและเอ่อล้นขึ้นมาถึงผิวบนของคอนกรีตสดในภาชนะ โดยจะสังเกตเห็นการสัมผัสของ paste ได้ผิวด้านล่างของแผ่นพลาสติกที่แข็งและใสซึ่งอยู่ใต้น้ำหนักกดทับที่หนัก 10 กก. และในการทดลองนี้ได้ใช้ความสั่นสะเทือนในแนวตั้งด้วยขนาด Amplitude ของการสั่นสะเทือน 0.5 มม. และใช้ความถี่ประมาณ 3000 รอบต่อนาที

2.3 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.3.1 การผสมโดยน้ำหนัก คือ การชั่งน้ำหนัก โดยจะได้สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่แน่นอนและสม่ำเสมอ เหมาะกับงานก่อสร้างใหญ่ๆ ที่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตสูง

2.3.2 การผสมโดยปริมาตร คือ การตวง จะได้ส่วนผสมของคอนกรีตที่แน่นอนและสม่ำเสมอพอสมควรเหมาะกับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตสูง การตวงส่วนผสมควรตวงด้วยถังมาตรฐานไม่ควรตวงด้วยปุ้งก็เพราะได้ส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีตไม่แน่นอน ถังมาตรฐานที่แนะนำให้ใช้นี้เป็นถังทำด้วยไม้หรือพลาสติกซึ่งมีขนาดพอดีกับปูนซีเมนต์ 1 ถุง (50 กิโลกรัม)

ส่วนผสมคอนกรีต 1:2:4 คือปูนซีเมนต์ 1 ถุง ทราย 2 ถัง และหิน 4 ถัง ในที่นี้ทรายและหินต้องแห้ง เพราะทรายที่เปียกจะพองตัวทำให้ขาดจำนวนไป อาจมากถึง 30% ซึ่งจะต้องเพิ่มทรายเข้าไปอีกและลดจำนวนน้ำลงตามส่วนส่วนหินจะเปลี่ยนแปลงจำนวนไปไม่มากนักเมื่อเปียกน้ำ การใช้ส่วนผสมคอนกรีตมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะกำลังของคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ จึงจำเป็นจะต้องกำหนดน้ำที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตให้มีความชื้นเหลวพอเหมาะกับงานนั้นๆ คือน้ำ 30 ลิตรต่อปูนซีเมนต์ 1 ถุงในส่วนผสม 1:2:3 1/2, 1:2:4 จะได้กำลังอัดของคอนกรีตอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร

2.4 คุณสมบัติและข้อแตกต่างของคอนกรีตที่ดีและไม่ดี

คอนกรีตที่ดี เป็นคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติเป็นที่น่าพอใจ ทั้งในสภาพคอนกรีตเหลว กล่าวคือ ตั้งแต่การผสม การลำเลียงจากเครื่องผสม การเทลงแบบหล่อ การอัดแน่น และในสภาพคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว กล่าวคือ คอนกรีตจะต้องมีความชื้นเหลวที่จะให้การอัดแน่นในแบบหล่อคอนกรีตให้เป็นไปตามวิธีการที่ต้องการ โดยไม่ต้องใช้ความพยายามอย่างมากรวมทั้งส่วนผสมจะต้องมีการยึดเกาะกันอย่างเพียงพอสำหรับวิธีการเทคอนกรีตที่จะใช้ โดยไม่มีการแยกตัวซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการไม่สม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วต้องได้กำลังอัดตามข้อกำหนด นอกจากนี้ยังต้องมีคุณสมบัติอื่นๆ อีก เช่น ความหนาแน่น ความทนทาน ความสามารถรับแรงดึง ความต้านทานการซึมผ่านหรือน้ำหรือของเหลว ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี การทนต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟตและอื่นๆ

คอนกรีตที่ไม่ดี โดยทั่วไปจะมีความชื้นเหลวไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อแข็งตัวจะมีรูโหว่และไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง

2.5 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

การทำคอนกรีตต้องมีกระบวนการผลิตที่เป็นขั้นตอน เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ทั้งทางด้านความสามารถเท่าได้ (Workability) กำลัง (Strength) ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) และความทนทาน (Durability)

กระบวนการทำคอนกรีตทั่วไปอาจเรียงลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

- 2.5.1 การเลือกหาวัสดุดิบที่เหมาะสม
- 2.5.2 การกำหนดอัตราส่วนผสม
- 2.5.3 การชั่งหรือคองวัสดุดิบเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง
- 2.5.4 การผสม
- 2.5.5 การลำเลียงคอนกรีตสดไปเท
- 2.5.6 การเท

- 2.5.7 การทำให้คอนกรีตอัดแน่น
- 2.5.8 การแต่งผิว
- 2.5.9 การบ่ม
- 2.5.10 การแกะแบบหล่อคอนกรีตตามระยะเวลาที่ถูกต้อง

2.6 สาเหตุของการเกิดรอยแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีต

2.6.1 รอยแตกร้าวที่เกิดจากวัสดุที่เสื่อมสภาพ เกิดจากการเสื่อมสภาพของวัสดุเปลี่ยนแปลง เช่น สิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ สารเคมี เป็นต้น

2.6.2 รอยแตกร้าวที่เกิดจากโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำลัง รอยแตกร้าวประเภทนี้เกิดจากการที่โครงสร้างมีขนาดเล็กเกินไป หรือมีการใช้งานผิดประเภทจนทำให้โครงสร้างต้องแบกรับน้ำหนักบรรทุกมากเกินกว่าที่ออกแบบไว้ตั้งแต่แรก

2.6.3 รอยแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานราก หากฐานรากในอาคารทรุดตัวแตกต่างกันมากจะทำให้โครงสร้างของอาคารถูกดึงรั้งให้บิดตัวเสียรูปและเกิดการแตกร้าวได้

2.6.4 รอยแตกร้าวเนื่องจากการรับน้ำหนักไม่ไหว

2.6.5 รอยแตกร้าวเนื่องจากเหล็กเป็นสนิม

2.7 ลักษณะของรอยแตกร้าวในโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ลักษณะและตำแหน่งของรอยแตกร้าวจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าวต่างๆ รอยแตกร้าวเนื่องจากวัสดุเสื่อมสภาพ รอยแตกชนิดนี้มักเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุที่เสื่อมสภาพคือผิวของคอนกรีต หรือเนื้อคอนกรีตส่วนที่หุ้มด้วยเหล็กเสริม ซึ่งรอยแตกร้าวประเภทนี้จะไม่ลึกถึงแกนกลางของโครงสร้าง

2.7.1 รอยแตกร้าวเฉพาะที่ผิวของคอนกรีต อาจกล่าวได้ว่าเป็นผลเนื่องมาจากคอนกรีตเสื่อมสภาพ คอนกรีตเกิดการหดตัว ถูกกัดเซาะจากสารเคมีหรือสิ่งแวดล้อมที่มีซัลเฟตมาก การแตกร้าวประเภทนี้มักเกิดเป็นกลุ่มๆ หรือเป็นหย่อมๆ

2.7.2 รอยแตกร้าวลึกจนถึงเหล็กเสริม มักจะเกิดจากเหล็กเสริมเป็นสนิม การเกิดสนิมของเหล็กอาจเป็นเพราะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมมีความหนาแน่นน้อยเกินไป หรืออยู่ในสภาพที่มีความชื้นชื้นของคลอไรด์สูง

2.8 การแก้ปัญหาหารอยแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.8.1 กรณีรอยแตกแตกร้าวที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของวัสดุ

อาจทำการซ่อมแซมด้วยการกระเทาะคอนกรีต ของเสาะ หรือคาน บริเวณที่แตกออก แล้วเทคอนกรีตหรือฉาบปูนปิดทับใหม่ การกระเทาะผิวคอนกรีตต้องทำด้วยความระมัดระวัง

ไม่ให้เข้าลึกลงไปในเนื้อคอนกรีตที่อยู่ภายในเหล็กเสริม คอนกรีตที่ใช้ควรใส่น้ำยาประสานเพื่อให้คอนกรีตใหม่และเก่าประสานกันได้ดีอาจใส่น้ำยากันซึม ในกรณีที่ผิวคอนกรีตต้องสัมผัสกับน้ำ หากเป็นร่องคอนกรีตที่ต้องมีการเทหรือหยอดคอนกรีตเข้าไปลึกๆ ควรใช้คอนกรีตที่ไม่หดตัวเมื่อแห้ง มิฉะนั้นจะทำให้เกิดรอยร้าวที่ตำแหน่งเดิมได้อีก ในกรณีที่ทำการซ่อมแซมผนังคอนกรีตอาจต้องเปิดรอยแตกกว้างให้กว้างขึ้น แล้วใช้ตาข่ายทาบครอบรอยแตกกว้างแล้วจึงฉาบปูนปิดทั้งนี้เพื่อช่วยลดการหดตัวของปูนฉาบและทำให้มีการยึดเกาะดีขึ้น

2.8.2 กรณีรอยแตกกว้างเกิดจากโครงสร้างรับน้ำหนักเกินกำลัง

ควรเสริมโครงสร้างให้มีความแข็งแรงเพียงพอก่อนที่จะทำการซ่อมแซม การเสริมกำลังของโครงสร้างทำได้โดยใช้เหล็กรูปพรรณ หรือแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์หรือวัสดุที่มีความแข็งแรงพอมานู่นเพื่อเพิ่มกำลังให้กับ โครงสร้างนั้นๆ ภายหลังจากทำการเสริมกำลังโครงสร้างแล้วควรทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อตรวจติดตามรอยแตกกว้างว่ายังเกิดเพิ่มขึ้นอีกหรือไม่ หากไม่เกิดขึ้นอีกจึงดำเนินการซ่อมแซมได้

สำหรับโครงสร้างหลัก เช่น คาน เสา และพื้น หากมีรอยแตกกว้างลึกลงไปในแกนคอนกรีตหรือลึกเกินเหล็กเสริม ควรใช้วิธีอัดฉีดด้วยสารเคมีเพื่อประสานเนื้อคอนกรีตให้มีความแข็งแรง

การวัดการปลดปล่อยเรดอนจากคอนกรีตนี้ จะทำการวัดการปลดปล่อยของก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน โดยจะวัดรังสีแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอน-222 ซึ่งเป็นธาตุที่ได้มาจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม สำหรับการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียมนี้เป็นการสลายตัวแบบอนุกรม

2.9 การสลายตัวแบบอนุกรม (Decay Series)

การสลายตัวแบบอนุกรม คือ การที่ธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นตัวหนึ่งสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีลูกตัวหนึ่ง และธาตุลูกนี้ก็มีการสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีตัวอื่นต่อไปเรื่อยๆ เช่น การสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม และอนุกรมแอกติเนียม เป็นต้น ซึ่งจะมีสมการทั่วไปของอนุกรมการสลายตัวดังนี้



สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เป็นดังสมการ

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

จากสมการ Bateman จะได้

$$N_{Rn} = C_{Ra} e^{-\lambda_{Ra} t} + C_{Rn} e^{-\lambda_{Rn} t} \quad (1)$$

เมื่อ $C_{Ra} = \frac{\lambda_{Ra} \times \lambda_{Rn}}{(\lambda_{Rn} - \lambda_{Ra})} N_{Ra}^0$ (2)

$$C_{Rn} = \frac{\lambda_{Ra} \times \lambda_{Rn}}{(\lambda_{Ra} - \lambda_{Rn})} N_{Ra}^0$$
 (3)

ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณของเรดอนในขณะใดขณะหนึ่ง ได้ดังสมการ

$$\frac{dN_{Rn}}{dt} = \lambda_{Ra} N_{Ra} - \lambda_{Rn} N_{Rn}$$
 (4)

โดยที่ $\frac{dN_{Rn}}{dt}$ คือ ปริมาณของเรดอนขณะใดขณะหนึ่ง

$\lambda_{Ra} N_{Ra}$ คือ อัตราการเกิดเรดอนหรืออัตราการสลายตัวของเรเดียม

$\lambda_{Rn} N_{Rn}$ คือ อัตราการสลายตัวของเรดอน

ที่เวลาเริ่มต้น ($t=0$) จำนวนอะตอมของเรเดียมเป็น N_{Ra}^0 จะได้

$$N_{Ra} = N_{Ra}^0 e^{-\lambda_{Ra} t}$$
 (5)

แทนค่าจากสมการ (2) ลงในสมการ (1) จะได้

$$\frac{dN_{Rn}}{dt} = \lambda_{Ra} N_{Ra}^0 e^{-\lambda_{Ra} t} - \lambda_{Rn} N_{Rn}$$
 (6)

และเมื่อแก้สมการจะสามารถหาค่าจำนวนอะตอมของเรดอนได้ ดังสมการ

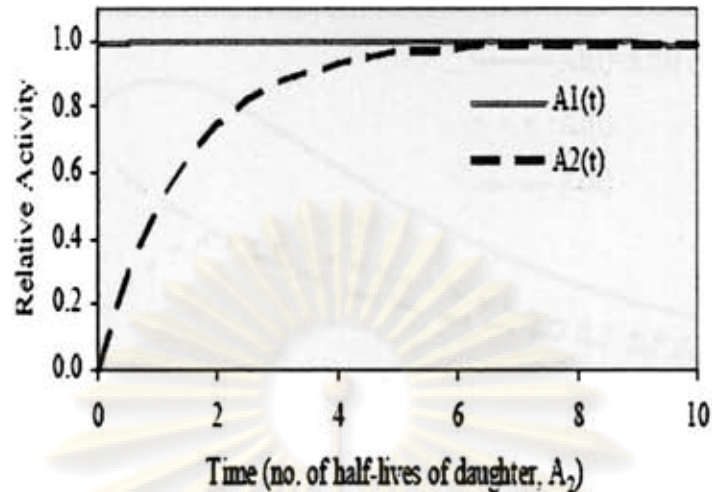
$$N_{Rn} = \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn} - \lambda_{Ra}} N_{Ra}^0 [e^{-\lambda_{Ra} t} - e^{-\lambda_{Rn} t}]$$
 (7)

2.10 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium)

เมื่อธาตุกัมมันตรังสีมีการสลายตัวต่อเนื่องหรือก็คือเกิดอนุกรมการสลายตัวขึ้นและค่าครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีแม่มากกว่าค่าครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีลูก ณ ที่เวลาหนึ่งก็จะเกิดสมดุลขึ้น ซึ่งสมดุลที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกิดขึ้นได้ 2 แบบ ดังนี้

2.10.1 ภาวะสมดุลแบบเซกูลาร์ (Secular Equilibrium)

สมดุลนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ค่าครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นมีค่าครึ่งชีวิตมากกว่าค่าครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีตัวลูกประมาณ 10^4 เท่าหรือมากกว่า เช่น เรเดียม-226 มีค่าครึ่งชีวิต 1,600 ปีสลายตัวให้เรดอน-222 ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3.82 วัน ซึ่งการเกิดสมดุลแบบนี้มันเมื่อเวลาผ่านไปจนเข้าสู่สมดุลแล้ว พบว่าความแรงรังสีของธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นจะเท่ากับความแรงรังสีของธาตุกัมมันตรังสีตัวลูก การเข้าสู่สมดุลแบบเซกูลาร์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงกัมมันตภาพของนิวไคลด์แม่และลูกที่เกิดภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์

เมื่อเข้าสู่สมดุลแบบเซคูลาร์ พบว่าจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B = \lambda_C N_C = \dots \quad (8)$$

หรือจะได้

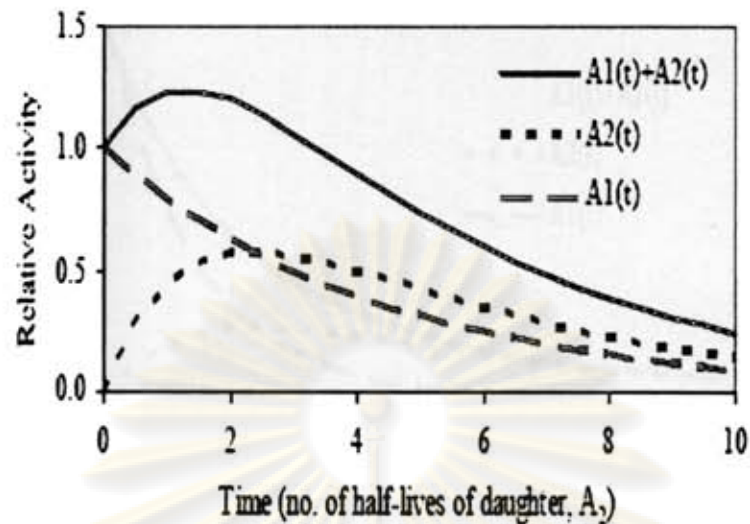
$$\lambda_{Ra} N_{Ra} = \lambda_{Rn} N_{Rn} \quad (9)$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์แล้ว ทำให้สามารถหาค่าจำนวนอะตอมของเรดอนได้ง่ายขึ้น

2.10.2 ภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient Equilibrium)

ภาวะสมดุลแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่สารกัมมันตรังสีตั้งต้นมีค่าครึ่งชีวิตมากกว่าค่าครึ่งชีวิตของตัวลูกอยู่เล็กน้อย เช่น กรณีที่เรดอน-222 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 3.82 วันสลายตัวให้โปโลเนียม-218 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 3.10 นาที ลักษณะของการเข้าสู่สมดุลแบบนี้เป็นดังรูปที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงกัมมันตภาพของนิวไคลด์แม่และลูกที่เกิดภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์

เมื่อเข้าสู่สมดุลแบบทรานเซียนต์ จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{\lambda_B - \lambda_A}{\lambda_A} \quad (10)$$

