

PHÓNG XẠ TRONG VẬT LIỆU XÂY DỰNG

Phạm Đức Khuê^{1*}, Nguyễn Hữu Quyết¹, Dương Văn Thắng¹, Trần Thị Phương Thoa²

¹*Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam*

²*Trung tâm Kiểm định môi trường, Bộ Công an*

Tóm tắt

Phóng xạ trong vật liệu xây dựng là một trong những nguồn chiếu xạ môi trường quan trọng đối với con người. Các đồng vị phóng xạ tự nhiên chủ yếu trong vật liệu xây dựng là ^{226}Ra , ^{232}Th và ^{40}K , khí phóng xạ Radon cũng là nguồn chiếu trong nguy hiểm. Bên cạnh đó việc sử dụng phế liệu sắt thép trong sản xuất vật liệu xây dựng cũng tiềm ẩn nguy cơ nhiễm bẩn phóng xạ từ các nguồn vô chủ hoặc vật liệu nhiễm phóng xạ.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tổng quan về phóng xạ trong vật liệu xây dựng, bao gồm từ nguồn gốc, đặc trưng của các đồng vị phóng xạ, các đại lượng và chỉ số phóng xạ cơ bản, phương pháp định lượng và đánh giá nguy cơ bức xạ, một số kết quả nghiên cứu và các quy chuẩn quốc tế và trong nước về phóng xạ trong vật liệu xây dựng và sắt thép phế liệu, đồng thời đưa ra một số khuyến nghị trong công tác kiểm soát an toàn bức xạ đối với vật liệu xây dựng tại Việt Nam.

Từ khóa: Phóng xạ tự nhiên, radon, vật liệu xây dựng, nguồn vô chủ, nhiễm bẩn phóng xạ.

1. Mở đầu

Trong môi trường sống tự nhiên, con người luôn chịu chiếu xạ từ các nguồn bức xạ tự nhiên bao gồm bức xạ vũ trụ, bức xạ từ đất đá và các vật liệu xây dựng. Vật liệu xây dựng (VLXD) được sản xuất từ nhiều loại nguyên liệu địa chất khác nhau như đá, cát, sỏi, đất,... Các khoáng vật này thường chứa các đồng vị phóng xạ tự nhiên với mức độ khác nhau. Các phụ gia như tro bay, xỉ thép, thạch cao phospho,... cũng có thể làm tăng hàm lượng phóng xạ tự nhiên trong vật liệu xây dựng. Đóng góp quan trọng nhất là các nhân phóng xạ ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K và các sản phẩm phân rã của chúng như ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb ,... Bên cạnh đó trong VLXD có thể tồn tại các đồng vị phóng xạ nhân tạo như ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{241}Am ,... tuy ít gặp hơn nhưng có thể xuất hiện trong tro bay, xỉ công nghiệp, sắt thép tái chế, vật liệu nhiễm bẩn.

Phóng xạ trong VLXD đóng góp quan trọng của liều chiếu xạ đối với con người, đặc biệt trong kỷ nguyên hiện đại, con người dành phần lớn thời gian trong các không gian kín (nhà ở, văn phòng, công xưởng). Hầu hết các quốc gia đều tìm cách giảm thiểu và hạn chế mức phơi nhiễm của cộng đồng do phóng xạ từ VLXD thông qua việc áp dụng các tiêu chuẩn, tiêu chí đánh giá và giới hạn sử dụng.

Trong những năm gần đây, xu hướng sử dụng tro bay, xỉ thép, phế thải công nghiệp và vật liệu tái chế trong xây dựng ngày càng gia tăng. Vấn đề trở nên phức tạp hơn khi sử dụng sắt thép phế liệu tiềm ẩn nguy cơ lẫn nguồn phóng xạ bị thất lạc hoặc các vật liệu bị nhiễm bẩn phóng xạ. Những khảo sát đánh giá về thực trạng này trên thế giới và ở Việt Nam gần đây cho thấy sự cấp thiết phải tăng cường công tác kiểm soát phóng xạ trong sắt thép phế liệu.

Việc đo đạc và đánh giá phóng xạ trong vật liệu xây dựng, sắt thép phế liệu cần được thực hiện thường xuyên nhằm đánh giá liều phơi nhiễm, kiểm soát nồng độ radon, đáp ứng quy chuẩn an toàn bức xạ, bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

* Tác giả liên hệ, email: khuepd_inst@mst.gov.vn

Nghiên cứu tập trung tổng quan về phóng xạ tự nhiên và nhân tạo trong vật liệu xây dựng, giới thiệu các phương pháp đánh giá nguy cơ do phóng xạ gây ra đối với con người và môi trường sống, tóm lược một số kết quả nghiên cứu điển hình và các văn bản quy phạm pháp luật, các quy định, hướng dẫn của Việt Nam và quốc tế về phóng xạ trong VLXD và sắt thép phế liệu, đề xuất một số giải pháp trong công tác quản lý và kiểm soát an toàn bức xạ đối với VLXD tại Việt Nam.

2. Một số khái niệm cơ bản về phóng xạ tự nhiên trong vật liệu xây dựng

2.1. Các đồng vị phóng xạ quan trọng trong vật liệu xây dựng

Vật liệu xây dựng thường bao gồm các vật liệu khai thác trực tiếp từ tự nhiên, ít qua chế biến, ví dụ như đá tự nhiên (granite, marble, bazan, đá vôi), cát, sỏi, đất sét, gỗ tự nhiên,... và các VLXD nhân tạo được sản xuất bằng công nghệ công nghiệp như: xi măng, bê tông, gạch nung, thép xây dựng, kính, gốm sứ, vật liệu polymer,...

Các đồng vị phóng xạ tự nhiên phổ biến và đóng góp quan trọng vào liều chiếu trong VLXD bao gồm: ^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th và ^{40}K .

^{226}Ra là đồng vị phóng xạ tự nhiên quan trọng nhất, có thời gian bán rã 1603 năm, phân rã alpha (100%) năng lượng 4,78 MeV (94,07%) và 4,60 MeV (5,93%), phát tia gamma 186,21 keV (3,57%), đồng vị con cháu nguy hiểm đối với chiếu trong là ^{222}Rn , các đồng vị con cháu phát bức xạ gamma mạnh là ^{214}Pb , ^{214}Bi [1].

^{232}Th có chu kỳ bán rã $1,405 \times 10^{10}$ năm, phân rã alpha (100%) năng lượng 3,95 MeV (21,7%) và 4,03 MeV (78,2%). Chuỗi ^{232}Th gồm nhiều đồng vị phát gamma mạnh như: ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl [1].

^{40}K có chu kỳ bán rã $1,248 \times 10^9$ năm, phân rã beta (β^- 89,28%) và bắt electron (EC 10,72%), phát tia gamma đặc trưng 1460,82 keV (10,66%) [1].

