

การตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคนิค Ionization chamber

Measurement of Radon in Drinking Water at Amphur Meaung, Khonkhaen Province with Ionization chamber

วิทยาศาสตร์ อาจโยธา¹ พชรา โสลา²

Received: July, 2014; Accepted: February, 2015

บทคัดย่อ

การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอนในตัวอย่างน้ำบริโภค เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น จำนวนทั้งหมด 73 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดชนิด Pulse - counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่าอยู่ในช่วง 0.14 - 0.92 Bq/l และมีค่าเฉลี่ย 0.47 Bq/l เมื่อประเมินค่าความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสีสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปี พบว่าอยู่ในช่วง 0.010 - 0.066 mSv/y และมีค่าเฉลี่ย 0.033 mSv/y ซึ่งงานวิจัยนี้ยังได้เปรียบเทียบผลการวิจัยกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอน ในน้ำบริโภค ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l และค่ารังสีขนาดเสี่ยงของประชาชนที่ใช้น้ำดื่มตลอดทั้งปี มีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y

คำสำคัญ : ก๊าซเรดอน; ATMOS 12 dpx; น้ำบริโภค; ขอนแก่น

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

² สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

E-mail: v_atyotha@hotmail.com

Abstract

Determination of Radon concentration in 73 water samples at Amphur Meaung, Khonkhaen Province were determined by measuring activity of Radon using Pulse - counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx. The average activity of contaminated of Radon was found to be 0.47 Bq/l, range 0.14 - 0.92 Bq/l. The average risk of absorbed - dose for Drinking Water throughout the year was found to be 0.033 mSv/y, range 0.010 - 0.066 mSv/y. This study also compared the findings with reference to the standard of the United States Environmental Protection Agency for radon in water, which should be no more than 11 Bq/l. The radiation exposure for the public who use this drinking water throughout the year should not exceed 0.1 mSv/y.

Keywords: Radon; ATMOS 12 dpx; Drinking Water; Khonkhaen

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติ (Natural Occurring Radioactive Material) นั้นสามารถพบเห็นได้ทั่วไป ก็เพราะมาจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติทั้ง 4 อนุกรม คือ อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม อนุกรมแอกทิเนียม และอนุกรมเนพทูเนียม ซึ่งในบรรดาลูกของนิวไคลด์ต่างๆ นั้น พบว่าธาตุเรดอน 222 เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากธาตุเรเดียม 226 ซึ่งอยู่ในอนุกรมทอเรียม โดยเรดอนที่เกิดขึ้นนั้น จะสะสมอยู่ในบริเวณต่างๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ หิน พืช และอาหาร เป็นต้น (US EPA, 1991; UNSCEAR, 2000) ถึงแม้ว่าเรดอนจะมีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่สะสมอยู่ แต่ถ้ามมีการเก็บสะสมในร่างกายในปริมาณมากๆ แล้วก็จะส่งผลต่อสุขภาพ โดยถ้าประชาชนดื่มน้ำที่มีเรดอนละลายอยู่ในปริมาณสูง จะเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งในอวัยวะต่างๆ เช่น ปอด ตับ ไต และต่อมอวัยวะเพศ จากรังสีแอลฟาที่สลายตัวมาจากเรดอน ผลต่อสุขภาพอีกประการหนึ่งคือ เมื่อเรดอนระเหยจากน้ำจะให้ความเสี่ยงจากการหายใจ โดยรังสีแอลฟาจากการสลายของเรดอนจะทำลายเนื้อเยื่อปอด อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งปอด องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา US EPA พบว่าเรดอนเป็นสาเหตุการป่วยด้วยโรคมะเร็งปอดเป็นอันดับสองรองจากบุหรี่ รายงานผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเรดอนในอากาศทุกๆ 1 Bq/m³ (ถ้ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนในน้ำทุกๆ 0.001 Bq/l) ที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มโอกาสต่อการป่วยเป็นโรคมะเร็งปอดได้ถึง 1.6×10^{-4} เท่า ซึ่งการที่ก๊าซเรดอนจะเข้าสะสมในร่างกายได้นั้น มีอยู่แค่สองทางคือ การหายใจและการบริโภค ไม่ว่าจะเป็นจากน้ำ หรืออาหาร ล้วนจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ในภายหลังทั้งสิ้น (WHO, 2008; M. Tirmarche et al., 2010; ICRP, 2005) ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาในเรื่องนี้จึงร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) เพื่อทำการสำรวจปริมาณเรดอน

ในตัวอย่างน้ำดื่มที่ประชาชนใช้ในการบริโภคอยู่เป็นประจำ โดยเลือกศึกษาตัวอย่างน้ำดื่มจากหมู่บ้านต่าง ๆ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เพื่อที่จะชี้วัดถึงความปลอดภัย หาทางป้องกันความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน กำหนดมาตรฐานของน้ำดื่มที่ประชาชนในหมู่บ้านนั้น ๆ เพื่อใช้ในการบริโภค และทำการประเมินรังสีขนาดเสี่ยงของประชาชนที่จะได้รับจากการดื่มน้ำตลอดทั้งปี

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำดื่ม

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดื่มจากบ้านเรือนของประชาชนที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านต่าง ๆ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยทำการสุ่มเก็บทั้งหมด 73 ตัวอย่าง โดยใช้ขวดพลาสติกขนาด 500 mL ในการเก็บตัวอย่างน้ำ จะต้องทำการเปิดน้ำทิ้งก่อน 5 - 10 นาที หลังจากนั้นค่อยเก็บน้ำให้เต็มขวด ปิดฝาให้สนิท (ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำแสดงในรูปที่ 1) นำตัวอย่างน้ำดื่มมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดชนิด Pulse - counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดก๊าซเรดอนของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) โดยเร็วที่สุด (ไม่ควรเกิน 1 สัปดาห์) เพื่อไม่ให้ก๊าซเรดอนในน้ำสูญเสียไปมาก โดยผลที่ตรวจวัดจะถูกคำนวณย้อนกลับไปที่เวลาเก็บตัวอย่างเสมอ (National Academy Press, 1999; Richard Cothorn and Paul A. Rebers, 1990) ดังสมการที่ (1) คำนวณได้จากสมการของอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

เมื่อ A_0 = กัมมันตภาพรังสี เมื่อเวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

λ = ค่าคงตัวการสลายตัว (s^{-1})

A = กัมมันตภาพรังสี เมื่อเวลาผ่านไป t

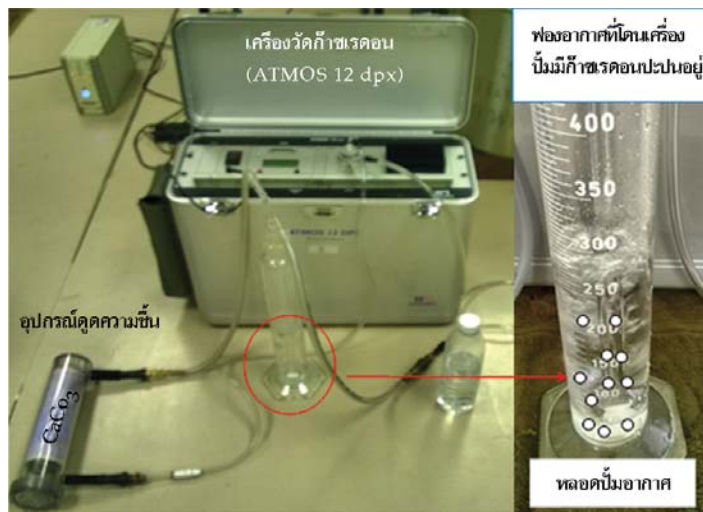
t = เวลาตั้งแต่เก็บตัวอย่างจนถึงวันที่ทำการตรวจวัด (s)