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B - \lambda_A N_B \quad (11)$$

$$\frac{\lambda_A N_A}{\lambda_B N_B} = 1 - \frac{\lambda_A N_B}{\lambda_B N_B} \quad (12)$$

$$= \frac{\lambda_B N_B - \lambda_A N_B}{\lambda_B N_B} \quad (13)$$

ดังนั้น จะได้สมการ

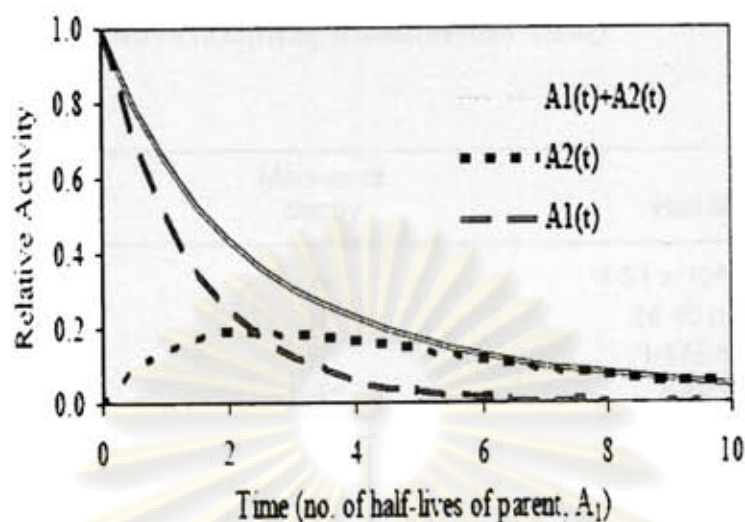
$$A_A = A_B - \lambda_A N_B \quad (14)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเข้าสู่สมดุลแบบทรานเซียนต์ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเกิดธาตุกัมมันตรังสีตัวลูกและการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีตัวลูกคงที่

2.10.3 ไม่เกิดสมดุล (No Equilibrium)

สำหรับกรณีที่ธาตุกัมมันตรังสีแม่มีค่าครึ่งชีวิตสั้นกว่าธาตุกัมมันตรังสีลูกพบว่า สมดุลกัมมันตรังสีไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เช่น การสลายตัวของโปโลเนียม-218 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 3.1 นาที ไปเป็นตะกั่ว-214 ที่มีค่าครึ่งชีวิต 26.8 นาที ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 แสดงภาวะที่ไม่มีการเข้าสู่สมดุล

2.11 เรดอน[1]

เรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดมาจากการสลายตัวของเรเดียม ซึ่งจะมี 3 ไอโซโทปด้วยกันคือ เรดอน-219 หรือเรียกอีกชื่อว่า “แอกติโนน (Actinon)”, เรดอน-220 เรียกอีกชื่อว่า “ทอรอน (Thoron)” และเรดอน-222 เรียกอีกชื่อว่า “เรดอน” พบว่าแอกติโนนนั้นจะสลายตัวมาจากอนุกรมการสลายตัวแอกติเนียม (Actinium Series) ที่จะมียูเรเนียม-235 เป็นธาตุตั้งต้น จะพบได้น้อยมากในธรรมชาติเนื่องจากยูเรเนียม-235 มีน้อยมากในธรรมชาติ และนอกจากนี้ แอกติโนนก็ยังมีค่าครึ่งชีวิตสั้นเพียง 5 วินาทีเท่านั้น ดังนั้นโอกาสที่จะมีแอกติโนนเกิดขึ้นและหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงน้อยมาก ดังนั้นแอกติโนนจึงไม่ใช่ไอโซโทปที่ก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อม ส่วนทอรอนจะสลายตัวมาจากอนุกรมทอเรียม (Thorium Series) ที่มีธาตุตั้งต้นคือ ทอเรียม-232 ถึงแม้ว่าทอเรียม-232 จะพบมากในธรรมชาติ แต่ทอรอนมีค่าครึ่งชีวิตสั้นแค่ 55 วินาทีจึงมักมีการสลายตัวไปก่อนที่จะหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นทอรอนจึงไม่ใช่ไอโซโทปที่ก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อมเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาเรดอนพบว่า เรดอนจะสลายตัวมาจากอนุกรมยูเรเนียมที่มียูเรเนียม-238 เป็นธาตุตั้งต้น จึงจะเห็นได้ว่านอกจากยูเรเนียม-238 จะพบมากในธรรมชาติแล้วนั้น เรดอนยังเป็นไอโซโทปที่มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวที่สุดคือ 3.82 วัน จึงสามารถที่จะกระจายไปในอากาศก่อให้เกิดปัญหาคือสุขภาพ ดังนั้นเมื่อทำการศึกษาเรื่องเรดอนจึงมักพิจารณาแค่ เรดอน-222 เท่านั้น สำหรับการสลายตัวของอนุกรมทั้งสาม จะแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม(Uranium Series)

Nuclide	Manner of decay	Half-life
^{238}U	α	4.51×10^9 years
^{234}Th	β^-	24.10 days
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	β^-	1.175 min
^{234}Pa	β^-	6.66 h
^{234}U	α	2.48×10^5 years
^{230}Th	α	8.0×10^4 years
^{226}Ra	α	1622 years
^{222}Rn	α	3.8229 days
^{218}Po	α, β^-	3.05 min
^{214}Pb	β^-	26.8 min
^{214}Bi	α, β^-	1.5-2 sec
^{214}Po	β^-, α	19.7 min
^{214}Pb	α	0.019 sec
^{214}Po	α	1.64×10^{-4} sec
^{210}Pb	β^-	1.32 min
^{210}Bi	β^-	19.4 years
^{210}Po	β^-, α	5.013 days
^{206}Pb	β^-	4.19 min
^{210}Po	α	138.401 days
^{206}Pb	stable	—

ตารางที่ 2.2 นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมทอเรียม(Thorium Series)

Nuclide	Manner of decay	Half-life
^{232}Th	α	1.39×10^{10} years
^{228}Ra	β^-	6.7 years
^{228}Ac	β^-	6.13 h
^{228}Th	α	1.910 years
^{224}Ra	α	3.64 years
^{221}Rn	α	51.5 sec
^{216}Po	α	0.158 sec
^{212}Pb	β^-	10.64 h
^{212}Bi	β^-, α	60.5 min
^{208}Tl	β^-	3.10 min
^{212}Po	α	3.04×10^{-7} sec
^{208}Pb	stable	—

ตารางที่ 2.3 นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมแอกติเนียม(Actinium Series)

Nuclide	Manner of decay	Half-life
^{235}U	α	7.1×10^8 years
^{231}Th	β^-	25.64 h
^{231}Pa	α	3.43×10^4 years
^{227}Ac	β^-, α	21.6 years
^{223}Fr	β^-, α	22 min
^{227}Th	α	18.17 days
^{219}At	α, β^-	0.9 min
^{223}Ra	α	11.68 days
^{215}Bi	β^-	8 min
^{219}At	α	3.92 sec
^{215}Po	α, β^-	1.83×10^{-3} sec
^{211}Pb	β^-	36.1 min
^{215}At	α	$\sim 10^{-4}$ sec
^{211}Bi	α, β^-	2.16 min
^{207}Tl	β^-	4.79 min
^{211}Po	α	0.52 sec
^{207}Pb	stable	—

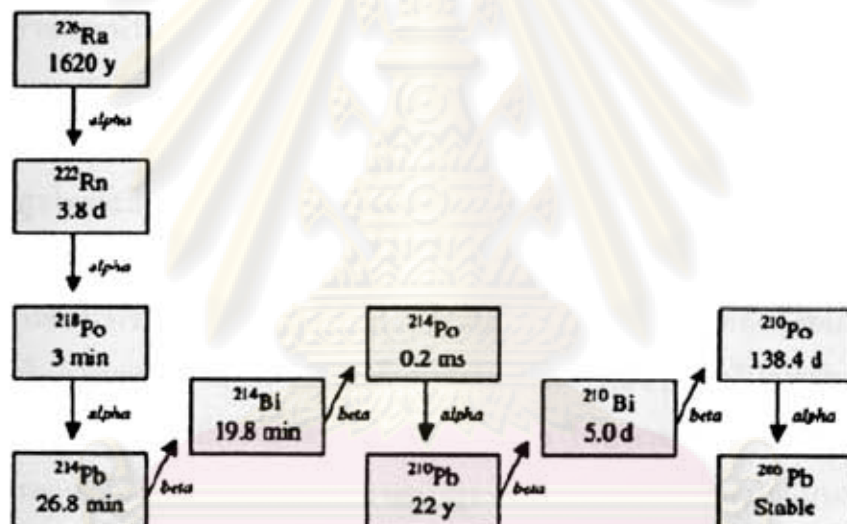
คุณสมบัติของเรดอน พบว่าเรดอนมีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และเป็นก๊าซเฉื่อยแต่ก็ไม่ใช่ก๊าซเฉื่อยสมบูรณ์ เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับฟลูออไรด์เกิดเป็นเรดอนฟลูออไรด์ (Radon Fluoride) ได้ เช่นเดียวกับก๊าซเฉื่อยบางตัว เช่น คริปทอน (Krypton) และซีนอน (Xenon) และเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุหมู่ 8 ตัวอื่นๆ พบว่าเรดอนเป็นธาตุที่มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงที่สุด คือจะมีจุดเดือด -61.8°C และจุดหลอมเหลวเท่ากับ -71.0°C

ถ้าพิจารณาภายนอกแล้วปริมาณของก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในอากาศ มีปริมาณน้อยมาก และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ถ้านมนุษย์ได้รับก๊าซเรดอนในปริมาณมากจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เช่น การเกิดโรคมะเร็งปอด (10% ของผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดทั้งหมดมีสาเหตุจากการได้รับก๊าซเรดอนในปริมาณสูงกว่าคนปกติ)

คุณสมบัติของก๊าซเรดอน

- เกิดจากการสลายตัวของธาตุเรเดียม-226 (ครึ่งชีวิต 1620 ปี) ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238
- ก๊าซเรดอนไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และมักผสมอยู่ในอากาศ

- มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) ไม่เกิดพันธะเคมี (Chemical bond) กับอะตอมที่อยู่ข้างเคียงจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ
- น้ำหนักมากกว่าก๊าซเฉื่อยอื่นๆ ไปที่จุดเดือดและจุดหลอมเหลวเดียวกัน
- สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (non polar solvent)
- มีความสามารถในการแพร่ดี
- สามารถแทรกตัวอยู่ในช่องว่าง (void) ของหินและดินได้
- สลายตัวให้รังสีแอลฟา (ครึ่งชีวิต 3.8 วัน)
- ละลายได้ปานกลางในน้ำเย็น



รูปที่ 2.4 การสลายตัวของเรเดียม-226

การที่ก๊าซเรดอนสามารถเข้ามาอยู่ในโครงสร้างของอาคารคอนกรีต เช่น เสา ผนัง หรือคานคอนกรีตได้นั้นเนื่องจาก

- ส่วนประกอบของวัสดุรวมที่ใช้ในการก่อสร้างเกือบทั้งหมดประกอบไปด้วยหินและดินซึ่งมีรูพรุนเป็นองค์ประกอบหลักและสลายตัวให้เรเดียมและก๊าซเรดอน
- การเกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมของวัสดุก่อสร้างซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ทำให้ก๊าซเรดอนแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างได้อย่างง่ายดาย
- การเกิดรอยแตกของฐานรากหรือพื้นที่อยู่ติดกับพื้นดิน ทำให้ก๊าซเรดอนแพร่เข้าสู่เนื้อคอนกรีต

การตรวจสอบรอยแตกของคอนกรีต โดยการวัดปริมาณรังสีแอลฟาที่ปลดปล่อยออกมาจากก๊าซเรดอนนั้น ทำให้เราทราบถึงปริมาณก๊าซกัมมันตภาพรังสีที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในอาคาร อีกทั้งอาจมีประโยชน์ในด้านความปลอดภัยจากรอยแตกของโครงสร้างอาคาร เช่น เสา คานและพื้นคอนกรีต

2.12 แหล่งกำเนิดเรดอน[7]

2.12.1 แหล่งกำเนิดเรดอนภายนอกอาคาร

2.12.1.1 ดิน จากการสำรวจพบว่า ค่าเฉลี่ยของก๊าซเรดอนที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศทั่วโลกประมาณ 80 % มาจากพื้นดินชั้นบน ซึ่งการฟุ้งกระจายของเรดอนมีส่วนสัมพันธ์กับเรเดียมและยูเรเนียมในดิน แม้ว่าธาตุเหล่านี้จะมีในดินและหินเกือบทุกชนิดแต่ปริมาณจะแปรผันตามพื้นที่และวัสดุทางธรณีวิทยา โดยทั่วไปความเข้มข้นของยูเรเนียมจะแสดงในหน่วยหนึ่งในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (ppm) หรือในเทอมของกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (specific activity) แสดงในหน่วย pCi ของ U-238 คอกรัมของวัสดุ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของยูเรเนียมในหินพบว่าหินแต่ละชนิดจะมีความเข้มข้นของยูเรเนียมแตกต่างกัน เช่น หินแกรนิตจะมีความเข้มข้นของยูเรเนียมสูงโดยจะมีความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 1.6 pCi/g หินบะซอลต์จะมีความเข้มข้นยูเรเนียมประมาณ 0.3 pCi/g ส่วนหินในชั้นเปลือกโลกจะมีความเข้มข้นยูเรเนียมเฉลี่ยประมาณ 1 pCi/g และในแร่บางชนิดอาจมีค่ามากกว่านี้ สำหรับอัตราการฟุ้งกระจายของเรดอนในแต่ละที่จะไม่เท่ากันขึ้นกับความแตกต่างของความเข้มข้นเรเดียมและค่าความสามารถในการซึมผ่านของดิน นอกจากนี้ปริมาณน้ำในดินก็มีผลต่ออัตราฟุ้งกระจายด้วยคือ ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำต่ำจะมีการฟุ้งกระจายของเรดอนได้มากกว่าบริเวณที่มีปริมาณน้ำสูง รวมทั้งบริเวณที่มีความดันบรรยากาศสูงก็จะทำการฟุ้งกระจายลดลงด้วย ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยเรดอนจะแปรปรวนขึ้นกับเวลาและสถานที่

2.12.1.2 น้ำใต้ดิน แหล่งกำเนิดเรดอนที่ฟุ้งกระจายในสิ่งแวดล้อมที่สำคัญเป็นอันดับสองคือน้ำใต้ดิน เนื่องจากน้ำใต้ดินจะเชื่อมกับหินในชั้นเปลือกโลก และแทรกซึมไปตามรูพรุนและช่องว่างในดินและหิน จึงทำให้เรดอนที่ฟุ้งกระจายในช่องว่างนั้นละลายมากับน้ำเมื่อน้ำขึ้นมาถึงผิวดินเรดอนส่วนใหญ่ก็ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ สำหรับความเข้มข้นของเรดอนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของหินในบริเวณนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเรดอนที่ปลดปล่อยจากน้ำใต้ดินสู่บรรยากาศนั้นพบว่ามีย่าน้อยมาก คือประมาณหนึ่งในห้าของปริมาณเรดอนที่ถูกปลดปล่อยจากดิน

2.12.1.3 แหล่งอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีการปลดปล่อยเรดอนจากน้ำทะเลอีกด้วย แต่ความเข้มข้นของยูเรเนียมและเรเดียมในน้ำทะเลมีค่าน้อยกว่าในดินและหิน แม้ว่าจะมี

ความเข้มข้นยูเรเนียมกับเรเดียมต่ำแต่เรดอนมีความสามารถในการละลายน้ำสูง จึงทำให้มีการปลดปล่อยเรดอนจากผิวน้ำทะเลสู่บรรยากาศได้แม้เพียงเล็กน้อยก็ตาม

2.12.2 แหล่งกำเนิดเรดอนภายในอาคาร

2.12.2.1 วัสดุก่อสร้าง เนื่องจากวัสดุก่อสร้างนั้นทำมาจากหิน ทราย ผลิตผลจากแร่ ซึ่งมียูเรเนียมและเรเดียมเป็นองค์ประกอบ และวัสดุก่อสร้างหลายชนิด เช่น อิฐ กระเบื้องปูผนัง และคอนกรีตจะมีรพูน ดังนั้นมีเรดอนจากวัสดุก่อสร้างหลุดออกสู่อากาศได้

2.12.2.2 น้ำใต้ดิน เรดอนและเรเดียมมีความสามารถในการละลายน้ำ เมื่อมีน้ำใต้ดินเคลื่อนที่ผ่านดินและหินที่มีเรเดียมอยู่ เรเดียมก็จะสามารถละลายและเคลื่อนที่ไปกับน้ำได้ ดังนั้นเมื่อทำการสูบน้ำใต้ดินที่มีเรดอนมาใช้จะทำให้มีเรดอนหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

2.12.2.3 ก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากก๊าซธรรมชาตินั้นถูกผลิตขึ้นที่ใต้ดินซึ่งจะมีเรดอนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อมีการเผาไหม้ก๊าซก็จะมีเรดอนถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่ปริมาณของเรดอนที่มาจากก๊าซธรรมชาติจะไม่มีนัยสำคัญต่อปริมาณเรดอนในอาคาร เนื่องจากบริเวณห้องครัวจะเป็นบริเวณที่มีการถ่ายเทของอากาศ

2.12.2.4 ดิน ในสภาวะปกติปริมาณเรดอนภายในอาคารที่ฟุ้งกระจายมาจากดินนั้นจะมีอัตราการฟุ้งกระจายขึ้นกับความเข้มข้นของเรเดียมและความดันบรรยากาศในบริเวณนั้น เมื่อความดันบรรยากาศเพิ่มขึ้นอากาศที่มีความเข้มข้นของเรดอนต่ำจะถูกดันเข้าไปในดิน และเมื่อความดันลดลงอากาศในดินที่มีปริมาณเรดอนสูงก็จะออกมาจากดิน จะเห็นได้ว่าอาคารบ้านเรือนที่ตั้งอยู่บนพื้นดินจึงเปรียบเสมือนเป็นทางผ่านของเรดอน การปลดปล่อยเรดอนโดยตรงจากดินเข้าสู่อาคารนั้นจะมีคอนกรีตปิดทับดินอยู่จึงทำให้มีปริมาณเรดอนที่สามารถผ่านคอนกรีตออกมาได้น้อยมาก แต่หากอาคารมีรอยแตกเรดอนก็จะสามารถเล็ดลอดออกมาได้เช่นกัน

2.13 วิธีการวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอน[7]

2.13.1 วิธีแทรก-เอตซ์ (Track Etch Method)

วิธีการนี้จะใช้ฟิล์มไปวางไว้ในบริเวณที่ต้องการวัดความเข้มข้นของเรดอน จากนั้นจึงนำฟิล์มมาล้างกรดออกแล้วจึงส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อนับรอยของอนุภาคแอลฟาของเรดอน ทำให้ทราบความเข้มข้นของเรดอน วิธีการนี้มีข้อดีคือเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อเสียคือต้องทิ้งฟิล์มวัดรังสีไว้นานถึง 3-4 สัปดาห์และยังมีความแปรปรวนในการนับรอยด้วย แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการประยุกต์วิธีการนับรอยที่สะดวกรวดเร็วขึ้น เช่น การใช้สปาร์กเคาน์เตอร์(spark counter) การนับรอยจากภาพด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2.13.2 วิธีการใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal Method)