Trong các phụ phẩm công nghiệp như tro bay, xỉ công nghiệp, thép tái chế, vật liệu nhiễm bẩn, bên cạnh các đồng vị phóng xạ tự nhiên, có thể tồn tại một số đồng vị phóng xạ nhân tạo, đặc biệt trong quá trình tái chế sắt thép phế liệu. Phóng xạ trong sắt thép phế liệu chủ yếu do nguồn phóng xạ vô chủ hoặc vật liệu nhiễm bẩn phóng xạ bị lẫn vào. Các đồng vị phóng xạ nhân tạo (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{241}Am ,...) thường có nguồn gốc từ các thiết bị công nghiệp như đo độ ẩm, mật độ, mức,... các nguồn trong y tế và từ các phòng thí nghiệm,... Các đồng vị phóng xạ tự nhiên (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) trong sắt thép phế liệu, cặn bám, xỉ từ các nhà máy dầu khí, khai khoáng,... Các đồng vị phóng xạ (^{60}Co , ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{94}Nb ...) từ các vật liệu tháo dỡ của các cơ sở hạt nhân, ngoài ra còn có urani nghèo, thorium từ các vật liệu che chắn, đối trọng, hợp kim,...

Radon (Rn) là khí phóng xạ tự nhiên sinh ra trong các chuỗi phân rã của urani và thori có trong đất đá và VLXD. Radon là nguồn chiếu xạ tự nhiên lớn nhất đối với con người, đặc biệt là chiếu trong do hít thở. Nguy hiểm chính là từ các hạt alpha và các sản phẩm con cháu của radon như ^{218}Po , ^{214}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , chúng lắng đọng trong phổi có thể gây tổn thương DNA, tăng nguy cơ ung thư phổi. Radon có hai đồng vị chính là ^{222}Rn , ^{220}Rn , trong đó ^{222}Rn được sinh ra từ chuỗi ^{238}U có chu kỳ bán rã 3,83 ngày, chiếm tỷ lệ rất cao (>90%). ^{220}Rn hay thường gọi là thoron có chu kỳ bán rã rất ngắn (~56 giây), được tạo thành từ chuỗi phân rã của ^{232}Th , chiếm tỷ lệ nhỏ hơn.

2.2. Các đại lượng và chỉ số đánh giá phóng xạ trong vật liệu xây dựng

- **Hoạt độ phóng xạ (A)** là đại lượng đặc trưng cho tốc độ phân rã của một chất phóng xạ. Đơn vị (Bq): 1 Bq = 1 phân rã/giây.

$$\text{Công thức: } A = \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Trong đó: λ là hằng số phân rã, N là số hạt nhân phóng xạ tại thời điểm xét, dN/dt là tốc độ biến đổi số hạt nhân theo thời gian.

Hoạt độ phóng xạ giảm dần theo thời gian theo quy luật hàm số mũ. Hoạt độ là đại lượng biểu thị cường độ của bức xạ, là thông số cơ bản để tính liều lượng phóng xạ, đánh giá an toàn bức xạ và các ứng dụng trong y học, công nghiệp, môi trường,...

- **Hoạt độ riêng** hay **nồng độ hoạt độ phóng xạ** là hoạt độ trên đơn vị khối lượng hoặc thể tích, đơn vị Bq/kg, hoặc Bq/m³ (đối với khí phóng xạ).

- **Suất liều gamma (D)** là đại lượng biểu thị mức độ liều bức xạ gamma mà một đối tượng nhận được trong một đơn vị thời gian, đơn vị: nGy/h, trong phóng xạ môi trường thường dùng Sv/h, μ Sv/h, nSv/h.

Công thức phổ biến trong phóng xạ môi trường [2,3]:

$$D = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K$$

Trong đó: A_{Ra} , A_{Th} , A_K là hoạt độ riêng của Ra, Th, K (Bq/kg).

Suất liều gamma là chỉ tiêu quan trọng để đánh giá mức độ nguy hiểm phóng xạ của môi trường.

- **Liều hiệu dụng hàng năm (AED)** là đại lượng dùng để đánh giá tổng ảnh hưởng sinh học của bức xạ ion hóa đối với cơ thể con người trong một năm. Đơn vị mSv/năm.

Trong nghiên cứu môi trường, thường dùng công thức [2,3]:

$$AED = D \times 8760 \times 0.7 \times OF \times 10^{-6}$$

Trong đó: D : suất liều gamma, 8760: số giờ/năm, 0,7: hệ số chuyển đổi, OF : hệ số chiếm dụng.

Công thức tính liều hiệu dụng năm ngoài trời [2,3]:

$$AED_{out} = D \times 8760 \times 0.2 \times 0.7 \times 10^{-6}$$

Liều hiệu dụng năm trong nhà [2,3]:

$$AED_{in} = D \times 8760 \times 0.8 \times 0.7 \times 10^{-6}$$

Trong đó: 0,2 và 0,8 là hệ số thời gian tương ứng ngoài trời và trong nhà.

Giới hạn liều hiệu dụng hàng năm: 1mSv/năm [2,3,4].

- **Hoạt độ tương đương Radium (Ra_{eq})** là một đại lượng quy ước được sử dụng để đánh giá tổng mức nguy hại bức xạ gamma của vật liệu chứa các đồng vị phóng xạ tự nhiên ²²⁶Ra, ²³²Th và ⁴⁰K bằng cách quy đổi chúng về mức tương đương của ²²⁶Ra. Đơn vị Bq/kg.

Công thức tính [2,3]: $Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K$

Giới hạn theo quy chuẩn: $Ra_{eq} < 370$ Bq/kg, khi đó vật liệu được xem là an toàn cho xây dựng dân dụng [2,3].

- **Liều hiệu dụng hàng năm do Radon, E** (đơn vị: mSv/năm): Theo UNSCEAR liều hiệu dụng hàng năm do hít phải Radon trong nhà được tính theo công thức [2]:

$$E = C_{Rn} \times F \times O \times DCF$$

Trong đó: C_{Rn} : Nồng độ Radon trung bình trong nhà (Bq/m³); F : Hệ số cân bằng giữa Radon và các sản phẩm phân rã ($F=0,4$); O : Thời gian cư trú trong nhà ($O = 70000$ h/năm); DCF : Hệ số chuyển đổi liều ($DCF=9$ nSv/(Bq/h/m³) [2,4,5].

- **Chỉ số nguy hại ngoài (H_{ex})** được sử dụng để đánh giá mức nguy hiểm do bức xạ gamma chiếu ngoài từ các đồng vị phóng xạ tự nhiên trong vật liệu hoặc môi trường.

