ก๊าซเรดอนในอาคารและวัสดุก่อสร้าง

Radon Gas in Buildings and Construction Materials

ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์[1]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในหลายประเทศได้ให้ความสนใจเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากคุณภาพอากาศภายในอาคารมีผลต่อสุขภาพ ความสบาย ความเป็นอยู่ของผู้พักอาศัย ก๊าซเรดอน (Rn-222) จัดเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรส เป็นสารที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์คือก่อให้เกิดมะเร็งปอด ก๊าซเรดอนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของแร่ ยูเรเนี่ยม และเรเดียม ซึ่งสามารถฟุ้งกระจายอยู่บนพื้นโลก แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนแบ่งได้ 4 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่ ยูเรเนี่ยมในดิน น้ำบาดาล วัสดุก่อสร้าง และก๊าซธรรมชาติ ก๊าซเรดอนสามารถผ่านเข้าอาคารทางรูรั่วและรอยแตกร้าวเข้าสู่ภายในอาคาร นอกจากนี้ยังสามารถเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางน้ำใช้ ก๊าซธรรมชาติ และวัสดุก่อสร้าง แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่สำคัญที่สุดคือพื้นดิน การลดการสะสมของก๊าซเรดอนในอาคารคือการสร้างอาคารให้มีระบบระบายอากาศที่ดี อาจมีการใช้แผ่นพลาสติกหรือผ้ายางชนิดพิเศษ ที่สามารถกันการซึมผ่านของก๊าซได้ปูที่พื้นอาคารก่อนทำการก่อพื้นอาคารเพื่อป้องกันก๊าซจากพื้นดินเข้าสู่อาคาร นอกจากนี้การหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซเรดอนภายในอาคารบ้านเรือน คือ การใช้วัสดุก่อสร้างที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนในปริมาณที่ต่ำ

คำสำคัญ: เรดอน, ยูเรเนี่ยม, เรเดียม, อาคาร, วัสดุก่อสร้าง

Abstract

Nowadays, many countries have significantly focused on building air quality because it can impact human health, comfort, well-being, and productivity of building occupants. Radon gas (Rn-222) is a radioactive, odourless, colourless, and tasteless noble gas. It is considered to be a health hazard, for example, lung cancer in human. It is produced during the disintegration of uranium and radium, which are dispersed throughout the earth's crust. Source of radon gas can be divided into 4 major sources including uranium in soil, water, construction materials bowels, and natural gas. Radon gas can seep into the building through cracks and holes. In addition, it gets indoor through the use of natural gas, water and construction materials. Indoor radon contribution can be released by adequate air exchange designed building. The sealing radon entry route is the direct method for radon permeability protection. The most important source of the radon is the soil in the ground. Thus the way to protect radon diffusion into the building is using plastic or special rubber sheet protection. The other way to avoid radon gas is using low radon exhalation building materials.

Keywords: radon, uranium, radium, building, construction materials

[1] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. บทนำ

ปัจจุบันในหลายประเทศได้ให้ความสนใจเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากคนส่วนใหญ่ ใช้เวลาอยู่ในอาคารเกือบร้อยละ 90 ของเวลาในแต่ละวัน ไม่ว่าจะเป็น ที่อยู่อาศัย สถานศึกษา สถานที่ทำงาน โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า และในอาคารอื่นๆ ทั้งนี้องค์การอนามัยโลก (WHO) คาดว่าร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลก อาจมีปัญหาด้านคุณภาพของอากาศภายในอาคาร ซึ่งจะนำไปสู่การเจ็บป่วยได้ [1] ในแต่ละปีประเทศไทยมีผู้ป่วยด้วยโรคภูมิแพ้กว่า 6 ล้านคน อันเนื่องมาจากสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีมลพิษมากขึ้น มลภาวะทางอากาศ และอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกในบ้านและที่ทำงานหลายชนิดที่มีสารเคมีก่อปัญหาต่อสุขภาพ หลายคนอาจไม่ทราบว่าในบ้านหรือที่ทำงานนั้นมีมลพิษและสารเคมีอยู่รอบตัวโดยที่เรามองไม่เห็น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคระบบการหายใจต่างๆ [2] โรคมะเร็ง เป็นสาเหตุการตายอันดับต้นๆ ของคนไทยมาเป็นเวลานาน จากสถิติพบว่า มะเร็งปอดเป็นสาเหตุการตายอันดับสอง รองจากมะเร็งตับ และเมื่อแยกตามภูมิภาคต่างๆ แล้ว พบว่า มีอุบัติการณ์ของโรคมากที่สุดในภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุบัติการณ์ในเพศหญิงถือได้ว่าอยู่ในอันดับต้นๆ ของโลก สำหรับสถิติในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีอุบัติการณ์เฉลี่ยของมะเร็งปอดรายปี ระหว่าง พ.ศ.2531 ถึง 2534 ในเพศชาย คือ 49.8 คนต่อแสนคน และเพศหญิง คือ 37.4 คนต่อแสนคน เมื่อพิจารณารายอำเภอ พบว่า อุบัติการณ์ของโรค พบมากที่สุดที่อำเภอสารภี และพบน้อยที่สุดที่อำเภอจอมทอง แม้ว่าจะเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า การสูบบุหรี่เป็นสาเหตุหลักของมะเร็งปอด แต่กลับไม่พบว่า เป็นปัจจัยที่สำคัญในจังหวัดเชียงใหม่ สาเหตุอื่นที่สำคัญ ได้แก่ การหายใจเอาก๊าซเรดอน ที่อยู่ในสภาพที่เป็นสารกัมมันตรังสี เข้าไปในปอด [3] ก๊าซเรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสี ซึ่งไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสามสัมผัสใดๆ ของมนุษย์ จัดเป็นมลภาวะทางอากาศที่สำคัญที่สุดประเภทหนึ่งที่หลายประเทศกำลังให้ความสนใจ เนื่องจากพบว่าก๊าซเรดอนสามารถก่อให้เกิดมะเร็งปอดในมนุษย์ โดยจัดเป็นสาเหตุอันดับสองรองจากบุหรี่ [4] การหายใจเอาก๊าซเรดอน เข้าไปในปอด เป็นสาเหตุการตายของมะเร็งปอด ในสหรัฐอเมริกา ปีละ 5,000 ถึง 20,000 ราย [3]