เทคนิคนี้ใช้หลักการดูดซับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์ แล้วทำการวัดรังสีแกมมาจากนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสี

ข้อดีของวิธีการนี้คือ วิธีการวัดรังสีไม่ยุ่งยากและสามารถนำถ่านกัมมันต์มาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถวัดเรดอนที่มีความเข้มข้นต่ำได้ และมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากการวัดรังสีแกมมาจากนิวไคลด์ลูกของเรดอนที่ต้องการวัดนั้นมีรังสีเบคกราวด์ของระบบวัดรังสีแกมมาอยู่แล้ว จึงต้องทำอุปกรณ์กำบังรังสีให้ดี

2.13.3 วิธีการใช้ภาชนะเคลือบสารเรืองรังสี (Scintillation Chamber Method)

วิธีการนี้เป็นวิธีดั้งเดิมและง่ายที่สุดในการวัดหาปริมาณเรดอน ซึ่งถูกพัฒนาโดย Lucas โดยใช้สังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)] ฉาบผนังภายในภาชนะทรงกระบอกที่ทำด้วยแก้วหรือพลาสติก ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนของหัววัด จากนั้นทำการเชื่อมต่อหัววัดเข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ เมื่อต้องการวัดความเข้มข้นของเรดอนก็ผ่านตัวอย่างอากาศที่ต้องการทราบความเข้มข้นของเรดอนเข้าสู่หัววัด เมื่ออนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยจากเรดอนชนกับผนังที่เคลือบสังกะสีซัลไฟด์ก็จะทำปฏิกิริยาให้แสงออกมา จากนั้นจึงใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) มาเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อวัดแสงที่ออกมา สำหรับประสิทธิภาพของหัววัดอยู่ที่ 70%-80% และจะมีแบคกราวด์ต่ำ เหมาะสำหรับการวัดเรดอนในอาคารและในสิ่งแวดล้อม แต่วิธีการนี้ก็มีข้อเสียที่จะต้องทำการเปลี่ยนสังกะสีซัลไฟด์บ่อยๆ เนื่องจากเกิดการปนเปื้อน และจะต้องจัดระบบให้อยู่ในที่มืด

2.13.4 วิธีการวัดด้วย liquid scintillator

เทคนิคนี้จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการนับแสงแต่จะใช้ liquid scintillator แทน ZnS(Ag) วิธีนี้จะเป็นการผสมเรดอนลงใน scintillator โดยจะทำการปล่อยอากาศที่มีเรดอนผ่านสารละลายอินทรีย์ ซึ่งเรดอนจะละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่ำๆ จากนั้นนำสารละลายผสมเรดอนบรรจุลงในขวดแก้วเล็กๆ เพื่อทำการวัดด้วย liquid scintillator ซึ่งจะมีการสลายตัวของเรดอน-222 ออกมาเรื่อยๆ นอกจากนี้ยังสามารถวัดสัญญาณแสงของรังสีที่ออกมาได้อีก 4 อนุภาคด้วยกันคือ อนุภาคแอลฟาที่มาจากสลายตัวของโปโลเนียม-218 และโปโลเนียม-214 และรังสีบีตาจากการสลายตัวของตะกั่ว-214 และบิสมัท-214 แต่ในการวัดสัญญาณแสงด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถแยกแยะพลังงานทั้ง 5 พลังงานได้

2.13.5 วิธีการวัดด้วย ionization chamber

เทคนิคนี้จะทำการวัดอนุภาคแอลฟาจากการสลายตัวของเรดอนและนิวไคลด์ลูกภายใน ionization chamber ซึ่งจะเป็นการวัดสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการเรืองรังสี เทคนิคนี้สามารถทำการนับแต่ละสัญญาณที่เกิดการสลายตัวได้ หรือจะทำการวัดกระแสที่เกิดจากการผลรวมของการสลายตัวทั้งหมดก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม สำหรับงานห้องปฏิบัติการการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมมักจะนิยมใช้การนับสัญญาณที่เกิดจากการสลายตัว แต่สำหรับห้องปฏิบัติการมาตรฐานมักจะใช้การวัดกระแสรวม แต่การใช้ ionization chamber มีราคาแพง ในการวัดความเข้มข้นเรดอนจึงมักจะใช้ Lucas cell เป็นหลัก

2.13.6 วิธีการใช้กระดาษกรอง (Filter Method)

วิธีการนี้จะทำการสุดอากาศบริเวณที่ต้องการทราบความเข้มข้นของเรดอนผ่านกระดาษกรอง จากนั้นจึงนำกระดาษกรองนั้นไปวัดรังสีของนิวไคลด์ลูกที่เกิดจากเรดอนในอากาศที่ติดอยู่ที่กระดาษกรอง ซึ่งสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของเรดอนได้ แต่วิธีการนี้จะต้องกำหนดระยะเวลาเก็บตัวอย่างอากาศและการวัดรังสีแอลฟาหรือรังสีบีตาเป็นระยะอย่างแม่นยำ มิฉะนั้นผลการคำนวณจะผิดพลาดได้มาก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับการวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนจากคอนกรีต ในการวิจัยนี้ เลือกใช้เทคนิคการวัดรังสีแอลฟาโดยตรงจากก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน โดยใช้แผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)] ซึ่งเชื่อมต่อกับหน้าหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) และ Chamber ทรงกระบอก โดยนำ Chamber ทรงกระบอกครอบที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ต้องการวัด เมื่ออนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยจากเรดอนชนกับแผ่นที่เคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ ก็จะทำปฏิกิริยาให้แสงออกมา จากนั้นหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์(Photomultiplier Tube) จะเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยจะตรวจสอบรอยแตกของตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอก และคอนกรีตในอาคาร ที่มีรอยแตกขนาดต่างๆกัน 3 แบบ เปรียบเทียบกับตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานและคอนกรีตในอาคาร ที่ไม่มีรอยแตก โดยในขั้นแรกจะทำการวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนจากคอนกรีตโดยไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศก่อน จากนั้นจึงเปรียบเทียบผลที่ได้กับการวัดโดยการใช้ปั๊มดูดอากาศ

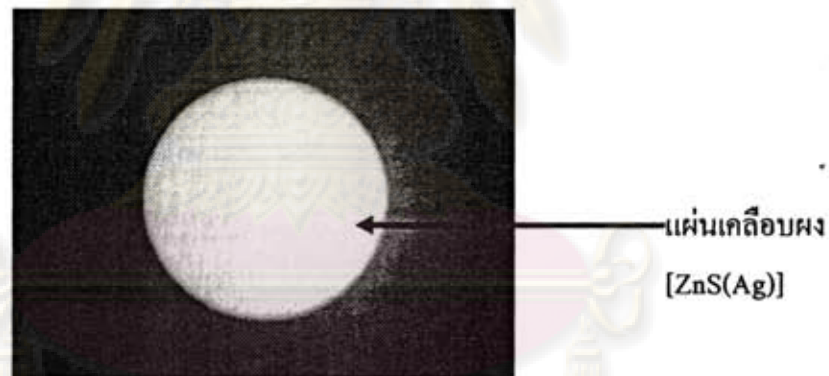
3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์(Photomultiplier tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว
- 3.1.2 เครื่องนับรังสี LUDLUM MODEL 2200
- 3.1.3 แผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)]
- 3.1.4 Chamber ทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.3 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร
- 3.1.5 วาล์ว 2 ตัว
- 3.1.6 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ
- 3.1.7 ปั๊มดูดอากาศ MODEL MP-30 ซึ่งจะมีอัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที
- 3.1.8 ท่อ
- 3.1.9 กระดาษสติ๊กเกอร์สีดำ
- 3.1.10 Fluid coupling
- 3.1.11 กาวซิลิโคน
- 3.1.12 คินน้ำมัน
- 3.1.13 สว่าน และดอกสว่านขนาด 1/8 นิ้ว 2/8 นิ้ว และ 4/8 นิ้ว

3.1.14 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ที่มีรอยแตกขนาดต่างๆกัน 3 แบบ และตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานที่ไม่มีรอยแตก รวมทั้งสิ้น 18 ตัวอย่าง

เตรียมอุปกรณ์โดยใช้แกนกระดาษทรงกระบอกขนาดใหญ่ ซึ่งทำมาจากกระดาษแข็ง ที่มีฐานเป็นพลาสติกรูปวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดไฟโคมัลติฟลายเออร์ เป็นวัสดุหลักในการทำ Chamber สำหรับใช้เป็นหั่ววัด โดยทำการตัดแกนกระดาษแข็งให้มีความยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งระยะดังกล่าวนี้เป็นระยะที่หั่ววัดสามารถวัดอนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรีดอนได้ดี เนื่องจากอนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรีดอน มีระยะการเคลื่อนที่ในอากาศเท่ากับ 4.19 เซนติเมตร จากนั้นทำการติดกระดาษสติ๊กเกอร์สีดำให้ทั่วแกนกระดาษแข็งทรงกระบอกเพื่อป้องกันแสงเข้าสู่หั่ววัด

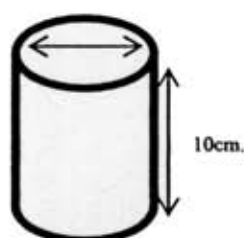
ในส่วนของหลอดไฟโคมัลติฟลายเออร์นั้น จะทำการติดแผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ $[ZnS(Ag)]$ สำเร็จรูปไว้ที่บริเวณรับแสงด้านหน้าของหลอด โดยแผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ $[ZnS(Ag)]$ สำเร็จรูปจะมีลักษณะดังรูป 3.1



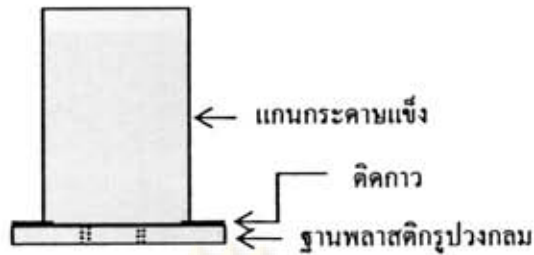
รูปที่ 3.1 แผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ $[ZnS(Ag)]$

สำหรับโคอะแกรมหั่ววัดจะแสดงดังรูปที่ 3.2

5.3 cm.



แกนกระดาษแข็งยาว 10 ซม.



ประกอบ Chamber ดังภาพก่อนนำไปเชื่อมต่อกับ PMT

รูปที่ 3.2 แผนผังของ Chamber ที่ประกอบขึ้น

ต่อมาจะเป็นขั้นตอนการเชื่อมต่อหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์เข้ากับ Chamber กระดาษแข็งทรงกระบอกซึ่งได้เตรียมไว้ โดยนำหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ที่ได้ติดแผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)] เอาไว้แล้วมาเชื่อมต่อกับฐานพลาสติกรูปวงกลมของ Chamber ที่ประกอบขึ้น จากนั้นใช้กระดาษสติ๊กเกอร์สีดำปิดให้ทั่วเพื่อป้องกันแสงเข้าระบบวัด โดยเมื่อประกอบเสร็จจะได้หัววัดสังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)] ที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่อ Chamber เข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเตรียมเครื่องนับรังสี และตัวอย่างก่อนคอนกรีตมาตรฐานที่จะทำการวัด โดยใช้เครื่องนับรังสี LUDLUM MODEL 2200 ดังรูปที่ 3.4

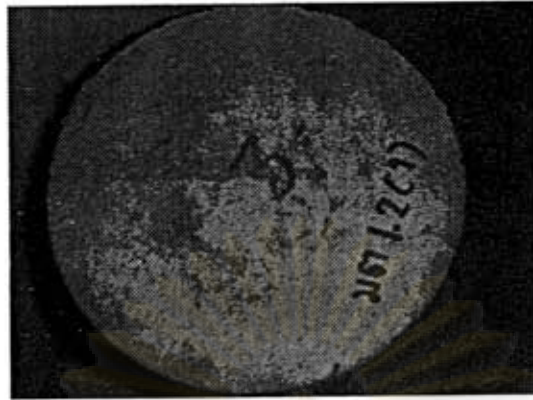


รูปที่ 3.4 เครื่องนับรังสี LUDLUM MODEL 2200

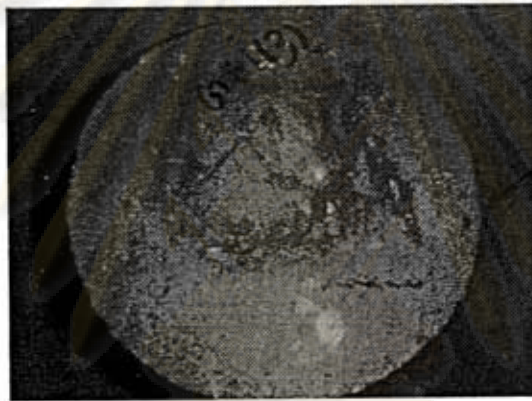
สำหรับตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่จะใช้วัดนั้น จะแบ่งตามลักษณะรอยแตกที่มีอยู่คือ ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) รอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสามเหลี่ยม) รอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) และตัวอย่างก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก รวมทั้งสิ้น 18 ตัวอย่าง โดยลักษณะของรอยแตกประเภทต่างๆจะแสดง ดังรูปต่อไปนี้



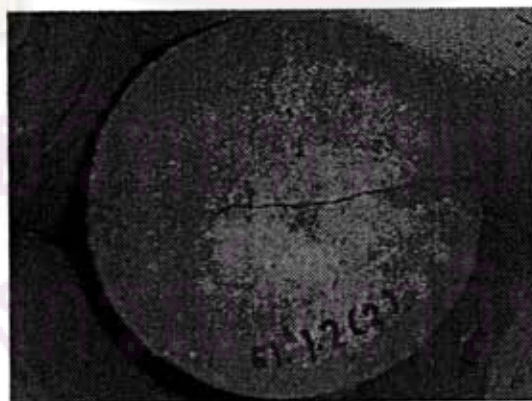
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอก



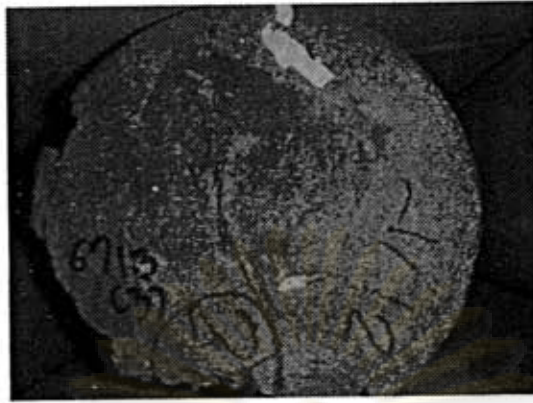
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่มีรอยแตก



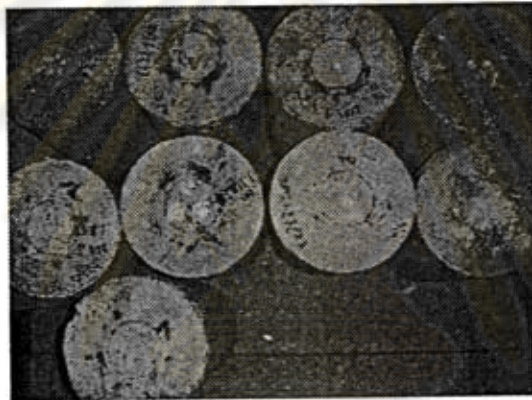
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น)



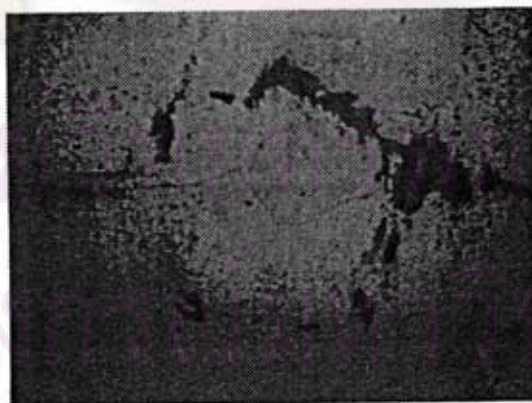
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ)



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน)



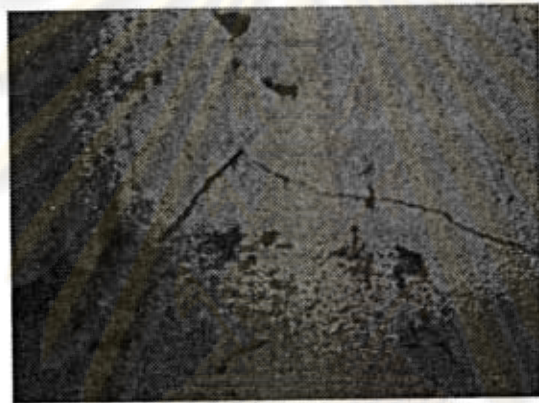
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่ทำการเจาะรู



รูปที่ 3.11 รอยแตกของคอนกรีตในอาคารขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น)



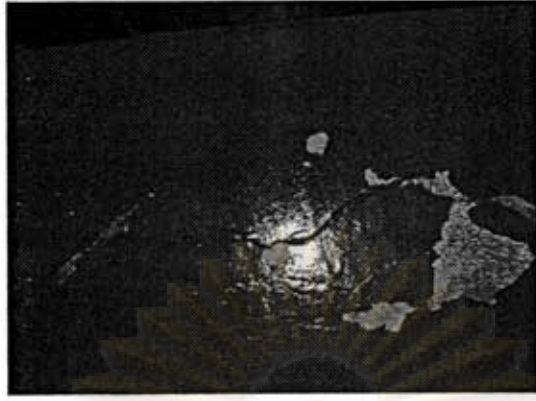
รูปที่ 3.12 รอยแตกของคอนกรีตในอาคารขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ)



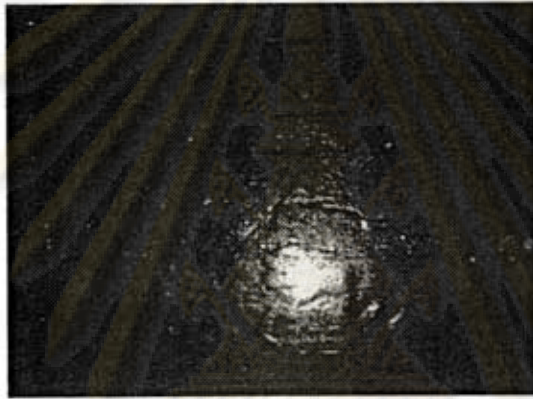
รูปที่ 3.13 รอยแตกของคอนกรีตในอาคารหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน)