Công thức tính [2,3]: $H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$

Điều kiện an toàn: $H_{ex} < 1$, vật liệu được xem là an toàn đối với chiếu gamma ngoài [1,2].

- **Chỉ số nguy hại trong (H_{in})** là đại lượng dùng để đánh giá nguy cơ chiếu xạ trong do hít phải khí radon và các sản phẩm phân rã của radon phát sinh từ vật liệu.

$$\text{Công thức tính [2,3]: } H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}$$

Điều kiện an toàn: $H_{in} < 1$, nếu vượt ngưỡng nguy cơ do radon tăng cao.

- **Chỉ số gamma vật liệu xây dựng (I_γ)** theo tài liệu của Ủy ban Châu Âu (EU RP-112) I_γ được xây dựng để đánh giá nhanh mức độ nguy hại do chiếu gamma ngoài của VLXD. Đây là công cụ sàng lọc rất quan trọng.

$$\text{Công thức tính [3,7]: } I_\gamma = \frac{A_{Ra}}{300} + \frac{A_{Th}}{200} + \frac{A_K}{3000}$$

Yêu cầu đối với vật liệu xây dựng: $I_\gamma < 1$ sử dụng an toàn; I_γ : 1-6 dùng hạn chế; $I_\gamma > 6$ không phù hợp [3].

Trong TCXDVN 397:2007 chỉ số I_γ được gọi là chỉ số hoạt độ phóng xạ an toàn (I) và được phân loại đối với VLXD cho từng loại công trình xây dựng khác nhau [7].

Hoạt độ phóng xạ tự nhiên hiệu dụng (A_{eff} , Bq/kg): Tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 quy định chỉ tiêu kiểm soát phóng xạ đối với tro bay thông qua chỉ số A_{eff} được tính theo công thức:

$$A_{eff} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K$$

Ngưỡng giới hạn: $A_{eff} \leq 370$ Bq/kg đối với công trình nhà ở và công cộng; $A_{eff} \leq 740$ Bq/kg đối với công trình công nghiệp, đường đô thị và khu dân cư [17].

3. Phương pháp xác định hoạt độ phóng xạ trong vật liệu xây dựng

3.1. Phương pháp đo phổ gamma

Đây là phương pháp chính xác nhất được sử dụng phổ biến trên thế giới và tại Việt Nam, và được quy định trong TCXDVN 397:2007 [7].

Quy trình chung thường bao gồm: Thu thập mẫu → Sấy khô → Nghiền mịn → Đồng nhất → Đóng kín → Chờ đạt cân bằng phóng xạ → Đo phổ → Phân tích phổ → Tính hoạt độ → Đánh giá mức độ nguy hại.

Nguyên lý của phương pháp là đo phổ gamma và xác định hoạt độ phóng xạ của các đồng vị phát các tia gamma đặc trưng, ví dụ như: ^{214}Pb (351,9 keV), ^{214}Bi (609,3 và 1764,5 keV) từ chuỗi ^{238}U ; ^{228}Ac (911,2 keV), ^{208}Tl (2614,5 keV) từ chuỗi ^{232}Th ; và ^{40}K (1460,8 keV). Trong trường hợp mẫu không cân bằng phóng xạ có thể sử dụng các đỉnh gamma 63 keV của ^{234}Th và 1001,2 keV của ^{234}Pa để xác định hoạt độ của ^{238}U .

Phổ kế gamma với đầu dò (detector) gecmani siêu tinh khiết (HPGe) được sử dụng phổ biến trong phòng thí nghiệm, với ưu điểm độ phân giải năng lượng rất cao, phân biệt tốt các đỉnh phổ gần nhau, độ chính xác cao, phù hợp phân tích môi trường mức thấp. Nhược điểm là giá thành cao và cần làm lạnh nitơ lỏng hoặc điện, thời gian đo dài, khó khăn khi thực hiện ngoài hiện trường.

Phổ kế gamma với đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) cũng được sử dụng nhiều trong đo phổ gamma với ưu thế giá rẻ, hiệu suất cao, đo nhanh và dễ vận hành, bên khi đo ngoài hiện trường. Tuy nhiên nhược điểm là độ phân giải kém dẫn đến khó phân biệt đỉnh gamma gần nhau, do đó sai số lớn hơn sử dụng HPGe.

$$\text{Công thức tính hoạt độ phóng xạ riêng, } A(\text{Bq/kg}): A = \frac{N}{\epsilon \times P_\gamma \times m \times t}$$

Trong đó: N: diện tích đỉnh phổ gamma; ε : hiệu suất ghi của hệ phổ kế, P_γ : xác suất phát gamma; m: khối lượng mẫu; t: thời gian đo mẫu.

Từ giá trị hoạt độ riêng A của các đồng vị phóng xạ chúng ta có thể xác định được liều lượng bức xạ và các chỉ số phóng xạ khác.

3.2. Các phương pháp khác

Ngoài ra để xác định hoạt độ phóng xạ của VLXD có thể sử dụng phương pháp phân tích U, Th bằng phổ kế alpha, ghi nhận các hạt alpha phát ra từ các đồng vị: ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{210}Po trong mẫu sau khi xử lý hóa học và điện phân kết tủa lên đĩa kim loại. Phổ kế alpha có thể phân tích các đồng vị riêng biệt với độ nhạy và độ chính xác cao, tuy nhiên quy trình phức tạp, thiết bị hóa chất đắt tiền và mất nhiều thời gian để phân tích.

Phương pháp đo tổng alpha/beta thường được dùng để sàng lọc nhanh mức nhiễm phóng xạ. Chúng ta cũng có thể sử dụng khối phổ kế ICP - MS để phân tích trực tiếp hàm lượng U, Th, K. Phương pháp có độ nhạy rất cao, định lượng nhanh, tuy nhiên cần quy đổi hàm lượng nguyên tố sang hoạt độ, chi phí thiết bị lớn.

Để đánh giá nhanh mức độ phóng xạ trên bề mặt các vật liệu xây dựng hoặc lô hàng phế liệu sắt thép thường sử dụng các thiết bị đo liều, thiết bị nhận diện đồng vị phóng xạ, thiết bị đo nhiễm bẩn bề mặt cầm tay. Phương pháp này kém chính xác hơn nhưng hiệu quả cho việc sàng lọc sơ bộ, đặc biệt tại các cửa khẩu và cơ sở tái chế.

3.3. Phương pháp đo nồng độ Radon

Phương pháp đo radon có thể chia thành hai nhóm chính: phương pháp đo thụ động (tích lũy) và phương pháp đo chủ động:

Phương pháp đo thụ động phổ biến là sử dụng đầu dò vết hạt nhân (thường dùng tấm CR-39). Nguyên lý của phương pháp là các hạt alpha do Rn phân rã sẽ đi vào bề mặt CR-39, ion hóa mạnh dọc đường đi, phá hủy cấu trúc polymer vi mô, tạo thành các "vết ẩn". Các vết này sau khi xử lý hóa học được hiển thị và đếm bằng kính hiển vi. Mật độ vết tỷ lệ với tích của nồng độ Radon và thời gian phơi nhiễm.

Nồng độ Radon được xác định bằng công thức: $C_{Rn} = \frac{\rho}{k \times t}$

Trong đó: C_{Rn} là nồng độ Radon (Bq/m^3), ρ : mật độ vết, t : thời gian phơi nhiễm, k : hệ số hiệu chuẩn.

Đây là một trong những phương pháp đo Radon phổ biến nhất hiện nay do có độ nhạy cao, chi phí thấp, khả năng đo tích lũy dài hạn, phù hợp cho khảo sát môi trường và VLXD. Một số phương pháp đo chủ động khác như hấp phụ than hoạt tính, buồng ion hóa Electret,... dựa trên sự khuếch tán của khí radon vào buồng đo có thể duy trì đo đạc trong thời gian dài.

Phương pháp đo radon chủ động: Sử dụng các thiết bị có thể ghi nhận và hiển thị kết quả trực tiếp với thời gian đáp ứng nhanh, được chế tạo dựa trên đầu dò nhấp nháy, bán dẫn, buồng ion hóa, hoặc thu góp tĩnh điện và phổ kế alpha.. Trong những năm gần đây, các thiết bị đo chủ động được sử dụng phổ biến do tính tiện lợi của chúng. Các thiết bị đo radon phổ biến như Alpha GUARD, RAD7, Sarad RTM 2200, Fycdy- PR30, Lucas Cell,... Đặc biệt là các thiết bị đo radon dựa trên nguyên lý thu góp tĩnh điện và phổ kế alpha (RAD7, RMT2200, Fycdy-PR30), đây là phương pháp tiên tiến có nhiều ưu điểm nổi trội so với các thiết bị đo tổng alpha truyền thống (AlphaGuard, Lucas Cell) như thời gian đáp ứng nhanh, độ nhạy cao, ngưỡng phát hiện thấp, có khả năng phân biệt các đồng vị phóng xạ dựa trên năng lượng của chúng, cho phép xác định đồng thời hàm lượng của

radon, thoron và loại trừ các yếu tố ảnh hưởng do nhiễm bẩn phóng xạ gây ra bởi các hạt nhân con cháu như ^{214}Bi và ^{210}Po .

4. Tổng quan tình hình nghiên cứu, quản lý về phóng xạ trong vật liệu xây dựng

4.1. Tình hình trên thế giới

Các tổ chức quốc tế và các nước đều xem vật liệu xây dựng là nguồn chiếu xạ tự nhiên do chứa chủ yếu các đồng vị phóng xạ ^{226}Ra , ^{232}Th và ^{40}K . Nguy cơ gồm chiếu ngoài gamma và chiếu trong do hít phải khí phóng xạ radon, thoron phát ra từ VLXD.

Ủy ban Khoa học Liên hợp quốc về Ảnh hưởng của bức xạ nguyên tử (UNSCEAR) cung cấp những cơ sở khoa học, dữ liệu toàn cầu, các mô hình phơi nhiễm, phương pháp và tiêu chí đánh giá liều, rủi ro sinh học. Hầu hết các tổ chức quốc tế và các quốc gia đều sử dụng dữ liệu của UNSCEAR để xây dựng quy định an toàn bức xạ. Các báo cáo quan trọng của UNSCEAR liên quan đến phơi nhiễm phóng xạ tự nhiên, radon, vật liệu xây dựng, vật liệu công nghiệp,... như UNSCEAR 1993, UNSCEAR 2000, UNSCEAR 2020/2021, UNSCEAR 2024 [2]. UNSCEAR 2000 đưa ra giá trị trung bình toàn cầu về hoạt độ phóng xạ điển hình trong VLXD: $^{226}\text{Ra} \sim 35 \text{ Bq/kg}$, $^{232}\text{Th} \sim 30 \text{ Bq/kg}$ và $^{40}\text{K} \sim 400 \text{ Bq/kg}$. Một số vật liệu có thể cao hơn nhiều như granit, phosphate, tro bay, xỉ luyện kim, zircon, vật liệu tái chế công nghiệp. Đánh giá VLXD có đóng góp đáng kể vào suất liều gamma trong nhà. Suất liều hấp thụ gamma ngoài trời trung bình toàn cầu $D \approx 60 \text{ nGy/h}$, trong nhà cao hơn ($\sim 84 \text{ nGy/h}$). Liều hiệu dụng năm trong nhà $E \approx 0,41 \text{ mSv/năm}$. Nồng độ Radon trong nhà trung bình toàn cầu $C_m \approx 40 \text{ Bq/m}^3$. Liều hiệu dụng trung bình do Radon và con cháu $E \approx 1,2 \text{ mSv/năm}$ [2]. UNSCEAR 2024 nhấn mạnh: các giá trị hoạt độ phóng xạ cao hơn đã được quan sát thấy ở một số loại đá tự nhiên và các vật liệu có chứa chất thải, phần dư từ các ngành công nghiệp liên quan đến vật liệu chứa phóng xạ tự nhiên (NORM), ví dụ: đá granit có thể có hoạt độ của ^{232}Th cao gấp khoảng 15 lần giá trị trung bình, phosphogypsum (thạch cao phốt pho) có thể chứa ^{226}Ra đến 1406 Bq/kg [2].

Tài liệu Radiation Protection 112 (RP-112) của Liên minh châu Âu (EU) là một hướng dẫn quan trọng về đánh giá phóng xạ trong VLXD. RP-112 đưa ra nguyên tắc đánh giá an toàn bức xạ, phương pháp tính liều chiếu ngoài gamma trong nhà, đánh giá nguy cơ do radon, chỉ số I_γ và quy định đánh giá hoạt độ gamma cho VLXD và khuyến cáo giới hạn sử dụng VLXD. Giá trị trung bình về suất liều gamma trong nhà tại châu Âu từ 20 - 200 nGy/h, liều hiệu dụng năm từ 0,3–1 mSv/năm. RP-112 khuyến cáo các mức giới hạn về hoạt độ của các đồng vị trong VLXD: $^{226}\text{Ra} \sim 300 \text{ Bq/kg}$, $^{232}\text{Th} \sim 200 \text{ Bq/kg}$ và $^{40}\text{K} \sim 3000 \text{ Bq/kg}$. RP-112 cho biết hầu hết vật liệu xây dựng thông thường an toàn về bức xạ, một số vật liệu tự nhiên và công nghiệp có thể gây tăng liều đáng kể, vật liệu chứa phóng xạ tự nhiên (NORM) cần được kiểm soát đặc biệt [3]. Báo cáo EU-BSS 2013/59/Euratom của EU đưa VLXD vào khung quản lý an toàn bức xạ. EU-BSS yêu cầu các quốc gia thành viên phải đánh giá và kiểm soát các VLXD có khả năng gây liều gamma đáng kể ($I > 1$) và áp dụng mức tham chiếu phù hợp ($E \leq 1 \text{ mSv/năm}$), nồng độ $R_n \leq 300 \text{ Bq/m}^3$. Kiểm soát đặc biệt với các vật liệu NORM, vật liệu tái chế công nghiệp, granit có hoạt độ cao [6].

Báo cáo của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA) cho biết các vật liệu xây dựng phổ biến có thể chứa phóng xạ gồm: gạch đỏ, gạch chịu lửa, xi măng, bê tông, gạch xỉ, đá granite, gạch men và gạch phủ men. EPA đặc biệt lưu ý đến việc sử dụng tro bay, thạch cao phốt pho, phụ gia công nghiệp tái chế trong vật liệu xây dựng và san lấp. EPA không áp dụng một chỉ số gamma như EU RP-112 mà sử dụng cách tiếp cận dựa trên việc đánh giá liều hiệu dụng, đánh giá nguy cơ sức khỏe, mô hình phơi nhiễm thực tế, kiểm soát theo từng lĩnh vực công nghiệp và từng bang [8].

Cơ quan Năng lượng Nguyên tử quốc tế (IAEA): trong các tài liệu GSR Part 3, SSG-32 yêu cầu các quốc gia kiểm soát phơi nhiễm trong nhà do phóng xạ tự nhiên từ radon và vật liệu xây dựng. IAEA tiếp cận theo mức tham chiếu, tối ưu hóa bảo vệ (ALARA) và kiểm soát vật liệu có hoạt độ phóng xạ tự nhiên cao. IAEA cũng khuyến nghị liều giới hạn cho công chúng là 1mSv/năm đối với chiếu xạ do vật liệu xây dựng. Mức tham chiếu nồng độ radon trong nhà là 100–300 Bq/m³. Tiêu chuẩn giới hạn Ra_{eq} là 370 Bq/kg. IAEA chấp nhận rộng rãi phương pháp đánh giá của EU RP-112, và nhấn mạnh việc tái sử dụng chất thải công nghiệp cần được kiểm soát [5,9].

Ấn phẩm của Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ bức xạ (ICRP) đề cập đến việc phơi nhiễm do các đồng vị phóng xạ phát ra tia gamma có nguồn gốc tự nhiên trong vật liệu xây dựng và trong lòng đất. ICRP khuyến nghị mức liều tham chiếu khoảng 1 mSv từ một loại hàng hóa chủ yếu có thể kiểm soát bằng biện pháp can thiệp chẳng hạn như một số VLXD có thể là nguyên nhân đáng kể gây ra phơi nhiễm kéo dài. ICRP khuyến nghị các quốc gia và các tổ chức quốc tế có liên quan nên xác định mức tham chiếu cho các loại hàng hóa, đặc biệt là đối với các vật liệu xây dựng cụ thể [10].

Việc nghiên cứu xác định mức độ phóng xạ và đánh giá rủi ro do phóng xạ trong VLXD được thực hiện bởi rất nhiều công trình khoa học trên thế giới, điển hình như:

Nghiên cứu của nhóm tác giả Xinwei Lu và cộng sự [11] tại Trung Quốc đã xác định hoạt độ phóng xạ của ²²⁶Ra: 23-112 Bq/kg, ²³²Th: 20-147 Bq/kg và ⁴⁰K: 113-897 Bq/kg trong các loại VLXD. Kết quả cho thấy vật liệu thông thường nhìn chung không vượt giới hạn, tuy nhiên tro bay, xỉ đáy và granite có hoạt độ cao hơn, cần kiểm soát khi dùng làm phụ gia xây dựng.

Kết quả nghiên cứu của S. Stoulos và cs [12] tại Hy Lạp cho thấy một số mẫu granite có hoạt độ rất cao: ²⁶Ra: 191 Bq/kg, ²³²Th: 447 Bq/kg và ⁴⁰K: 3570 Bq/kg. Các nghiên cứu tại Malaysia và Lào đều cho thấy đa số vật liệu xây dựng có Ra_{eq} thấp hơn 150 Bq/kg và dưới giới hạn quốc tế, ⁴⁰K trong một số gạch, cát cao hơn [13,14].

Trevisi và cs [15] đã xây dựng cơ sở dữ liệu gần 10.000 mẫu vật liệu xây dựng từ nhiều nước châu Âu. Nhóm tác giả nhấn mạnh không nên chỉ đánh giá một quốc gia hoặc một nhóm vật liệu đơn lẻ mà cần có cơ sở dữ liệu lớn, phân loại theo vật liệu khối, vật liệu phủ bề mặt, đá tự nhiên, ceramic, thạch cao và phụ phẩm công nghiệp.

Nhóm tác giả Darya Buzina và cs [16] đã phân tích và so sánh các tiêu chí đánh giá mức nguy hại phóng xạ tự nhiên trong VLXD theo quy định của Nga và EU. Nghiên cứu cho thấy hầu hết các VLXD thông dụng như bê tông, gạch đỏ, gạch xám, đá tự nhiên và thạch cao đều có hoạt độ phóng xạ tự nhiên thấp hơn giới hạn quy định. Một số vật liệu như xỉ than, bê tông nhẹ, đá tự nhiên có hoạt độ phóng xạ tự nhiên cao hơn đáng kể. Nghiên cứu có so sánh 2 chỉ số: hoạt độ hiệu dụng A_{eff} theo tiêu chuẩn Nga và chỉ số hoạt độ gamma I_γ theo tiêu chuẩn EU, cho thấy có sự khác biệt đáng kể giữa hai hệ tiêu chuẩn. Một số vật liệu được phép sử dụng theo tiêu chuẩn Nga nhưng lại bị hạn chế theo tiêu chuẩn EU. Nhóm tác giả đánh giá rằng cách tiếp cận của EU hợp lý và khách quan hơn vì dựa trực tiếp trên liều chiếu xạ hàng năm đối với con người thay vì chỉ dựa vào hoạt độ phóng xạ của vật liệu như của Nga.

Các kết quả nghiên cứu trên thế giới cho thấy xu hướng chung trong đa số vật liệu, hoạt độ phóng xạ của ⁴⁰K cao hơn đáng kể so với các đồng vị ²²⁶Ra và ²³²Th. Granite, ceramic, tro bay và thạch cao phospho là các nhóm vật liệu có nguy cơ cao hơn. Các nghiên cứu quốc tế cũng chỉ ra rằng nồng độ radon trong nhà chịu ảnh hưởng mạnh bởi loại VLXD

và khả năng thông gió. Các nghiên cứu đều chỉ ra cần xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia và chương trình kiểm soát định kỳ.

4.2. Tình hình tại Việt Nam

Tại Việt Nam, vấn đề phóng xạ trong vật liệu xây dựng hiện chưa có một quy chuẩn quốc gia chuyên biệt hoàn toàn như EU RP-112, nhưng đã được quản lý thông qua hệ thống các văn bản pháp quy, tiêu biểu là: Nghị định 332/2025/NĐ-CP quy định về bảo đảm an toàn bức xạ, an toàn, an ninh hạt nhân; thanh sát hạt nhân; thông báo, khai báo, cấp phép; thanh tra, kiểm tra; ứng phó sự cố bức xạ, sự cố hạt nhân và bồi thường thiệt hại hạt nhân. Thông tư 59/2025/TT-BKHCN về bảo đảm an toàn bức xạ, kiểm soát chiếu xạ công chúng, kiểm soát phóng xạ trong sắt thép phế liệu. Tiêu chuẩn quốc gia TCXDVN 397:2007 về hoạt độ phóng xạ tự nhiên của vật liệu xây dựng - mức an toàn trong sử dụng và phương pháp thử,....

TCXDVN 397:2007 là tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam quy định về tiêu chuẩn trong đánh giá phóng xạ tự nhiên, mức an toàn bức xạ, phương pháp đo hoạt độ phóng xạ trong VLXD. Các chỉ số hoạt độ phóng xạ an toàn I (giới hạn $I \leq 1$), hoạt độ tương đương Radi ($R_{eq} \leq 370$ Bq/kg) là hai công cụ đánh giá chính. TCXDVN 397:2007 cảnh báo các vật liệu có thể có hoạt độ cao: granite, tro bay, xỉ luyện kim, thạch cao phot pho, vật liệu tái chế công nghiệp và cần đặc biệt lưu ý vật liệu NORM và vật liệu tái chế công nghiệp [7].

Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 10302:2014 [17] quy định các yêu cầu kỹ thuật đối với tro bay sử dụng trong xây dựng, trong đó có các chỉ tiêu kiểm soát phóng xạ tự nhiên nhằm bảo đảm an toàn bức xạ cho con người và môi trường. Tiêu chuẩn TCVN 12249:2018 [18] đưa ra các yêu cầu kiểm soát phóng xạ tự nhiên trong tro xỉ nhiệt điện. Việc đánh giá dựa trên hoạt độ phóng xạ tự nhiên, chỉ số hoạt độ an toàn, mức liều chiếu xạ công chúng. Các yêu cầu về giới hạn về chỉ số phóng xạ cơ bản như trong TCXDVN 397:2007 và TCVN 10302:2014.

Các nghiên cứu cụ thể về phóng xạ trong VLXD tại Việt Nam thường tập trung vào hai nhóm: (i) vật liệu xây dựng khối lượng lớn dùng trong nhà như xi măng, cát, đá, sỏi, gạch đất sét, vữa, bê tông; và (ii) vật liệu bề mặt/trang trí như gạch men, đá granite, marble, đá ốp lát. Nhóm thứ hai tuy khối lượng sử dụng hạn chế hơn nhưng có thể có hoạt độ cao do lớp men, khoáng zircon, feldspar, granite hoặc phụ gia khoáng.

Nghiên cứu của nhóm tác giả B.V. Loat và cộng sự [19] đã xác định hoạt độ phóng xạ trong các loại VLXD carbonat, thạch anh, sét và đá hoa cương ở miền Bắc Việt Nam. Kết quả cho thấy hoạt độ của các VLXD có nguồn gốc từ đá hoa cương và sét ở mức cao, chỉ số nguy cơ bức xạ của đá hoa cương vượt mức khuyến cáo, trong khi carbonat nằm dưới mức giới hạn.

Nghiên cứu của Le Nhu Sieu và cs [20] khảo sát 213 mẫu thuộc 11 loại VLXD phổ biến ở Việt Nam như xi măng, cát, gạch đỏ, thạch cao, đá/sỏi, đá vôi, gạch men, granite, marble. Kết quả cho thấy các mẫu có hoạt độ cao thường rơi vào nhóm đá granite. Chỉ số hoạt độ của một số mẫu đạt tới khoảng 2,63. Nếu nhiều cấu phần của nhà đều dùng vật liệu có hoạt độ cao, suất liều ngoài có thể lên tới vài trăm nGy/h và liều hiệu dụng năm có thể đạt mức vài mSv.

Le Quang Vuong và cs [21] khảo sát 36 mẫu thuộc 18 loại VLXD thông dụng tại TP. HCM bằng hệ đếm alpha/beta tổng và phổ gamma. Kết quả cho thấy hầu hết các mẫu nằm dưới giới hạn khuyến cáo, ngoại trừ sáu mẫu gạch có chỉ số sử dụng hoạt độ hơi cao hơn giới hạn an toàn; liều hiệu dụng năm vẫn dưới giá trị trung bình thế giới.

Nhóm tác giả Trần Văn Luyến và cs [22] đã nghiên cứu trên 91 mẫu gạch men, cho thấy hoạt độ ^{238}U trong khoảng 1,24-509,65 Bq/kg; ^{232}Th : 20,24-473,10 Bq/kg; ^{40}K : 10,75-

1253,70 Bq/kg; ^{226}Ra : 20,76-320,22 Bq/kg. Chỉ số hoạt độ phóng xạ an toàn cao nhất là 4,49. Trong kịch bản phòng sử dụng gạch men nhiều, nghiên cứu ghi nhận 10/91 mẫu vượt giới hạn. Điều này cho thấy mức độ an toàn phụ thuộc không chỉ hoạt độ riêng mà còn cấu hình sử dụng trong công trình.

Lê Như Song và cs [23] nghiên cứu về phóng xạ trong xỉ thép tại Việt Nam để đánh giá khả năng sử dụng làm VLXD và san lấp. Kết quả xác định hoạt độ của các đồng vị ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K và chỉ số hoạt độ an toàn I đều đạt mức yêu cầu đối với VLXD.

Lê Quang Vương và cs [24] đã xác định nồng độ Radon trong nhà sử dụng phương pháp dựa đo phổ gamma của đồng vị ^{214}Bi là sản phẩm phân rã của ^{222}Rn kết hợp với đo trực tiếp bằng thiết bị RAD7. Kết quả hoạt độ ^{222}Rn có giá trị từ $21,2 \pm 1,0 \text{ Bq/m}^3$ đến $23,8 \pm 1,9 \text{ Bq/m}^3$ tương đồng với ở một số quốc gia khác trên thế giới và nằm trong giới hạn an toàn theo quy định.

Đề tài KHCN cấp thành phố của nhóm Nguyễn Quang Long và cs [25] đã thực hiện các khảo sát đánh giá về phóng xạ trong VLXD tại 16 cơ sở sản xuất VLXD, gồm sứ, và 06 cơ sở sản xuất thép, thu gom phế liệu trên địa bàn Hà Nội. Kết quả cho thấy hoạt độ riêng của các đồng vị ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K , suất liều gamma, và nồng độ khí Radon trong khoảng của các nước trong khu vực và hầu như ở giới hạn cho phép.

Đề tài KHCN cấp Bộ của nhóm Đinh Quốc Dân và cs [26] đã phân tích hoạt độ phóng xạ của 39 mẫu tro xỉ từ các nhà máy nhiệt điện Việt Nam. Kết quả hoạt độ trung bình của ^{40}K là: 775,5 Bq/kg, ^{226}Ra : 84,7 Bq/kg, ^{232}Th : 86,7 Bq/kg. Các giá trị này tương đương với mức trung bình trên thế giới. Chỉ số hoạt độ phóng xạ và hoạt độ phóng xạ hiệu dụng hầu hết đáp ứng yêu cầu. Mặc dù một số mẫu không phù hợp để san lấp nền nhà ở, nhưng có thể sử dụng cho các mục đích san lấp công trình ngoài nhà, làm đường, phụ gia xi măng công nghiệp.

Các kết quả nghiên cứu trong nước cho thấy hoạt độ phóng xạ của vật liệu xây dựng biến thiên theo nguồn gốc địa chất, công nghệ sản xuất và thành phần phụ gia. Thứ tự rủi ro tương đối thường thấy là: vật liệu nền thông thường như xi măng, cát, gạch đỏ thường thấp hơn; đá granite, đá ốp lát, gạch men và vật liệu có lớp phủ men có thể cao hơn. Trong nhiều mẫu, ^{40}K có hoạt độ lớn nhất về giá trị tuyệt đối, nhưng ^{226}Ra và ^{232}Th lại có vai trò quan trọng hơn trong đánh giá liều gamma và radon.

6. Phóng xạ trong sắt thép phế liệu

Trong sắt thép phế liệu, nguy cơ phóng xạ cần được hiểu theo hai nhóm: (i) phế liệu bị lẫn nguồn phóng xạ kín hoặc thiết bị chứa nguồn; (ii) kim loại, cặn bám, xỉ hoặc bụi bị nhiễm bản phóng xạ. Nhóm thứ nhất nguy hiểm hơn vì chỉ một nguồn kín công nghiệp có hoạt độ lớn nếu bị cắt, nghiền, ép hoặc nấu chảy có thể biến thành nguồn hở, gây nhiễm bản diện rộng. Nhóm thứ hai thường liên quan tới các ngành dầu khí, khai khoáng, tuyển khoáng, nhiệt điện, luyện kim, nơi cặn NORM/TENORM có thể chứa ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{210}Pb , ^{210}Po hoặc ^{40}K .

Theo báo cáo của IAEA trên thế giới đã ghi nhận hàng chục trường hợp nguồn phóng xạ bị nấu chảy ngoài ý muốn trong quá trình tái chế kim loại. Nhiều sự cố liên quan đến các nguồn phóng xạ chứa ^{60}Co và ^{137}Cs . Riêng các nhà máy thép Mỹ từ 1983-1998 đã ghi nhận 20 vụ nóng chảy nguồn phóng xạ ngoài ý muốn, 11 vụ khác tại các cơ sở tái chế nhôm, đồng, vàng, kẽm hoặc chì [26]. Ngoài ra còn rất nhiều vụ khác liên quan đến thất lạc, nóng chảy nguồn phóng xạ ở Tây Ban Nha, Ý, Mexico, Brazil, Thái Lan, Thổ Nhĩ Kỳ, Ấn Độ,...[28]. Tài liệu IAEA SSG-17 đưa ra khuyến cáo mức hoạt độ riêng dùng để xem xét miễn trừ hoặc kiểm soát kim loại phế liệu là: $A \leq 0,1 \text{ Bq/g}$ đối với ^{241}Am , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{65}Zn ; $A \leq 1 \text{ Bq/g}$ đối với ^{244}Cm , ^{192}Ir , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{204}Tl ; $A \leq 10 \text{ Bq/g}$ đối với ^{198}Au ;

$A \leq 100$ Bq/g đối với ^{63}Ni , $A \leq 1000$ Bq/g đối với ^{147}Pm ; $A \leq 10$ Bq/g đối với ^{40}K , và $A \leq 1$ Bq/g đối với các nhân phóng xạ tự nhiên khác [29].

Phóng xạ trong sắt thép phế liệu là vấn đề an toàn bức xạ, an ninh nguồn phóng xạ và quản lý chất thải. Nguy cơ lớn nhất không phải từ nền phóng xạ tự nhiên của thép, mà từ nguồn phóng xạ vô chủ lẫn vào phế liệu. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy chỉ một nguồn ^{60}Co hoặc ^{137}Cs bị nấu chảy có thể gây thiệt hại hàng triệu USD, nhiễm bẩn nhà máy, sản phẩm và môi trường. Do đó, kiểm soát phóng xạ trong phế liệu kim loại phải được thực hiện theo nguyên tắc nhiều lớp: kiểm soát nguồn, giám sát nhập khẩu, đo tại cơ sở tái chế, kiểm tra sản phẩm và sẵn sàng ứng phó sự cố.

Tại Việt Nam cũng đã xảy ra nhiều sự cố thất lạc nguồn phóng xạ liên quan đến thu gom phế liệu, như sự cố mất nguồn Eu-152 dùng trong nghiên cứu năm 2006 tại Hà Nội, mất nguồn ^{137}Cs dùng đo mức trong dây chuyền sản xuất xi măng tại Hà Nam (2003), Hòa Bình năm 2006, mất cắp thiết bị chụp ảnh phóng xạ chứa nguồn ^{192}Ir năm 2014 tại TP Hồ Chí Minh, thất lạc nguồn ^{60}Co dùng để đo mức thép ở Bà Rịa - Vũng Tàu năm 2015,... Các sự cố mất nguồn đã làm dấy lên lo ngại về rủi ro khi các nguồn phóng xạ thất lạc có thể đã bị lẫn vào phế liệu [30].

Tình trạng nhiễm bẩn phóng xạ trong phế liệu kim loại nhập khẩu cũng là một nguy cơ đang được quan tâm tại Việt Nam. Các cơ quan chức năng Việt Nam đã nhiều lần phát hiện các container sắt thép phế liệu có mức phóng xạ bất thường tại các cảng biển Hải Phòng (2018), TP. Hồ Chí Minh (2018), Bà Rịa - Vũng Tàu (2014).