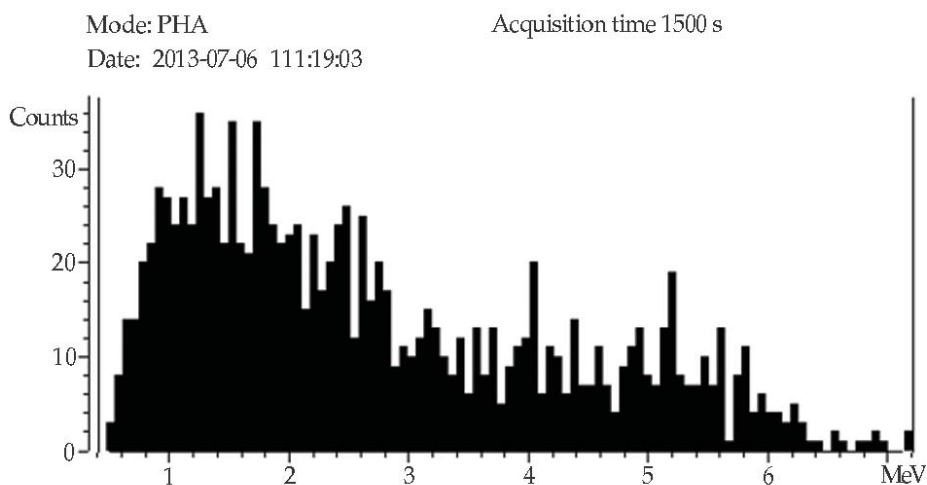
รูปที่ 1 การลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำดื่มในหมู่บ้านต่าง ๆ เขตอำเภอเมืองขอนแก่น

ขั้นตอนการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำด้วยเครื่องวัดชนิด Ionization chamber Atmos 12 DPX

ใช้วิธีการปั้มน้ำเพื่อให้เกิดฟองอากาศ ไล่ก๊าซเรดอนให้เข้าสู่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดชนิด Pulse - counting ionization chamber radon gas monitor ATMOS 12 dpx (แสดงในรูปที่ 2) ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้จะออกมาในรูปแบบของกราฟต่อเนื่อง (ดังแสดงในรูปที่ 3) ซึ่งผู้วิจัยจะต้องนำกราฟมาแยกหาค่าความแรงรังสี โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการตั้งค่าเพื่อแยกช่วงเวลาของการตรวจวัด คือ 1 ตัวอย่าง ใช้เวลา 30 นาที (แสดงในรูปที่ 3) ซึ่งจะได้ค่าความแรงรังสีเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่างน้ำออกมาในหน่วย Bq/m^3 (จะต้องทำการแปลงค่าให้เป็น Bq/l เนื่องจากตัวอย่างในการตรวจวัดเป็นของเหลว)



รูปที่ 2 วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนด้วยเทคนิค Ionization chamber



รูปที่ 3 วิธีการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของก๊าซเรดอนในช่วงเวลา 30 นาที / 1 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค Ionization chamber

การคำนวณปริมาณรังสีระดับเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำดื่มที่มีเรดอนปะปน
คำนวณได้ โดยใช้สมการของ UNSCEAR (UNSCEAR, 2000) ดังนี้

$$\text{Committed effective dose} = \text{AM} (\text{Bq/m}^3) \times 0.4 \times a (\text{day}) \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq/m}^3/\text{day} \quad (2)$$

เมื่อ AM (arithmetic means) คือ ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนในน้ำดื่ม
หน่วยเป็น Bq/m^3

0.4 คือ แฟกเตอร์สมดุล (Equilibrium Factor) สำหรับเรดอนในบ้าน กำหนดโดย United
Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)

$10^{-8} \text{ Sv/Bq/m}^3$ คือ แฟกเตอร์การเปลี่ยน (Conversion Factor) โดยคิดว่าเมื่อบุคคล
ได้ดื่มน้ำจำนวน 1 ลิตร ที่มีปริมาณเรดอน 1 Bq/m^3 ในเวลา 1 วัน จะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการดูดกลืน
รังสี 10^{-8} Sv

