

การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งจากปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของเรดอน-222 ในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วยเทคนิค RAD H₂O

Study on Factor Cancer Formation by Specific Activities of Radon - 222 in Drinking Water Samples Using RAD H₂O Technique

ไมมูน อินตัน^{1*}, ไชนิบ ดอลเฮะ¹, ดาริกา จาเออะ¹, อดุลย์สมาน สุขแก้ว¹

Maimoon Intan^{1*}, Sainap Doloh¹, Darika Jaah¹, Adulsman Sukkeaw¹

Received: 9 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของ เรดอน -222 (²²²Rn) ในตัวอย่างน้ำดื่มครัวเรือน จากแม่น้ำปัตตานี ที่ไหลผ่านบริเวณชุมชนตลาดเก่า จังหวัดยะลา จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค RAD H₂O ซึ่งผลการศึกษพบว่ามีความเข้มข้นของ ²²²Rn ในแม่น้ำปัตตานี มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 7.38 Bq/l เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอนในน้ำบริโภค ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นของ ²²²Rn ในตัวอย่างน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น แต่ยังมีอยู่ 3 บริเวณ ที่น่าเป็นห่วง และควรระวัง ได้แก่ ชุมชนจารูปพัฒนา ชุมชนจารูนอก และชุมชนมุสลิมสัมพัน์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ²²²Rn เท่ากับ 7.38, 5.13 และ 5.72 Bq/l ตามลำดับ เป็นที่ทราบดีว่ากัมมันตรังสีเป็นสารอันตรายที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแจ้งข้อมูลและแนวทางป้องกันความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งจากการใช้น้ำบริโภคที่มี ²²²Rn ปนเปื้อนอยู่ ให้แก่พยาบาล แพทย์ในชุมชน และเจ้าหน้าที่สาธารณสุขที่เกี่ยวข้องได้รับรู้ เข้าใจและสามารถแนะนำวิธีการป้องกันความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งแก่ประชากรที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ดังกล่าวได้ โดยทำการกรองน้ำก่อนใช้ทุกครั้ง ซึ่งต้องกรองน้ำผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ จะสามารถสกัดกั้น ²²²Rn (สารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากธาตุ ²²⁶Ra) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง ไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำได้ถึง ร้อยละ 99

คำสำคัญ: Radon-222, กัมมันตภาพจำเพาะ, แม่น้ำปัตตานี, ยะลา, มะเร็ง

Abstract

This work was to determine radon-222 (²²²Rn) concentration in 50 water samples collected from the old town market along Pattani River in Yala Province using RAD H₂O radon-222 (²²²Rn). The results found that the ²²²Rn concentration was at an average of 0 - 7.38 Bq/l. The finding results were compared to the reference of United States Environmental Protection Agency US EPA for radon in drinking water, which should be no more than 11 Bq/l. Our results illustrated that most samples has lower ²²²Rn concentration except three area: the Jarupattana Jarunok and Muslimsamphan communities where it was were found to be 7.38 , 5.31 and 5.72 Bq/l respectively. All 3 regions must be careful and beware. Radiation is known to a the potent carcinogen agent. Therefore, ²²²Rn must be removed from the contaminated water. It is recommended that anionic resin be used to filter the water for consumption to avoid exposure of ²²²Rn, which is a Cationic ion. To avoid consumption of ²²²Rn, Contaminated water it is recommended to use an anionic resin filter core to filter the water before use in order to prevent a risk of cancer.

Keywords: Rn-222, Specific Activities, Pattani River, Yala, cancer

¹ อาจารย์, สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

¹ Lecturer, department of Physics Faculty of Science Technoloh and Agriculture Yala Rajabhat University.

* Corresponding author; Maimoon Intan, department of Physics Physics Faculty of Science Technoloh and Agriculture Yala Rajabhat University. maimoon.i@yru.ac.th

บทนำ

เป็นที่ทราบดีว่านิวเคลียสของธาตุต่างๆ ในธรรมชาติบางชนิดเป็นนิวเคลียสเสถียร (Stable nucleus) และบางชนิดเป็นนิวเคลียสไม่เสถียร (Unstable nucleus) โดยนิวเคลียสไม่เสถียรนี้จะมีการสลาย (Decay) ปล่อยอนุภาคแอลฟาหรืออนุภาคบีตา ออกมา ทำให้โครงสร้างของนิวเคลียสเปลี่ยนไปเกิดเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ กระบวนการนี้เรียกว่า การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive decay) นิวเคลียสของธาตุที่มีการสลายเป็นนิวเคลียสใหม่จะเรียกนิวเคลียสดั้งเดิม (Parent nucleus) นิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นเรียกว่า นิวเคลียสลูก (Daughter nucleus) นิวเคลียสลูกและรังสีที่ถูกปล่อยออกมาเรียกว่า ผลผลิตการสลาย (Decay products) ซึ่งในบรรดาธาตุของนิวเคลียสต่างๆ นั้นพบว่า ธาตุเรดอน-222 (²²²Rn) เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากธาตุเรเดียม-226 (²²⁶Ra) ซึ่งอยู่ในอนุกรมทอเรียม โดยเรดอนที่เกิดขึ้นนั้น จะสะสมอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ หิน พืช และอาหาร เป็นต้น^{1,2} น้ำที่ปรากฏอยู่ในแหล่งต่าง ๆ จะมีการถ่ายเทหมุนเวียนไปมาตลอดเวลา เริ่มจากไอน้ำในบรรยากาศรวมตัวเป็นหมอก เมฆ กลั่นตัวเป็นน้ำ ตกลงสู่พื้นโลก (Precipitation) บางสภาวะอาจอยู่ในสภาพของแข็ง เช่น ลูกเห็บ น้ำฝนบางส่วนได้รับความร้อนจากผิวโลกจะระเหย (Evaporation) กลับสู่บรรยากาศก่อนถึงผิวโลก น้ำฝนที่ตกถึงพื้นจะถูกดูดซับโดยดิน จนเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเอ่อและไหลเป็น น้ำท่า (Run off) ไปตามผิวดินลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทยได้ให้ความสนใจทางด้านการศึกษาตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณ (²²²Rn) ในน้ำ อาทิเช่น การศึกษาแก๊สเรดอนปริมาณสูงในน้ำพุร้อน³ การศึกษาตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลาด้วยเทคนิคและปล่อยรังสีแอลฟายบนแผ่นพลาสติก CR -39⁴ การตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคนิค RAD H₂O⁵ การวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาล การสำรวจแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทยที่จังหวัดเชียงใหม่⁷ การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง จากปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในแม่น้ำพองเขตจังหวัดขอนแก่น⁸ เป็นต้นถึงแม้เรดอนจะมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่สะสมอยู่ แต่ถ้ามีการเก็บสะสมในร่างกายในปริมาณมาก ๆ แล้วก็จะส่งผลต่อสุขภาพ โดยถ้าประชาชนดื่มน้ำที่มีเรดอนละลายในปริมาณสูงจะเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ ไต และต่อมอวัยวะเพศ รังสีแอลฟาที่สลายตัวมาจากเรดอนจะทำลายเนื้อเยื่อปอด อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งปอด ซึ่งการที่แก๊สเรดอนจะเข้าสะสมในร่างกายได้มีอยู่แค่สองทาง คือ การหายใจ และการบริโภค ไม่ว่าจะมาจาก

น้ำหรืออาหาร ล้วนจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งสิ้น ดังนั้นผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาในเรื่องนี้ จึงได้ทำการสำรวจปริมาณ ²²²Rn ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือ แม่น้ำปัตตานี ที่ไหลผ่านจังหวัดยะลา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ประชากรส่วนใหญ่ใช้ในการอุปโภคบริโภค และเป็นแหล่งน้ำที่ผลิตน้ำประปาอีกด้วย อันตรายที่เกิดจากการได้รับรังสีของ ²²²Rn ในน้ำ เมื่อเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก จะส่งผลทั้งภายนอก และภายใน เช่น ผอมร่าง ผิวหนังไหม้เกรียมเป็นแผลเรื้อรัง เป็นมะเร็ง เป็นอันตรายต่อระบบประสาท หัวใจ เม็ดเลือด และทำให้การหมุนเวียนโลหิตเสียไป ถ้าได้รับรังสีเข้าไปในปริมาณ 400-500 เร็ม ที่ร่างกาย (REM = Radiation Equivalent Measurement เป็นหน่วยวัดมาตรฐานของ ICRU⁹ วัดความรุนแรงของผลรังสีต่อสิ่งมีชีวิต) มีโอกาสตาย ร้อยละ 50 แต่ถ้าได้รับรังสีในปริมาณ 1,000 เร็ม จะตาย ร้อยละ 100 และอันตรายของรังสีที่มีผลต่อเซลล์ในร่างกาย ก็จะส่งผลให้เกิดโรคมะเร็งในระบบต่างๆ ได้ อาทิเช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งที่กระดูก มะเร็งปอด และมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์และรังสียังส่งผลทำให้คนอายุสั้น เซลล์สืบพันธุ์ผิดปกติทำให้เด็กคลอดก่อนกำหนด เด็กเกิดมาพิการ อ่อนแอไม่แข็งแรง เป็นต้นสาเหตุที่สามารถทำให้ประชาชนเป็นโรคมะเร็งได้นั้น ก็มาจากการได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากเกินไปโดยอาจจะได้จากน้ำ อากาศ อาหาร หรือแม้แต่การสัมผัสสิ่งของที่มีการปนเปื้อนของรังสีอยู่ ก็สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ทั้งสิ้น¹⁰⁻¹² โดยเฉพาะน้ำ ซึ่งประชาชนมีความจำเป็น หรือขาดไม่ได้เลยในการดำรงชีวิต และถ้าประชาชนขาดข้อมูลว่าน้ำที่ใช้กันอยู่เป็นประจำนั้น มีการปนเปื้อนของ ²²²Rn อยู่ ก็จะทำให้ประชาชนเหล่านั้นได้รับอันตรายที่จะเกิดจากรังสี โดยไม่รู้ตัวเลย แม่น้ำปัตตานีเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติของประชาชนในเขตจังหวัดยะลาที่ไหลผ่านหมู่บ้านต่าง ๆ การตรวจวัดหาปริมาณของ ²²²Rn จึงเป็นเรื่องสำคัญเพื่อเป็นตัวชี้วัดถึงความปลอดภัยของการใช้น้ำในการบริโภค และนำค่าความเข้มข้นของ ²²²Rn เหล่านั้น มาทำเป็นค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำธรรมชาติที่ประชาชนในหมู่บ้านนั้น ๆ ในเขตจังหวัดยะลา ได้ใช้ในการบริโภคได้อย่างปลอดภัยด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ²²²Rn ที่ปะปนอยู่ในน้ำดื่มจากครัวเรือนในเขตพื้นที่ บริเวณชุมชนตลาดเก่า เขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา
2. เพื่อเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ ²²²Rn ในน้ำดื่มจากครัวเรือน กับค่ามาตรฐานสากลองค์การพิทักษ์

สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive research) โดยศึกษาความเสี่ยงที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณ ย่านชุมชนตลาดเก่า ในเขตจังหวัดยะลา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีดำเนินการเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำดื่ม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดื่มจากบ้านเรือนของประชาชนที่อาศัยในบริเวณชุมชนตลาดเก่า เขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา โดยทำการสุ่มเก็บทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต่อ 1 ตัวอย่าง ก่อนทำการเก็บตัวอย่างน้ำจะต้องเปิดน้ำทิ้ง 5-10 นาที เก็บน้ำให้เต็มขวด ปิดฝาให้สนิทจากนั้นนำตัวอย่างน้ำดื่มมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค RAD H₂O จากเครื่องวัดชนิด RAD7 Electronic radon detector ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ โดยเร็วที่สุด (ไม่ควรเกิน 1 สัปดาห์) เพื่อไม่ให้ก๊าซเรดอนในน้ำสูญเสียไปมากโดยผลที่ตรวจวัดจะถูกคำนวณย้อนกลับไปที่เวลาเก็บตัวอย่างเสมอ สามารถคำนวณหาความแรงรังสีได้จากสมการ

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

เมื่อ A คือ กัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป t มีหน่วย แบคเคอเรล (Bq)

A₀ คือ กัมมันตภาพเมื่อเวลาเริ่มต้น (t=0) มีหน่วย แบคเคอเรล (Bq)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว มีหน่วย ต่อวินาที (s⁻¹)

t คือ เวลาตั้งแต่เก็บตัวอย่างจนถึงวันที่ทำการตรวจวัด มีหน่วยวินาที (s)

2. วิธีดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซ ²²²Rn ในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วยเทคนิค RAD H₂O

ใช้ตัวอย่างน้ำในการตรวจวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยเครื่องจะปั้มน้ำเพื่อให้เกิดฟองอากาศไล่ก๊าซเรดอนให้เข้าสู่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดชนิด RAD7 Electronic radon detector ซึ่งเครื่องนี้จะทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นนิวไคลด์ลูกของเรดอน คือ ²¹⁸Po แล้วเครื่องจะทำการคำนวณย้อนกลับให้กลายเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซเรดอน เนื่องจากเครื่องวัดจะตรวจวัด 3 ชั่วโมง ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 20 นาที ซึ่งจะได้ค่าความแรงรังสีเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่างน้ำออกมาในหน่วย Bq/m³

(จะต้องทำการแปลงค่าให้เป็น Bq/L เนื่องจากตัวอย่างในการตรวจวัดเป็นของเหลว เมื่อ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 1,000 ลิตร) ในการคำนวณค่ารังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายสามารถได้จากสมการ

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

เมื่อ AM หรือ (Arithmetic means) คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณเรดอนในน้ำดื่ม หน่วยเป็น แบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร (Bq/m³)

a คือ ระยะเวลา 1 ปี (365 วัน) ที่ประชาชนได้รับปริมาณเรดอน หน่วยเป็นวัน (day)

0.4 คือ แฟกเตอร์สมดุล (Equilibrium factor) สำหรับเรดอนในบ้าน กำหนดโดย United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation³ 10⁻⁸ Sv/Bq/m³/day

คือ แฟกเตอร์การเปลี่ยน (Conversion factor) โดยคิดว่าเมื่อบุคคลได้ดื่มน้ำจำนวน 1 ลิตร ที่มีเรดอน 1 Bq/m³ ในเวลา 1 วัน จะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสี 10⁻⁸ Sv

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ²²²Rn และปริมาณรังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกาย ในน้ำดื่มครัวเรือน ย่านชุมชนตลาดเก่า จังหวัดยะลา จำนวน 50 ตัวอย่าง เนื่องจากว่าข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นและค่ารังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายมีจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำมาเสนอเพียง 5 ตัวอย่าง ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ²²²Rn สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ประชากรที่ใช้น้ำในบริเวณดังกล่าวได้ ผลการทดลองแสดงดัง Table 1

จากผลการวิจัยจะเห็นว่า เมื่อนำความเข้มข้นเฉลี่ยของ ²²²Rn ในน้ำดื่มครัวเรือนที่วัดได้ มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอนในน้ำบริโภค ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/L¹³ และค่ารังสีขนาดเสี่ยงของประชาชนที่ใช้น้ำดื่มตลอดทั้งปีมีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y¹³ ซึ่งจากความเข้มข้นของ ²²²Rn ในตัวอย่างน้ำดื่มที่วัดได้ ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น สามารถใช้ในการบริโภคได้อย่างปลอดภัย แต่ยังมี 3 บริเวณ ที่มีความเสี่ยงสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ คือ แม่น้ำปัตตานีที่ไหลผ่านชุมชนจารูพัฒนา ชุมชนจารูนอก และชุมชนมุสลิมสัมพันธ์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ²²²Rn ที่ 7.38 Bq/L (0.078 mSv/y) , 5.13 Bq/L (0.074 mSv/y) และ 5.72 Bq/L (0.083

mSv/y) ตามลำดับ เนื่องจากบริเวณทั้งสามอยู่ใกล้แนวภูเขา (ซึ่งอาจจะมิดิน หรือหินชนิดที่มีปริมาณยูเรเนียมสูง ทำให้มีการปนเปื้อนของ ²²²Rn อยู่) ซึ่งเมื่อแม่น้ำปัตตานีได้ไหลผ่านชั้นใต้ดิน/หินของภูเขาทั้งสอง จึงได้ชะล้าง และพัดพาเอา ²²²Rn ออกมาด้วย จึงเป็นสาเหตุให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ²²²Rn ในสามบริเวณนี้มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ใช้น้ำในการบริโภค บริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของ ²²²Rn นั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับต้นน้ำ (แหล่งที่มาของน้ำ) ปริมาณน้ำ และอัตราการไหลของน้ำและควรเฝ้าระวัง หาทางป้องกันความเสี่ยง

ที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชน ในชุมชนย่านตลาดเก่า อย่างต่อเนื่อง และสังเกตพฤติกรรมของเรดอนในตัวอย่างน้ำดื่มว่ามี การเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง เกิดการสะสมตัวมากน้อยเพียงใด เพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับประชาชนในการใช้น้ำดื่ม แต่ถ้าประชาชนไม่มั่นใจว่าน้ำที่ดื่มมีเรดอนปนเปื้อนอยู่ สามารถหาทางป้องกันได้โดยการกรองน้ำก่อนใช้ผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ หรือใช้ไส้กรองที่ทำมาจากเส้นใยอะคริลิกเคลือบด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ก็จะสามารถสกัดกั้นธาตุ ²²⁶Ra (เป็นสารกัมมันตรังสีแม่ที่สลายตัวให้สารกัมมันตรังสีลูก) เป็นการกำจัดเรดอนตั้งแต่ต้นทางไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำดื่มได้¹⁴

Table 1 The average concentration of ²²²Rn in drinking water.

Location	The average concentration of ²²² Rn (Bq/L)	The dose of radiation from the intake of water containing radon is mixed into the body. (mSv/y)
Jaru Pattana	7.38	0.078
Jaru nok	5.13	0.074
Tesban 5 shcool	4.92	0.071
Talad kau road 8	4.57	0.065
Muslim sampan	5.72	0.083

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากกลุ่มงานวิจัยสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้อาณูเคราะห์เครื่องมือ และขอขอบคุณสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำดื่มในครัวเรือนทั้งหมดที่อำนวยความสะดวกการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Richard Cothorn , Paul A. Rebers. (1990). Radon Radium and Uranium in Drinking Water. *Lewis Publishers*,14(3):225 – 247.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency).(1991). *National Primary Drinking Water Regulation*. US EPA, Radionuclides (Proposed Rules), Federal Register 56.
- พชิราวุธ โสลา ,ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ มอนันท์ โอมณี, พิบูล อิศสระพันธ์, ลัดดา ธรรมการณย์. ตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในอากาศน้ำพุร้อน และน้ำแร่บรจจุหวด บริเวณน้ำพุร้อน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี. ใน: *เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์*

- ครั้งที่ 12. โรงแรมแชงกรีลา. กรุงเทพมหานคร; 2554.
- สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล. *การตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาลรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยเทคนิคการกัดยวนิวเคลียร์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2543.
- วิชญศาสตร์ อาจโยธา, พชิราวุธ โสลา. การตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคนิค RAD H₂O.ใน : *เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 7*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์. พิษณุโลก: 2558
- สาวิตรี พิมเพ็ง. *การวิเคราะห์ปริมาณ ก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล เขตอ.ไชยวาน และอ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี*. (รายงานชีเนียร์โปรเจค). มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2545
- ไพฑูรย์ วรรณพงษ์ ,สมบัติ บวรกิตติ . (2547). แก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทย. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*,13(4),689-695
- วิชญศาสตร์ อาจโยธา . (2556). การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง จากปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในแม่น้ำพอง เขตจังหวัดขอนแก่น. *วารสารสมาคมพยาบาลฯ สาขาตะวันออกเฉียงเหนือ*, 31(4),136-143

9. ICRP.(2005). Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk. ICRP Publication 99. *Ann. ICRP*,35(4),431-439
10. NATIONAL ACADEMY PRESS.(1999).*Risk Assessment of Radon in Drinking Water*. Washington (DC).
11. UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2000). *Sources and effects of ionization radiation*. New York, Report to the General Assembly of the United Nation, with Scientific Annexes.
12. M. Tirmarche, J.D. Harrison, D. Laurier, F. Piquet, E. Blanchardon, J.W. Marsh.(2010). Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. *Ann. ICRP Publication*,40(1),1-64
13. WHO (World Health Organization). (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality, Third edition incorporating the first and second addenda*. WHO, Volume 1, Geneva.
14. วิทยาศาสตร์ อาจโยธา . (2556). การตรวจวัดธาตุเรเดียม 226 ในแม่น้ำพอง เขตจังหวัดขอนแก่น โดยใช้แมงกานีสไฟเบอร์ และเทคนิคแกมมาสเปคโตรเมตรี. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*,16(3),83-91.