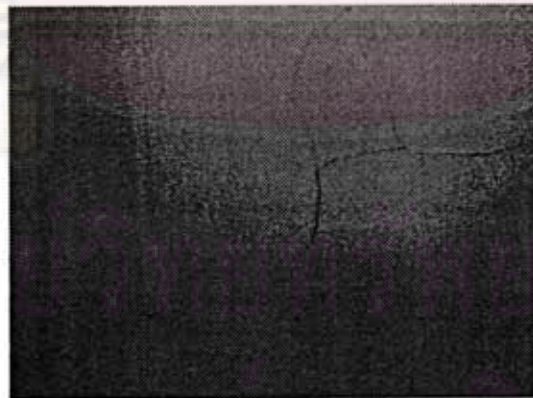
รูปที่ 3.14 ลักษณะของคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก



รูปที่ 3.15 ลักษณะของพื้นคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นร่อง



รูปที่ 3.16 ลักษณะของพื้นคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นเส้น

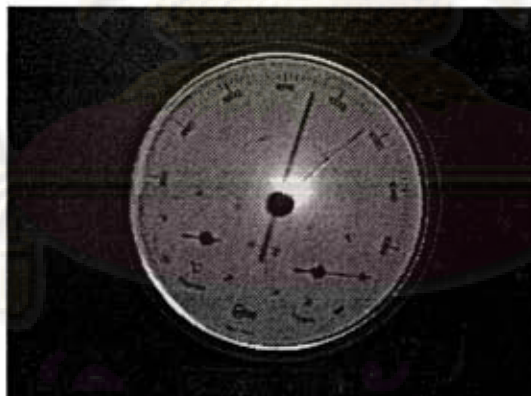


รูปที่ 3.17 ลักษณะของเสาคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นเส้นหลายรอย

ในการทดลองขั้นแรกจะทำการวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนจากคอนกรีต โดยไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศก่อน จากนั้นจึงเปรียบเทียบผลที่ได้กับการวัดโดยการใช้ปั๊มดูดอากาศ โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ในขณะทดลอง สำหรับปั๊มดูดอากาศที่ใช้มีอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาทีและมีลักษณะดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ปั๊มดูดอากาศ MODEL MP-30



รูปที่ 3.19 เครื่องวัดอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 หาประสิทธิภาพหัววัด

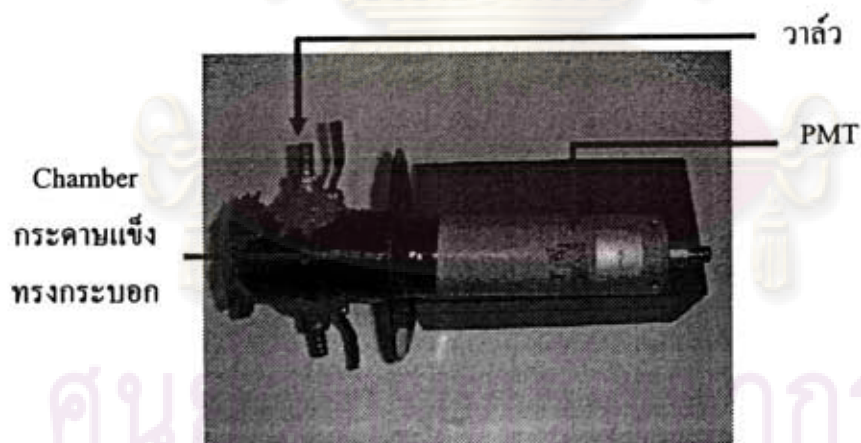
3.2.1.1 นำหัววัดไปวัดต้นกำเนิดรังสีแอลฟา

3.2.1.2 ปรับ threshold และ window ของ Ludlum ให้เหมาะสม

3.2.1.3 หา plateau curve เพื่อหาค่าไฟฟ้าศักยสูงที่เหมาะสมสำหรับหัววัดที่จะใช้ในระบบวัด ซึ่งสำหรับระบบวัดนี้ค่าที่เหมาะสมคือ 537.5 โวลต์

3.2.2 การต่อระบบวัดรังสี

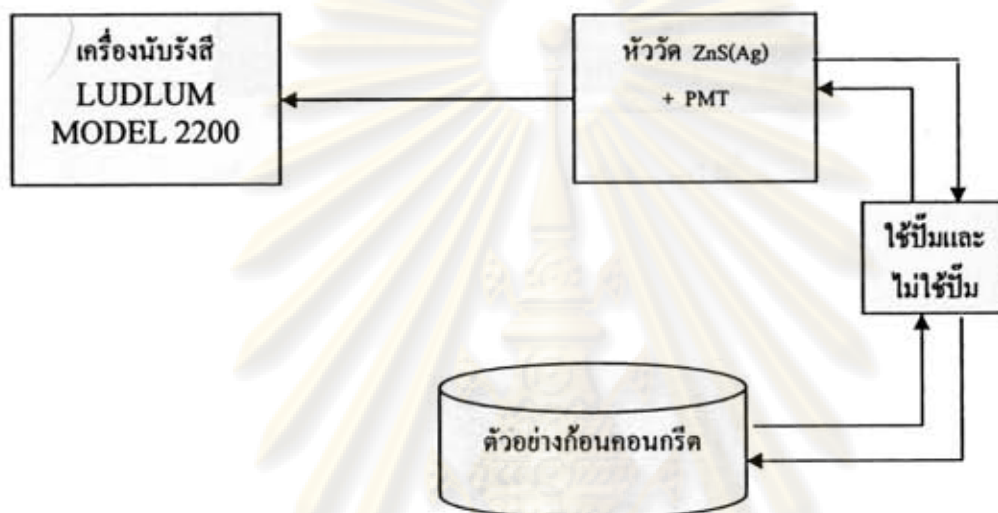
3.2.2.1 นำหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ที่ติดแผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์เอาไว้ที่บริเวณรับแสงด้านหน้าของหลอด โดยใช้ Fluid coupling ซึ่ง Fluid coupling นี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านแสงที่เกิดขึ้นเข้าสู่หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ จากนั้นนำหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์เชื่อมต่อเข้ากับ chamber ที่ได้เตรียมไว้ โดยในขั้นแรกจะทำการทดลองวัดโดยไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ ก่อน และเมื่อวัดตัวอย่างครบแล้วจึงทำการทดลองโดยใช้ปั๊มดูดอากาศ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยการคิดว่าสำหรับการวัดโดยใช้ปั๊มดูดอากาศนั้นจะคิดที่ทางด้านข้างทั้ง 2 ข้างของ chamber เพื่อดูดอากาศให้ไหลเวียนอยู่ภายใน chamber โดยลักษณะของ chamber ที่ว่าแล้วเมื่อเชื่อมต่อกับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์แล้ว จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงการเชื่อมต่อ Chamber ที่ติดวาล์วเข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

3.2.2.2 จากนั้นทำการต่อหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์เข้ากับเครื่องนับรังสี เพื่อทำการนับสัญญาณที่ออกจากหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

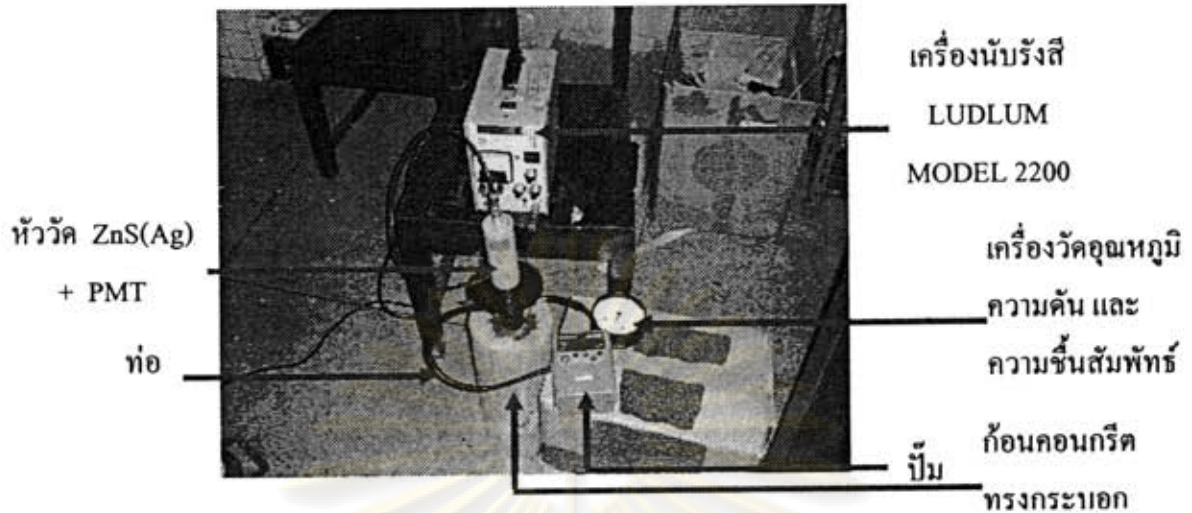
3.2.2.3 ขั้นตอนสุดท้าย คือ การนำ chamber ที่เชื่อมต่อกับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ครอบที่ผิวหน้าของคอนกรีตตัวอย่างและจุดบริเวณผิวสัมผัสระหว่าง chamber กับผิวหน้าของคอนกรีตด้วยกาวซิลิโคนและดินน้ำมันเพื่อป้องกันอากาศรั่วออกมา สำหรับการวัดตัวอย่างก้อนคอนกรีตและการวัดคอนกรีตในอาคารนั้น ระบบวัดรังสีจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.21 รูปที่ 3.22 รูปที่ 3.23 รูปที่ 3.24 รูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.21 แผนผังการจกระบบวัดรังสี



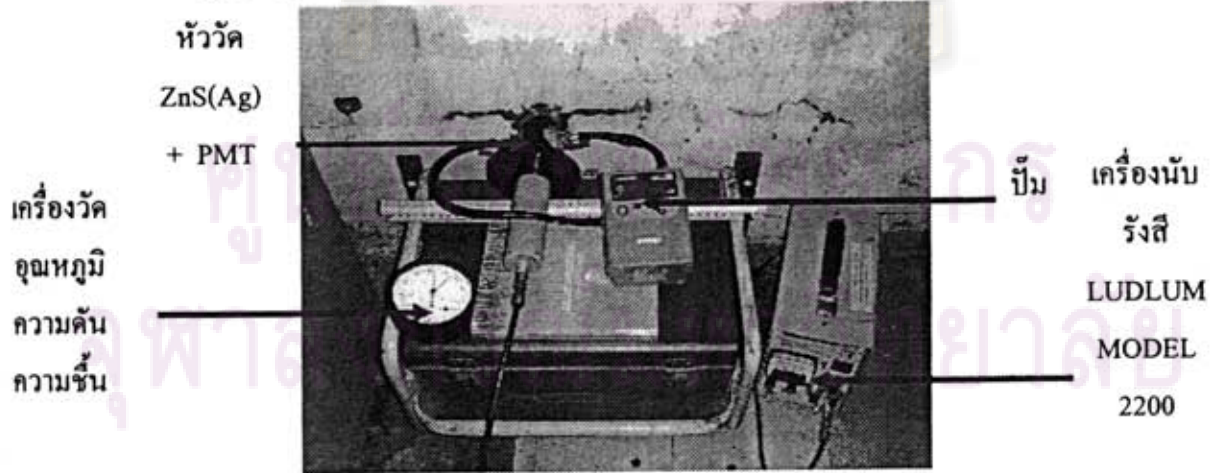
รูปที่ 3.22 ลักษณะการจกระบบวัดรังสีแบบไมใช้ปัมคูอากาศ



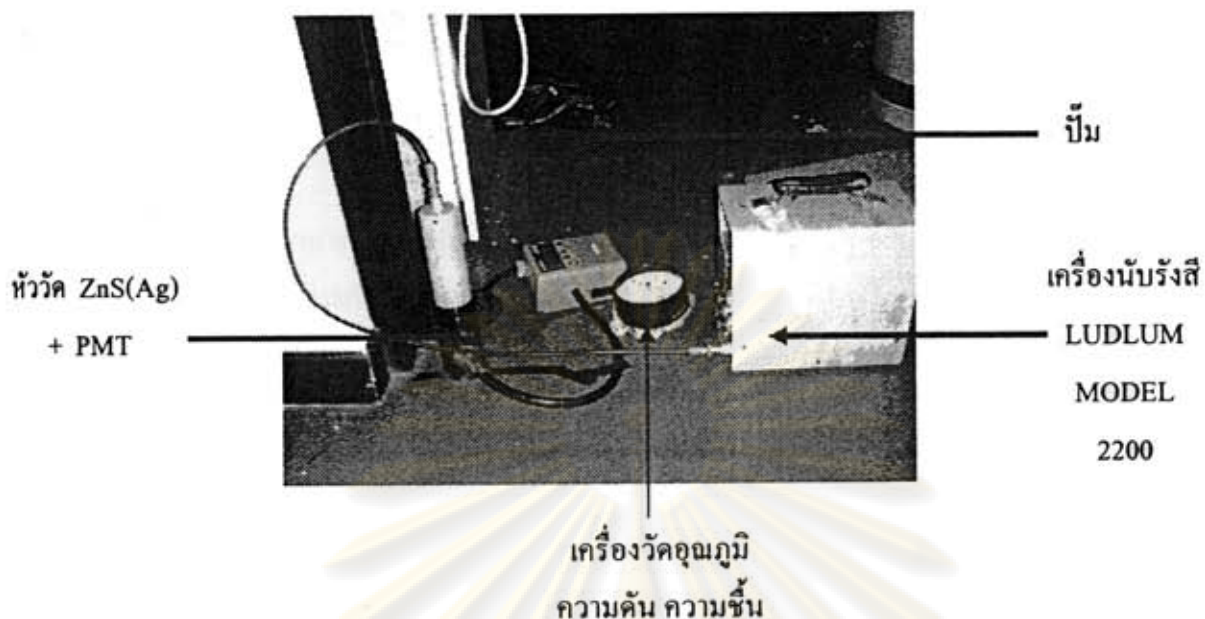
รูปที่ 3.23 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบใช้ป้มนูดอากาศ



รูปที่ 3.24 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบไม่ใช้ป้มนูดอากาศในอาคาร



รูปที่ 3.25 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบใช้ป้มนูดอากาศในอาคาร



รูปที่ 3.26 ลักษณะการจัดระบบวัดรังสีแบบใช้ปั๊มดูดอากาศในอาคาร(2)

3.2.3 ทำการวัดตัวอย่างก่อนคอนกรีตมาตรฐาน โดยไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ .
ก่อนจากนั้นจึงทำการวัดโดยใช้ปั๊มดูดอากาศ ซึ่งจะเรียงลำดับการวัดตัวอย่างจากก่อนไปหลัง
ดังต่อไปนี้ ตัวอย่างก่อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ตัวอย่างก่อนคอนกรีตที่ทำการเจาะรูเพื่อเพิ่มพื้นที่
ผิว ตัวอย่างก่อนคอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดต่างๆกัน และคอนกรีตในอาคาร

3.2.3.1 ทำการวัด background ก่อนทำการวัดตัวอย่างเป็นเวลา 60 นาที

3.2.3.2 ทำการวัดก่อนคอนกรีตตัวอย่าง โดยแต่ละก้อนใช้เวลาวัด 60 นาที

3.2.3.3 เมื่อทำการวัดตัวอย่างแต่ละก้อนเสร็จแล้ว จึงทำการวัดค่า
background อีกครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าหัววัดเกิดการปนเปื้อนขึ้นหรือไม่ ก่อนทำการวัดตัวอย่างอื่น
ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน จากคอนกรีตที่มีรอยแตกและไม่มีรอยแตก ทั้งตัวอย่างก่อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานและคอนกรีตในอาคาร โดยการวัดรังสีแอลฟาของเรดอน-222 ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์ [ZnS(Ag)] ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลจากการวัดตัวอย่างก่อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอกที่มีและไม่มีรอยแตก โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก่อนคอนกรีตมาตรฐานทรงกระบอกด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

ก่อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก(ไม่ใช้ปี้ม)	ก่อนคอนกรีตที่เจาะรู(ใช้ปี้ม)	ก่อนคอนกรีตที่มีรอยแตก(ใช้ปี้ม)
คย.1 3630±60 {1406}	ด้านเจาะรู (1/8,1,1) 3683±61 {1477} (1/8,3,2) 3725±61 {1550} (1/8,5,3) 3790±62 {1458}* (2/8,1,1) 3852±62 {1581} (2/8,3,2) 3946±63 {1615} (2/8,5,3) 4086±64 {1649}** (4/8,1,1) 3907±63 {1574} (4/8,3,2) 4051±64 {1692} (4/8,5,3) 4118±64 {1726}***	SC
คย.2 3614±60 {1419}		คย.1 4902±70 {2041} *
คย.3 3454±59 {1338}		คย.2 4719±69 {1902}
คย.4 3493±59 {1363}		คย.3 4610±68 {1889}
คย.5 3411±58 {1340}		MC
คย.6 3680±61 {1518}		คย.1 5172±72 {2110}
คย.7 3722±61 {1450}		คย.2 5279±73 {2085}
คย.8 3569±60 {1416}		คย.3 4952±70 {1994}
คย.9 3581±60 {1423}		JC
คย.1 4001±63 {1611}	คย.1 5074±71 {2059}	
คย.2 3606±60 {1448}	คย.2 4744±69 {1946}	
คย.3 3678±61 {1496}	คย.3 4528±67 {1805}	
	SC=รอยแตกน้อย, MC=รอยแตกปานกลาง, JC=รอยแตกหลายรอย	
ก่อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก(ใช้ปี้ม)	ด้านไม่เจาะรู (ใช้ปี้ม) (1/8,5,3) 3318±58 {1390}* (2/8,5,3) 3429±59 {1333}** (4/8,5,3) 3439±59 {1347}***	

หมายเหตุ (1) ตัวเลขในวงเล็บ { } คือ จำนวนนับรวมของรังสีแอลฟาชั่วโมงที่ 6-8

(2) *, ** และ *** ระบุก่อนคอนกรีตก่อนเดียวกัน

(3) ก่อนคอนกรีตที่เจาะรูตัวเลขในวงเล็บ () หมายถึง (เส้นผ่าศูนย์กลางของรู(นิ้ว), จำนวนรู, ความลึก(เซนติเมตร))

