อิทธิพลของวัสดุปิดผิวที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตซึ่งมีฟอสโฟยิปซัมเป็นส่วนผสม

The Influence of Finishing Materials on Radon Exhalation from Concrete with Phosphogypsum Additives

ธัชพงศ์ ศรีสุวรรณ[1] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์[2] และ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์[1]

Touchaphong Srisuwan[1], Paitoon Wanabonges[2] and Chalermwat Tantasavasdi[1]

[1] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121
Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand
E-mail: hilary_jackies@hotmail.com

[2] กลุ่มงานวิจัยสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก 26120
Research Section on Environmental and Safety, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Nakhonnayok 26120, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษาการปล่อยก๊าซเรดอนจากแผ่นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟอสโฟยิปซัมในปริมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร โดยมีวัสดุปิดผิวรูปแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันในประเทศไทย 4 รูปแบบ ได้แก่ การฉาบปูนเรียบ การฉาบปูนแล้วทาทับด้วยสีน้ำมัน การฉาบปูนแล้วทาทับด้วยสีพลาสติก และการฉาบปูนแล้วปิดทับด้วยกระดาษบุผนัง ผลจากการตรวจวัด พบว่า แผ่นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟอสโฟยิปซัมและไม่มีวัสดุปิดผิวปล่อยก๊าซเรดอนออกมามากที่สุด โดยมีอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนที่ 10.45 Bq m^{-2} h^{-1} ซึ่งมากกว่าคอนกรีตธรรมดาถึง 34 เท่า แต่เมื่อนำวัสดุปิดผิวมาเคลือบหรือทาทับที่ผิวหน้า พบว่า สามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรดอนที่ถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศได้ โดยวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ การฉาบปูนที่ผิวหน้าแล้วทาทับด้วยสีพลาสติก ซึ่งสามารถลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนได้มากถึงร้อยละ 48 นอกจากนี้ เมื่อนำผลที่ได้ไปจำลองในแบบจำลองห้องพักอาศัย กรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล พบว่า แบบจำลองห้องพักอาศัยที่ใช้วัสดุก่อสร้างคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟอสโฟยิปซัม มีก๊าซเรดอนสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก เป็นเหตุให้ผู้อยู่อาศัยมีโอกาสได้รับปริมาณรังสียังผลรายปีเกินกว่าค่ามาตรฐานสากลได้ การใช้วัสดุปิดผิวสามารถช่วยลดการสะสมก๊าซเรดอนภายในห้องพักอาศัยได้และทำให้ปริมาณรังสียังผลรายปีที่ผู้อยู่อาศัยได้รับอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสากล

Abstract

This research is conducted to investigate the amounts of radon gas diffusing from various types of PG-containing concrete slabs which use 4 of the most commonly used finishing materials in Thailand: slab surfaces with plaster, surfaces with plaster and covered with oil/emulsion paints or with wallpaper, compared with that emanating from concrete slabs without PG. It was found that the concrete slab with PG additives emitted the highest amounts of radon, with an exhalation rate of 10.45 Bq m^{-2} h^{-1} that is 34 times that of normal concrete. Obviously, the use of finishing materials on surfaces can be a simple way to inhibit radon exhalation rates. Slabs covered with plaster and emulsion paint were the most effective (with a 48% reduction). Considering a concrete room of typical size through CFD simulation, the results revealed that the most exposure to radon

occurs in the model using PG-containing concrete slabs. Applying some common covering materials to internal surfaces can be a simple and economical way to mitigate the indoor radon concentrations and the corresponding annual effective dose.

Keywords

ก๊าซเรดอน (Radon Gas)
ฟอสโฟยิปซัม (Phosphogypsum)
วัสดุก่อสร้าง (Building Material)
คอนกรีต (Concrete)
วัสดุปิดผิว (Finishing Material)
โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics [CFD])

1. บทนำ: ก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อสร้าง

มลพิษทางอากาศที่สำคัญซึ่งหลายฝ่ายกำลังให้ความตระหนักถึง นอกเหนือไปจากมลพิษจากอุตสาหกรรมและการคมนาคม ก็คือ มลพิษภายในอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารโดยตรง เนื่องจากในปัจจุบันมนุษย์ใช้ชีวิตโดยเฉลี่ยอยู่ภายในอาคารมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2 ใน 3 ของช่วงชีวิต (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation [UNSCEAR], 2003) ดังนั้น หากได้รับมลพิษแม้เพียงเล็กน้อย แต่เป็นระยะเวลายาวนาน ก็สามารถก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพได้เช่นกัน

ก๊าซเรดอน จัดเป็นมลพิษทางอากาศภายในอาคารที่สำคัญชนิดหนึ่ง สามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้ในมนุษย์ และสัตว์ (International Commission on Radiation Protection [ICRP], 1994) เกิดจากการสลายตัวของแร่เรเดียม (^{226}Ra) และยูเรเนียม (^{238}U) ซึ่งพบได้ในดินและหินทั่วไปบนพื้นโลก เมื่อมนุษย์นำหิน ดิน ทรายมาใช้ในการสร้างอาคาร วัสดุเหล่านั้นก็จะปล่อยก๊าซเรดอนออกมาตามปริมาณเรเดียมที่ปะปนอยู่ ซึ่งถ้าหากอาคารเหล่านั้นไม่มีระบบระบายอากาศที่ดี ก็จะเป็นแหล่งสะสมของก๊าซเรดอนในปริมาณที่สูงจนอาจเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยได้

ถึงแม้ว่าปริมาณก๊าซเรดอนส่วนใหญ่ที่สะสมอยู่ภายในอาคารจะแพร่มาจากพื้นดิน แต่สาเหตุหลักอีกประการหนึ่งที่ไม่สามารถมองข้ามไปได้ ก็คือ ก๊าซเรดอนที่ปล่อยออกมาจากวัสดุก่อสร้าง โดยเฉพาะจากคอนกรีต เนื่องจากมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นทรายและหิน ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า ในปัจจุบัน มีการนำวัสดุที่เป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรม เช่น ฟอสโฟยิปซัม ซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากอุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งจากงานวิจัยของผู้วิจัยก่อนหน้านี้ (Srisuwan, 2006) พบว่า ฟอสโฟยิปซัมมีปริมาณเรเดียม (Ra-226) ปะปนอยู่สูงถึง 407 เบคเคอเรลต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปสร้างเป็นผนังห้องพักอาศัยทำให้เกิดการสะสมก๊าซเรดอนในปริมาณที่สูงมาก จนมีผลให้ผู้พักอาศัยมีโอกาสได้รับปริมาณรังสียังผลรายปีเกินกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานสากลกำหนดไว้ (1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี)

การวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งศึกษาถึงวิธีการลดก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อสร้าง โดยใช้วัสดุปิดผิวชนิดต่าง ๆ ที่สามารถหาได้ตามท้องตลาด ได้แก่ การฉาบปูน การทาทับด้วยสีน้ำมันหรือพลาสติก และการปิดทับด้วยกระดาษบุผนัง ซึ่งเป็นวิธีที่บุคคลทั่วไปสามารถทำได้โดยไม่ต้องอาศัยความรู้เชิงเทคนิคที่ซับซ้อน จากนั้นจึงพิจารณาถึงความสามารถในการลดปริมาณก๊าซเรดอนภายในอาคาร ตลอดจนปริมาณรังสียังผลรายปีที่ผู้อยู่อาศัยจะได้รับ

2. ระเบียบวิธีศึกษาวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรดอนของวัสดุต่าง ๆ พบว่า เมื่อนำวัสดุที่มีศักยภาพในการปล่อยก๊าซเรดอน ไปบรรจุลงในภาชนะที่ปิดสนิท โดยที่ไม่มีการรั่วซึมจากอากาศภายนอก (hermetically closed space) เมื่อเวลาผ่านไปความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในภาชนะกับอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 1 (Kovler, Perevalov, Steiner & Metzger, 2005)

$$C(t) = \frac{ES}{V\lambda}(1-e^{-\lambda t}) \qquad [1]$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในภาชนะ ($Bq\ m^{-3}$) E คือ อัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุ ($Bq\ m^{-2}\ s^{-1}$) S คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ (m^2) V คือ ปริมาตรของภาชนะ (m^3) λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของก๊าซเรดอน ($2.1 \times 10^{-6}\ s^{-1}$) และ t คือ ระยะเวลาที่ผ่านไป (s)

สมการที่ 2 จะใช้สำหรับคำนวณหาก๊าซเรดอน ณ เวลาใด ๆ ซึ่งค่าที่ได้อาจยังไม่คงที่ เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลา เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจะคงที่ โดยมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการที่ 2 (Kovler, Perevalov, Steiner & Metzger, 2005)

$$C(t) = \frac{ES}{V\lambda}\left(1-\frac{1-e^{-\lambda t}}{\lambda t}\right) \qquad [2]$$

การทดลองเริ่มจากการสร้างวัสดุทดสอบ โดยการนำผงซีเมนต์ ฟอสโฟยิปซัม หิน ทราย และน้ำ ผสมเข้าด้วยกันตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยให้มีฟอสโฟยิปซัมผสมอยู่ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เพื่อสร้างแผ่นคอนกรีตทดสอบขนาด 20 X 20 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร ซึ่งระหว่างที่ทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัวได้ใช้เครื่องสั่น (vibrator) ช่วยสั่นคอนกรีตเพื่อลดรูพรุนภายในคอนกรีตให้มีน้อยที่สุด เนื่องจากรูพรุนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุ (Kovler, Perevalov, Steiner & Metzger, 2005)

การเตรียมแผ่นคอนกรีตทดสอบ จะเตรียมทั้งหมด 6 รูปแบบ ได้แก่ แผ่นคอนกรีตธรรมดา (ไม่มีส่วนผสมของฟอสโฟยิปซัม และวัสดุปิดผิว) แผ่นคอนกรีตผสมฟอสโฟยิปซัมร้อยละ 50 (ไม่มีวัสดุปิดผิว) แผ่นคอนกรีตแผ่นคอนกรีตผสมฟอสโฟยิปซัมร้อยละ 50 ที่ฉาบปูนเรียบ ทาสีน้ำมัน หรือ สีพลาสติก หรือ ปิดด้วยกระดาษบุผนังโดยรอบทุกด้าน ซึ่งแผ่นคอนกรีตทดสอบแต่ละรูปแบบจะมีรูปแบบละ 2 แผ่น (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 แผ่นคอนกรีตทดสอบ

จากนั้นนำแผ่นคอนกรีตทดสอบทั้งหมดแยกบรรจุลงในกล่องทดลองขนาด 40 X 40 X 40 เซนติเมตร ซึ่งสร้างจากแผ่นอะคริลิกหนา 8 มิลลิเมตร มีฝาปิดสนิทกันอากาศรั่วซึม และมีวาล์วสำหรับปิดหรือเปิดเพื่อนำอากาศเข้าหรือออก ทั้ง 2 ด้าน โดยที่หลังจากบรรจุวัสดุลงในกล่องทดลองเรียบร้อยแล้วนั้น ได้ทำการหมุนเวียนอากาศภายในทั้งหมดผ่านผงถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) อุปกรณ์ดักจับผลิตภัณฑ์ลูกหลาน และผงแคลเซียมซัลไฟต์ ($CaSO_4$) เป็นระยะเวลาประมาณ 10 นาที ทั้งนี้เพื่อลดก๊าซเรดอนที่ปะปนอยู่ตลอดจนความชื้นภายในกล่องทดลองให้เหลือน้อยที่สุด

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมด จึงปิดกล่องทดลองบรรจุแผ่นคอนกรีตทดสอบ ทิ้งไว้จนเข้าสู่สมดุลกัมมันตรังสี ซึ่งสำหรับก๊าซเรดอนจะใช้ระยะเวลาประมาณ 7 เท่า ของครึ่งชีวิต หรือประมาณ 27 วัน (รูปที่2)

เมื่อครบกำหนดเวลา จึงทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในกล่องทดลอง โดยใช้วิธีการตรวจวัดแบบ Grab sampling สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบ Pulse-counting Ionization Chamber ATMOS 12 dpx (รูปที่ 3) ซึ่งในกระบวนการวัดอากาศภายในกล่องทดลองจะถูกดูดเข้าสู่เครื่องวัดที่อัตราการ 2 ลิตรต่อนาที ปริมาณก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในอากาศจะถูกวัดในหัววัด จากนั้นเครื่องจะประมวลผลแล้วแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลที่วัดได้เป็นค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในกล่องที่อยู่ในภาวะสมดุล โดยในแต่ละกล่องทดลองจะใช้ระยะเวลาในการวัดทั้งสิ้นกล่องละ 1 ชั่วโมง

รูปที่ 2 การตั้งกล่องทดลอง

รูปที่ 3 เครื่องวัดก๊าซเรดอน ATMOS 12 dpx

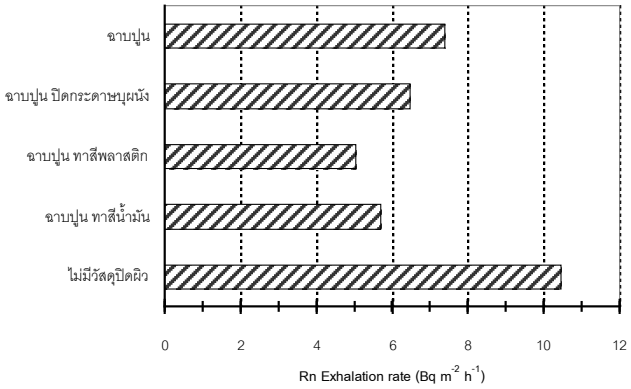
3. ผลการศึกษาวิจัย

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในกล่องทดลอง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่วัดได้จากแผ่นคอนกรีตทดสอบ

แผ่นคอนกรีตทดสอบ		ปริมาณก๊าซเรดอน ($Bq\ m^{-3}$)
คอนกรีตธรรมดา		119.5 ± 13
ผสม PG ร้อยละ 50	ไม่มีวัสดุปิดผิว	631 ± 25
	ฉาบปูน	533 ± 21.5
	ฉาบปูน และทาสีน้ำมัน	462 ± 20.5
	ฉาบปูน และทาสีพลาสติก	433 ± 19.5
	ฉาบปูน และปิดด้วยกระดาษบุผนัง	471 ± 20.5

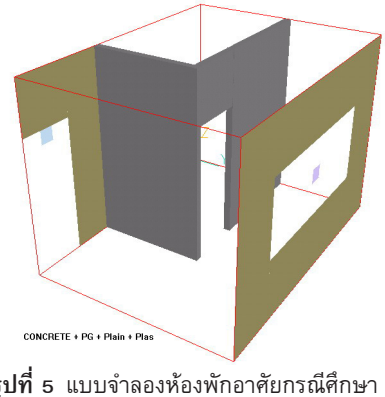
เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1 จะพบว่า แผ่นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟอสโฟยิปซัม จะให้ปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าแผ่นคอนกรีตธรรมดามาก แสดงให้เห็นถึงอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อมีการนำวัสดุปิดผิวมาเคลือบ หรือทาทับที่ผิวหน้าของวัสดุ พบว่า สามารถลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนลงได้ ซึ่งวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ การฉาบปูนที่ผิวหน้า แล้วทาทับด้วยสีพลาสติก ซึ่งช่วยลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนลงได้มากถึง 2 เท่า (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 อัตราการปล่อยก๊าซเรดอนที่วัดได้จากแผ่นคอนกรีตทดสอบที่มีส่วนผสมของฟอสโฟยิปซัมร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

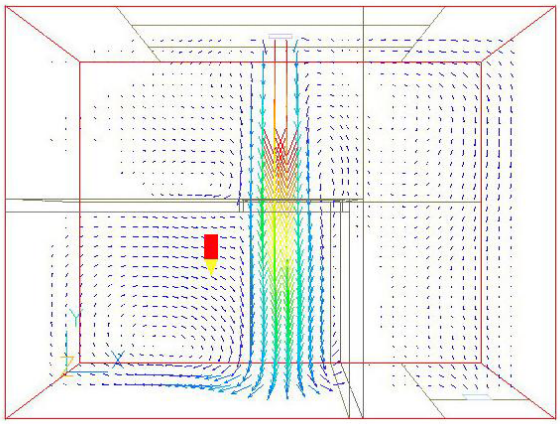
4. ปริมาณรังสีที่ได้รับจากการจำลองผลในห้องพักอาศัยกรณีศึกษา

การแสดงประสิทธิภาพของวัสดุปิดผิวในการลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อสร้าง จำเป็นต้องแสดงให้เห็นถึงกรณีตัวอย่างเมื่อวัสดุนั้นถูกนำไปใช้จริง ซึ่งสำหรับการศึกษานี้ ได้สร้างแบบจำลองห้องพักอาศัยขนาด 4 X 3 X 2.8 เมตร ประกอบด้วยหน้าต่าง ขนาด 2.4 X 1.1 เมตร เป็นช่องลมเข้าและประตูขนาด 1 X 2 เมตร เป็นช่องลมออก โดยกำหนดให้ห้องพักนี้มีอัตราการระบายอากาศที่ 0.35 ต่อชั่วโมง (Board of Standard Mechanical Systems in the Building, 2002) (รูปที่ 5)



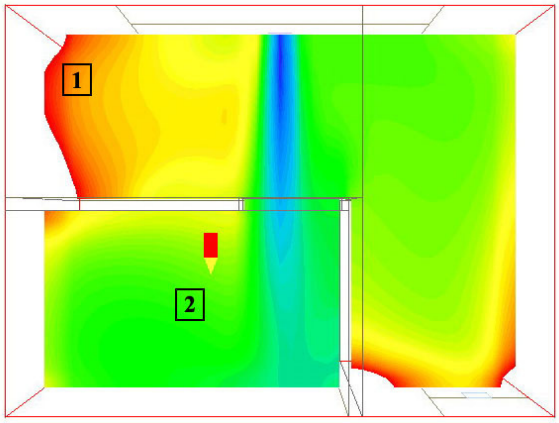
รูปที่ 5 แบบจำลองห้องพักอาศัยกรณีศึกษา

แบบจำลองห้องพักที่ได้ จะถูกนำไปใช้ประมวลผลด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) หรือ โปรแกรม PHOENICS 3.5.1 โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานให้ก๊าซเรดอนที่ปล่อยออกมากระจายอยู่ในห้อง โดยไม่มีการทำปฏิกิริยากับสสารอื่น ๆ และไม่มีการสูญหายไปด้วยกระบวนการใด ๆ นอกจากการระบายอากาศ หรือการสลายตัวไปตามธรรมชาติ โดยทุกกรณีจะใช้แบบจำลองเดียวกัน และสมมติให้การไหลของอากาศภายในห้องเป็นแบบลามินา (laminar airflow) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การไหลของอากาศในแบบจำลอง

เมื่อนำค่าอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนที่คำนวณได้จากวัสดุก่อสร้างในแต่ละรูปแบบ มาจำลองผลในแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองที่มีการสะสมของก๊าซเรดอนมากที่สุด คือ แบบจำลองที่ใช้วัสดุเป็นคอนกรีตผสมฟอสโฟยิปซัม โดยไม่มีวัสดุปิดผิวใด ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.52 Bq m^{-3} ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การกระจายของก๊าซเรดอนภายในแบบจำลองกรณีที่ใช้วัสดุก่อสร้างเป็นคอนกรีตที่มีฟอสโฟยิปซัมเป็นส่วนผสมร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

จากการจำลองในทุกกรณี พบว่า การกระจายของก๊าซเรดอนจะเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน คือ จะมีการสะสมอยู่ในบริเวณมุมห้องใกล้กับช่องเปิด (หมายเลข 1 และ 2) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการไหลเวียนของอากาศน้อย หรือแทบไม่มีเลย แต่เมื่อห้องดังกล่าวใช้วัสดุปิดผิวรูปแบบต่าง ๆ พบว่า สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้องลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล จำแนกตามรูปแบบของวัสดุที่ใช้

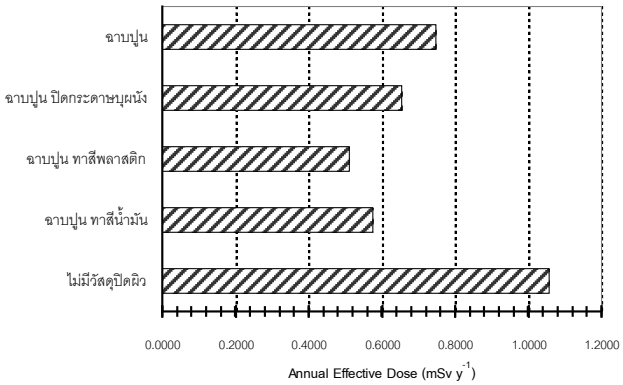
วัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง		ค่าเฉลี่ยก๊าซเรดอน ($Bq\ m^{-3}$)
คอนกรีตธรรมดา		0.982
ผสม PG ร้อยละ 50	ไม่มีวัสดุปิดผิว	33.52
	ฉาบปูน	23.69
	ฉาบปูน และทาสีน้ำมัน	18.28
	ฉาบปูน และทาสีพลาสติก	16.16
	ฉาบปูน และปิดด้วยกระดาษบุผนัง	20.76

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่า ปริมาณรังสียังผลรายปีที่ผู้อยู่อาศัยมีโอกาสได้รับ มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ จึงนำค่าที่ได้จากการจำลองไปคำนวณตามวิธีการที่เสนอโดย UNSCEAR (2000) ดังสมการที่ 3

$$H = C \times F \times T \times D \qquad [3]$$

เมื่อ C คือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในห้องพักอาศัย ($Bq\ m^{-3}$) F คือ ตัวคูณปรับค่าปริมาณรังสีสมมูล (Equilibrium factor = 0.4 สำหรับภายในอาคาร) T คือ ระยะเวลาการอยู่อาศัย (Exposure period; 7,000 ชั่วโมงต่อปี) และ D คือ ตัวคูณค่าปริมาณรังสียังผล (Dose Conversion Factor; DCF = 9×10^{-9} $Sv(Bq\ h\ m^{-3})^{-1}$) ค่าที่ได้ (H) คือ ปริมาณรังสียังผลรายปี ที่ผู้อยู่อาศัยมีโอกาสได้รับ ($mSv\ y^{-1}$) ซึ่งตามเกณฑ์มาตรฐานสากลแล้วไม่ควรเกิน 1 $mSv\ y^{-1}$ (ICRP, 1990)

จากการนำผลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณรังสียังผลรายปีที่ผู้อยู่อาศัยจะได้รับตามวิธีการข้างต้น สามารถแสดงผลได้ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 ปริมาณรังสียังผลรายปีที่ผู้อยู่อาศัยมีโอกาสได้รับ จำแนกตามประเภทวัสดุก่อสร้างที่ใช้

จากรูปที่ 8 พบว่า ห้องพักอาศัยที่ใช้คอนกรีตผสมฟอสโฟยิปซัมเป็นวัสดุก่อสร้าง โดยไม่มีการใช้วัสดุปิดผิวใด ๆ มีปริมาณรังสียังผลรายปีสูงที่สุด คือ 1.057 $mSv\ y^{-1}$ ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานสากลที่กำหนด ในขณะที่การนำวัสดุปิดผิวประเภทต่าง ๆ มาปิดที่ผิวหน้า สามารถช่วยลดปริมาณรังสียังผลรายปีให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานได้ โดยวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ การฉาบปูนที่ผิวหน้า แล้วทาสีพลาสติกทับ ซึ่งสามารถลดปริมาณรังสียังผลรายปีลงมาอยู่ที่ 0.509 $mSv\ y^{-1}$

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง สามารถสรุปผลได้ว่า การนำฟอสโฟยิปซัมมาผสมกับคอนกรีต มีผลทำให้อัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากคอนกรีตเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเรเดียมที่ปะปนอยู่ในฟอสโฟยิปซัม มีปริมาณสูงมาก ซึ่งหากนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง จะทำให้ผู้อยู่อาศัยมีโอกาสได้รับปริมาณรังสียังผลรายปี เกินกว่าเกณฑ์มาตราฐานสากลได้ การใช้วัสดุปิดผิวเพื่อลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุดังกล่าว เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งไม่ต้องใช้ความรู้เชิงเทคนิคที่ซับซ้อน หรือการลงทุนที่มาก โดยวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ การฉาบปูนที่ผิวหน้าแล้วทาทับด้วยสีพลาสติก โดยสามารถลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนจากแผ่นคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 50 ทั้งนี้ อาจเนื่องมากจากเนื้อสารที่ละเอียดของสีพลาสติก ได้เข้าไปอุดรูพรุนที่ผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งเป็นการปิดเส้นทางการแพร่ของก๊าซเรดอนออกสู่บรรยากาศภายนอก

อย่างไรก็ตาม ในสภาพความเป็นจริงแล้ว เป็นการยากที่จะสามารถใช้วัสดุปิดผิวเคลือบผิวหน้าของวัสดุก่อสร้างได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอน ไม่ได้ประสิทธิภาพเท่ากับการทดลอง นอกจากนี้ ถึงแม้การทาสีพลาสติกทับที่ผิวหน้าของวัสดุก่อสร้าง จะสามารถลดอัตราการปล่อยก๊าซเรดอนได้ แต่ก็อาจนำมาซึ่งปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารชนิดใหม่ ก็คือ สารระเหย ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อหาข้อสรุปที่ดีที่สุดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความร่วมมือกันของผู้วิจัยและผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อข้อมูล ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง และตรวจวัดผล และท้ายที่สุด ขอขอบคุณกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้จัดสรรทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

References

Board of Standard Mechanical Systems in the Building. (2002). *มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้* [Standard ventilation for acceptable indoor air quality]. The Engineering Institute of Thailand, Under H. M. The King's Patronage. Bangkok: Author.

International Commission on Radiation Protection [ICRP]. (1990). *Recommendations of the international commission on radiological protection.* Oxford: Pergamon Press.

International Commission on Radiation Protection [ICRP]. (1994). *Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters.* England: Pergamon Press.

Kovler, K., Perevalov, A., Steiner, V. & Metzger, A. (2005). Radon exhalation of cementitious materials made with coal fly ash: Part 1 and Part 2. *Journal of Environmental Radioactivity, 82*(3), 335–350.

Srisuwan, T. (2006). *การลดปริมาณก๊าซเรดอนในอาคาร กรณีศึกษาอาคารประเภทตึกแถวที่ใช้วัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีต ซึ่งมีเถ้าลอยลิกไนต์และฟอสโฟยิปซัมเป็นส่วนผสม* [Radon reduction in Shop-houses: Case study of using concrete with fly ash and phosphogypsum additives as building materials]. Master of Architecture Thesis, Thammasat University, Pathumthani, Thailand.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR]. (2000). *UNSCEAR Report: General assembly, with scientific annexes.* New York: Author.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR]. (2003). *UNSCEAR Report: Sources and biology effects of ionizing radiation.* New York: Author.