ก๊าซเรดอนเกิดจากการสลายตัวของแร่เรเดี่ยม ซึ่งมีอยู่ในดินและหินทั่วไปบนพื้นโลก ดังนั้นในบรรยากาศทั่วไปจึงมีก๊าซเรดอนปะปนอยู่ เมื่อเรานำดิน หิน หรือทรายที่มีแร่เรเดียมเจือปนมาก่อสร้างอาคาร วัสดุเหล่านั้นก็จะปล่อยก๊าซเรดอนออกมา โดยปริมาณนั้นจะขึ้นกับแร่เรเดียมที่ปะปนอยู่ หากอาคารไม่มีระบบระบายอากาศที่ดีก็จะเป็นแหล่งสะสมของก๊าซเรดอนในปริมาณสูง จนอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยได้ โดยเฉพาะอาคารบ้านเรือนในเมือง และในศูนย์กลางของชุมชนที่นิยมสร้างอาคารบ้านเรือนด้วยคอนกรีตประตูหน้าต่างปิดเกือบตลอดเวลา เนื่องจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ลักษณะเช่นนี้ล้วนแล้วแต่เอื้อต่อการเกิดการสะสมของก๊าซเรดอนภายในอาคารทั้งสิ้น

บทความนี้ได้นำเสนอความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับก๊าซเรดอน ผลกระทบของก๊าซเรดอนต่อสุขภาพ ความสัมพันธ์ของก๊าซเรดอนกับวัสดุก่อสร้าง เพื่อให้นำความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ไปใช้ในการออกแบบ และเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง เพื่อป้องกันและลดการสะสมของก๊าซเรดอนในอาคาร อันจะนำไปสู่สุขภาพที่ดีของผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารต่อไป

2. ก๊าซเรดอน

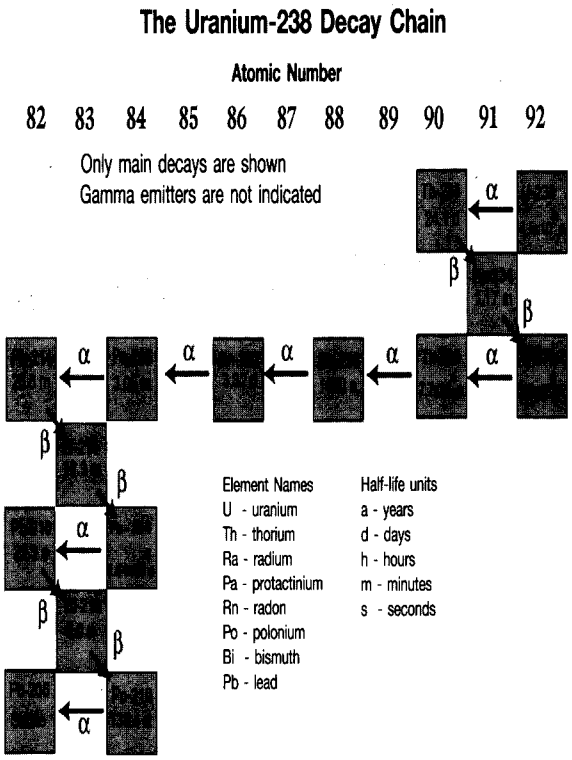
เรดอน คือ ธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 86 และสัญลักษณ์คือ Rn เรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่เป็นก๊าซเฉื่อย (Radioactive noble gas) ได้จากการแยกสลายธาตุเรเดียม เรดอนเป็นก๊าซที่หนักที่สุดและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ก๊าซเรดอนที่สะสมในบ้านเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งปอดและทำให้ผู้ป่วยในสหภาพยุโรปเสียชีวิต

ปีละ 20,000 คน ไอโซโทปของเรดอนคือ Rn-222 เรดอนมีมวลอะตอม 222 กรัม/โมล มีจุดหลอมเหลว -71 องศาเซลเซียส จุดเดือด -61.7 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 9.72 กรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่ามีน้ำหนักมากที่สุดในบรรดาก๊าซทั้งหมดในธรรมชาติ [5]

เรดอน (Rn-222) เป็นก๊าซที่อยู่ในสภาพ เป็นสารกัมมันตรังสีที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และมองไม่เห็น ดังนั้น จึงไม่สามารถตรวจจับได้ ด้วยประสาทสัมผัสของมนุษย์ สามารถพบได้ตามธรรมชาติ อันเนื่องจากการสลายตัวของแร่ธอเรียม (Tholium) และยูเรเนี่ยม (Uranium) ซึ่งเป็นแร่ที่สามารถพบได้ ในชั้นหิน และดินทั่วไปยูเรเนี่ยม (U-238) เป็นตัวเริ่มต้น ของกระบวนการแตกสลาย โดยจะแตกตัวเป็น เรเดียม (Ra-226) ซึ่งจะแตกตัวต่อไปเป็นก๊าซเรดอนและสลายตัวต่อไป เป็นสารกัมมันรังสีอื่นๆ ได้อีก ที่สำคัญ ได้แก่ โปโลเนียม 218 (Po-218) และโปโลเนียม 214 (Po-214) โดยมีค่าครึ่งชีวิต 3.82 วัน ซึ่งเมื่อสลายตัวแล้ว จะให้รังสีอัลฟ่า และถือว่าเป็นตัวต้นเหตุที่สำคัญ ของการเกิดมะเร็งปอดในมนุษย์ การสลายตัวจะสิ้นสุด เมื่อกลายเป็นตะกั่ว (Pb-206) [3] อนุกรมการสลายตัวของแร่ยูเรเนี่ยม แสดงในรูปที่ 1

แหล่งกำเนิดของก๊าซเรดอน สามารถแบ่งได้ 4 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่ ยูเรเนี่ยมในดิน น้ำบาดาล วัสดุก่อสร้าง และก๊าซธรรมชาติ ต้นกำเนิดของก๊าซเรดอนที่แท้จริง คือ แร่ยูเรเนี่ยม ดั้งนั้นก๊าซเรดอนที่มาจากพื้นดินจึงจัดเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดในการปลดปล่อยก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคารบ้านเรือน