ผลการวัดรังสีแอลฟาดังตารางที่ 4.1 แสดงทั้งค่าจำนวนนับรวม 8 ชั่วโมง และจำนวนนับเฉพาะในช่วง 6 – 8 ชั่วโมง เนื่องจากในช่วงตั้งแต่ 6 ชั่วโมงขึ้นไป ค่าจำนวนนับรังสีแอลฟาต่อชั่วโมงค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงว่าเกิดการสมดุลใน chamber ที่ปิดสนิท

4.2 ผลจากการวัดคอนกรีตในอาคารที่มีและไม่มีรอยแตก โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากคอนกรีตในอาคารที่มีและไม่มีรอยแตก ด้วยหัววัดตั้งกะสี่ซัลไฟด์

ผนังอาคาร N (ไม่ใช้ปูน) จุดที่1 5494±74 จุดที่2 5362±73	ผนังอาคาร(ไม่ใช้ปูน) SC 6427±80 MC 6356±80 JC 6253±79	ผนังอาคาร (ใช้ปูน) SC 6856±83 MC 7232±85 JC 6394±80
ผนังอาคาร N (ใช้ปูน) จุดที่1 5369±73 จุดที่2 5165±72	พื้นอาคาร (ใช้ปูน) ไม่มีรอยแตก 5627±75 รอยแตก(ร่อง) 7717±88 รอยแตก(เส้น) 6660±82	เสาอาคาร (ใช้ปูน) ไม่มีรอยแตก 4760±69 รอยแตกหลายรอย 7590±87 รอยแตก(เส้น) 6138±78

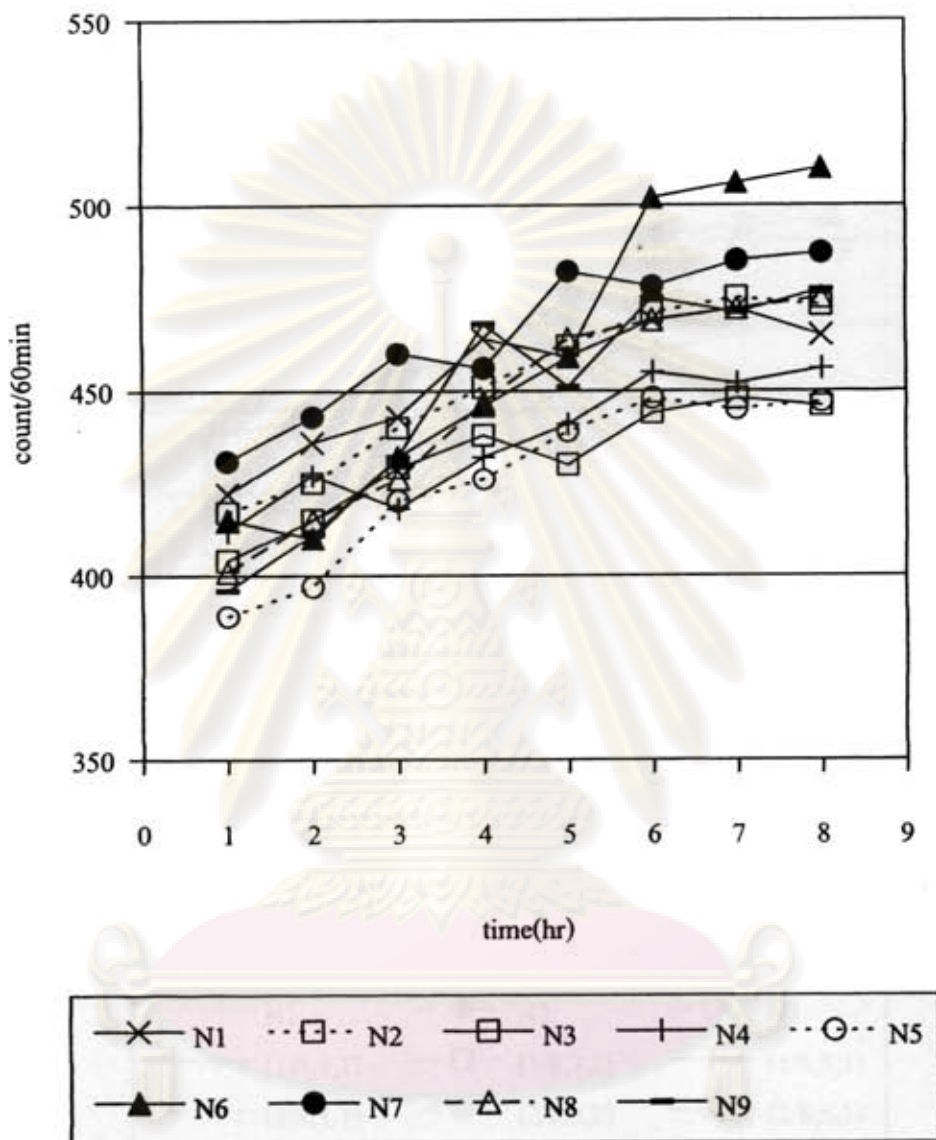
หมายเหตุ เวลาที่ใช้ในการวัดคอนกรีตในอาคาร 10 ชั่วโมง

ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ SC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ MC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ JC

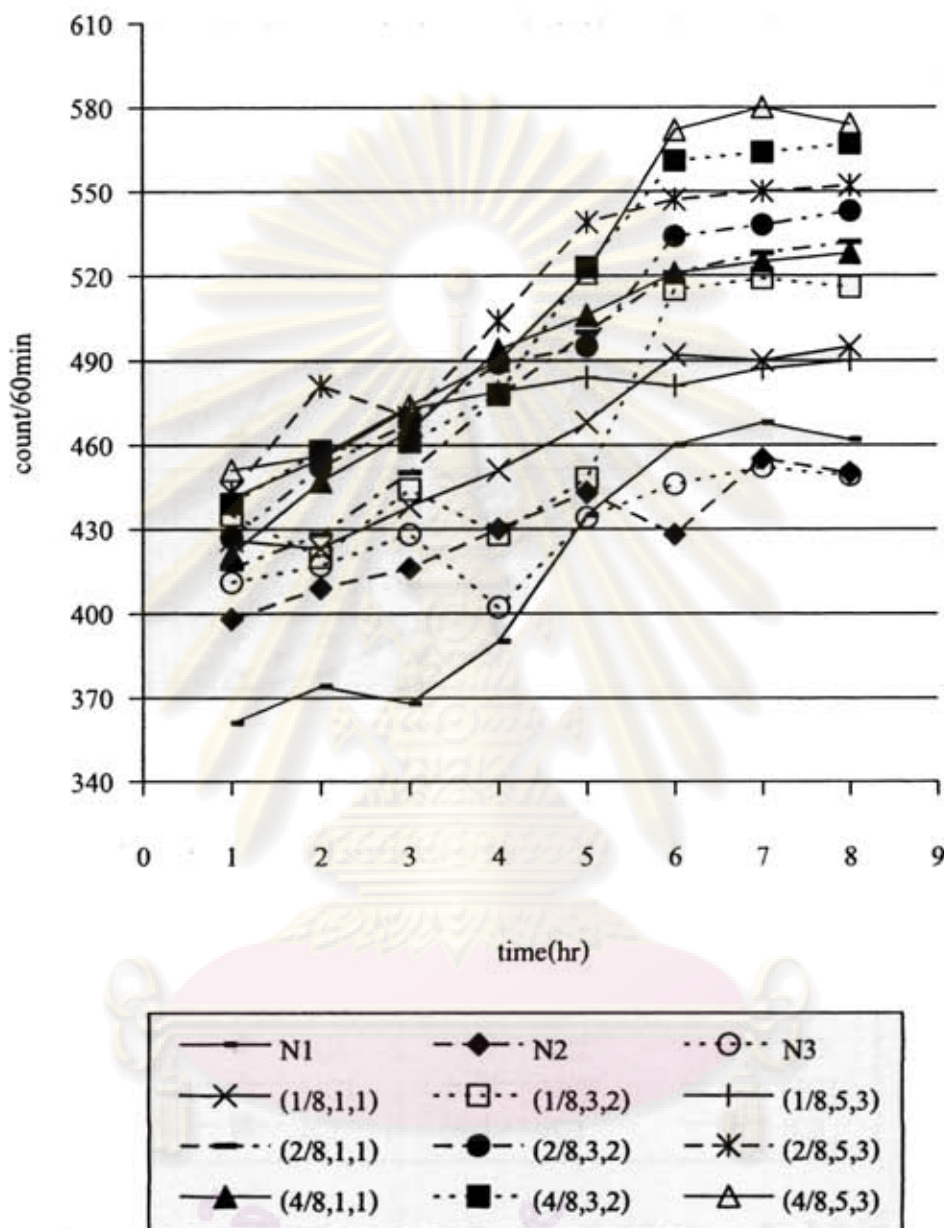
ผลการวัดรังสีแอลฟาดังตารางที่ 4.2 แสดงเฉพาะจำนวนนับรวม 10 ชั่วโมง เนื่องจากค่าจำนวนนับรังสีแอลฟาต่อชั่วโมงยังเพิ่มขึ้น โดยตลอด การที่ไม่เกิดการสมดุลใน chamber เช่นเดียวกับในตารางที่ 4.1 คาดว่าเกิดจากการที่รอยแตกเปิดสู่ภายนอก ทำให้มีก๊าซเรดอนเติมเข้ามาใน chamber ตลอดเวลา

4.3 กราฟผลการวัดรังสีแอลฟาของคอนกรีต



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตกจำนวน 9 ตัวอย่าง โดยไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ

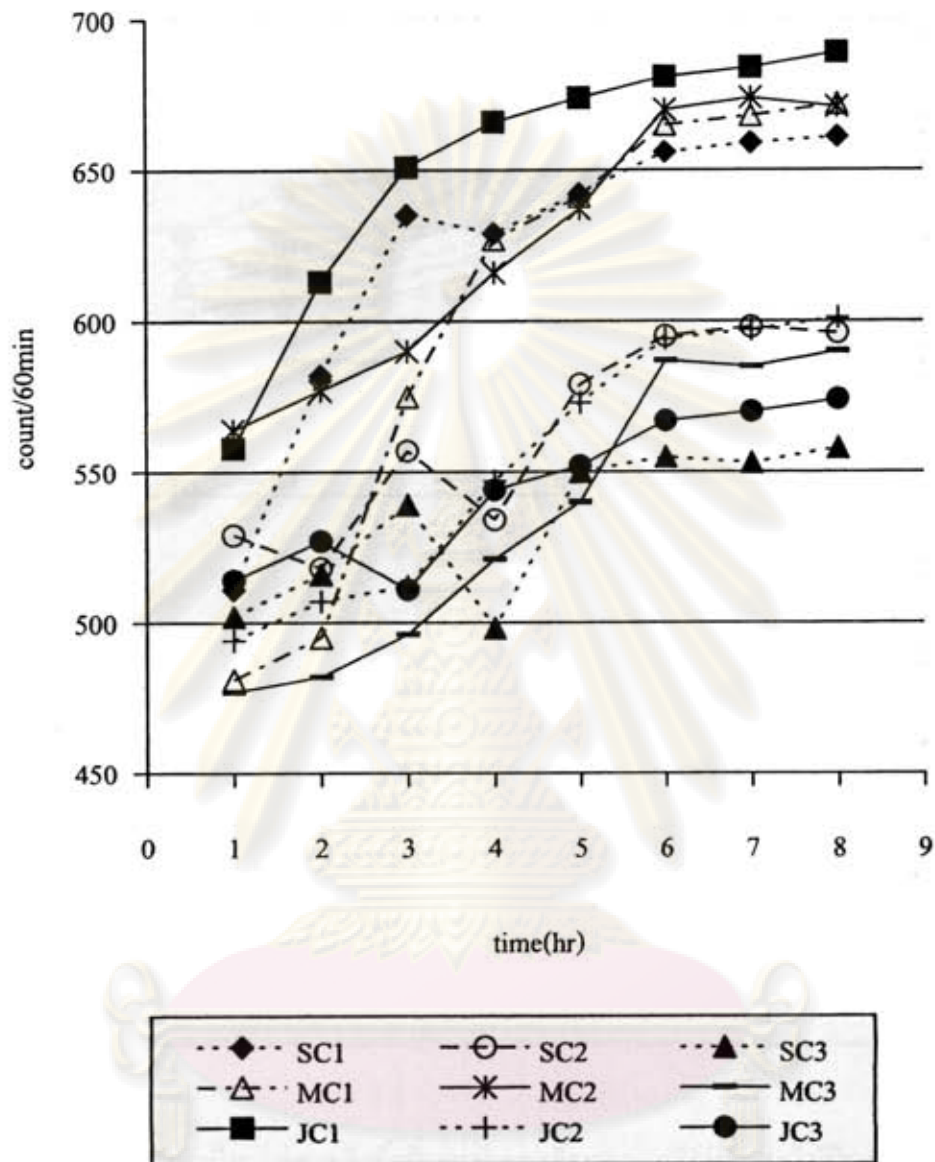
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก (N) และที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ กัน โดยใช้ปั๊มดูดอากาศ

หมายเหตุ

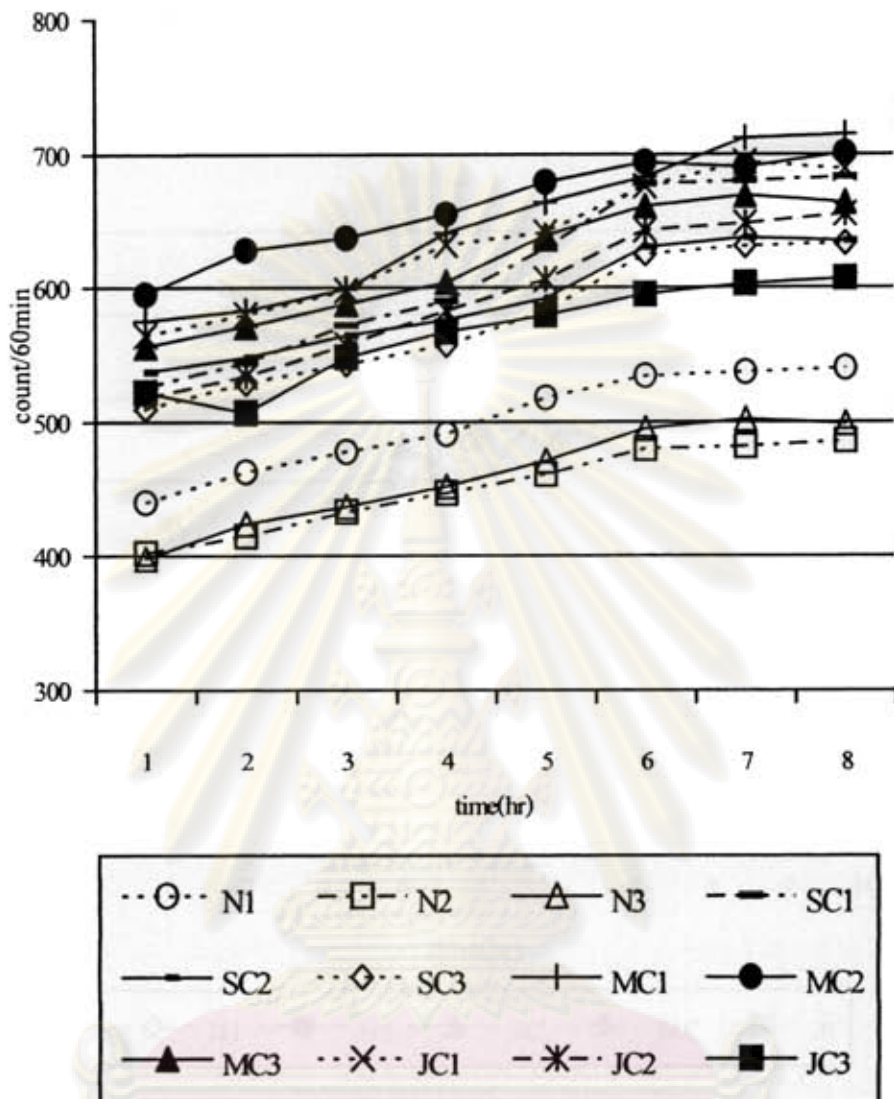
ก้อนคอนกรีตที่เจาะรูตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง (เส้นผ่าศูนย์กลางของรู(นิ้ว), จำนวนรู, ความลึก(เซนติเมตร))



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่มีรอยแตก โดยไม่ใช้ป้อนอากาศ
หมายเหตุ

ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ SC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ MC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ JC

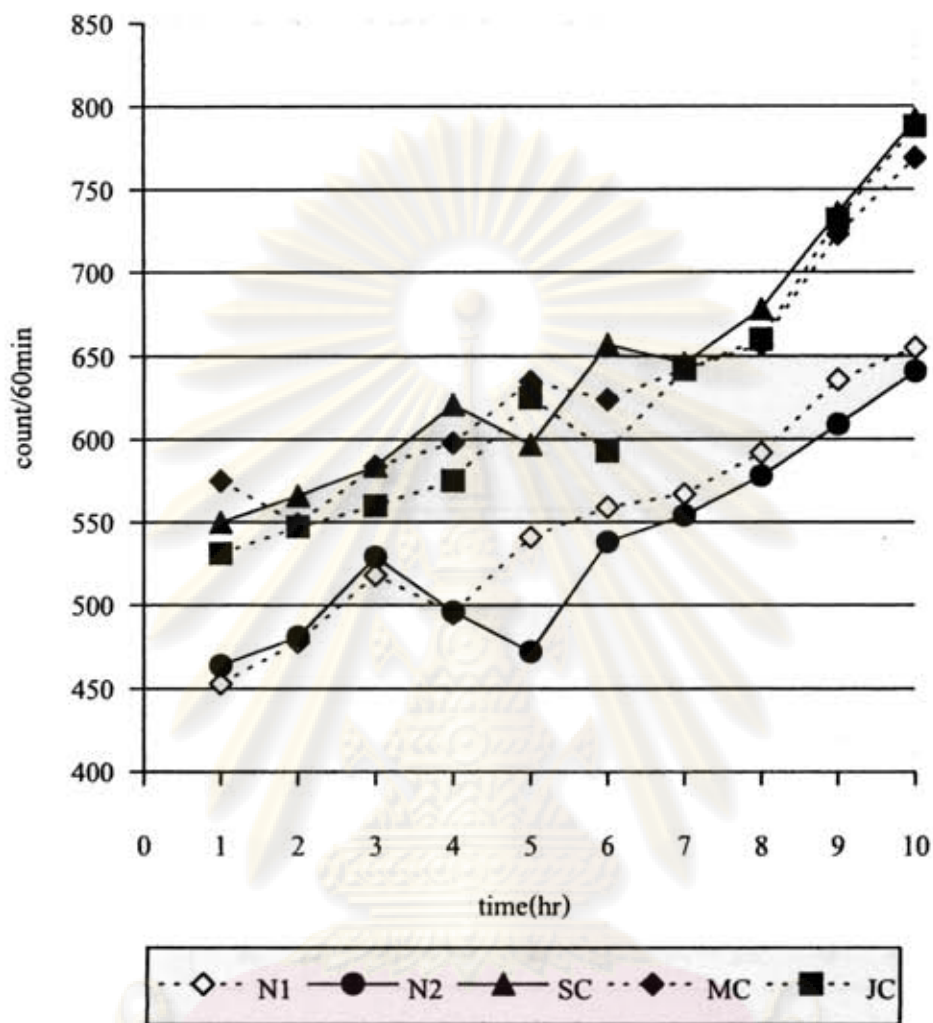


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของก้อนคอนกรีตที่มีและไม่มีรอยแตก โดยใช้ปั๊มคูคอากาศ