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าในระยะเวลา 1 ปี (365 วัน) ประชาชนได้ดื่มน้ำที่มีปริมาณเรดอน 45 Bq/m^3
จะทำให้เกิดค่าปริมาณรังสีระดับเสี่ยง เท่ากับ $45 \text{ Bq/m}^3 \times 0.4 \times 365 \text{ day} \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq/m}^3/\text{day}$
 $= 0.065 \text{ mSv/y}$ ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในน้ำดื่มต้องมีค่าปริมาณรังสีระดับเสี่ยงไม่ควรเกิน 0.1 mSv/y
(US EPA, 1991; UNSCEAR, 2000) ซึ่งจะนำไปใช้เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนใน
งานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อบ่งชี้ถึงความปลอดภัยในการดื่มน้ำของประชาชน

ผลการวิเคราะห์

ผลจากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
จำนวน 73 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น (ค่ามาตรฐานของเรดอนในน้ำดื่มควรมีค่า
ไม่เกิน 11 Bq/L (US EPA, 1991; UNSCEAR, 2000) และเมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ
เรดอนไปทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณรังสีระดับเสี่ยงสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปี แล้วนำไปเทียบกับ
เกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น (ค่ามาตรฐาน
ค่าปริมาณรังสีระดับเสี่ยงสำหรับการบริโภคน้ำตลอดทั้งปีมีค่า 0.1 mSv/y (US EPA, 1991;
UNSCEAR, 2000) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์
เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ผลที่ได้คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่า
เกณฑ์มาตรฐานมาก (ดังแสดงในรูปที่ 4) แต่พอนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้
ไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณรังสีระดับเสี่ยงสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปี แล้วนำมาเขียนกราฟแสดง
ความสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ผลที่ได้คือ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานจริง แต่แนวโน้ม
ใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าในบริเวณที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้
ในน้ำดื่มสูงกว่าบริเวณอื่นๆ นั้น ในระยะเวลานานอย่างต่อเนื่อง เรดอนสามารถสะสมตัว และมีโอกาส
ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ใช้น้ำในการบริโภคในบริเวณดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงควรเฝ้าระวัง
และหาทางป้องกันความเสี่ยงที่อาจมีผลต่อสุขภาพของประชาชนในหมู่บ้านนั้นๆ ต่อไป

อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น



รูปที่ 4 ตำแหน่งค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษา

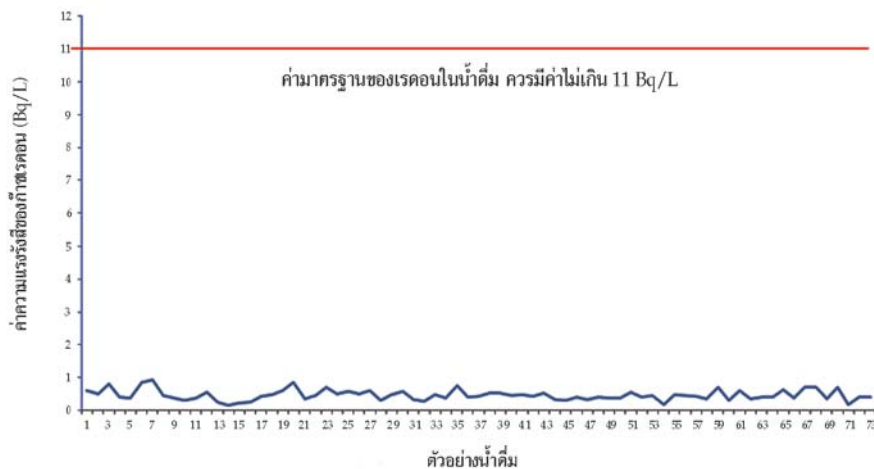
หมายเหตุ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้ (เกณฑ์มาตรฐานของเรดอนในน้ำดื่ม มีค่าไม่เกิน 11 Bq/l)

- คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ในช่วง 0.10 - 0.40 Bq/l
- ▲ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ในช่วง 0.40 - 0.70 Bq/l
- ★ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ในช่วง 0.70 - 1.00 Bq/l

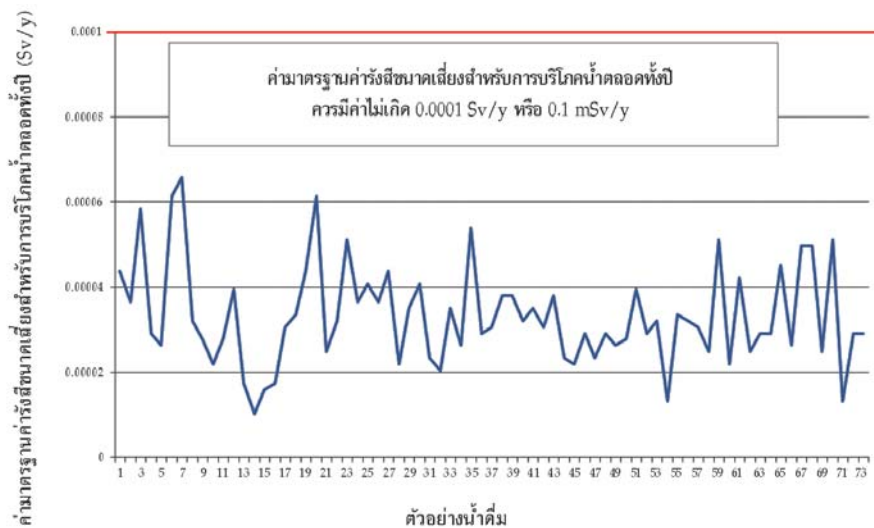
สรุปผล

จากผลวิจัยพบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น มีค่าในช่วง 0.14 - 0.92 Bq/l และมีค่าเฉลี่ย 0.47 Bq/l เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอนในน้ำดื่มควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l (US EPA, 1991; UNSCEAR, 2000) ซึ่งผลการตรวจวัดในตัวอย่างน้ำดื่มทั้งหมด มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อทำการประเมินค่าปริมาณรังสีระดับเสี่ยงสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปีพบว่า อยู่ในช่วง

0.010 - 0.066 mSv/y และมีค่าเฉลี่ย 0.033 mSv/I แล้วนำไปเทียบค่ามาตรฐานปริมาณรังสีระดับเสี่ยงสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปี มีค่า 0.1 mSv/y (US EPA, 1991; UNSCEAR, 2000) ซึ่งผลที่ได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งนั้น เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของเรดอนในน้ำดื่มเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ผลที่ได้คือ กราฟของค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของเรดอนที่ตรวจวัดได้นั้น ต่ำกว่าเกณฑ์กราฟมาตรฐานมาก (ดังแสดงในรูปที่ 5) แต่พอนำค่าปริมาณระดับเสี่ยงสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปีมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ผลที่ได้คือ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานก็จริง แต่แนวโน้มมีค่าใกล้เคียงกับกราฟเกณฑ์มาตรฐาน (ดังแสดงในรูปที่ 6) แสดงให้เห็นว่าในบริเวณที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนที่ตรวจวัดได้ในน้ำดื่มสูงกว่าบริเวณอื่นๆ นั้น ในระยะเวลานานๆ เรดอนจะสามารถสะสมตัวในร่างกายให้มีปริมาณสูงขึ้นได้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ใช้น้ำในการบริโภคอย่างต่อเนื่อง ในบริเวณดังกล่าวได้ โดยเฉพาะน้ำดื่มจากบ้านป่าเหลื่อม ตำบลคอนช้าง ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของเรดอนเท่ากับ 0.92 Bq/l วัดไชยศรี ตำบลสาวะถี และบ้านหนองเต่า ตำบลบ้านหว้า มีความเข้มรังสีเฉลี่ยของเรดอนเท่ากับ 0.86 Bq/l ดังนั้น จึงควรเฝ้าระวังและหาทางป้องกันความเสี่ยงที่อาจมีผลต่อสุขภาพของประชาชนในหมู่บ้านนั้นๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อสังเกตพฤติกรรมของเรดอนในตัวอย่างน้ำดื่มว่า มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง เกิดการสะสมตัวมากน้อยเพียงใด เพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับประชาชนในการใช้น้ำดื่ม แต่ถ้าหากประชาชนไม่มั่นใจว่าน้ำที่ใช้นั้นนั้นมีหรือไม่มีเรดอนปนเปื้อนอยู่ ท่านก็สามารถหาทางป้องกันได้ โดยการกรองน้ำก่อนใช้ผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ (Anionic Resin) (National Academy Press, 1999; ICRP, 2005) หรือใช้ไส้กรองที่ทำมาจากเส้นใยอะคริลิกเคลือบด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ด่างทับทิม) (Henrieta Dulaiova and William C. Burnett, 2004) ก็จะสามารถสกัดกั้นธาตุเรเดียม 226 (ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีแม่ที่สลายตัวให้สารกัมมันตรังสีลูกหรือเรดอนออกมานั่นเอง) ซึ่งเป็นการจำกัดเรดอนตั้งแต่ต้นทางไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำดื่มได้ หรืออาจจะใช้เครื่องกรองที่มีไส้กรองเป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง (M. Tirmarche et al., 2010; National Academy Press, 1999; ICRP, 2005) เพื่อใช้กรองเรดอนโดยตรงได้



รูปที่ 5 ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของเรดอนที่ตรวจวัดได้เทียบกับค่ามาตรฐานของเรดอนในน้ำดื่ม



รูปที่ 6 ค่าปริมาณระดับเสียงสำหรับการบริโภคน้ำตลอดทั้งปีเทียบกับค่ามาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากกลุ่มงานวิจัยสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เรื่องเอกสาร วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทน์โยธา อาจารย์ประจำสาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ

บรรณานุกรม

- คณะกรรมการพัฒนาระบบข้อมูลทะเบียนมะเร็งโรงพยาบาลขอนแก่น. (2011). รายงานทะเบียนมะเร็งประจำปี พ.ศ. 2010 โรงพยาบาลขอนแก่น. พิมพ์ครั้งที่ 1: ขอนแก่น.
- Henrieta Dulaiova and William C. Burnett. (2004). An efficient method for γ -spectrometric determination of radium - 226, 228 via maganess fibers. Tallahassee, USA: Department of Oceanography, Florida State University.
- ICRP. (2005b). International Commission on Radiological Protection. Low dose extrapolation of radiation - related cancer risk. ICRP Publication 99. Ann. ICRP 35 (4).
- M. Forte, R. Rusconi, M.T. Cazzaniga, G. Sgorbati. (2007). The measurement of radioactivity in Italian drinking waters. *Microchemical Journal*. Vol. 85. Issue 1. pp. 98-102
- M. Tirmarche, J.D. Harrison, D. Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon, J.W. Marsh. (2010). Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication. p. 115
- National Research Council: Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water. (1999). Risk Assessment of Radon in Drinking Water. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Richard Cothorn and Paul A. Rebers. (1990). Radon. Radium and Uranium in Drinking Water. Lewis Publishers. pp. 225 - 247.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). (1991). National Primary Drinking Water Regulation Radionuclides (Proposed Rules), Federal Register 56, US EPA
- UNSCEAR. (2000). United Nations. Sources and Effects of Ionization Radiation. Volume I: Sources; Volume II: Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes. United Nations sales publications E.00.IX.3 and E.00.IX.4. United Nations. New York.
- WHO (World Health Organization). (2008). Guidelines for Drinking-water Quality, Third edition incorporating the first and second addenda, WHO, Volume 1, Geneva.