ยูเรเนี่ยมสามารถพบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในดินและหิน ปริมาณยูเรเนี่ยมในดินและหิน จึงนับเป็นปัจจัยที่สำคัญในการใช้ประเมินศักย์เรดอน (Radon Potential) ของพื้นที่ต่างๆ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าอาคารบ้านเรือนจะไม่ได้ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีศักย์เรดอนสูง แต่ถ้าหากวัสดุก่อสร้าง เช่น ดิน อิฐ หิน ทราย นำมาจากบริเวณที่มีศักย์เรดอนสูงแล้ว อาคารเหล่านั้นก็มีโอกาสที่จะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนสูงตามไปด้วย



รูปที่ 1 อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนี่ยม [6]

นอกจากนี้ก๊าซเรดอนยังสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและการละลายจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ การที่เรดอนสามารถละลายน้ำได้นั้น ทำให้ก๊าซเรดอนสามารถถูกปลดปล่อยเข้าสู่อาคารบ้านเรือนได้เมื่อมีกิจกรรมการใช้น้ำ เช่น การอาบน้ำ การซักเสื้อผ้า การล้างภาชนะต่างๆ เป็นต้น [4]

3. ก๊าซเรดอนกับการเกิดมะเร็ง

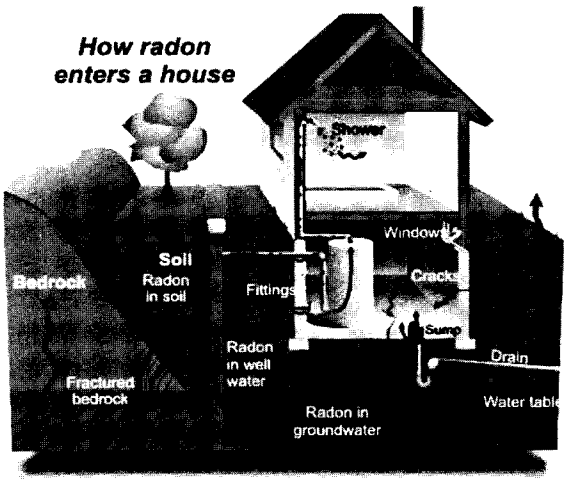
ก๊าซเรดอนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของแร่เรเดียม และยูเรเนี่ยม ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในดิน หินและน้ำ ซึ่งสามารถที่จะพบได้ทุกๆที่บนพื้นโลก ดังนั้นในบรรยากาศทั่วไปจึงมีก๊าซเรดอนปะปนอยู่ ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณแร่เรเดียมและยูเรเนี่ยมที่มีอยู่ในบริเวณนั้น ยูเรเนี่ยม พบอยู่ในหิน

ชนิดต่างๆ เช่น หินแกรนิต หินดินดาน หินฟอสเฟส และยางมะตอย ยูเรเนี่ยมจะแตกตัว เป็นเรเดี่ยม และจากนั้นจะแตกตัวปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมาในที่สุด ซึ่งก๊าซเรดอนนี้จะสามารถระเหยผ่านชั้นดินมาสู่บรรยากาศได้อย่างง่ายดาย [4, 7] สำหรับกลไกในการก่อมะเร็งนั้น เกิดจากการที่มนุษย์หายใจ เอาก๊าซเรดอนเข้าไป ซึ่งจะสลายตัวเป็น โปโลเนียม ซึ่งสามารถจับบนผิวของอนุภาคฝุ่นละออง ที่เราหายใจเข้าไปได้ ดังนั้น จึงสามารถเข้าไปฝังตัว ในระบบทางเดินหายใจได้ในทุกระดับ จากนั้นรังสีอัลฟ่าพลังงานสูง ที่ถูกปลดปล่อยออกมา จะทะลุทะลวง ทำลายเซลล์ที่อยู่โดยรอบ ได้โดยตรง โดยสันนิษฐานว่า รังสีที่ทำลายชั้น Epithelium ของหลอดลมปอด (Bronchi) เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเกิดมะเร็ง แม้ว่าเรดอนมักทำให้เกิดมะเร็งของระบบทางเดินหายใจส่วนบน แต่พบว่า สามารถทำให้เกิดมะเร็งที่ปอดได้หลายชนิด เช่น Small cell carcinoma, Adenocarcinoma, และ Squamous cell caarcinoma หลักฐานชิ้นสำคัญของการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยา ของคนงานเหมืองแร่ หลายพันคนทั่วโลก โดยใช้ระยะเวลาการศึกษากว่า 50 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในกลุ่มประชากรต่างๆ ในพื้นที่ที่ต่างกัน และด้วยวิธีการศึกษาที่ต่างกัน ล้วนแล้วแต่ให้ผลการศึกษา การก่อมะเร็งที่ตรงกัน นอกจากเรดอนจะเป็นปัจจัยเสี่ยงโดยตรง ต่อการเกิดมะเร็งปอดแล้ว จากการศึกษาในคนงานทำเหมือง ยังพบว่า ตัวแปรอื่นๆ เช่น อายุ ระยะเวลาการสัมผัส ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มสัมผัส และการสูบบุหรี่ มีความสัมพันธ์ กับการเกิดมะเร็งปอดด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสูบบุหรี่จะเพิ่มความเสี่ยง ของการเกิดมะเร็ง เป็นหลายเท่าตัว ใน ปี ค.ศ.1988 องค์กรระหว่างประเทศ เพื่อการวิจัยโรคมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer) แห่งองค์การอนามัยโลก ได้จัดประชุมผู้เชี่ยวชาญทั่วโลก และได้ข้อสรุปเป็นเอกฉันท์ว่า มีหลักฐานแน่ชัด ยืนยันได้ว่า เรดอนเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และสัตว์ เช่นเดียวกับการประชุมนักวิทยาศาสตร์ ชั้นนำทั่วโลก ซึ่งจัดโดย National Academic of Sciences, International Commission on Radiological Protection และ National Council on Radiation Protection and Measurement ได้สรุปว่าเรดอนเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งปอดในมนุษย์ [3]