หมายเหตุ

ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ใช้สัญลักษณ์ N
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ SC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ MC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ JC

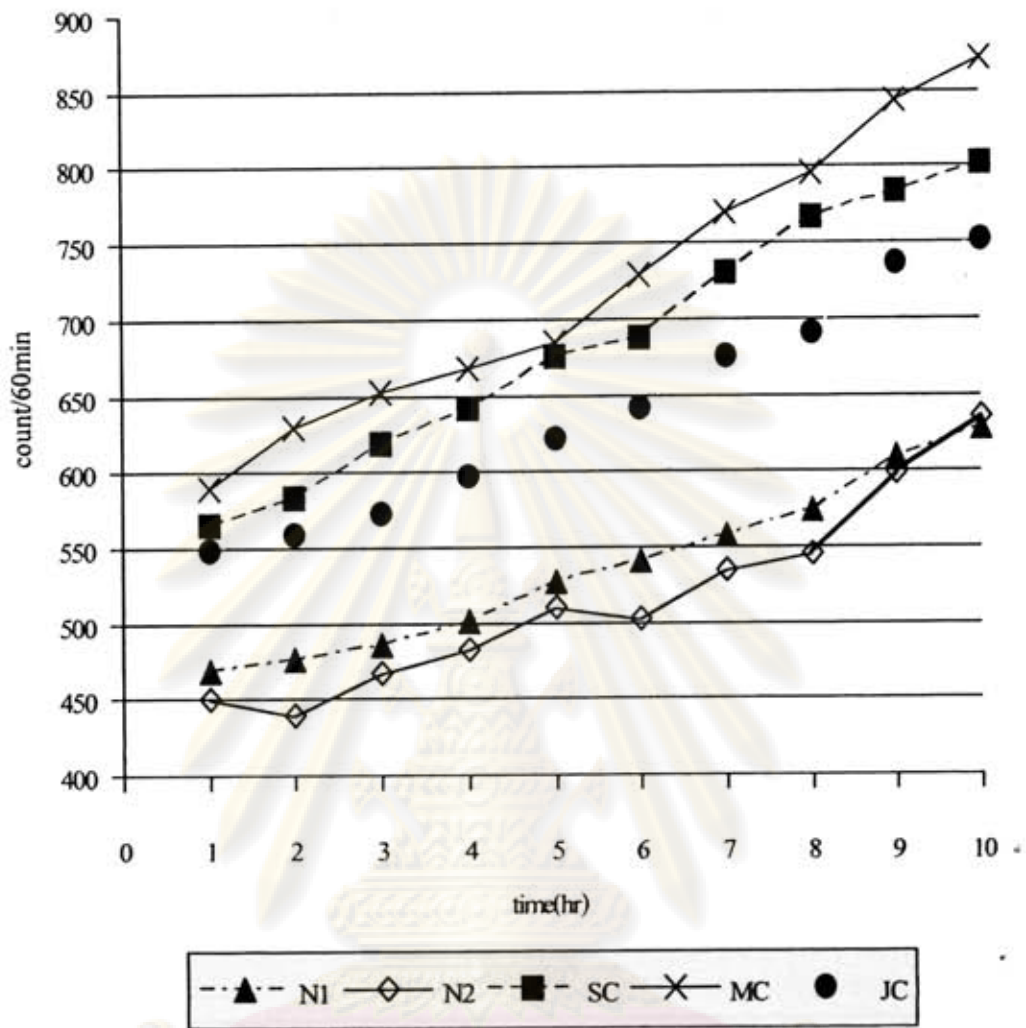


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของผนังคอนกรีตในอาคาร โดยไม่ใช้ปมดูดอากาศ

หมายเหตุ

ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ใช้สัญลักษณ์ N
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ SC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ MC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ JC

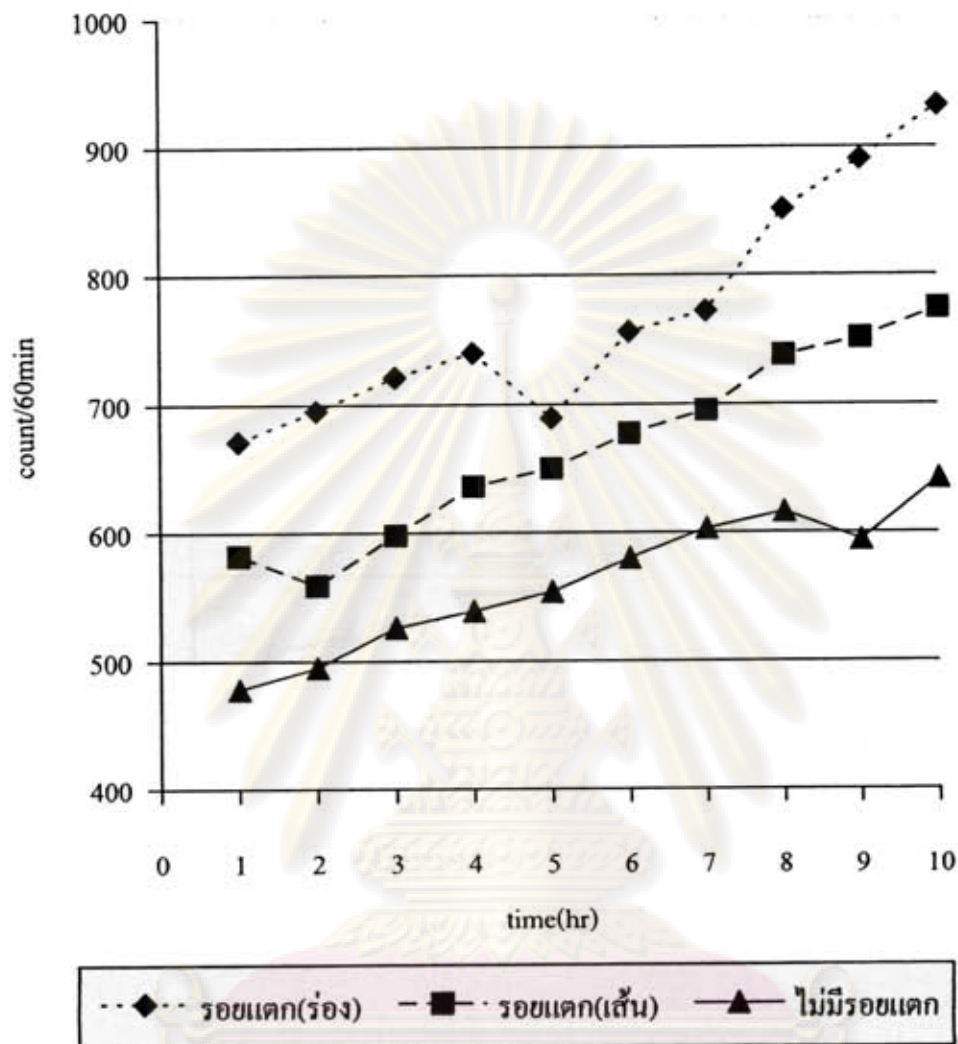


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของผนังคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ปั๊มดูดอากาศ

หมายเหตุ

ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ใช้สัญลักษณ์ N
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ SC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ MC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ JC

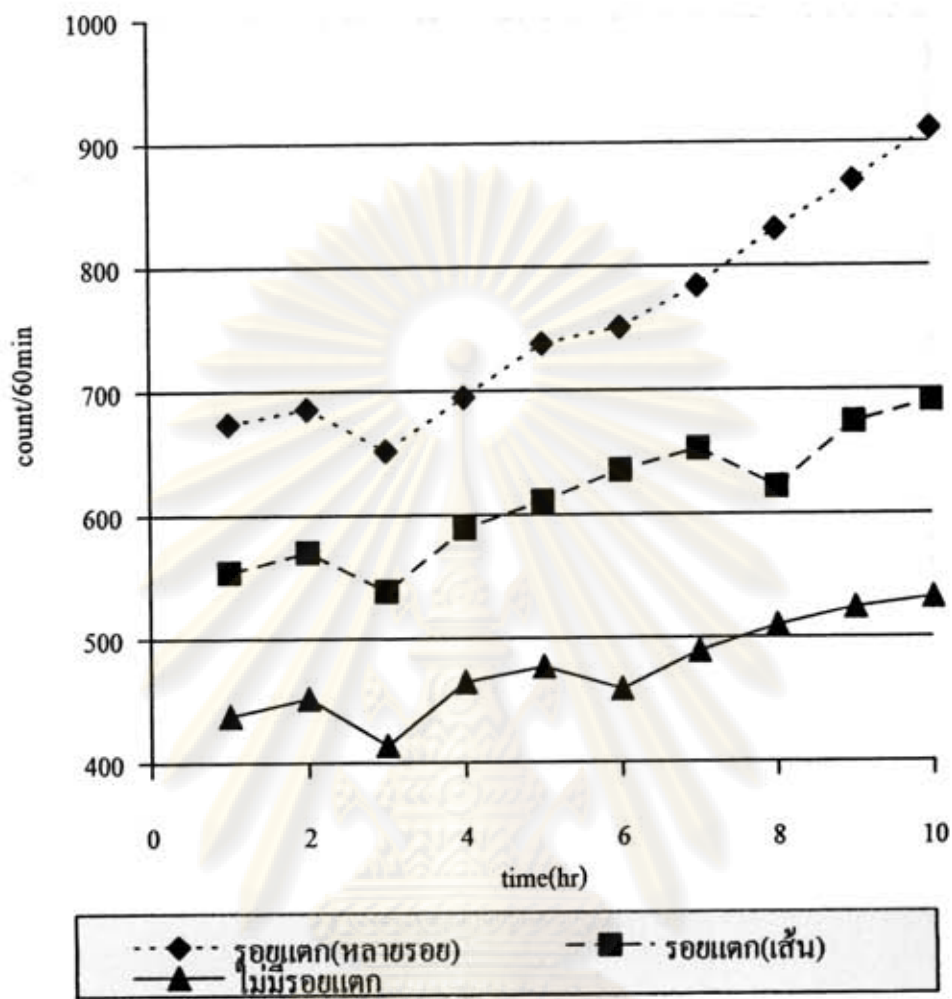


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของพื้นคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ปั๊มคูดอากาศ

หมายเหตุ

ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ใช้สัญลักษณ์ *N*
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ *SC*
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ *MC*
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ *JC*



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการวัดรังสีแอลฟาของเสาคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ปั๊มดูดอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ผลการหาประสิทธิภาพของระบบวัด

จากการหาประสิทธิภาพระบบวัดโดยการเตรียมต้นกำเนิดรังสีทอเรียม-230 สามารถหาค่าประสิทธิภาพของระบบได้ดังนี้

เตรียมต้นกำเนิดรังสีทอเรียม-230 ซึ่งมีความแรงรังสี 295 dps

เมื่อทำการคำนวณค่า solid angle แล้วได้ค่าอัตราการปลดปล่อยรังสีแอลฟาเท่ากับ

73.75 α /sec

ทำการวัดต้นกำเนิดรังสีด้วยระบบวัดได้ 66.45 cps

สามารถหาประสิทธิภาพของระบบวัดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ ประสิทธิภาพของระบบ} &= (\text{CPS}/(\alpha/\text{sec})) \times 100 \\ &= (66.45/73.75) \times 100 \\ &= 90.1\% \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ การประกอบระบบวัดรังสีแอลฟาแบบ ZnS(Ag) การวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตภาพรังสีเรดอนจากคอนกรีตด้วยระบบวัดที่สร้างขึ้น โดยได้ทำการวัดตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกที่มีรูที่เจาะขนาด ความลึกและจำนวนต่างกัน ที่มีรอยแตกขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีรอยแตก การวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตภาพรังสีเรดอนในอาคาร การวิจัยนี้ได้ทดสอบทั้งการไม่ใช้ปั๊ม และใช้ปั๊มอัตราการไหลต่ำ ช่วยให้มีการหมุนเวียนของก๊าซ เพื่อเปรียบเทียบกันด้วย

5.1.1 การสร้างระบบวัดรังสีแบบ ZnS(Ag)

พบว่าหัววัดรังสีแอลฟาแบบ ZnS(Ag) มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานได้สะดวก และมีราคาไม่สูง เมื่อประกอบกับเครื่องนับรังสีแบบเคลื่อนย้ายได้ และทำงานได้ด้วยอำนาจไฟฉายขนาดใหญ่ (D) จำนวน 4 ก้อน ทำให้การใช้งานในภาคสนามมีความสะดวกมาก

5.1.2 การปลดปล่อยก๊าซกัมมันตภาพรังสีเรดอนจากการวัดด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่มีรู และรอยแตก พบว่ามีค่าจำนวนนับรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอนแตกต่างกันบ้างตามองค์ประกอบของแต่ละก้อน แต่เมื่อใช้ปั๊มขนาดเล็กช่วยให้มีการหมุนเวียนของอากาศภายใน Chamber อัตราการไหลต่ำเพียง 0.5 ลิตรต่อ นาที ได้จำนวนนับรังสีเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยคือ ไม่เกิน 10 % เมื่อวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตที่มีรูเจาะขนาดต่างกัน ซึ่งมีจำนวน และความลึกต่าง ๆ กัน พบว่ามีจำนวนนับรังสีแอลฟาเพิ่มขึ้นสูงกว่าก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรู การปลดปล่อยก๊าซกัมมันตภาพรังสีเรดอนของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตก ก็สูงกว่าก้อนคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก แต่ยังไม่สามารถแยกแยะได้ชัดเจนระหว่างขนาดของรอยแตก แต่เมื่อได้ทดลองใช้ปั๊มอากาศ พบว่าได้ค่าการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตภาพรังสีเรดอนของตัวอย่างก้อนคอนกรีตเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอยแตก รวมทั้งขนาด ความลึก และจำนวนรูที่เจาะ และมีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อใช้ปั๊ม จากทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบ พบว่าจำนวนนับรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน ทั้งจากก้อนคอนกรีตมาตรฐานที่มีรูและที่ไม่มีรอยแตก และที่ไม่มีรูหรือรอยแตกมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 เป็นต้นไป เนื่องจากมีการปิดผนึก chamber เข้ากับผิวหน้าของก้อนคอนกรีตเพื่อกักก๊าซเรดอน การหมุนเวียนของอากาศจึงอยู่ในระบบปิด ทำให้เข้าสู่สมดุล

5.1.3 การปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนจากอาคาร

พบว่าเมื่อทำการวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน จากคอนกรีตในอาคาร โดยใช้ปั๊มดูดอากาศ พบว่าจำนวนนับรังสีแอลฟาเพิ่มขึ้น โดยตลอด ตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงที่ 10 ที่ทำการวิจัย ทั้งนี้เพราะรอยแตกที่เห็นน่าจะเชื่อมต่อไปถึงภายนอก ทำให้มีอากาศจากภายนอก เข้าสู่ chamber อยู่ตลอดเวลา จึงไม่ถึงจุดสมดุล หรือจุดอิ่มตัว เหมือนการทดสอบกับก้อนคอนกรีต ในขั้นตอนที่ผ่านมา ในทำนองเดียวกันยังพบว่ารอยแตกที่มีลักษณะเป็นร่องขนาดปานกลางให้การปลดปล่อยก๊าซเรดอนมากที่สุด ส่วนรอยแตกที่มีลักษณะเป็นเส้นหรือรอยแตกหลายเส้นนั้นให้การปลดปล่อยก๊าซเรดอนน้อยกว่า ส่วนคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตกนั้นให้การปลดปล่อยก๊าซเรดอนน้อยกว่า คอนกรีตที่มีรอยแตกใน 3 ลักษณะแรกอย่างเห็นได้ชัด

5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เน้นวิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่สามารถทราบผลได้เป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่อง จึงได้เลือกใช้วิธีวัดรังสีแอลฟาที่สลายตัวจากก๊าซเรดอน โดยตรงด้วยหัววัดรังสีสังกะสีซัลไฟด์ [Zn(Ag)] การตรวจวัดก๊าซเรดอนด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การวัดรังสีแอลฟาด้วยฟิล์มบันทึก รอยอนุภาคแอลฟา หรือ แทรก-เอตซ์ (track-etch) และการดูดจับก๊าซเรดอนด้วยถ่านกัมมันต์ แล้ววัดรังสีแกมมาจากนิวไคลด์ลูก (daughter nuclide) ของเรดอน ต้องใช้เวลานานหลายวัน หรือ เป็นสัปดาห์ จึงจะทราบผล

จากการวัดการปลดปล่อยก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนจากคอนกรีต ด้วยระบบวัดรังสีแบบ ZnS(Ag) พบว่าประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีที่สร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เนื่องมาจากการใช้แผ่นเคลือบผงสังกะสีซัลไฟด์มาตรฐานคิดหน้าบริเวณรับแสงของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ซึ่งมีความสม่ำเสมอของผงสังกะสีซัลไฟด์สูง ทำให้สามารถวัดรังสีได้ดีโดยเมื่อเกิดแสงขึ้นจากอันตรกิริยาของอนุภาคแอลฟากับสังกะสีซัลไฟด์ แล้วแสงสามารถผ่านเข้าสู่หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ เมื่อเปรียบเทียบผลที่วัดโดยใช้ปั๊มดูดอากาศ และไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ พบว่าการใช้ปั๊มดูดอากาศอัตราการไหลต่ำเพียง 0.5 ลิตรต่อนาที เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนของอากาศ สามารถบ่งชี้ความสัมพันธ์ของจำนวนนับรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอนกับขนาดของรอยแตกในคอนกรีตได้ดีกว่า

