

อัตราการปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนในตัวอย่างตะกอนแม่น้ำโขงและความเสี่ยงมะเร็งปอด จังหวัดนครพนม ประเทศไทย

Radon Surface Exhalation Rates in Sediment Samples of Mekong River and Lung Cancer Risk, Nakhon Phanom Province, Thailand

ยอแดรม ปูก้าเนต¹ ปรุชฌายวูต โทปาน² ลิขิต เต็มพร้อม² วรวรรณ ภูชาดา³ และวิชณูศาสตร์ อาจโยธา^{2*}
Yodprem Pookamnerd¹, Prutchayawoot Thopan², Likit Temprom², Worawan Poochada³,
and Vitsanusat Atyotha^{2*}

¹สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

²สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

³สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University, 48000, Thailand

²Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, RMUT- Khon Kaen Campus, 40000, Khon Kaen, 40000, Thailand

³Department of Environmental Health and Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Khon Kaen University, Khon Kaen 40000, Thailand

*Corresponding author, e-mail: vitsanusat.at@rmu.ac.th

(Received: Mar 21, 2023; Revised: Jul 2, 2023; Accepted: Jul 21, 2023)

บทคัดย่อ

เรดอนเป็นก๊าซกัมมันตภาพรังสี สลายตัวจากธาตุยูเรเนียม สามารถพบได้ในตะกอนในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยอัตราการปล่อยของเรดอนจะฟุ้งกระจายจากตะกอนสู่อากาศ ในขณะที่เราสูดเอาอากาศที่มีเรดอนปะปนอยู่เข้าไปสะสมในร่างกาย เมื่อเรดอนสลายตัวจะปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา ซึ่งจะสามารถทำลายสารพันธุกรรม (DNA) โดยปฏิกิริยาของอนุภาคแอลฟา สามารถกระตุ้นให้เกิดมะเร็งปอดได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้สุ่มเก็บตัวอย่างตะกอน จำนวน 50 ตัวอย่าง ในระดับความลึกจากพื้นผิว 20 เซนติเมตร จากอำเภอบ้านแพง อำเภอท่าอุเทน และอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม โดยใช้วิธีการตรวจวัดเรดอนแบบแอคทีฟ (RAD 7) ผลการวิจัย พบว่าความเข้มข้นของเรดอน อยู่ในช่วง 2.75 ถึง 73.50 Bq/m³ และมีค่าเฉลี่ย 27.69±1.94 Bq/m³ ซึ่งต่ำกว่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของเรดอน (100 Bq/m³) ที่กำหนดโดย WHO อัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน อยู่ในช่วง 1.83 ถึง 48.78 mBq/m²/h และมีค่าเฉลี่ย 18.38±1.29 mBq/m²/h ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก (57,600 mBq/m²/h) ตามที่ UNSCEAR กำหนด นอกจากนี้ผลวิจัยที่ได้ ยังนำไปใช้ประเมินค่าความเสี่ยงที่บ่งชี้ถึงอันตรายต่าง ๆ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสียังผลต่อปี (AED) ที่ได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (100 μSv/y) และโอกาสการเกิดมะเร็งปอดต่อประชากรล้านคนต่อปี (LCC) มีค่าเฉลี่ย 12.57×10⁻⁶ ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าจะมีประชากรที่มีโอกาสเสี่ยงเป็นมะเร็งปอด ประมาณ 12.57 คน จาก 1,000,000 คน จากการได้รับเรดอนในตะกอนแม่น้ำโขงในพื้นที่วิจัย

คำสำคัญ : อัตราการปล่อยเรดอน มะเร็งปอด ตะกอนแม่น้ำโขง จังหวัดนครพนม

Abstract

Radon, a radioactive gas, is produced through the decay of uranium present in the soil. The levels of radon can fluctuate. As radon undergoes decay, it emits α -particles and undergoes exhalation, leading to the release of the gas from the ground into the air. Inhalation of radon increases cancer risk by damaging DNA through α -particle interactions. To better understand this, an investigative study collected 50 sediment samples at a depth of 20 cm from various districts in Nakhon Phanom province, Thailand (including Ban Phaeng, Tha Uthen, and Mueang districts). Radon concentrations were measured using an active detecting method (RAD 7). The results revealed that radon concentrations ranged from 2.75 to

73.50 Bq/m³, with an average value of 27.69±1.94 Bq/m³. It is noteworthy that all measured radon concentrations were notably lower than the maximum allowable contamination level of 100 Bq/m³, which is recommended by the WHO. Radon surface exhalation rates varied between 1.83 and 48.78 mBq/m²/h, with an average of 18.38±1.29 mBq/m²/h. Notably, the radon surface exhalation rate observed in these studies was lower than the global average value of 57,600 mBq/m²/h, as recommended by UNSCEAR. These findings were crucial in assessing the associated health risks, highlighting significant hazards for individuals. The average annual effective dose (AED) remained below the WHO threshold of 100 µSv/y, and the average number of lung cancer cases per million people (LCC) was calculated as 12.57×10⁻⁶. Consequently, these findings indicate that 12.57 out of 1,000,000 people in the research area face a risk of developing lung cancer due to radon exposure in the Mekong River sediments.

Keywords: Radon exhalation rate, Lung cancer, Mekhong river sediments, Nakhon Phanom province

บทนำ

สารกัมมันตรังสีในธรรมชาติ สามารถพบเห็นได้ทั่วไป ซึ่งในบรรดาถูกของนิวไคลด์ต่าง ๆ พบว่าประมาณร้อยละ 55 ของรังสีทั้งหมดจากธรรมชาติ มาจากก๊าซเรดอน (²²²Rn) เรดอน เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากอนุกรมยูเรเนียม มีค่าครึ่งชีวิต ประมาณ 3.825 วัน ซึ่งสามารถปะปนในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้ เช่น ดิน หิน ตะกอน และน้ำ เป็นต้น (Atyotha *et al.*, 2022) โดยระดับความเข้มข้นของรังสีแตกต่างกันไปตามตำแหน่ง และลักษณะทางธรณีวิทยา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดที่เหมาะสมเชิงพื้นที่เพื่อกำหนดอัตราปริมาณรังสีในพื้นที่นั้น ๆ (Thabayneh, 2018) การวัดค่ากัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติในตะกอนเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์หลายคนทั่วโลก เนื่องจากการวัดการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของกัมมันตภาพรังสีตามเวลา ระดับความเข้มข้นของเรดอนในตะกอนนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดิน การวัดปริมาณเรดอนในตะกอนที่มีความลึกได้ผิวดินไม่มากนัก (ความลึกไม่เกิน 50 เมตร) ก็ยังสามารถบ่งชี้ถึงระดับความเข้มข้นของเรดอน ประมาณร้อยละ 80 ที่สามารถปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้ (SUN *et al.*, 2004) อัตราการปล่อยเรดอนนั้นสามารถระบุการฟุ้งกระจายของเรดอนจากดินสู่ชั้นบรรยากาศได้ และเรดอนสามารถหลุดออกจากเม็ดดินได้โดยการแพร่หรือหลุดตัวเข้าไปในรูพรุนของดิน กระบวนการนี้เรียกว่า การเล็ดลอดออกมา โดยที่ระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวต่อหน่วยเวลาจากดินเรียกว่า อัตราการปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน (Radon surface exhalation rate) Omar (2020) หากตะกอนดินบริเวณที่อยู่ใกล้พื้นผิวมียูเรเนียมในปริมาณมาก ก็จะส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยของเรดอนเกิดขึ้นในปริมาณที่สูง ทำให้เกิดอันตรายกับประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวจากการสัมผัสอากาศที่มีเรดอนปะปนในปริมาณที่สูงด้วย (Kaur, 2022) เนื่องจากเรดอนเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส จึงไม่สามารถรับรู้ได้จนกว่าจะแสดงความผิดปกติทางชีวภาพบางอย่างในสิ่งมีชีวิตออกมา ผลัดกันที่สลายตัวของเรดอน เป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กมากที่สามารถหายใจเข้าไปได้ง่าย และสามารถปล่อยรังสีแอลฟา เบตา หรือแกมมาที่มีไอออนสูง ซึ่งทำลายสารพันธุกรรม (DNA) และอาจนำไปสู่การเกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ ไต และอวัยวะต่อมไร้ท่อ (WHO, 2009) การตรวจวัดอัตราการปล่อยของเรดอนในตะกอนดินมีประโยชน์ในการศึกษาถึงอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ เพื่อทำความเข้าใจและลดความเสี่ยงของก๊าซเรดอน การศึกษาอัตราการปลดปล่อยของเรดอนในตะกอนดินเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากทำให้เราทราบแหล่งที่มาของเรดอนในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน คำนวณค่าอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน และประเมินค่าความเสี่ยงที่บ่งชี้ถึงอันตรายของปริมาณรังสียังผล และโอกาสการเกิดมะเร็งปอดจากพื้นที่ต่าง ๆ ริมฝั่งแม่น้ำโขงของอำเภอบ้านแพง อำเภอท่าอุเทน และอำเภอเมือง ในจังหวัดนครพนม ประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่วิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขงในพื้นที่ 3 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอบ้านแพง อำเภอท่าอุเทน และอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ซึ่งตั้งอยู่บนที่ราบสูงโคราช ระดับความสูง 170 เมตร อยู่บนสุดของกลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ 5,637 ตารางกิโลเมตร จังหวัดตั้งอยู่ระหว่าง

ละติจูด 17.41081 และลองจิจูด 104.77856 เป็นภูมิประเทศที่ประกอบด้วยเทือกเขาที่ต่อเนื่องกับเทือกเขาภูพานซึ่งติดต่อกับจังหวัดสกลนคร ภูมิประเทศโดยทั่วไปส่วนใหญ่เป็นที่ราบและมีความลาดชันเป็นลูกคลื่น (Triamvichanon & Tiypairat, 2011) พื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินทราย ซึ่ง เป็นลักษณะธรณีวิทยาของการสะสมตัวของแร่ยูเรเนียมและแร่ทอเรียมสามารถละลายตัวได้ทุกครั้งเพื่อผลิตเรดอน (Ezzulddin & Mansour, 2020)

วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่าง

คณะนักวิจัยได้ลงพื้นที่วิจัย ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนธันวาคม 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2565 เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างตะกอนดิน จำนวน 50 ตัวอย่าง ริมฝั่งแม่น้ำโขง ในพื้นที่วิจัย ดังภาพที่ 1 โดยเก็บตัวอย่างประมาณ 1,000 กรัม จากแต่ละสถานที่ แยกเศษหิน เศษพืช เศษไม้ และวัสดุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ดิน นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ ประมาณ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อขจัดความชื้นออก บดตัวอย่างเป็นผงละเอียด แล้วนำไปร่อนโดยใช้ตะแกรง ขนาด 100 เมช คัดเลือกเอาตัวอย่างผงละเอียด จำนวน 250 กรัม ใส่ในภาชนะและปิดผนึกเป็นเวลาหนึ่งเดือนเพื่อให้เกิดสมดุลทางรังสี หลังจากนั้นนำตัวอย่างตะกอนดินไปตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนโดยใช้วิธีแบบ Active detecting Method คือ การตรวจวัดเรดอนโดยอาศัยการปั๊มตัวอย่างก๊าซเข้าสู่ห้องตรวจวัดด้วยรังสีแอลฟาภายในเครื่องมือวัดเรดอน (RAD 7) ผลการตรวจวัดที่ได้จะเป็นแบบเรียลไทม์



ภาพที่ 1 การสุ่มเก็บตัวอย่างตะกอนจากริมฝั่งแม่น้ำโขง

การตรวจวัดปริมาณของเรดอน

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการตรวจวัดเรดอนแบบ Active detecting method ตามมาตรฐานของ DURRIDGE Company, Inc. (Atyotha et al., 2022) ดังแสดงในภาพที่ 2 วิธีการตรวจวัดเรดอนแบบนี้ เป็นการตรวจวัดในระบบปิดประกอบด้วย เครื่องมือตรวจวัดเรดอน (RAD 7) ซึ่งได้รับการสอบเทียบในวันที่ 16 มกราคม 2566 โดยบริษัท DURRIDGE Company, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา และกล่องตรวจวัดตะกอนดิน (Bulk emission chamber) ความเข้มข้นของเรดอนในระบบจะถูกวิเคราะห์เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 24 ชั่วโมงต่อตัวอย่าง ระบบการตรวจวัดทั้งหมดจะดำเนินการที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในของ RAD 7 นั้นต้องมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10 ข้อมูลที่วัดได้ คือ ความเข้มข้นของเรดอน มีหน่วยเป็น เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร (Bq/m^3)



ภาพที่ 2 วิธีการตรวจวัดเรดอนแบบ Active detecting method

อัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน (Radon surface exhalation rate)

การคำนวณอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนจากตัวอย่างตะกอน ทำได้โดยการนำค่าความเข้มข้นของเรดอนที่ตรวจวัดได้มาหาอัตราปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน (E) มีหน่วยเป็น $\text{mBq/m}^2/\text{h}$ (Perna *et al.*, 2018; Atyotha *et al.*, 2022; Raksawong *et al.*, 2021) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$E = \frac{A_{eq} \lambda V}{S} \quad (1)$$

โดยที่ A_{eq} คือความเข้มข้นของสมมูล λ คือค่าคงที่การสลายตัวของเรดอน $2.1 \times 10^{-6} \text{ (s}^{-1}\text{)}$, V คือ ปริมาตรของห้องตรวจวัดลบด้วยปริมาตรของชิ้นงานทดสอบ (m^3) และ S คือ พื้นที่ผิวภายนอกของแหล่งกำเนิด (m^2)

ปริมาณรังสียังผลต่อปีของเรดอน (Annual effective dose)

ปริมาณรังสียังผลต่อปีของเรดอนในตัวอย่างตะกอนดิน (AED) มีหน่วยเป็น ไมโครซีเวิร์ตต่อปี ($\mu\text{Sv/y}$) คำนวณโดยใช้สมการที่ 2 ที่กำหนดโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์แห่งชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสีปรมาณู (UNSCEAR, 2000)

$$AED = A \times F \times T \times DF \quad (2)$$

โดยที่ A คือ ความเข้มข้นของเรดอน (Bq/m^3), F คือ ปัจจัยสมมูลระหว่างเรดอนในท่อกกลางแจ้งและนิวไคลด์ลูกของเรดอนในท่อกกลางแจ้ง มีค่า 0.4, T คือ เวลาการทำงานของมนุษย์ มีค่า $2,920 \text{ h/y}$ และ DF เป็นปัจจัยการแปลงปริมาณรังสีสำหรับเรดอนในท่อกกลางแจ้ง มีค่า $9.0 \mu\text{Sv/hr/Bq/m}^3$ (UNSCEAR, 2000) และสามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าการขีดจำกัดปริมาณรังสีที่ยังผลต่อปีของประชาชน ซึ่งมีค่า 1.0 mSv/y ที่กำหนดโดยคณะกรรมการบริหารระหว่างประเทศว่าด้วยการคุ้มครองรังสี (ICRP, 2014)

ปริมาณรังสียังผลต่อปีของเรดอนที่เกิดขึ้นกับปอด (Annual effective dose on lung)

ปริมาณรังสียังผลต่อปีของเรดอนที่เกิดขึ้นกับปอด (AED_{Lung}) มีหน่วยเป็น $\mu\text{Sv/y}$ คำนวณโดยใช้สมการที่ 3 (Azhdarpoor, 2021).

$$AED_{\text{Lung}} = AED \times W_R \times W_T \quad (3)$$

โดยที่ W_R คือ ค่าปัจจัยถ่วงน้ำหนักของรังสี มีค่า 20 สำหรับอนุภาคแอลฟา และ W_T คือค่าปัจจัยถ่วงน้ำหนักของเนื้อเยื่อปอด มีค่า 0.12

โอกาสการเกิดมะเร็งปอดต่อปีต่อประชากรล้านคน (Lung cancer cases per million people per year)

การประเมินหาโอกาสการเกิดมะเร็งปอดจากการได้รับเรดอนในตัวอย่างตะกอนดินจากพื้นที่วิจัย โดยจะเทียบกับจำนวนประชาชนล้านคนต่อปี (LCC) โดยใช้สมการที่ 4 (Azhdarpoor, 2021)

$$LCC = AED_{Lung} \times 18 \times 10^{-6} \quad (4)$$

โดยที่ ตัวเลข 18×10^{-6} คือ ปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเหนี่ยวนำให้เกิดมะเร็งปอด มีหน่วยเป็น mSv

ผลการวิจัย

ความเข้มข้นของเรดอนในตะกอนดิน จำนวน 50 ตัวอย่าง ในพื้นที่วิจัย มีค่าอยู่ในช่วง 2.75 ถึง 73.50 Bq/m³ โดยมีค่าเฉลี่ย 27.69 ± 1.94 Bq/m³ ตัวอย่างตะกอนจากอำเภอเมือง มีความเข้มข้นของเรดอนสูงสุด คือ 73.50 Bq/m³ และอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน มีค่าอยู่ในช่วง 1.83 ถึง 48.78 mBq/m²/h โดยมีค่าเฉลี่ย 18.38 ± 1.29 mBq/m²/h ผลวิจัยที่ได้ทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน และอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนในตะกอนดิน

อำเภอ	จำนวน ตัวอย่าง	ตำแหน่งพิกัด (UTM)	ความเข้มข้นของเรดอน (Bq/m ³)			อัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอน (mBq/m ² /h)		
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
บ้านแพง	13	17.8748611, 104.066631	8.90	48.70	26.18 ± 3.61	5.91	32.32	17.38 ± 3.61
ท่าอุเทน	16	17.6356101, 104.222769	6.5	39.10	23.48 ± 1.73	4.31	25.95	15.59 ± 3.63
เมือง	21	17.3091935, 104.469887	2.75	73.50	31.46 ± 3.61	1.82	48.78	20.88 ± 2.40

นำผลวิจัยในตารางที่ 1 มาใช้ในการประเมินหาค่าปริมาณรังสียังผลต่อปี (AED) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.77 μ Sv/y ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.29 ± 0.02 μ Sv/y ค่าปริมาณรังสียังผลต่อปีที่เกิดขึ้นกับปอด (AED_{Lung}) มีค่าอยู่ในช่วง 0.07 ถึง 1.85 μ Sv/y ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.70 ± 0.05 μ Sv/y และการประเมินหาโอกาสการเกิดมะเร็งปอดจากการได้รับเรดอนในตัวอย่างตะกอนดินจากพื้นที่วิจัย โดยจะเทียบกับจำนวนประชาชนล้านคนต่อปี (LCC) มีค่าอยู่ในช่วง 1.25×10^{-6} ถึง 33.38×10^{-6} ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 12.57×10^{-6} ดังแสดงในตารางที่ 2

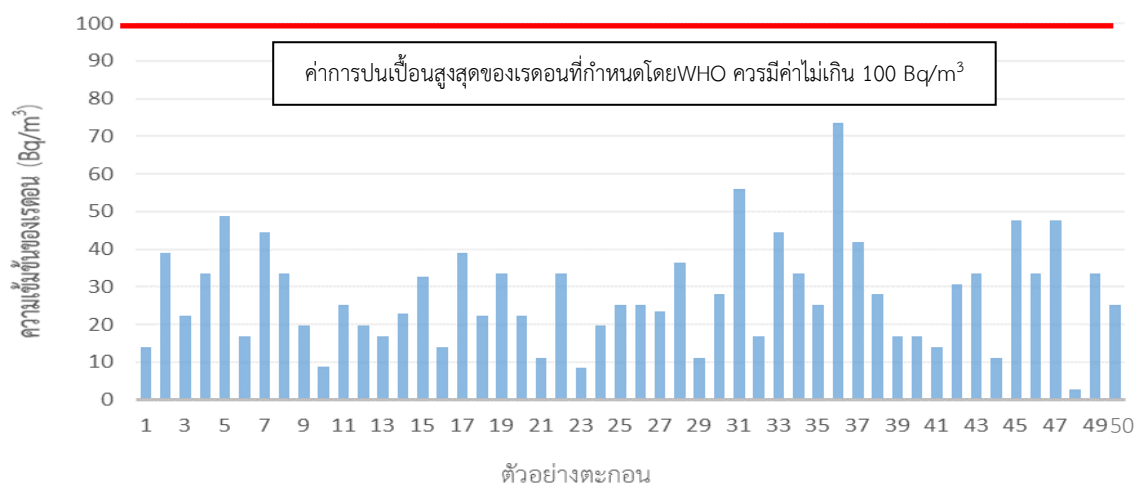
ตารางที่ 2 ผลการประเมินปริมาณรังสียังผลต่อปี (AED) ค่าปริมาณรังสียังผลต่อปีที่เกิดขึ้นกับปอด (AED_{Lung}) และโอกาสการเกิดมะเร็งปอดต่อประชากรล้านคนต่อปี (LCC)

อำเภอ	AED (μ Sv/y)			AED_{Lung} (μ Sv/y)			$LCC \times 10^{-6}$		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
บ้านแพง	0.09	0.51	0.28 ± 0.04	0.23	1.23	0.66 ± 0.08	4.04	22.12	11.89 ± 1.53
ท่าอุเทน	0.07	0.41	0.25 ± 0.06	0.16	0.99	0.59 ± 0.14	2.95	17.76	10.66 ± 2.48
เมือง	0.03	0.77	0.33 ± 0.04	0.07	1.85	0.79 ± 0.04	1.25	33.38	14.28 ± 1.64

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลวิจัยในตารางที่ 1 และรูปภาพที่ 3 พบว่าผลการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนในตัวอย่างทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของเรดอนที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก ควรมีค่าไม่เกิน 100 Bq/m^3 (WHO, 2009) ถึงแม้ว่าค่าความเข้มข้นของเรดอนทั้งหมดจะต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานก็จริง แต่แนวโน้มมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานมาก โดยเฉพาะตะกอนดินในเขตอำเภอเมือง มีค่าอยู่ในช่วง $56\text{--}73.50 \text{ Bq/m}^3$ เนื่องจากบริเวณแม่น้ำโขงในเขตอำเภอเมืองนั้นมีความตื่นเินมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ทำให้มีการสะสมตัวของตะกอนดินเกิดขึ้นมากกว่า ส่งผลต่อเนื่องให้เกิดอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ด้วย ดังนั้นจึงควรเฝ้าระวัง และสังเกตพฤติกรรมของเรดอนในตัวอย่างตะกอนว่า มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง เกิดการสะสมตัวมากน้อยเพียงใด เพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับประชาชนในพื้นที่ได้ และค่าอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนที่ประเมินได้ทั้งหมดพบว่า มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกตามที่คณะกรรมการวิทยาศาสตร์แห่งสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสีปรมาณู มีค่า $57,600 \text{ mBq/m}^2/\text{h}$ (UNSCEAR, 2000) ผลการประเมินปริมาณรังสีรังสีต่อปี (AED) ค่าปริมาณรังสีรังสีต่อปีที่เกิดขึ้นกับปอด (AED_{Lung}) ที่ได้ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก ที่ค่า $100 \mu\text{Sv/y}$ (WHO, 2009) และโอกาสการเกิดมะเร็งปอดต่อประชากรล้านคนต่อปี (LCC) มีค่าเฉลี่ย 12.57×10^{-6} ผลการวิจัยที่ได้แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่วิจัยจะมีประชาชนที่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดประมาณ 12.57 คน จาก 1,000,000 คน คิดเป็นร้อยละ 0.001257

ผลวิจัยจากตารางที่ 1 สามารถเขียนกราฟเพื่อแสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนในตัวอย่างตะกอน 50 ตัวอย่าง เทียบกับระดับการปนเปื้อนสูงสุดของเรดอนที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของเรดอนในตะกอน 50 ตัวอย่าง เทียบกับระดับการปนเปื้อนสูงสุดของเรดอนที่กำหนดโดย WHO

ผลวิจัยจากตารางที่ 1 และ 2 มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรดอน และค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนที่ได้จากงานวิจัยทั่วโลก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลวิจัยที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้กับงานวิจัยทั่วโลก

ประเทศ	ความเข้มข้นของเรดอน (Bq/m^3)			อัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิว ของเรดอน ($\text{mBq/m}^2/\text{h}$)			อ้างอิง
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	
เยเมน	64.84	166.93	103.88	6,730	18,490	11,220	AS-Subaihi, 2020
แคเมอรูน	4.5	219.6	91.02	-	-	-	Arshad <i>et al.</i> , 2019
ซาอุดีอาระเบีย	13.50	140	33	5.97	61.8	14.60	Alshahri <i>et al.</i> , 2019
อินเดีย 1	33.56	784.14	216.15	80.92	1,890.39	521.08	Kaliprasad & Narayana, 2018
อินเดีย 2	50.90	372.90	135.68	167.40	897.30	327.10	Kaliprasad & Narayana, 2018
อิรัก	61.18	2,237.77	1,215.16	1,370	49,980	24,470	Amin <i>et al.</i> , 2017
ไทย	2.75	73.50	27.69	1.83	48.78	18.83	งานวิจัยชิ้นนี้

จากผลการวิจัยในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้เทียบกับผลงานวิจัยในประเทศและต่างประเทศ จากการศึกษาค้นคว้าของคณะนักวิจัย พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยในประเทศที่ได้มีการตรวจวัดตะกอนดินจากแม่น้ำโขง หรือแม่น้ำในบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยต่างประเทศ ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรดอน และอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนในตะกอนดินที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากงานวิจัยของต่างประเทศ และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกด้วย ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของเรดอน และค่าอัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนจากตะกอนแม่น้ำโขงในงานวิจัยนี้ มีความปลอดภัยต่อสุขภาพจากการได้รับรังสีของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่วิจัยนี้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ความเข้มข้นของเรดอนจากตะกอนริมฝั่งแม่น้ำโขงในสามอำเภอ (อำเภอบ้านแพง อำเภอท่าอุเทน และอำเภอเมือง) จังหวัดนครพนม ประเทศไทย มีค่าต่ำกว่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของเรดอนที่อนุญาต (100 Bq/m^3) โดยองค์การอนามัยโลก อัตราการปลดปล่อยที่พื้นผิวของเรดอนที่ได้ทั้งหมด มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกที่ $57,600 \text{ mBq/m}^2/\text{h}^1$ จากรายงานของ UNSCEAR ปริมาณรังสียังผลต่อปี (AED) และปริมาณรังสียังผลต่อปีที่เกิดขึ้นกับปอด (AED_{Lung}) มีค่าต่ำกว่า $100 \mu\text{Sv/y}$ ตามที่องค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ จากการวิเคราะห์ผลวิจัยพบว่า ประชาชนจะมีโอกาสเกิดมะเร็งปอด โดยเฉลี่ยประมาณ 12.57 คน จาก 1,000,000 คน หากเปรียบเทียบการได้รับรังสีเรดอนที่มีความเข้มข้น 100 Bq/m^3 จะมีความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งปอดเทียบได้กับการสูบบุหรี่ 3 มวนต่อวัน ซึ่งสามารถบ่งชี้ความปลอดภัยต่อสุขภาพจากการได้รับเรดอนในตัวอย่างตะกอนบริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขงของประชาชน

อย่างไรก็ตามควรมีการตรวจวัดเรดอนในตัวอย่างตะกอนริมฝั่งเพิ่มเติมทั้งจำนวนตัวอย่าง เวลาในการตรวจวัด ทุกฤดูตลอดปี (3 ครั้ง/ปี) และชนิดตัวอย่างในการตรวจวัดเรดอน เช่น ตัวอย่างหิน ตัวอย่างน้ำโขงในบริเวณริมฝั่ง และการตรวจวัดตัวอย่างดินในเขตที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะภายในบ้าน (Indoor radon) และเขตที่มีประชากรหนาแน่น จะทำให้การประเมินความเสี่ยงมะเร็งปอดใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการเฝ้าระวังความเสี่ยงมะเร็งปอดจากการได้รับเรดอนในพื้นที่วิจัยได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการอุดหนุนทุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม : งบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2564 (มหาวิทยาลัยนครพนม) ที่เขียนในสัญญาตามประกาศผู้ให้ทุน

เอกสารอ้างอิง

- Alshahri, F., El-Taher, A. & Elzain, A. A. (2019). Measurement of radon exhalation rate and annual effective dose from marine sediments, Ras Tanura, Saudi Arabia, using CR-39 detectors. *Romanian Journal of Physics*, 64, 811, 1-12.
- Amin, S. A., Al-Obaidy, A. H. & Alwan A. (2017). Radon level measurements in soil and sediments at oil field area and its impact on the environment. *Engineering and Technology Journal*, 35(1), 1-7.
- Arshad, N., Abdullah, A., Alias, M., Rosly, M., Abbas, A. R., Saim, N., Osman, R., Hamid, R. D., Syamimi, N. A., Yunus, S. M. & Saat, A. (2019). Radon-222 and naturally occurring radioactive materials (NORMs) radioactivity concentrations and radiological impact assessment of two sediment deposit areas in Cameron Highlands, Pahang. *AIP Conference Proceedings*. 2068, 020021-1–020021-6. <https://doi.org/10.1063/1.5089320>
- AS-Subaihi, F. A. & Abdulgabar Salem, T. A. (2020). Measurement of radon exhalation rate, annual effective dose and radium activity from marine sediments samples collected from Abian Beach, Aden Gulf, Yemen. *Radiation Science and Technology*, 6(2), 19-26.
- Atyotha, V., Thopan, P., Fungdet, S., & Somtua, J. (2022). Radon exhalation rates of soil samples from Khon Kaen Province, Thailand. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 20, 223-235.



- Azhdarpoor, A., Hoseini, M., Shahsavani, S., Shamsedini, N., & Gharehchahi, E. (2021). Assessment of excess lifetime cancer risk and risk of lung cancer due to exposure to radon in a middle eastern city in Iran. *Radiation Medicine and Protection*, 2(3), 112-116.
- Ezzulddin, S. K., & Mansour, H. H. (2020). Radon and radium activity concentration measurement in drinking water resources in Kurdistan Region, Iraq. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 324, 963-976.
- Kaliprasad, C. S. & Narayana, Y. (2018). Distribution of natural radionuclides and radon concentration in Cauvery. *Journal of Water and Health*, 16(3), 476-486.
- Kaliprasad, C. S. & Narayana, Y. (2018). Radon exhalation rate and radon activity in soils of riverine environs of South Karnataka. *Radiation Protection and Environment*, 41(4), 189-191.
- Kaur, M., Kumar, A., Kaur, S., & Kaur, K. (2022). Assessment of radon/thoron exhalation rate in the soil samples of Amritsar and Tarn Taran district of Punjab state. *Radiation Protection and Environment*, 41(4), 210-214.
- Omar, A.S. (2020). Radium content and radon exhalation rates in Egyptian soil samples using active and passive techniques. *Radiation Protection and Environment*, 43(3&4), 179-184.
- Perna, A. F. N., Paschuk, S. A., Corrêa, J. N., Narloch, N. C., Barreto, R. C., Claro, F. D., & Denyak, V. (2018). Exhalation rate of radon-222 from concrete and cement mortar. *Nukleonika*, 63(3), 65-72.
- Raksawong, S., Sola, P., Samran, R. & Pisapak, P. (2021). Measurement of ^{222}Rn exhalation rate from natural rubber latex pillows randomized from online market in Thailand. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1), 23-31.
- Sun, K., Guo, O., & Cheng, J. (2004). The effect of some soil characteristics on soil radon concentration and radon exhalation from soil surface. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 41(11), 1113-1117.
- Thabayneh, K. M. (2018). Determination of radon exhalation rates in soil samples using sealed can technique and CR-39 detectors. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16, 121-128.
- Triamvichanon, S. & Tiypairat, S. (2011). *Nakhon Phanom's geology and geological learning resources* (1st ed.). Bangkok: Bureau of Geology, Department of Mineral Resources (in Thai).
- UNSCEAR. (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation: Annex B. I. UNSCEAR report to the united nations general assembly*. New York, USA.
- WHO. (2009). *WHO handbook on indoor radon: a public health perspective*. Switzerland: World Health Organization.