4. การเข้าสู่อาคารบ้านเรือนของก๊าซเรดอนและการป้องกัน

การเข้าสู่อาคารของก๊าซเรดอนอาศัยผลต่างของความดัน (Pressure-driven transport) เป็นวิธีที่สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายที่สุด โดยจะเกิดขึ้นเมื่อความดันอากาศภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าอากาศภายนอกอาคาร ส่งผลให้เกิดแรงดึงอากาศจากภายนอกรวมทั้งอากาศจากใต้ดินเข้าสู่ตัวอาคาร ซึ่งการที่ภายในอาคารมีความดันต่ำ (Negative pressure) กว่าภายนอกนั้น เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดความต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร กระแสลม การรั่วซึมของอากาศจากภายนอก รวมถึงการใช้ระบบเครื่องกลระบายอากาศต่างๆภายในอาคาร นอกจากนี้ก๊าซเรดอนยังสามารถเข้าสู่อาคารได้แม้ว่าจะไม่เกิดความต่างความดัน ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นได้โดยกระบวนการแพร่ (Diffusion-driven transport) [4,7] ซึ่งก๊าซเรดอนจะอาศัยกระบวนการเหล่านี้ผ่านเข้ามาทางรูรั่ว และรอยแตกร้าวเข้าสู่ตัวอาคาร นอกจากนี้ก๊าซเรดอนยังสามารถเข้าสู่ตัวอาคารได้โดยผ่านทางน้ำใช้ ก๊าซธรรมชาติ และวัสดุก่อสร้าง การเข้าสู่อาคารบ้านเรือนของก๊าซเรดอนแสดงในรูปที่ 2

ดังนั้นสิ่งสำคัญอันดับแรก ในการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้ก๊าซเรดอนเข้าสู่ตัวอาคาร คือ การทราบถึงแหล่งกำเนิดของก๊าซเรดอนในอาคารนั้นๆ เช่น ศักย์ของยูเรเนี่ยมในพื้นที่ตั้งของอาคาร การเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง การป้องกันไม่ให้ก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคารผ่านรอยแตกร้าวของอาคาร และกักเก็บป้องกันไม่ให้ก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อ



รูปที่ 2 การเข้าสู่อาคารบ้านเรือนของก๊าซเรดอน [8]

สร้างปลดปล่อยเข้าสู่ตัวอาคาร [4,7]

ก๊าซเรดอนเป็นก๊าซที่ไม่สามารถสัมผัสและรับรู้ได้ โดยใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ อีกทั้งยังเป็นก๊าซเฉื่อยที่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารใดๆได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจึงสามารถกระทำได้เพียงวิธีเดียว โดยการวัดจากรังสีที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการสลายตัว ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจวัดต่างๆ ให้สามารถวัดได้ทั้งรังสี อัลฟ่า เบตา และแกรมมา [7] องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ได้แนะนำวิธีการวัดปริมาณรังสีจากก๊าซเรดอนในอาคาร ไว้หลายประเภท และได้พัฒนาคู่มือขึ้น เรียกว่า Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols โดยได้เสนอแนะวิธีการไว้ 7 แบบ ได้แก่ [3]

- Continuous Radon Monitors (CR)
- Alpha Track Detectors (AT or ATD)
- Electrets Ion Chamber Radon Detectors (EC or ES, EL)
- Activated Charcoal Adsorption Devices (AC)
- Charcoal Liquid Scintillation Devices (LS)
- Grab Radon Sampling (GB, GC, GS) Techniques
- Unfiltered Track Detectors (UT)

การสร้างมาตรฐานสำหรับใช้ควบคุมปริมาณการได้รับก๊าซเรดอนจากสิ่งแวดล้อม ทั้งภายในและภายนอกอาคาร กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทั้งในและต่างประเทศ แต่ด้วยคุณสมบัติของก๊าซเรดอนทำให้เป็นการยากที่จะกำหนด "ระดับปฏิบัติ (Action level)" ขึ้นมา ซึ่งคณะกรรมาธิการนานาชาติว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection: ICRP) ได้ให้ข้อแนะนำว่าระดับที่ถูกกำหนดให้เป็นระดับปฏิบัตินั้นจะต้องกำหนดให้ชัดเจน และต้องสามารถควบคุม หรือทำตามได้ โดยที่ระดับปฏิบัตินั้นสามารถแตกต่างกันได้ในแต่ละประเทศ [7] ในบางประเทศได้มีการกำหนด "ระดับอ้างอิง (Reference level)" ขึ้นมา ซึ่งเป็นระดับที่ใช้เป็นเกณฑ์เฉลี่ย เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : US EPA) ได้กำหนดระดับเรดอนภายในอาคารโดยเฉลี่ยไว้ที่ 148 เบคเคอเรล/ลูกบาศก์เมตร (Bq m^{-3}) หากตรวจพบว่าอาคารใดมีค่าเกินจากนี้ จะต้องรีบหาวิธีลดปริมาณก๊าซเรดอนลงให้ต่ำกว่าค่าดังกล่าวโดยเร็ว แม้ว่าในปัจจุบัน US EPA จะแนะนำให้ใช้มาตรการลดความเข้มข้นของเรดอนในอากาศภายในอาคารพักอาศัยให้มีค่าต่ำกว่า 4 pCi ต่อลิตรของอากาศ แต่กระนั้น US EPA ก็ยังเชื่อว่า ไม่มีระดับเรดอนที่ปลอดภัยจริง ไม่ว่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจะอยู่ในระดับใดก็ตาม [7] สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นของเรดอนขึ้นใช้ ซึ่งระดับที่เหมาะสมกับประเทศไทย อาจจะสูงกว่าหรือต่ำกว่ามาตรฐานของประเทศอื่นๆก็เป็นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของเรดอนเฉลี่ยทั่วประเทศ เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนขึ้นใช้ จึงเป็นการดีที่จะยอมรับมาตรฐานความเข้มข้นของ

ก๊าซเรดอนของสหรัฐอเมริกาที่ระดับ 4 pCi ต่อลิตรของอากาศ ไปก่อนจนกว่าจะสามารถพัฒนากำหนดระดับมาตรฐานของตนเองขึ้นมาใช้ในอนาคต [4]