ผลการวิจัยข้างต้น ได้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอน ที่ปลดปล่อยออกมาจากโครงสร้างคอนกรีต โดยวิธีการตรวจวัดรังสีแอลฟา ในการตรวจสอบว่าโครงสร้างคอนกรีตมีรอยแตกหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีแอลฟาระหว่างบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ กับบริเวณใกล้เคียงกัน และหากเป็นรอยแตกที่มีขนาดใหญ่ หรือที่มีความลึกมากกว่า จะได้จำนวนนับรังสีสูงกว่า นอกจากนี้ถ้ารอยแตกเปิดสู่ภายนอกจำนวนนับรังสีแอลฟาจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยไม่ถึงสภาวะสมดุล ซึ่งในจุดนี้น่าจะเป็นประโยชน์มากในการ

นำไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม การที่จะนำเทคนิคนี้ไปใช้เป็นทางเลือกในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในรายละเอียดอีกระยะหนึ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรทำการทดสอบกับโครงสร้างคอนกรีตที่มีข้อมูลอย่างชัดเจนเกี่ยวกับรายละเอียดของรอยแตก โดยร่วมมือกับผู้มีความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา

5.3.2 หัววัดรังสีแอลฟาที่ใช้เป็นเพียงแผ่นสังกะสีซัลไฟด์ ที่ติดเข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ หากมีความจำเป็นต้องการประสิทธิภาพในการวัดรังสีแอลฟาสูงขึ้น ควรใช้ Chamber ที่ฉาบผงสังกะสีซัลไฟด์ไว้ด้านในทุกด้านแบบ Lucas cell

5.3.3 เครื่องนับรังสีแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Ludlum Model 2200 สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ หากพัฒนาโปรแกรมให้สามารถแสดงผลเป็นกราฟ และบันทึกได้อย่างอัตโนมัติ จะมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1]. Faure Gunter . Principles of isotope geology, New York: John Wiley and Sons,1977.
- [2]. Osborne, M.C. Radonresistant residential new construction, U.S. Environmental Protection Agency Report,1988.
- [3]. Arthur W. Rose, Adam R. Hutter and John W. Washington.Sampling variability of radon in soil gases,1989.
- [4]. A. W. Harris and A. Atkinson. Transport of gases in concrete barriers,1991.
- [5]. C. K. Man and H. S. Yeung. The effect of cracks and holes on the exhalation of radon from concrete,1996. Buliding and Environment, Vol 32, Issue4, p351-354, July 1997.
- [6]. T. Jurcu and D. Ristoiu. Determination of Rn-222 emanation fraction and diffusion coefficient in concrete using the influence of humidity and radium distribution, 2000.
- [7]. Kearfott, K.J., Metzger, R.L., Kraft, K.R., and Holbert, K.E., in review. Detection and mitigation of radon gas concentrated by underground air returns, Health Physics.
- [8]. Reynolds, S.J., Keith, S.B., and DuBois, J.F., Locations, lithologic descriptions , information, and analytical data for geochemical samples, *in* Coney, P.J., and Reynolds, S.J., eds., Cordilleran metamorphic core complexes and their uranium favorability (appendix E), U.S. Department of Energy OpenFile Report, 1980.
- [9]. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR IV), National Research council, Health risks of radon and other internally deposited alphaemitters:Washington, D.C. , National Academy Press,1988.
- [10]. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Evaluation of occupational and environmental exposures to radon and radon daughters in the United State : Report 78, 204 p,1984.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน

1. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตกโดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-1 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ตัวอย่างที่ 1 (N 1) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	422±21	29.6	75.2	1012.5
2	436±21	30.0	79.8	1013.0
3	443±21	30.0	79.8	1013.0
4	464±22	30.0	79.8	1013.0
5	459±21	30.5	80.5	1013.5
6	469±22	30.5	80.5	1013.5
7	472±22	30.5	80.5	1013.5
8	465±22	30.5	80.5	1013.5
Total	3630±60	Total count hr 6-8 = 1406±37		

หมายเหตุ ใช้สัญลักษณ์บ่งบอกลักษณะของรอยแตกของคอนกรีตดังนี้

- คอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก (Non crack) ใช้สัญลักษณ์ N
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) (Small crack) ใช้สัญลักษณ์ SC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (Medium crack) ใช้สัญลักษณ์ MC
- คอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (Join crack) ใช้สัญลักษณ์ JC
- การวัด โดยไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ (No Pump) ใช้สัญลักษณ์ NP
- การวัด โดยใช้ปั๊มดูดอากาศ (Pump) ใช้สัญลักษณ์ P

ตาราง ก-2 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก
ตัวอย่างที่ 2 (N 2) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	417±20	30.0	80.0	1013.0
2	425±21	30.5	80.6	1013.7
3	440±21	30.5	80.6	1013.7
4	451±21	30.5	80.5	1013.7
5	462±21	30.5	80.5	1013.9
6	471±22	30.5	80.5	1013.9
7	475±22	30.5	80.5	1013.9
8	473±22	30.5	80.5	1013.9
Total	3614±60	Total count hr 6-8 = 1419±38		

ตาราง ก-3 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก-
ตัวอย่างที่ 3 (N 3) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	404±20	29.0	74.0	1011.6
2	415±20	29.0	74.0	1011.6
3	429±21	29.3	74.5	1012.0
4	438±21	29.3	74.5	1012.0
5	430±21	29.3	74.5	1012.0
6	444±21	29.3	74.5	1012.0
7	448±21	29.5	76.0	1012.2
8	446±21	29.5	76.0	1012.2
Total	3454±59	Total count hr 6-8 = 1338±37		

ตาราง ก-4 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก
ตัวอย่างที่ 4 (N 4) (NP) ด้วยหัววัดตั้งกะซีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	412±20	28.7	73.8	1009.0
2	427±21	28.7	73.8	1009.0
3	418±20	29.0	74.5	1011.5
4	432±21	29.0	74.5	1011.5
5	441±21	29.0	74.5	1011.5
6	455±21	30.0	79.0	1013.0
7	452±21	30.0	79.0	1013.0
8	456±21	30.0	79.0	1013.0
Total	3493±59	Total count hr 6-8 = 1363±37		

ตาราง ก-5 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก
ตัวอย่างที่ 5 (N 5) (NP) ด้วยหัววัดตั้งกะซีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	389±20	29.5	76.7	1012.0
2	397±20	29.5	76.7	1012.0
3	420±20	29.5	76.7	1012.0
4	436±21	30.3	80.5	1013.1
5	429±21	30.3	80.5	1013.1
6	448±21	30.5	80.5	1013.5
7	445±21	30.5	80.5	1013.5
8	447±21	30.5	80.5	1013.5
Total	3411±58	Total count hr 6-8 = 1340±37		

ตาราง ก-6 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก
ตัวอย่างที่ 6 (N 6) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	415±20	28.7	74.5	1008.5
2	410±20	28.9	74.9	1009.0
3	432±21	29.0	75.0	1011.5
4	446±21	29.0	75.0	1011.5
5	459±21	29.0	75.0	1011.5
6	502±22	29.5	75.0	1011.7
7	506±22	29.5	75.6	1011.7
8	510±23	29.5	75.6	1011.7
Total	3680±61	Total count hr 6-8 = 1518±39		

ตาราง ก-7 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก
ตัวอย่างที่ 7 (N 7) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	431±21	30.0	80.0	1013.0
2	443±21	30.0	80.0	1013.0
3	460±21	30.0	80.0	1013.0
4	456±21	30.2	80.5	1013.5
5	482±22	30.2	80.5	1013.5
6	478±22	30.2	80.5	1013.5
7	485±22	30.2	80.5	1013.5
8	487±22	30.2	80.5	1013.5
Total	3722±61	Total count hr 6-8 = 1450±38		

ตาราง ก-8 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ตัวอย่างที่ 8 (N 8) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	401±20	29.8	77.5	1012.5
2	415±20	29.8	77.5	1012.5
3	426±21	30.0	80.0	1012.9
4	447±21	30.0	80.0	1012.9
5	464±22	30.0	80.0	1012.9
6	469±22	30.0	80.0	1012.9
7	472±22	30.5	81.0	1013.7
8	475±22	30.5	81.0	1013.7
Total	3569±60	Total count hr 6-8 = 1416±38		

ตาราง ก-9 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ตัวอย่างที่ 9 (N 9) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	396±20	30.1	79.7	1013.5
2	411±20	30.1	79.7	1013.5
3	432±21	30.1	79.7	1013.5
4	468±22	30.5	80.0	1013.8
5	451±21	30.5	80.0	1013.8
6	475±22	30.5	80.2	1013.8
7	471±22	30.5	80.5	1014.0
8	477 ±22	30.5	80.5	1014.0
Total	3581±60	Total count hr 6-8 = 1423±38		

2. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตกโดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้ปั๊มสุญญากาศ

ได้ดังตาราง

ตาราง ก-10 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ตัวอย่างที่ 1 (N 1) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	440±21	29.5	76.5	1012.5
2	463±22	29.5	76.5	1012.5
3	478±22	30.0	79.0	1012.7
4	491±22	30.0	79.0	1012.7
5	518±23	30.0	79.0	1012.7
6	534±23	30.0	79.0	1012.7
7	537±23	30.3	79.5	1013.0
8	540±23	30.3	79.5	1013.0
Total	4001±63	Total count hr 6-8 = 1611±40		

ตาราง ก-11 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ตัวอย่างที่ 2 (N 2) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	402±20	30.0	80.0	1013.3
2	415±20	30.3	80.5	1013.5
3	433±21	30.5	80.5	1013.5
4	447±21	30.5	80.5	1013.5
5	461±21	30.8	81.0	1013.8
6	480±22	30.8	81.0	1013.8
7	482±22	30.8	81.0	1013.8
8	486±22	30.8	81.0	1013.8
Total	3606±60	Total count hr 6-8 = 1448±38		

ตาราง ก-12 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก
ตัวอย่างที่ 3 (N 3) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	398±20	29.8	78.0	1012.0
2	424±21	29.8	78.0	1012.0
3	437±21	30.0	79.0	1012.5
4	452±21	30.0	79.0	1012.5
5	471±22	30.0	79.0	1012.5
6	495±22	30.5	79.3	1013.0
7	502±22	30.5	79.3	1013.0
8	499±22	30.5	79.3	1013.0
Total	3678±61	Total count hr 6-8 = 1496±39		

3. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้
ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-13 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก และเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว จำนวน 1 รู ความลึก 1 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	426±21	29.5	76.0	1012.0
2	423±21	29.5	76.0	1012.0
3	438±21	29.5	76.5	1012.0
4	451±21	29.8	76.9	1012.5
5	468±22	30.0	79.0	1012.5
6	492±22	30.0	79.0	1012.5
7	490±22	30.0	79.0	1012.5
8	495±22	30.0	79.0	1012.5
Total	3683±61	Total count hr 6-8 = 1477±38		

ตาราง ก-14 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว จำนวน 3 รู ความลึก 2 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	435±21	29.0	76.0	1012.7
2	420±20	29.3	76.5	1012.7
3	444±21	29.5	76.5	1013.0
4	428±21	30.0	80.0	1013.3
5	448±21	30.0	80.0	1013.3
6	515±23	30.0	80.0	1013.3
7	519±23	30.0	80.0	1013.3
8	516±23	30.0	80.0	1013.3
Total	3725±61	Total count hr 6-8 = 1550±39		

ตาราง ก-15 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู-
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว จำนวน 5 รู ความลึก 3 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	441±21	28.5	76.5	1009.0
2	455±21	28.5	76.5	1009.0
3	473±22	28.7	78.0	1009.5
4	479±22	29.0	78.5	1011.5
5	484±22	29.0	78.5	1011.5
6	481±22	29.5	78.5	1012.0
7	487±22	29.5	78.5	1012.0
8	490±22	29.5	78.5	1012.0
Total	3790±62	Total count hr 6-8 = 1458±38		

ตาราง ก-16 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2/8 นิ้ว จำนวน 1 รู ความลึก 1 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	416±20	29.0	79.0	1012.5
2	428±21	29.0	79.0	1012.5
3	450±21	29.0	79.0	1012.5
4	477±22	29.5	80.0	1013.0
5	500±22	29.5	80.0	1013.0
6	521±23	29.8	80.3	1013.1
7	528±23	29.8	80.3	1013.1
8	532±23	29.8	80.3	1013.1
Total	3852±62	Total count hr 6-8 = 1581±40		

ตาราง ก-17 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2/8 นิ้ว จำนวน 3 รู ความลึก 2 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	427±21	30.0	80.5	1013.5
2	452±21	30.0	80.5	1013.5
3	468±22	30.0	80.5	1013.5
4	489±22	30.0	80.5	1013.5
5	495±22	30.0	80.7	1013.5
6	534±23	30.1	81.0	1014.0
7	538±23	30.1	81.0	1014.0
8	543±23	30.1	81.0	1014.0
Total	3946±63	Total count hr 6-8 = 1615±40		

ตาราง ก-18 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2/8 นิ้ว จำนวน 5 รู ความลึก 3 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	443±21	29.0	78.5	1012.2
2	481±22	29.0	78.5	1012.2
3	470±22	29.5	79.0	1012.5
4	504±22	29.5	79.0	1012.5
5	539±23	29.5	79.0	1012.5
6	547±23	30.0	80.0	1012.8
7	550±23	30.0	80.0	1012.8
8	552±23	30.0	80.0	1012.8
Total	4086±64	Total count hr 6-8 = 1649±41		

ตาราง ก-19 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4/8 นิ้ว จำนวน 1 รู ความลึก 1 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	421±21	30.0	80.2	1013.0
2	447±21	30.0	80.2	1013.0
3	465±22	30.5	80.7	1013.4
4	494±22	30.5	80.7	1013.4
5	506±22	30.5	80.7	1013.4
6	521±23	30.5	81.0	1013.5
7	525±23	30.5	81.0	1013.5
8	528±23	30.5	81.0	1013.5
Total	3907±63	Total count hr 6-8 = 1574±40		

ตาราง ก-20 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4/8 นิ้ว จำนวน 3 รู ความลึก 2 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	439±21	28.5	76.0	1012.0
2	458±21	29.0	78.5	1012.3
3	461±21	29.0	78.5	1012.3
4	478±22	29.0	78.5	1012.3
5	523±23	29.5	80.0	1012.5
6	561±24	29.5	80.0	1012.5
7	564±24	29.5	80.0	1012.5
8	567±24	29.5	80.0	1012.5
Total	4051±64	Total count hr 6-8 = 1692±41		

ตาราง ก-21 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากก้อนคอนกรีตมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตกและเจาะรู
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4/8 นิ้ว จำนวน 5 รู ความลึก 3 เซนติเมตร (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	451±21	29.0	79.0	1011.0
2	456±21	29.0	79.0	1011.0
3	474±22	29.3	79.0	1013.0
4	490±22	29.5	80.0	1013.0
5	521±23	30.0	80.5	1013.5
6	572±24	30.0	80.5	1013.5
7	580±24	30.0	80.5	1013.5
8	574±24	30.0	80.5	1013.5
Total	4118±64	Total count hr 6-8 = 1726±42		

4. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตก ด้านที่ไม่เจาะรู โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้ปั๊มสุดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-22 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ด้านที่ไม่เจาะรู ตัวอย่างที่ 1 (N 1) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	361±19	28.4	79.6	1012.6
2	374±19	28.5	79.8	1012.6
3	368±19	29.0	80.0	1012.9
4	390±20	28.7	79.5	1011.8
5	435±21	29.0	80.4	1013.7
6	460±21	29.5	80.5	1013.8
7	468±22	29.5	80.5	1014.0
8	462±21	29.7	80.5	1014.0
Total	3318±58	Total count hr 6-8 = 1390±37		

ตาราง ก-23 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ด้านที่ไม่เจาะรู ตัวอย่างที่ 2 (N 2) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	398±20	30.0	81.2	1013.2
2	409±20	30.1	81.5	1014.5
3	416±20	29.8	80.7	1010.3
4	430±21	30.5	81.5	1014.0
5	443±21	30.5	81.5	1013.5
6	428±21	30.5	81.8	1014.5
7	455±21	31.0	82.0	1014.7
8	450±21	31.0	82.4	1014.7
Total	3429±59	Total count hr 6-8 = 1333±37		

ตาราง ก-24 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่ไม่มีรอยแตก ด้านที่ไม่เจาะรู ตัวอย่างที่ 3 (N 3) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	411±20	29.1	77.3	1008.3
2	417±20	29.5	77.5	1009.7
3	428±21	29.3	77.5	1009.0
4	402±20	29.5	78.0	1009.4
5	434±21	30.0	79.2	1010.5
6	446±21	30.4	79.5	1011.3
7	452±21	30.5	79.5	1011.5
8	449±21	30.5	80.0	1011.5
Total	3439±59	Total count hr 6-8 = 1347±37		

5. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) โดยใช้หัววัดZnS(Ag) และไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-25 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น) ตัวอย่างที่ 1 (SC 1) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	511±23	29.5	75.0	1012.8
2	582±24	29.5	75.0	1012.8
3	635±25	29.5	75.0	1012.8
4	629±25	29.7	76.0	1012.8
5	642±25	30.0	80.0	1013.0
6	656±26	30.0	80.0	1013.0
7	659±26	30.0	80.0	1013.0
8	661±26	30.0	80.0	1013.0
Total	4975±71	Total count hr 6-8 = 1976±44		

ตาราง ก-26 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น) ตัวอย่างที่ 2 (SC 2) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	529±23	28.5	74.0	1010.0
2	518±23	28.5	74.0	1010.0
3	557±24	28.5	74.0	1010.0
4	534±23	28.5	75.5	1011.5
5	579±24	29.0	75.5	1012.7
6	595±24	29.0	75.5	1012.7
7	598±24	29.0	75.8	1012.7
8	596±24	29.0	75.8	1012.7
Total	4506±67	Total count hr 6-8 = 1789±42		

ตารางที่ ก-27 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น) ตัวอย่างที่ 3 (SC 3) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	502±22	30.0	80.0	1013.0
2	516±23	30.0	80.0	1013.0
3	539±23	31.0	80.5	1013.7
4	498±22	31.0	80.5	1013.7
5	550±23	31.0	80.5	1013.9
6	555±24	31.0	80.5	1013.9
7	553±24	31.0	80.5	1013.9
8	558±24	31.0	80.5	1013.9
Total	4271±65	Total count hr 6-8 = 1666±41		

6. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดเล็ก (ลักษณะเป็นเส้น) โดยใช้หัววัดZnS(Ag) และใช้ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-28 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น) ตัวอย่างที่ 1 (SC 1) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	526±23	30.0	75.5	1013.0
2	544±23	30.0	79.5	1013.0
3	572±24	30.0	79.5	1013.0
4	590±24	30.0	79.5	1013.0
5	629±25	30.2	80.0	1013.0
6	678±26	30.2	80.0	1013.1
7	680±26	30.2	80.0	1013.1
8	683±26	30.2	80.0	1013.1
Total	4902±70	Total count hr 6-8 = 2041±45		

ตาราง ก-29 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น) ตัวอย่างที่ 2 (SC 2) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	537±23	29.0	76.0	1011.3
2	548±23	29.0	76.0	1011.3
3	564±24	29.5	76.2	1011.5
4	576±24	29.5	76.2	1011.5
5	592±24	30.0	78.5	1012.3
6	630±25	30.0	78.5	1012.3
7	637±25	30.0	78.5	1012.3
8	635±25	30.0	78.5	1012.3
Total	4719±69	Total count hr 6-8 = 1902±44		

ตารางที่ ก-30 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น) ตัวอย่างที่ 3 (SC 3) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	510±23	28.5	73.6	1008.5
2	529±23	28.5	73.6	1008.5
3	543±23	29.0	75.0	1011.0
4	557±24	29.0	75.0	1011.0
5	582±24	30.0	79.5	1013.0
6	625±25	30.0	79.5	1013.0
7	631±25	30.0	79.5	1013.0
8	633±25	30.0	79.5	1013.0
Total	4610±68	Total count hr 6-8 = 1889±43		

7. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-31 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) ตัวอย่างที่ 1 (MC 1) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	481±22	29.0	73.5	1010.0
2	495±22	29.0	73.5	1010.0
3	575±24	29.0	73.5	1010.5
4	627±25	29.3	73.7	1011.3
5	641±25	29.3	73.9	1011.5
6	665±26	29.5	75.0	1012.0
7	668±26	29.5	75.0	1012.0
8	672±26	29.5	75.0	1012.0
Total	4824±69	Total count hr 6-8 = 2005±45		

ตาราง ก-32 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตก ขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) ตัวอย่างที่ 2 (MC 2) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	564±24	27.5	72.3	1009.0
2	577±24	27.5	72.3	1009.0
3	590±24	27.5	72.3	1009.0
4	616±25	29.0	76.0	1012.5
5	637±25	30.0	78.5	1013.0
6	670±26	30.0	80.0	1013.0
7	674±26	30.0	80.0	1013.0
8	671±26	30.0	80.0	1013.0
Total	4999±71	Total count hr 6-8 = 2015±45		

ตาราง ก-33 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตก ขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) ตัวอย่างที่ 3 (MC 3) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	477±21	28.7	74.0	1011.0
2	482±22	28.7	74.0	1011.0
3	496±22	28.7	74.0	1011.0
4	521±23	29.0	75.3	1012.0
5	540±23	29.0	75.3	1012.0
6	587±24	29.0	75.5	1012.0
7	585±24	29.0	75.5	1012.3
8	590±24	29.0	75.5	1012.3
Total	4278±65	Total count hr 6-8 = 1762±42		

8. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) โดย
ใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้ปั๊มสูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-34 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตก
ขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) ตัวอย่างที่ 1 (MC 1) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	575±24	29.8	76.0	1012.5
2	583±24	29.8	76.0	1012.5
3	599±24	29.8	76.0	1012.5
4	641±25	30.0	77.0	1012.7
5	664±26	30.0	77.0	1012.7
6	683±26	30.0	77.0	1012.7
7	712±27	30.0	77.0	1012.7
8	715±27	30.0	77.0	1012.7
Total	5172±72	Total count hr 6-8 = 2110±46 *		

ตาราง ก-35 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตก
ขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) ตัวอย่างที่ 2 (MC 2) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	595±24	30.0	80.0	1003.0
2	628±25	30.0	80.0	1003.0
3	637±25	30.0	80.0	1003.0
4	655±26	30.2	80.0	1013.4
5	679±26	30.2	80.5	1013.4
6	694±26	30.5	80.5	1013.7
7	690±26	30.5	80.5	1013.7
8	701±26	30.5	80.5	1013.7
Total	5279±73	Total count hr 6-8 = 2085±46		

ตาราง ก-36 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตก ขนาดปานกลาง(ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) ตัวอย่างที่ 3 (MC 3) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	556±24	30.0	80.5	1012.5
2	571±24	30.0	80.5	1012.5
3	588±24	30.4	80.8	1013.0
4	604±25	30.4	80.8	1013.0
5	639±25	30.5	80.8	1013.2
6	661±26	30.5	80.8	1013.2
7	669±26	30.5	80.8	1013.2
8	664±26	30.5	80.8	1013.2
Total	4952±70	Total count hr 6-8 = 1994±45		

9. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-37 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) ตัวอย่างที่ 1 (JC 1) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	558±24	30.0	79.8	1010.5
2	613±25	30.0	80.0	1012.8
3	651±26	30.0	80.0	1013.0
4	666±26	30.0	80.0	1013.0
5	674±26	30.3	81.0	1013.4
6	681±26	30.3	82.0	1013.5
7	684±26	30.0	80.5	1013.0
8	689±26	30.0	80.5	1013.0
Total	5216±72	Total count hr 6-8 = 2054±45		

ตาราง ก-38 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) ตัวอย่างที่ 2 (JC 2) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	494±22	29.8	76.5	1012.5
2	507±23	29.8	76.5	1012.5
3	512±23	30.0	80.0	1012.8
4	547±23	30.0	80.0	1012.8
5	573±24	30.5	80.6	1013.0
6	594±24	30.5	80.6	1013.0
7	597±24	30.5	80.6	1013.0
8	601±25	30.5	80.6	1013.0
Total	4425±67	Total count hr 6-8 = 1792±42		

ตาราง ก-39 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) ตัวอย่างที่ 3 (JC 3) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	514±23	29.5	75.0	1012.3
2	527±23	29.5	75.0	1012.3
3	511±23	29.5	75.0	1012.3
4	544±23	29.8	75.4	1012.9
5	552±23	29.8	75.5	1012.9
6	567±24	29.8	75.5	1013.0
7	570±24	29.8	75.5	1013.0
8	574±24	29.8	75.5	1013.0
Total	4359±66	Total count hr 6-8 = 1711±41		

10. ผลจากการวัดตัวอย่างคอนกรีตที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ก-40 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) ตัวอย่างที่ 1 (JC 1) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	564±24	30.5	80.0	1013.0
2	580±24	30.5	80.0	1013.0
3	598±24	30.5	80.3	1013.0
4	632±25	30.8	81.0	1013.2
5	641±25	30.8	81.0	1013.2
6	676±26	30.8	81.0	1013.2
7	694±26	30.8	81.0	1013.2
8	689±26	30.5	80.0	1013.2
Total	5074±71	Total count hr 6-8 = 2059±45 *		

ตาราง ก-41 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) ตัวอย่างที่ 2 (JC 2) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	518±23	29.6	78.5	1012.5
2	534±23	29.6	78.5	1012.5
3	557±24	30.0	79.0	1012.7
4	583±24	30.0	79.0	1012.7
5	606±25	30.0	79.0	1012.7
6	643±25	30.0	80.0	1013.0
7	648±25	30.0	80.0	1013.0
8	655±26	30.0	80.0	1013.0
Total	4744±69	Total count hr 6-8 = 1946±44		

ตาราง ก-42 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากตัวอย่างก้อนคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่มีรอยแตกหลายรอย(ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน)ตัวอย่างที่ 3 (JC 3) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	522±23	29.7	76.0	1012.3
2	507±23	30.0	79.0	1012.5
3	548±23	30.0	79.0	1012.5
4	567±24	30.5	79.5	1012.5
5	579±24	30.5	79.5	1012.5
6	595±24	30.5	79.5	1012.5
7	603±25	30.5	79.5	1012.5
8	607±25	30.5	79.5	1012.5
Total	4528±67	Total count hr 6-8 = 1805±42		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการวัดรังสีแอลฟาจากคอนกรีตในอาคาร

1. ผลจากการวัดคอนกรีตในผนังอาคารที่ไม่มีรอยแตก โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และไมซ์

ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ข-1 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก (จุดที่1) (N 1) (NP)
ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	453±21	30.5	81.0	1013.5
2	478±22	30.7	81.0	1013.9
3	518±23	30.2	79.2	1013.1
4	495±22	30.8	80.5	1014.5
5	541±23	30.8	81.0	1014.0
6	559±24	31.0	81.4	1014.6
7	567±24	31.0	81.9	1014.0
8	592±24	31.5	82.5	1015.0
9	636±25	31.5	81.5	1013.8
10	655±26	31.7	81.5	1014.3
Total	5494±74			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-2 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก (จุดที่2) (N 2) (NP)
ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	464±22	30.0	80.0	1013.0
2	481±22	30.7	80.4	1013.3
3	529±23	30.7	80.5	1013.3
4	496±22	31.0	80.5	1013.8
5	472±22	31.2	80.8	1014.0
6	538±23	31.0	80.5	1011.0
7	554±24	31.8	81.5	1013.5
8	578±24	30.0	80.9	1011.8
9	609±25	30.5	81.1	1013.0
10	641±25	30.8	81.0	1013.4
Total	5362±73			

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลจากการวัดคอนกรีตในผนังอาคารที่ไม่มีรอยแตกโดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้บีมูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ข-3 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก (จุดที่1) (N I) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	469±22	30.5	80.5	1013.5
2	477±22	30.5	79.7	1013.5
3	485±22	30.3	77.0	1013.2
4	501±22	30.7	80.9	1014.0
5	527±23	30.7	80.5	1014.0
6	540±23	31.0	81.0	1014.2
7	558±24	31.5	81.0	1014.8
8	575±24	31.3	80.0	1014.0
9	609±25	31.0	79.0	1012.5
10	628±25	31.0	79.0	1012.6
Total	5369±73			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-4 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก (จุดที่2) (N 2) (P)
ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	450±21	30.2	80.1	1013.0
2	439±21	30.2	80.1	1013.0
3	467±22	30.5	80.5	1013.2
4	483±22	30.8	80.5	1014.1
5	510±23	30.5	76.0	1013.0
6	502±22	31.0	80.7	1013.8
7	534±23	31.0	80.3	1013.7
8	546±23	30.3	78.2	1010.5
9	599±24	30.5	80.0	1012.7
10	635±25	30.9	81.5	1013.0
Total	5165±72			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลจากการวัดคอนกรีตในผนังอาคารที่มีรอยแตกขนาดต่างๆ โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และไม่ใช้
 บีมคู่อากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ข-5 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น)
 (SC) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	550±23	30.0	79.5	1013.5
2	566±24	30.0	79.5	1013.5
3	584±24	30.0	80.0	1013.2
4	621±25	30.3	80.7	1013.8
5	597±24	30.5	81.2	1014.0
6	657±26	30.9	82.0	1014.6
7	646±25	30.5	80.5	1009.0
8	678±26	31.2	81.0	1011.5
9	736±27	31.0	80.0	1013.0
10	792±28	31.0	79.0	1013.2
Total	6427±80			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-6 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (MC) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	575±24	30.5	80.3	1013.0
2	549±23	29.8	77.0	1011.9
3	584±24	30.5	79.5	1012.5
4	598±24	30.5	80.3	1013.0
5	635±25	31.0	80.7	1013.3
6	624±25	31.0	80.7	1013.9
7	642±25	31.5	81.5	1014.3
8	657±26	31.0	80.4	1013.0
9	723±27	30.8	78.2	1012.5
10	769±28	30.8	78.5	1012.7
Total	6356±80			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-7 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (JC) (NP) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	531±23	29.8	78.5	1012.8
2	547±23	30.0	80.0	1013.0
3	560±24	30.0	80.0	1013.6
4	575±24	30.4	81.0	1014.7
5	625±25	30.0	79.4	1012.0
6	593±24	30.7	80.2	1013.5
7	642±25	30.7	80.5	1013.7
8	660±26	29.0	78.0	1013.5
9	732±27	29.2	80.5	1013.5
10	788±28	29.0	80.0	1011.5
Total	6253±79			

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ผลจากการวัดคอนกรีตในผนังอาคารที่มีรอยแตกขนาดต่างๆ โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้
ปั๊มดูดอากาศ ได้ดังตาราง

ตาราง ข-8 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกขนาดเล็ก(ลักษณะเป็นเส้น)
(SC)(P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	565±24	30.0	80.5	1013.0
2	583±24	30.0	80.5	1013.0
3	619±25	30.0	80.8	1013.3
4	642±25	30.4	82.0	1013.5
5	675±26	30.5	82.5	1014.0
6	688±26	30.5	81.9	1013.1
7	731±27	30.2	81.0	1008.7
8	767±28	30.2	81.0	1009.0
9	784±28	30.0	77.2	1009.2
10	802±28	30.0	78.0	1009.5
Total	6856±83			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-9 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกขนาดปานกลาง (ลักษณะเป็นร่องสม่ำเสมอ) (MC) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	590±24	30.2	78.2	1012.8
2	629±25	29.5	77.0	1007.8
3	653±26	30.0	80.0	1011.5
4	667±26	30.5	80.5	1013.0
5	685±26	30.5	80.2	1013.0
6	728±27	30.7	80.9	1013.2
7	770±28	30.8	81.2	1013.7
8	796±28	31.0	82.0	1014.0
9	843±29	30.5	81.0	1013.5
10	871±30	30.5	81.1	1013.5
Total	7232±85			

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-10 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากผนังคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็น
เส้นหลายรอยมารวมกัน) (JC) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	548±23	29.5	75.2	1010.5
2	559±24	29.5	75.0	1010.4
3	573±24	30.0	78.5	1012.0
4	597±24	30.7	79.2	1012.0
5	621±25	30.0	78.0	1011.0
6	642±25	30.0	78.8	1011.4
7	675±26	30.5	80.1	1012.6
8	691±26	30.9	81.0	1013.5
9	736±27	31.0	81.3	1014.4
10	752±27	31.0	79.5	1014.0
Total	6394±80			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ผลการวัดรังสีแอลฟาจากพื้นคอนกรีตในอาคาร โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้ปั๊มดูดอากาศ

ได้ดังตาราง

ตาราง ข-11 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากพื้นคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก (P) ด้วยหัววัด
สังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	478±22	27.9	79.3	1014.8
2	495±22	27.1	79.0	1014.3
3	526±23	27.0	78.0	1014.0
4	539±23	27.0	77.0	1012.5
5	554±24	27.0	77.5	1012.2
6	580±24	27.0	77.5	1012.0
7	603±25	26.8	79.0	1012.0
8	616±25	26.5	79.5	1012.3
9	594±24	26.5	78.7	1011.5
10	642±25	27.3	79.0	1012.0
Total	5627±75			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-12 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากพื้นคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นร่อง (P) ด้วยหัววัด
ตั้งกะซีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	671±26	27.6	78.5	1009.5
2	695±26	27.0	78.3	1009.0
3	721±27	27.0	78.0	1012.0
4	740±27	27.0	78.0	1012.2
5	689±26	26.5	77.8	1011.0
6	756±27	26.5	79.0	1011.0
7	772±28	26.3	78.5	1009.8
8	851±29	26.0	80.0	1009.3
9	890±30	26.0	80.2	1010.5
10	932±31	26.0	80.5	1009.6
Total	7717±88			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-13 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากพื้นคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกเป็นเส้น (P) ด้วยหัววัด
ตั้งกะตั้งไฟ

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	582±24	26.5	77.8	1013.2
2	559±24	26.0	77.5	1012.5
3	598±24	26.2	78.3	1012.8
4	636±25	26.0	78.6	1012.5
5	650±25	26.0	78.2	1012.5
6	677±26	26.3	80.0	1013.0
7	695±26	25.5	79.6	1011.0
8	738±27	25.2	79.8	1011.7
9	751±27	25.0	80.7	1012.0
10	774±28	25.5	81.5	1014.0
Total	6660±82			

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ผลการวัดรังสีแอลฟาจากเสาคอนกรีตในอาคาร โดยใช้หัววัด ZnS(Ag) และใช้ปั๊มดูดอากาศ

ได้ดังตาราง

ตาราง ข-14 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากเสาคอนกรีตในอาคารที่ไม่มีรอยแตก (P) ด้วยหัววัด
สังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	438±21	27.0	77.5	1012.5
2	452±21	27.0	77.0	1013.2
3	414±20	27.5	75.8	1013.7
4	465±22	27.3	75.5	1013.5
5	477±22	26.8	76.0	1009.0
6	459±21	26.5	76.0	1009.5
7	489±22	26.5	77.8	1011.3
8	510±23	27.4	79.5	1012.4
9	524±23	27.5	79.0	1013.1
10	532±23	27.5	79.3	1012.3
Total	4760±69			

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-15 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากเสาคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกหลายรอย (ลักษณะเป็นเส้นหลายรอยมารวมกัน) (P) ด้วยหัววัดสังกะสีซัลไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	674±26	28.1	79.3	1014.3
2	686±26	27.5	77.0	1014.0
3	652±26	27.0	76.8	1013.1
4	695±26	27.2	77.0	1013.0
5	738±27	27.0	78.0	1013.5
6	751±27	26.8	77.5	1010.5
7	784±28	26.5	77.5	1011.4
8	830±29	27.1	79.0	1012.5
9	869±29	27.0	79.3	1013.3
10	911±30	27.0	79.0	1012.2
Total	7590±87			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-16 ผลการวัดรังสีแอลฟาจากเสาคอนกรีตในอาคารที่มีรอยแตกลักษณะเป็นเส้น (P)
ด้วยหัววัดตั้งกะตีสั่งไฟด์

hr	Count/60min	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure(mm.Hg)
1	554±24	27.5	77.4	1009.8
2	570±24	27.3	77.2	1009.3
3	538±23	27.0	76.5	1009.0
4	589±24	27.1	77.2	1011.5
5	611±25	26.7	77.0	1011.8
6	636±25	27.4	79.2	1013.2
7	653±26	27.0	79.0	1013.0
8	622±25	27.8	81.5	1014.7
9	674±26	27.5	80.0	1014.1
10	691±26	27.2	78.0	1013.5
Total	6138±78			

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณณมิต วินนุวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา) ในปีพ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นิวเคลียร์ เทคโนโลยี) ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย