

การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร

สุพิชชา จันทโรยา* โอบาส จิรเดชตระกูล จเด็จ เย็นใจ

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 0-2218-6781 โทรสาร: 0-2218-6780 E-mail : supitcha.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี และได้ทำการคำนวณค่าสมมูลของเรเดียม ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และดัชนีความเสี่ยง เพื่อประเมินอันตรายจากรังสีของวัสดุดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่า ค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีค่าอยู่ในช่วง $10.92 \pm 0.44 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $75.21 \pm 2.23 \text{ Bq kg}^{-1}$, $14.27 \pm 0.57 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $18.10 \pm 0.72 \text{ Bq kg}^{-1}$ และ $18.93 \pm 1.20 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $120.32 \pm 3.60 \text{ Bq kg}^{-1}$ ตามลำดับ และพบค่าสมมูลของเรเดียม ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และดัชนีความเสี่ยงภายใน และภายนอกสูงสุด เท่ากับ $102.55 \pm 3.35 \text{ Bq kg}^{-1}$, $0.39 \pm 0.01 \text{ mGy y}^{-1}$, 0.28 และ 0.48 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างเหล่านี้ ผลการวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากบล็อกคอนกรีตมีค่าสูงสุดเท่ากับ $0.79 \pm 0.01 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความปลอดภัย ($74 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) สำหรับวัสดุก่อสร้างที่อยู่อาศัย ที่กำหนดโดย US. EPA

คำสำคัญ: ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สมมูลของเรเดียม ปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ ดัชนีความเสี่ยง

Determination of Naturally Occurring Radioactive Elements in Portland Cement Used for Building Construction

Chanyotha Supitcha* Jiradttarakul Opas and Yenchai Chadit

Department of Nuclear Technology, Chulalongkorn University, Payathai Road, Patumwan,

Bangkok 10330, Thailand. Tel: 0-2218-6781 Fax: 0-2218-6780

E-mail : supitcha.c@chula.ac.th

Abstract

The specific activities of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in Portland cement Type-1 samples used for building construction were analyzed using gamma spectrometry technique. The radium equivalent activities (R_{eq}), absorbed dose rate (D) and hazard index (H_{ex} , H_{in}) were also calculated. The results showed that the specific activities of the three radionuclides ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in Portland cement

Type-1 samples range from $10.92 \pm 0.44 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $75.21 \pm 2.23 \text{ Bq kg}^{-1}$, $14.27 \pm 0.57 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $18.10 \pm 0.72 \text{ Bq kg}^{-1}$ and $18.93 \pm 1.20 \text{ Bq kg}^{-1}$ - $120.32 \pm 3.60 \text{ Bq kg}^{-1}$, respectively. It has been found that the maximum values of R_{eq} , D , H_{ex} and H_{in} were $102.55 \pm 3.35 \text{ Bq kg}^{-1}$, $0.39 \pm 0.01 \text{ mGy y}^{-1}$, 0.28 and 0.48, respectively. The radon exhalation from concrete blocks made of these materials was also measured. The highest radon exhalation level of $0.79 \pm 0.01 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ was found which was much lower than the action level of $74 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ that set for building materials by US. EPA.

Keyword: Portland cement Type-1, the radium equivalent activities, absorbed dose rate, hazard index

บทนำ

ส่วนประกอบของเปลือกโลกมีสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดโลกปะปนอยู่ในปริมาณน้อยแต่ในระดับที่สามารถตรวจวัดได้ สารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตั้งแต่การเกิดโลกเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Naturally Occurring Radioactive Material) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า NORM มี NORM มากกว่า 60 ชนิด ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ NORM ที่สำคัญ คือ ยูเรเนียม และทอเรียม ซึ่งสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีเป็นอนุกรมต่อเนื่องประมาณธาตุละ 10 กว่าชนิด ในสิ่งแวดล้อมจึงมี NORM ปะปนอยู่ทั่วไปไม่ว่าจะเป็น ดิน น้ำ อากาศ พืช สัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารบ้านเรือนที่ก่อสร้างจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเป็นสถานที่ที่มนุษย์อยู่ใกล้ชิดเกือบตลอดเวลาในชีวิตประจำวัน

วัสดุก่อสร้างมีส่วนประกอบเช่นเดียวกับดิน และหิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกโลก ทำให้มีไอโซโทปกัมมันตรังสีปะปนอยู่ ตารางที่ 1 แสดงระดับของยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมในวัสดุก่อสร้างทั่วไป

ตารางที่ 1 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ ยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมที่มีอยู่ในวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยที่มีรายงานโดย NCRP[1]

Material	Uranium		Thorium		Potassium	
	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
Granite	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4	1184 (32)
Sandstone	0.45	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
Cement	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
Limestone concrete	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
Sandstone concrete	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
Dry wallboard	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)
By-product gypsum	13.7	186 (5.0)	16.1	66 (1.78)	0.02	5.9 (0.2)
Natural gypsum	1.1	15 (0.4)	1.8	7.4 (0.2)	0.5	148 (4)
Wood	-	-	-	-	11.3	3330 (90)
Clay Brick	8.2	111 (3)	10.8	44 (1.2)	2.3	666 (18)

ในปี พ.ศ.2367 Joseph Aspdin ชาวอังกฤษได้คิดค้นซีเมนต์จนประสบความสำเร็จ โดยซีเมนต์นี้เมื่อแข็งตัวจะมีสีเหลืองปนเทาเหมือนกับหินที่ใช้ก่อสร้างบริเวณเมืองพอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษจึงเรียกวัตถุนี้ว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่ผลิตได้ในปริมาณมากในประเทศอังกฤษ ได้ถูกส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมทั้งได้มีการเปิดโรงงานผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์นอกประเทศอังกฤษเกิดขึ้น เช่น ประเทศฝรั่งเศสในปี พ.ศ.2383 ประเทศเยอรมันในปี พ.ศ.2398 ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ.2414 และประเทศออสเตรเลียในปี พ.ศ.2425 ในส่วนของประเทศไทยนั้น ได้มีการเริ่มผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ครั้งแรกในปี พ.ศ.2456

เนื่องจากอาคารบ้านเรือน หรืออาคารต่าง ๆ ที่มนุษย์อยู่อาศัยล้วนมีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แทบทั้งสิ้น ดังนั้น อาคารบ้านเรือนจึงมีธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติปะปนอยู่เสมอ ดังแสดงในตารางที่ 1

จากข้อมูลค่าความแรงรังสีที่มีอยู่ในที่พักอาศัยอันเนื่องมาจากวัสดุทางธรรมชาติ ที่มีธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติปะปนอยู่ และปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ก็เป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่มีค่าความแรงรังสีจำเพาะในปริมาณที่มากพอที่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในอาคารบ้านเรือน การทำวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่ใช้สำหรับการก่อสร้างอาคาร หรือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 มาทำการวิจัยเพื่อหาปริมาณความแรงรังสีที่ได้จากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

วัสดุ และสารเคมี

1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ผลิตในประเทศไทย 4 บริษัท
 - 1.1 ตราช้าง บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
 - 1.2 ตราทิฟไอ(สีแดง) บริษัท ทีพีไอโพลีน จำกัด(มหาชน)
 - 1.3 ตราพญานาค(สีเขียว) บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด
 - 1.4 ตราอินทรีเพชร บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด
2. สารมาตรฐานแร่ยูเรเนียมของ IAEA รหัส RGU-1 ที่มียูเรเนียมเข้มข้น 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
3. สารมาตรฐานแร่ทอเรียมของ IAEA รหัส RGTh-1 ที่มีทอเรียมเข้มข้น 800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
4. สารมาตรฐานแร่โพแทสเซียมของ IAEA รหัส RGK-1 ที่มีโพแทสเซียมเข้มข้น 448 กรัม/กิโลกรัม
5. ต้นกำเนิดรังสี ^{226}Ra แบบปิดผนึกเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2523 ความแรงรังสี 0.964 μCi
6. กาวซิลิโคน

7. ภาชนะพลาสติกกลมใสแบบมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร สูง 3.5 เซนติเมตร
8. ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมแบบมีฝาปิดขนาด 23 เซนติเมตร × 34 เซนติเมตร × 16 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×สูง)
9. แบบขึ้นรูปคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร × 15 เซนติเมตร × 15 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×สูง)
10. หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe) ของ CANBERRA มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (relative efficiency) ที่พลังงาน 1.332 MeV เท่ากับ 30 %
11. เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (Multichannel analyzer; MCA) รุ่น Inspector 2000 พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงาน Genie-2000 ของ CANBERRA
12. เครื่องมือวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (RAD7)
13. เครื่องกำบังรังสี (Shield) ของ CANBERRA

วิธีการ

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และสารมาตรฐาน ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

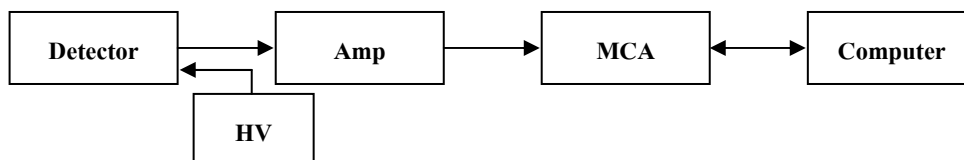
1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 สารมาตรฐาน ยูเรเนียม สารมาตรฐานทอเรียม และสารมาตรฐานโพแทสเซียม สำหรับการวัดค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม ค่าดัชนีความเสี่ยง และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

(1) จัดเตรียมตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่าง และสารมาตรฐานยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม บรรจุลงในภาชนะความร้อน แล้วนำเข้าเตาไฟฟ้าชนิดปรับอุณหภูมิได้ ปรับอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(2) นำตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่าง และสารมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างที่ผ่านการอบความร้อน และตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องมาร้อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช จากนั้นบรรจุลงในภาชนะพลาสติกกลมแบบมีฝาปิด จำนวนอย่างละ 1 ตัวอย่าง บันทึกน้ำหนัก ทำการปิดผนึกภาชนะที่ใส่ตัวอย่างด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่วซึม ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลแบบเชกูลาร์ โดยอ้างอิงจากความสัมพันธ์ระหว่าง ^{226}Ra กับ ^{222}Rn ซึ่งเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีลูกของ ^{226}Ra พบว่า เพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุลแบบเชกูลาร์ ดังนั้นหากเริ่มต้นด้วยนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra จะต้องใช้เวลาประมาณ 7 เท่าของค่าครึ่งชีวิตนิวไคลด์กัมมันตรังสีลูก ^{222}Rn (3.82 วัน) หรือประมาณ 27 วัน สำหรับการเข้าสู่ภาวะสมดุลแบบเชกูลาร์ร้อยละ 99

1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม ค่าดัชนีความเสี่ยง และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 สารมาตรฐานยูเรเนียม สารมาตรฐานทอเรียม และสารมาตรฐานโพแทสเซียม

(1) จัดระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 1 แผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา

(2) วัดรังสีแบคกราวด์ภายในวัสดุกำบังรังสีขณะที่ไม่มีตัวอย่างเป็นเวลา 3600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จาก ^{214}Bi , พลังงาน 911 keV จาก ^{228}Ac และ พลังงาน 1,460 keV จาก ^{40}K

(3) นำสารมาตรฐานยูเรเนียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 3600 วินาที หาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra ในตัวอย่าง

(4) นำสารมาตรฐานทอเรียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 3600 วินาที หาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 911 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะของ ^{228}Ra ในตัวอย่าง

(5) นำสารมาตรฐานโพแทสเซียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 3600 วินาที หาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1,460 keV สำหรับคำนวณปรับเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะของ ^{40}K ในตัวอย่าง

(6) นำสารตัวอย่าง เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 864,000 วินาที (24 ชั่วโมง) และหาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV, 911 keV และ 1,460 keV

(7) นำอัตรานับรังสีต่อวินาทีที่ได้จากข้อ (3) ถึง (6) ของสารมาตรฐานยูเรเนียม สารมาตรฐานทอเรียม สารมาตรฐานโพแทสเซียม และสารตัวอย่าง ตามลำดับ หักลบกับค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของแบคกราวด์ที่ได้จากข้อ (2) ค่าที่ได้คือ ค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของสารมาตรฐาน (R_{Std}) และค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของสารตัวอย่าง (R_{Sample})

(8) หาค่าการดูดกลืนโดยตัวเองของตัวอย่าง โดยการวางคานำเนดรังสี ^{226}Ra ไว้บนภาชนะบรรจุที่ว่างเปล่า ทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV ค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีที่ได้คือ I_0

(9) วางต้นกำเนิดรังสี ^{226}Ra ไว้บนภาชนะบรรจุที่มีสารตัวอย่าง ทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 600 วินาที และหาอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV ค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีที่ได้คือ I_x

(10) หาค่าการดูดกลืนโดยตัวเองของสารมาตรฐาน โดยทำเหมือนกับข้อ (9)

(11) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองในตัวอย่าง และสารมาตรฐานดังสมการที่ 1

$$f_{ab} = \frac{\ln(I_0 / I_x)}{1 - (I_x / I_0)} \quad (1)$$

เมื่อ f_{ab} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเอง

I_0 คือ ค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านขณะไม่มีสารตัวอย่าง

I_x คือ ค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง

(12) คำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K , ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอก (H_{ex}) และภายในร่างกาย (H_{in}) และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) จากตัวอย่าง ตามสมการที่ (2), (3), (4), (5) และ (6) ตามลำดับ

การคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

$$A_{(\text{Sample})} = A_{(\text{Std})} \times \frac{Wt_{(\text{Std})}}{Wt_{(\text{Sample})}} \times \frac{R_{(\text{Sample})}}{R_{(\text{Std})}} \times \frac{f_{ab(\text{Sample})}}{f_{ab(\text{Std})}} \quad (2)$$

เมื่อ $A_{(\text{Std})}$ คือ ความแรงรังสีของสารมาตรฐาน (pCi g^{-1})

$A_{(\text{Sample})}$ คือ ความแรงรังสีของสารตัวอย่าง (pCi g^{-1})

$Wt_{(\text{Std})}$ คือ น้ำหนักสารมาตรฐาน (g)

$Wt_{(\text{Sample})}$ คือ น้ำหนักสารตัวอย่าง (g)

$R_{(\text{Std})}$ คือ อัตรานับรังสีสุทธิของสารมาตรฐาน (counts s^{-1})

$R_{(\text{Sample})}$ คือ อัตรานับรังสีสุทธิของสารตัวอย่าง (counts s^{-1})

$f_{ab(\text{Std})}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองของสารมาตรฐาน

$f_{ab(\text{Sample})}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองของสารตัวอย่าง

ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq})

$$\text{Ra}_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \quad (3)$$

ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอก (H_{ex})

$$H_{\text{ex}} = \frac{A_{\text{Ra}}}{370} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} + \frac{A_{\text{K}}}{4810} \quad (4)$$

ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายในร่างกาย (H_{in})

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \quad (5)$$

โดย Ra_{eq} คือ ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม (Bq/kg)

A_{Ra} คือ ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra (Bq/kg)

A_{Th} คือ ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ ^{232}Th (Bq/kg)

A_K คือ ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ ^{40}K (Bq/kg)

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) จากตัวอย่าง

$$D = 0.427A_U + 0.662A_{Th} + 0.0432A_K \quad (6)$$

โดย A_U คือ ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของ ^{238}U (Bq kg⁻¹)

A_{Th} คือ ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของ ^{232}Th (Bq kg⁻¹)

A_K คือ ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของ ^{40}K (Bq kg⁻¹)

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอน ด้วยเครื่องมือวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน RAD7 ของตัวอย่างบล็อกคอนกรีตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

(1) จัดระบบวัดหาค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนด้วยเครื่องมือวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน RAD7

(2) ทำการตรวจวัดหาค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนของตัวอย่างบล็อกคอนกรีตในแชมเบอร์ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน ให้เกิดสมดุลทางกัมมันตรังสีของก๊าซเรดอน ด้วยเครื่องมือวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน RAD7 โดยทำการวัดหาค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

(3) กำหนดหาค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนในหน่วยของ Bq m⁻² s⁻¹ จากค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในหน่วยของ Bq m⁻³ จากเครื่องมือวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน RAD7 ตามสมการที่ (7)

$$E = \frac{C_{(t)}V\lambda}{S(1 - e^{-\lambda t})} \quad (7)$$

โดย $C_{(t)}$ คือ ค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Bq m⁻³) ที่เวลา t (s)

E คือ อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนของวัสดุ (Bq m⁻² s⁻¹)

V คือ ปริมาตรของแชมเบอร์ (m³)

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของ ^{222}Rn (2.1×10^{-6} s⁻¹)

S คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ (m²)

ผลการทดลอง

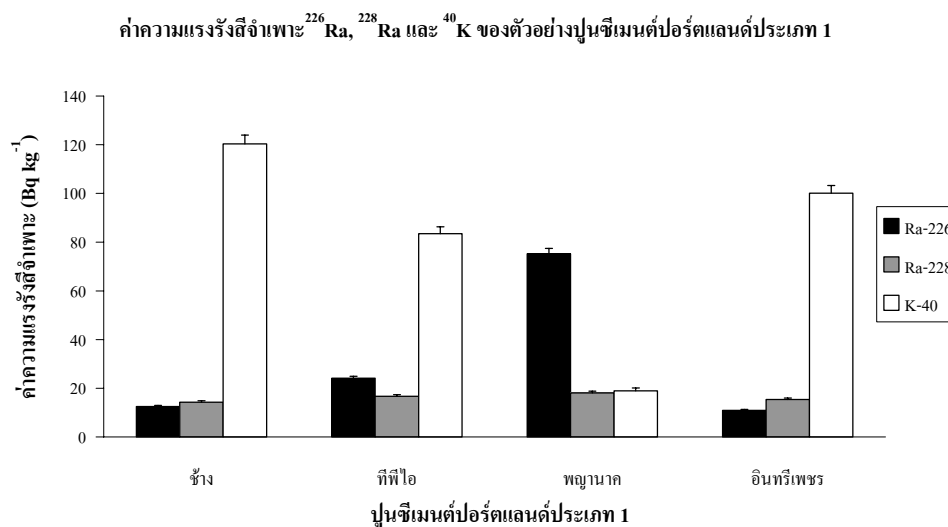
1. ผลการวิเคราะห์รังสีแกมมา

ผลการวิเคราะห์รังสีแกมมาโดยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

- ผลการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่าง
- ผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นรังสีสมมูลของเรเดียม ค่าดัชนีความเสี่ยงของตัวอย่าง และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ

1.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท

จากผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จำนวน 4 ตัวอย่างจากบริษัทผู้ผลิตภายในประเทศ ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความเข้มข้นรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีค่าอยู่ในช่วง 10.92 ± 0.44 ถึง $75.21 \pm 2.23 \text{ Bq kg}^{-1}$, 14.27 ± 0.57 ถึง $18.10 \pm 0.72 \text{ Bq kg}^{-1}$ และ 18.93 ± 1.20 ถึง $120.32 \pm 3.60 \text{ Bq kg}^{-1}$ ตามลำดับ

1.2 ผลการคำนวณวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นรังสีสมมูลของเรเดียม อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และค่าดัชนีความเสี่ยงของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

ผลการคำนวณวิเคราะห์หาค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และค่าดัชนีความเสี่ยงของตัวอย่างแต่ละประเภท สามารถคำนวณหาได้จากผลข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในข้อที่ 1.1 มาทำการคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม ค่าดัชนีความเสี่ยง และอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ ผลการคำนวณค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และค่าดัชนีความเสี่ยง แสดงดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียม อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และค่าดัชนีความเสี่ยง ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

ตัวอย่าง	ความแรงรังสี สมมูลของเรเดียม (Bq kg ⁻¹)	อัตราปริมาณรังสี ดูดกลืนในอากาศ (mGy y ⁻¹)	ค่าดัชนีความเสี่ยง	
			H _{ex}	H _{in}
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1				
ตราช้าง	42.50±1.58	0.18±0.01	0.11	0.15
ตราทีพีไอ (สีแดง)	54.45±1.95	0.22±0.01	0.15	0.21
ตราพญานาค (สีเขียว)	102.55±3.35	0.39±0.01	0.28	0.48
ตราอินทรีเพชร	40.64±1.54	0.17±0.01	0.11	0.14

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียมของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีค่าอยู่ในช่วง 40.64±1.54 ถึง 102.55±3.35 Bq kg⁻¹

อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.17±0.01 ถึง 0.39±0.01 mGy y⁻¹

ค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายนอก (H_{ex}) และค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายใน (H_{in}) ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.11 – 0.28 และ 0.14 – 0.48 ตามลำดับ

2. ผลการวิเคราะห์หาอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากตัวอย่างบล็อกคอนกรีต

สำหรับผลของการวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจวัดหาค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในหน่วยของ Bq m⁻³ ด้วยเครื่องมือวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน RAD7 โดยวัดตัวอย่างบล็อกคอนกรีต ที่ถูกบรรจุอยู่ในแชมเบอร์ และทำการตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนของตัวอย่างบล็อกคอนกรีต แสดงผลดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนของตัวอย่างบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีตจากปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	ระดับความเข้มข้นของก๊าซ เรดอน (Bq m^{-3})	อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอน ($\text{mBq m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
ตราช้าง	235 ± 15	0.41 ± 0.03
ตราทีฟไอ (สีแดง)	297 ± 17	0.52 ± 0.03
ตราพญานาค (สีเขียว)	2250 ± 32	0.79 ± 0.01
ตราอินทรีเพชร	667 ± 18	0.23 ± 0.01

จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงดังตาราง 3 ค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนในตัวอย่างบล็อกคอนกรีตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่างพบว่า ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราพญานาค (สีเขียว) มีค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนสูงสุดคือ $0.79 \pm 0.01 \text{ mBq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ รองลงมาคือ ตราทีฟไอ (สีแดง) $0.52 \pm 0.03 \text{ mBq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ตราช้าง $0.41 \pm 0.03 \text{ mBq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และตราอินทรีเพชร $0.23 \pm 0.01 \text{ mBq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ตามลำดับ

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K กับค่าประมาณความแรงรังสีจำเพาะที่มีอยู่ในวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่มีรายงานโดย NCRP ดังตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราพญานาค (สีเขียว) มีค่าความแรงรังสีจำเพาะมากกว่าค่าประมาณความแรงรังสีจำเพาะที่มีรายงานโดย NCRP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46 mBq g^{-1} (46 Bq kg^{-1}) ในขณะที่ตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 อีก 3 ตัวอย่างมีค่าความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra ไม่เกินค่าประมาณความแรงรังสีจำเพาะ ^{226}Ra ที่รายงานไว้โดย NCRP

ผลการคำนวณปรับเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะเป็นค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียมของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 พบว่า ตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียมอยู่ในช่วง 40.64 ± 1.54 ถึง $102.55 \pm 3.35 \text{ Bq kg}^{-1}$ โดยตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราพญานาค (สีเขียว) มีค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียมสูงสุด แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียมของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในลำดับประเภทที่ 1 ของระดับความปลอดภัยของความแรงรังสีสมมูลเรเดียมของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างที่กำหนดโดย UNSCEAR [2] ซึ่งกำหนดไว้ว่า ค่าความแรงรังสีสมมูลของเรเดียมในวัสดุก่อสร้างใด ๆ มีค่าไม่ควรเกิน 370 Bq kg^{-1} นั้นเหมาะสำหรับการใช้ในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย และบ้านเรือนได้

อย่างปลอดภัย ซึ่งหมายความว่า ตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้สำหรับก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยได้โดยปลอดภัย

นอกจากนี้ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะเป็นอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 พบว่าตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศอยู่ในช่วง 0.17 ± 0.01 ถึง $0.39 \pm 0.01 \text{ mGy y}^{-1}$ ซึ่งอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศของตัวอย่างทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศที่ยอมรับได้ที่กำหนดโดย ICRP ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 1.5 mGy y^{-1} [3] ดังนั้นตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้สำหรับก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยได้โดยปลอดภัย

ผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะไปเป็นค่าดัชนีความเสี่ยงอันเนื่องมาจากรังสีจากภายนอก (H_{ex}) และภายในร่างกาย (H_{in}) ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 พบว่าค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายนอก และค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายในร่างกาย ของตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.11 ถึง 0.28 และ 0.15 ถึง 0.48 ตามลำดับ เนื่องจากค่าดัชนีความเสี่ยงที่ได้จากตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ในครั้งนี้มีค่าดัชนีความเสี่ยงจากรังสีภายนอกอันเนื่องมาจากรังสีแกมมา และภายในอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนต่ำกว่า 1 ทุกประเภทตัวอย่าง ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ในครั้งนี้มีความปลอดภัยทางรังสีสำหรับการใช้เป็นวัสดุสำหรับการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย

จากผลการวิเคราะห์หาอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากตัวอย่างบล็อกลอนกริตขนาดมาตรฐานสำหรับการทดสอบ ในอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักตามมาตรฐานการผสมคอนกรีตสำหรับก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย จากตัวอย่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนของตัวอย่างบล็อกลอนกริตทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.23 ± 0.01 ถึง $0.79 \pm 0.01 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ โดยตัวอย่างบล็อกลอนกริตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายภูเขา (สีเขียว) มีค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนสูงที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนของตัวอย่างบล็อกลอนกริตในงานวิจัยนี้กับเกณฑ์กำหนดระดับอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนภายในที่พักอาศัย พบว่ามีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้สำหรับที่พักอาศัยที่มีค่าไม่เกิน $74 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ [4] ดังนั้นตัวอย่างบล็อกลอนกริตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทั้ง 4 ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ในครั้งนี้มีความปลอดภัยอันเนื่องมาจากอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอน

ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ผลิตภายในประเทศไทย มีความปลอดภัยต่อการนำไปเป็นวัสดุสำหรับการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย โดยไม่มีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีต่อผู้ที่อาศัย หรือทำงานในบริเวณนั้น

เอกสารอ้างอิง

1. Radiation information networks. Radioactivity in Nature. [Online]. Idaho State University. Available from: <http://www.physics.isu.edu/radinf/natural.htm>. [1991, May]
2. 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. (New York: United Nations).
3. J. Beretka, P.J. Mathew. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. Health Physics Society 48(1985): 87 – 95.
4. U.S. Environmental protection agency. Radon measurement methods. [Online]. Available from: <http://www.epa.gov/iaq/radon/methods.html>. [2003, June 25]