จากการสำรวจแหล่งยูเรเนี่ยมในประเทศไทยของกรมทรัพยากรธรณี [9] พบว่าประเทศไทยมีแหล่งแร่ยูเรเนี่ยมที่สำคัญอยู่หลายแห่งทั่วประเทศ โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือและภาคใต้ จึงมีโอกาสที่พื้นที่บริเวณดังกล่าวจะเป็นพื้นที่ที่มีศักย์เรดอนสูงได้ จากการสำรวจก๊าซเรดอนในอาคาร ที่จังหวัดแพร่ ที่สำรวจโดย จุฑารัตน์ รามสูตร และคณะ [10] ซึ่งทำการสำรวจก๊าซเรดอนในอาคารบ้านเรือน 318 หลัง ในจังหวัดแพร่ สำรวจในช่วงเดือนเมษายนและเดือนธันวาคม 2540 โดยการเก็บตัวอย่างด้วยตลับบรรจุฉ่านกัมมันต์ และวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นด้วยเครื่องแกมม่า-สเปคโตรมิเตอร์ พบระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 4.00 ถึง 196.75 เบคเคอเรล/ลูกบาศก์เมตร และที่อำเภอร้องกวางมีค่าสูงเกินขีดกำหนดปลอดภัย สมบัติ สุขกายและคณะ [11] ได้ทำการสำรวจก๊าซเรดอนในอาคารบ้านเรือน 1,164 หลัง ใน 13 อำเภอ ของจังหวัดเชียงราย ทำการสำรวจในช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน 2543 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอาคาร มีค่าตั้งแต่ 4.00 ถึง 93.23 เบคเคอเรล/ลูกบาศก์เมตร และพบว่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในอาคารที่อำเภอเมือง และอำเภอแม่สลวยสูงกว่าที่อำเภอ ดอยหลวง ตัวแปรที่อาจมีอิทธิพลต่อระดับของเรดอน ได้แก่ วัสดุอาคาร อายุ และการระบายอากาศ สมชัย บวรกิตติ และคณะ [12] ทำการสำรวจก๊าซเรดอนในอาคารบ้านเรือน จำนวน 2,537 หลัง ใน 19 อำเภอของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยไม่เกินเกณฑ์ปลอดภัย คือมีค่า 148 เบคเคอเรล/ลูกบาศก์เมตร แต่พบว่ามีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างหลายอำเภออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีข้อสังเกตที่มีความสำคัญ คือพบว่าบางอำเภอที่มีระดับก๊าซเรดอนสูง ได้แก่ อำเภอดอยหล่อ, จอมทอง, ฮอด, ดอยเต่า และสะเมิง อยู่ค่อนไปทางพื้นที่ตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพเป็นแหล่งแร่ยูเรเนี่ยม พรศรี พลพงษ์และคณะ [13] ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในอาคารและที่อยู่อาศัยภายในกรุงเทพมหานคร และเขตพื้นที่ใกล้เคียง รวม 176 หลังคาเรือน พบว่ามีบ้านเรือนที่มีก๊าซเรดอนสูงเกินกว่ามาตรฐาน US EPA อยู่ถึง 39 หลังคาเรือน จากที่กล่าวมาทั้งหมด กล่าวได้ว่าการมีอยู่ของก๊าซเรดอนภายในอาคารเป็นเรื่องใกล้ตัว เป็นเรื่องที่เกิดขึ้นและมีอยู่ในเกือบทุกพื้นที่ของประเทศ

การควบคุมหรือป้องกันไม่ให้ก๊าซเรดอนเข้าสู่ตัวอาคาร คือการทราบถึงแหล่งกำเนิดของก๊าซเรดอนในอาคารนั้นๆ เช่น ศักย์ของยูเรเนี่ยมในพื้นที่ตั้ง การเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น เนื่องจากก๊าซเรดอนมีอยู่ทั่วไปทุกหนแห่ง การทำให้อาคารบ้านเรือนปราศจากก๊าซเรดอนโดยสิ้นเชิง จึงไม่สามารถที่จะกระทำได้ แต่การควบคุมปริมาณก๊าซเรดอนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สามาถกระทำได้ เทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการควบคุมระดับก๊าซเรดอนในอาคารในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกัน 3 หลักการ ได้แก่ วิธีการลดความดันที่ผิวดิน (Active soil Depressurization: ADS) วิธีการอัดความดันและเจือจาง อากาศในอาคาร (Building Pressurization and Dilution) และวิธีการปิดกั้นเส้นทางเข้าของก๊าซเรดอน (Sealing Radon Entry Route) [4,7]

วิธีการลดความดันที่ผิวดิน (Active soil Depressurization: ADS) เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้แพร่หลายในต่างประเทศ หลักการของวิธีนี้ คือ การสร้างภาวะความดันต่ำ (Negative pressure) ให้เกิดขึ้นบริเวณใต้พื้นอาคาร ซึ่งภาวะดังกล่าวจะช่วยป้องกันก๊าซที่ขึ้นมาจากพื้นดินไหลเข้าสู่ตัวอาคาร ขณะเดียวกันก็ทำให้อากาศจากอาคารไหลสู่พื้นดิน การสร้างภาวะความดันต่ำขึ้นภายในพื้นอาคาร สามารถกระทำได้โดยการติดตั้งท่อดูดก๊าซเรดอน (Radon suction pit) ที่ใต้พื้นอาคาร ท่อนี้จะถูกต่อเข้ากับท่อระบายอากาศที่วิ่งทะลุออกไปยังภายนอกอาคาร ซึ่งจะมีพัดลมดูดอากาศ (Suction fan) ระบายออกสู่ภายนอก [4,7]

วิธีการอัดความดันและเจือจาง อากาศในอาคาร (Building Pressurization and Dilution) วิธีการนี้ใช้หลักการเดียวกันกับวิธี ADS คือ การป้องกันก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคารโดยใช้ความดันอากาศเป็นเกราะ แต่แตกต่างกันในเทคนิควิธีการ กล่าวคือ วิธีการนี้จะทำให้ความดันอากาศภายในอาคารมีค่าสูงกว่าความดัน ภายนอกอาคาร ปริมาณอากาศจากภายนอกอาคาร (Fresh air) ที่ถูกนำเข้ามาภายในอาคารต้องมากกว่าอากาศที่ถูกระบายออกไป (Exhaust air) [4,7]

วิธีการปิดกั้นเส้นทางเข้าของก๊าซเรดอน (Sealing Radon Entry Route) นั้นเป็นวิธีการโดยตรงในการป้องกันก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคาร คือการปิดรอยรั่วทั้งหมดของอาคาร เนื่องจากแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่สำคัญที่สุด คือ พื้นดิน โดยก๊าซเรดอนที่อยู่ในดินจะรั่วซึมเข้าสู่อาคารผ่านทางรอยแตก รอยร้าว ของพื้นอาคารที่อยู่ติดกับพื้นดิน ดังนั้นวิธีการโดยตรงในการป้องกันก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคาร คือการปิดรอยรั่วทั้งหมดของอาคาร ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมาก ยิ่งอาคารขนาดใหญ่ด้วยแล้ว ยิ่งแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย แต่ยังมีอีกทางหนึ่งที่พอจะกระทำได้นั่นคือ อุดรอยรั่วเฉพาะจุดหลักๆที่เป็นทางเข้าของก๊าซเรดอน โดยจุดหลักที่ควรมีการอุดรอยรั่วได้แก่ รอยร้าวของพื้นผนัง และจุดเชื่อมต่อของโครงสร้าง (Expansion joints) พื้นที่รอยต่อโดนรอบของระบบท่อที่ติดตั้งผ่านพื้น หรือฐานราก งานก่อผนังใต้พื้นเป็นต้น [4,7] แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่สำคัญที่สุดคือพื้นดิน เราอาจมีการใช้ แผ่นพลาสติกหรือแผ่นยางชนิดพิเศษ ที่สามารถกันการซึมผ่านของก๊าซได้ปูที่พื้นอาคารก่อนทำการก่อพื้นอาคารเพื่อป้องกันก๊าซจากพื้นดินเข้าสู่อาคาร [7,14]

5. ก๊าซเรดอนกับวัสดุก่อสร้าง

มีการศึกษาและงานวิจัยหลายงานที่พบว่าวัสดุก่อสร้างเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดก๊าซเรดอนภายในอาคาร ดินและหินซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตวัสดุก่อสร้าง นั้นมีส่วนในการปลดปล่อยก๊าซเรดอนเข้าสู่บรรยากาศ ปริมาณของก๊าซเรดอนที่ปลดปล่อยออกมาจากดินและหินนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณขององค์ประกอบของแร่ยูเรเนี่ยม (U-238) ที่อยู่ในดินและหินนั้นๆ [15,16] นอกจากนี้ปริมาณของก๊าซเรดอนที่ปลดปล่อยออกมาจากดินและหินที่ใช้ในการทำวัสดุก่อสร้างต่างๆ ยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและปริมาณความชื้นที่อยู่ในช่องว่างหรือรูพรุนของดินและหินอีกด้วย [15,17] เมื่อปริมาณความชื้นในดินหรือหินมากขึ้นปริมาณการปลดปล่อยของก๊าซเรดอนก็จะมีมากขึ้น [15,17]

เรเดียม เป็นรังสีในอนุกรมยูเรเนี่ยม มีปริมาณน้อยมากในสิ่งแวดล้อมทั่วไป แต่ในบางกรณีในกระบวนการทางอุตสาหกรรมก็มีส่วนในการทำให้เกิดการสะสมของเรเดียมเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยของก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้น เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล การนำหินฟอสเฟต ($Ca_{10}(PO_4)6F_2$) ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันได้กรดฟอสฟอริคไปผลิตปุ๋ยเคมี และได้ฟอสฟอยิปซั่ม ($10CaSO_4.2H_2O$) ทั้งเถ้าถ่านหินและฟอสฟอยิปซั่ม มีเรเดียมสะสมอยู่ เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง หรือนำไปใช้ปรับดินให้ร่วนซุยก็จะก่อปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสี หากนำวัสดุก่อสร้างที่มีเถ้าถ่านหิน หรือมีฟอสฟอยิปซั่มไปก่อสร้างอาคารก็จะทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนเข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง [18] มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยไพฑูรย์ วรรณพงษ์ และคณะ [18] พบว่าแผ่นคอนกรีตที่มีการผสมฟอสฟอยิปซั่ม ปลดปล่อยก๊าซเรดอนมากกว่าแผ่นคอนกรีตที่มีการผสมเถ้าลอย และพบว่าก๊าซเรดอนที่ปล่อยจากแผ่นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟอสฟอยิปซั่มร้อยละ 50 ไปสร้างอาคารแบบตึกแถว เมื่อนำไปคำนวณปริมาณการรับสัมผัสกัมมันตรังสีตลอดเวลา 1 ปี(7,000 ชั่วโมง) ในห้องที่มีผนังและมีการระบายอากาศ 0.35 ต่อชั่วโมง จะได้ค่ารังสียังผลรายปี (annual effective dose) ที่ผู้อยู่อาศัยจะได้รับ 3.2 มิลลิซีเวิร์ต ซึ่งเกินค่าสูงสุด

สำหรับประชาชนทั่วไปที่กำหนดไว้คือ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า เราควรตระหนักถึงการระมัดระวังในการนำวัสดุก่อสร้างที่มีการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีมาใช้ นอกจากนี้ยังควรระมัดระวังในการนำอนุพันธ์ของฟอสฟอยิปซั่มไปใช้ในการบำรุงดิน เพื่อการเกษตรกรรมอีกด้วย

Keller และคณะ [19] ทดลองทำการศึกษาการซึมผ่านของก๊าซเรดอน และการปลดปล่อยก๊าซเรดอนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการแพร่ผ่านของก๊าซเรดอนผ่านวัสดุก่อสร้างหลายๆชนิด และการปลดปล่อยก๊าซเรดอน โดยจะวัดออกมาในรูปของสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) และอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมา (radon exhalation rate) พบว่าวัสดุก่อสร้างที่ยอมให้ก๊าซเรดอนซึมผ่านออกมาได้มีหลายชนิด เช่น สีทาบ้าน ปูนขาว เป็นต้น วัสดุที่มีเขม่าดำหรือกราไฟต์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงๆจะสามารถปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมาได้ นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบในการผลิตซีเมนต์และคอนกรีตที่ใช้วัสดุที่มีความพรุนสูงจะทำให้ก๊าซเรดอนซึมผ่านออกมาได้มาก

มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาถึงการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการตกแต่งอาคาร ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุ ได้แก่ ฝ้าผนัง หินอ่อน กระเบื้องหินชนวน กระเบื้องเซรามิกส์ และกระเบื้องพอสเลน ได้พบว่า กระเบื้องหินชนวนมีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมาได้มากกว่าวัสดุตกแต่งชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าหินแกรนิตที่นำมาใช้ในการปูพื้น ตลอดจนวัสดุตกแต่งครัวนั้น มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมาในปริมาณที่สูง จากการวิจัยพบว่าถ้าพื้นของอาคารทั้งหมดถูกปูด้วยวัสดุที่มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนที่ 300 เบคเคอเรล/ลูกบาศก์เมตร จะมีการสะสมในปริมาณ 18 เบคเคอเรล/ลูกบาศก์เมตร ในอาคารที่มีระบบระบายอากาศที่ปิดโดยอาคารนั้นมีอัตราการถ่ายเทของอากาศที่ 0.3 ต่อชั่วโมง และนอกจากนั้นยังพบว่าวัสดุตกแต่งอาคารไม่มีผลต่อการสะสมของปริมาณก๊าซเรดอนในอาคารที่มีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี สิ่งนี้ทำให้เห็นได้ว่าวัสดุที่เลือกใช้ภายในอาคารส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการสะสมของก๊าซดังกล่าวได้น้อยลงเมื่ออาคารมีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี

การเลือกใช้วัสดุในการผสมซีเมนต์เพื่อทำการก่อสร้างอาคารนั้นมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากซีเมนต์ดังกล่าว มีการศึกษาวิจัยถึงผลของวัสดุผสมในซีเมนต์ที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยของก๊าซเรดอนพบว่าการเติม ซีโอไลต์ เหล็กออกไซด์ ยิปซั่ม และอลูมิน่า ช่วยในการลดการปล่อยก๊าซเรดอนออกจากซีเมนต์ปกติที่มีการผสมเถ้าลอยลงไปได้ ถึง 64.8%

มีงานวิจัยหลายงานที่พบว่าวัสดุพอลิเมอร์ประเภทพลาสติก และยาง เป็นวัสดุที่มีการซึมผ่านของก๊าซที่ต่ำ สามารถลดการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้ มีงานวิจัยที่พบว่าพลาสติกที่มีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรขึ้นไปจะช่วยป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้ [19] Klein และคณะ [20] ทำการศึกษาถึงความสามารถของเยื่อหุ้มพลาสติกชนิดต่างๆ ในการสกัดกั้นการซึมผ่านของก๊าซเรดอน เพื่อจะใช้เยื่อหุ้มพลาสติกเหล่านั้นในการทำบรรจุภัณฑ์ของขยะของเสียที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอน ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้เยื่อพลาสติกที่มาทำการทดลองดังนี้ โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เอทิลีนไวนิลอะซีเตต (EVA) โพลิเอทิลีน (PE) และ โพลิพรอพิลีน (PP) จากผลการทดลองพบว่า โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เอทิลีนไวนิลอะซีเตต (EVA) โพลิเอทิลีน (PE) และ โพลิพรอพิลีน (PP) ที่ถูกปรับปรุงสมบัติโดยใช้รังสีแกรมมา สามารถที่สกัดกั้นการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้ดีขึ้น สามารถใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มขยะที่มีแร่เรดียม เพื่อป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้

มีงานวิจัยที่พบว่าพลาสติกที่มีโครงสร้างที่มีความสามารถในการเก็บกักก๊าซที่ดี มีรูพรุนต่ำ มี

ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้ดี เช่น โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โพลิพรอพิลีน บิสฟีนอล-เอ โพลิคาร์บอเนต (Bisphenol-A polycarbonate) โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และ โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ไกลคอล (PETG) และ [21,22]

ยางบางชนิดมีสมบัติในการเก็บกักก๊าซได้ดี ได้แก่ ยางบิวทิล (IIR) ซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่เกิดจากปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันระหว่างไอโซพรีน และไอโซบิวทิลีน ยางบิวทิลเป็นยางที่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้น้อยมาก เนื่องจากส่วนโครงสร้างที่เป็นพอลิไอโซบิวทิลีนจะมีการจัดเรียงตัวกันแน่น ยางบิวทิลโดยปกติจะนิยมใช้ทำเป็นยางในรถยนต์ [23] สมบัติดังกล่าวน่าจะมีผลให้ยางบิวทิลสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้ดี ข้อดีอีกประการของยางบิวทิลที่เหมาะแก่การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอน คือ มีความต้านทานต่อความชื้นได้ดี เนื่องจากเรดอนเป็นก๊าซที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งสามารถเข้าสู่อาคารบ้านเรือนได้จากกิจกรรมการใช้น้ำ ดังที่กล่าวมาแล้ว มีงานวิจัยที่พบว่ายางบิวทิลสามารถใช้เป็นวัสดุในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนได้ แต่ความสามารถดังกล่าวจะลดลงถ้ามีการเติมสารตัวเติมที่เป็น เขม่าดำหรือกราไฟต์ [19]

จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่า การหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซเรดอนภายในอาคารบ้านเรือน คือ การออกแบบอาคารให้มีระบบในการระบายอากาศที่ดี การออกแบบให้อาคารมีระบบที่จะสามารถระบายก๊าซเรดอนได้ การใช้วัสดุก่อสร้างที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนในปริมาณที่ต่ำ การใช้วัสดุในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคาร เช่น แผ่นพลาสติกหรือแผ่นยาง ที่สามารถกันการซึมผ่านของก๊าซได้ปูที่พื้นก่อนทำการก่อพื้นอาคารเพื่อป้องกันก๊าซจากพื้นดินเข้าสู่อาคาร

6. บทสรุป

ก๊าซเรดอนจัดเป็นก๊าซกัมมันตรังสี เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของแร่เรเดียม และยูเรเนี่ยม ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในดิน หินและน้ำ ซึ่งสามารถที่จะพบได้ทุกๆที่บนพื้นโลก ดังนั้นในบรรยากาศทั่วไปจึงมีก๊าซเรดอนปะปนอยู่ ยูเรเนี่ยมพบอยู่ในหินชนิดต่างๆ เช่น หินแกรนิต หินดินดาน หินฟอสเฟส และ ยางมะตอย ยูเรเนี่ยมจะแตกตัว เป็นเรเดี่ยม และจากนั้นจะแตกตัวปลดปล่อยก๊าซเรดอนออกมาในที่สุด ซึ่งก๊าซเรดอนนี้จะสามารถระเหยผ่านชั้นดินมาสู่บรรยากาศได้อย่างง่ายดาย เรดอนเป็นก๊าซที่ไม่มี สี ไม่กลิ่น ไม่มีรส ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา เรดอนเป็นก๊าซที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพก๊าซเรดอนที่สะสมในบ้านเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งปอด อันดับสองรองจากการสูบบุหรี่ แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนแบ่งได้ 4 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่ ยูเรเนี่ยมในดิน น้ำบาดาล วัสดุก่อสร้าง และก๊าซธรรมชาติ ก๊าซเรดอนสามารถผ่านเข้าอาคารทางรูรั่วและรอยแตกร้าวเข้าสู่ภายในอาคาร นอกจากนี้ยังสามารถเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางน้ำใช้ ก๊าซธรรมชาติ และวัสดุก่อสร้าง แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่สำคัญที่สุดคือพื้นดิน การลดการสะสมของก๊าซเรดอนในอาคารคือการสร้างอาคารให้มีระบบระบายอากาศที่ดี เพื่อลดการสะสมของก๊าซเรดอนในอาคาร การใช้วัสดุก่อสร้างที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนในปริมาณที่ต่ำ การใช้วัสดุในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซเรดอนเข้าสู่อาคารได้ดี ที่สามารถกันการซึมผ่านของก๊าซได้ปูที่พื้นก่อนทำการก่อพื้นอาคารเพื่อป้องกันก๊าซจากพื้นดินเข้าสู่อาคาร เช่น แผ่นพลาสติกหรือแผ่นยาง

เอกสารอ้างอิง

[1] วิกรม แสงศิริ และ สสิธร เทพตระการพร,2548, "กลุ่มอาการที่เกิดจากการทำงานในอาคารปิด," **วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม.**28,1.

[2] อรรถ นานา. **มลพิษและสารเคมีในบ้าน-ที่ทำงาน ผลกระทบระบบการหายใจ** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.oknation.net/blong/uthai/2008/08/21/entry-2 (1 พฤศจิกายน 2552).

[3] พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2544, "ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเรดอน ในที่อยู่อาศัย และมะเร็งปอด," **สถานการณ์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม.** 6, 6.

[4] ธัชพงศ์ ศรีสุวรรณ, 2006, "เรดอน:มหันตภัยเงียบในอาคาร." **Journal of Architectural/Planing Research and Studies,** 4, 2: 23-37.

[5] **Radon (Rn)** เรดอน [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.nectec.or.th/schoolnet/library/snet5/topic2/Rn.html (10 พฤศจิกายน 2552).

[6] **Uranium** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://pubs.usgs.gov/of/2004/1050/uranium.htm(15 พฤศจิกายน 2552).

[7] United State Environmental Protection Agency (US EPA). 2001. **Building Radon Out: A Step-by-Step Guide on How to Build Radon-Resistant Homes.** Washington DC.

[8] **Radon Gas** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.weymouth.gov.uk/home.asp?sv=1160&nav=2 (15 พฤศจิกายน 2552).

[9] กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม.2543. **แหล่งแร่ยูเรเนี่ยมในประเทศไทย**

[10] จุฑารัตน์ รามสูต, พรศรี พลพงษ์ และ สมชัย บวรกิตติ, 2541, "การสำรวจก๊าซเรดอนในอาคาร ที่จังหวัดแพร่," **วารสารวิชาการสาธารณสุข.** 7, 3: 383-385.

[11] สมบัติ สุขกาย, ธวัชชัย อิทธิพูนธนากร, จิระพงษ์ รอดภาษา, รัชนี มิตกิตติ, วิชญา พิลาแดง, อาภาภรณ์ ขจรชีพพันธ์งาม, วรรณิกา วงศ์ไกรศรีทอง, ปฐม สวรรค์ปัญญาเลิศ และสมชัย บวรกิตติ, 2543, "ก๊าซเรดอนในอาคารที่จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย," **วารสารวิชาการสาธารณสุข.** 9: 520-523.

[12] สมชัย บวรกิตติ, วิชญา พิลาแดง, ธวัชชัย อิทธิพูนธนากร และ วุฒิไกร มุ่งหมาย, 2545, "ก๊าซเรดอนในอาคารที่จังหวัดเชียงใหม่ รายงานสมบูรณ์," **วารสารวิชาการสาธารณสุข.** 11, 2: 246-250.

[13] Polpong P., Aksornintra M., Poshpakom R., and Bovornkitti S., 1995, "Indoor Radon and Lung Cancer," **Sirirat Hosp Gaz.** 47, 6: 503 – 508.

[14] **โรคตีกป่วย ภัยเงียบมนุษย์เมือง หลีกให้ห่าง ก๊าซเรดอน-ไรฝุ่น-เชื้อรา** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.otat.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=5375289&Ntype=1 (18 พฤศจิกายน 2552).

[15] Faheem M. and Matiullah., 2008, "Radon Exhalation and Its Dependence on Moisture Content from Samples of Soil and Building Materials," **Radiation Measurements.** 43, 1458-1462.

[16] Baixeras C., Erlandsson B., Ront Li. And Jonsson G., 2001, "Radon Emanation from Soil Sample," **Radiation Measurements.** 26, 441-443.

[17] Singh B. and Virk H.S., 1996, "Effect of Soil and Sand Moisture Content on Radon Diffusion Using Plastic Track Etched Detector," **Radiation Measurements.** 26, 1: 49-50.

[18] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์, ธัชพงศ์ ศรีสุวรรณ, เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์, จญาดา บุญยเกียรติ และ สมชัย บวรกิตติ, 2550, "การปล่อยแก๊สเรดอนจากวัสดุก่อสร้าง," **ธรรมศาสตร์เวชสาร.** (มกราคม-มีนาคม): 19-22.

[19] Keller G., Hoffmann B. And Feigenspan T., 2001, "Radon Permeability and Radon Exhalation of Building Materials," **The Science of the Total Environment.** 272: 85-89.

[20] Klein D., Tomasella E., Labed V., Meunier C., Cetier Ph., Robe M.C. and Chambaudet A., 1997, " Radon 222 Permeation through Different Polymer (PVC, EVA, PE and PP) after Expose to Gamma Radiation or Surface Treatment by Cold Plasma." **Beam Interaction with Materials and Atoms.** 131: 392-397.

[21] Arafa W., 2002, "Permeability of Radon-222 through Some Materials." **Radiation Measurements.** 35: 207-211.

[22] Singh S., Singh J. and Singh L., 2005, " The Study of Some Common Plaster Coating Materials and Plastic Foil as Barrier to Radon" **Radiation Measurements.** 40: 673 - 677.

[23] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, **เทคโนโลยีของยาง.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.