Việt Nam đã ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 31:2018/BTNMT [31] về môi trường đối với phế liệu sắt, thép nhập khẩu làm nguyên liệu sản xuất; Quy chuẩn yêu cầu không được lẫn vật liệu chứa hoặc nhiễm phóng xạ vượt mức miễn trừ, yêu cầu kiểm tra hiện trường bằng mắt thường kết hợp thiết bị đo nhanh một số thông số phóng xạ đối với tất cả container hoặc khối hàng rời. Nếu phải lấy mẫu, lấy ngẫu nhiên tại 5 vị trí, tổng khối lượng mẫu đại diện 100 kg. Quy chuẩn cũng dẫn chiếu phương pháp lấy mẫu, phân tích phóng xạ theo TCVN 7469:2005 [32].

Về mặt quản lý, phóng xạ trong sắt thép phế liệu không chỉ là bài toán đo hoạt độ phóng xạ, mà là vấn đề an ninh nguồn phóng xạ và kiểm soát vật liệu ngoài kiểm soát pháp quy. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy các nguồn ^{137}Cs và ^{60}Co là hai đồng vị đáng chú ý nhất trong sự cố nấu chảy phế liệu. Ở Việt Nam, các tài liệu nhấn mạnh nguy cơ các nguồn sử dụng trong công nghiệp xi măng, cầu đường, đánh giá không phá hủy dễ bị thất lạc và đi vào dòng phế liệu.

7. Kết luận và khuyến nghị

Phóng xạ trong vật liệu xây dựng là một trong những nguồn chiếu xạ tự nhiên quan trọng đối với con người, chủ yếu do sự hiện diện của các đồng vị phóng xạ tự nhiên như ^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th và ^{40}K trong nguyên liệu địa chất và các phụ gia công nghiệp. Ngoài chiếu xạ gamma ngoài, khí radon phát sinh từ VLXD cũng là nguồn chiếu xạ trong đáng chú ý do nguy cơ gây ung thư phổi.

Các nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam cho thấy phần lớn VLXD thông thường như xi măng, gạch, cát và bê tông có hoạt độ phóng xạ nằm trong giới hạn an toàn. Tuy nhiên, một số vật liệu như đá granite, gạch men, tro bay, xỉ luyện kim, phosphogypsum và vật liệu tái chế công nghiệp có thể có hoạt độ phóng xạ cao hơn và cần được kiểm soát trước khi sử dụng.

Các chỉ số đánh giá như R_{eq} , H_{ex} , H_{in} , I_{γ} , A_{eff} , suất liều gamma D và liều hiệu dụng năm AED là các công cụ quan trọng để đánh giá mức độ an toàn bức xạ của VLXD. Phương

pháp đo phổ gamma sử dụng đầu dò HPGe hoặc NaI(Tl) hiện đang là kỹ thuật phổ biến và hiệu quả nhất.

Bên cạnh phóng xạ tự nhiên, việc sử dụng sắt thép phế liệu và vật liệu tái chế cũng tiềm ẩn nguy cơ nhiễm bẩn phóng xạ do nguồn phóng xạ vô chủ hoặc vật liệu nhiễm xạ bị lẫn vào. Các sự cố mất nguồn và nóng chảy nguồn phóng xạ trong lò luyện thép trên thế giới và tại Việt Nam cho thấy sự cần thiết phải tăng cường kiểm soát phóng xạ đối với phế liệu kim loại.

Để nâng cao hiệu quả kiểm soát phóng xạ trong VLXD tại Việt Nam, cần tiếp tục hoàn thiện hệ thống văn bản pháp quy, quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật theo hướng tiếp cận của UNSCEAR, EU, IAEA, ICRP; xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về phóng xạ trong VLXD; tăng cường kiểm soát phóng xạ đối với phế liệu kim loại, tro xỉ và vật liệu tái chế; đẩy mạnh quan trắc radon trong nhà ở và công trình công cộng; đầu tư nâng cao năng lực kỹ thuật cho các phòng thí nghiệm và hệ thống kiểm xạ tại các cửa khẩu, cảng biển, cơ sở tái chế. Ngoài ra, cần tăng cường hợp tác quốc tế và trong nước, nghiên cứu khoa học, đào tạo nguồn nhân lực và nâng cao nhận thức cộng đồng nhằm bảo đảm an toàn bức xạ, bảo vệ sức khỏe con người và góp phần phát triển bền vững ngành xây dựng tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

1. NuDat 3.0, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, US.
2. UNSCEAR Report, Sources of ionizing radiation, United Nations, 2000, 2024.
<https://www.unscear.org/unscear/en/publications/index.html>
3. EU Radiation Protection 112 (RP-112), Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials (1999).
4. ICRP, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, Publication 82, Pergamon, Oxford (1999).
5. IAEA, Safety Standards: Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, No. SSG-32, 2015.
6. Basic Safety Standards 2013/59/Euratom (EU-BSS), Protection against ionising radiation.
7. Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam TCXDVN 397:2007 về "Hoạt độ phóng xạ tự nhiên của vật liệu xây dựng - Mức an toàn trong sử dụng và phương pháp thử", 2007.
8. EPA TENORM: Consumer Products and Building Materials.
<https://www.epa.gov/radiation/tenorm-consumer-products>
9. IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, No. GSR Part 3, 2014.
10. ICRP, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1-2), 1999.
11. Xinwei Lu et al., Radionuclide content and associated radiation hazards of building materials and by-products in Baoji, West China. Radiation Protection Dosimetry 128 (2008) 471-476.
12. S. Stoulos et al., Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece. Journal of Environmental Radioactivity 69 (2003) 225-240.
13. Sonexay Xayheungsy et al., Assessment of the Natural Radioactivity and Radiological Hazards in Lao Cement Samples. Radiation Protection Dosimetry (2018) 1-6.
14. M. S. Yasir et al., Study of natural radionuclides and its radiation hazard index in Malaysian building materials. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 273 (2007) 539-541.
15. R. Trevisi et al., Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance. J. of Environmental Radioactivity 105(2012)11.

16. Darya Buzina et al. Criteria for evaluation of building materials hazard based on their natural radioactivity in Russia and in the European Union countries. MATEC Web of Conferences 86, 04044 (2016).
17. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 10302:2014 về "Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng", 2014.
18. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 12249:2018 về "Tro xỉ nhiệt điện đốt than làm vật liệu san lấp -yêu cầu chung", 2018.
19. Loat Bui Van et al., Natural radionuclides and radiological hazard assessment of building materials in North Vietnam. J. of Radio. and Nucl. Chem. (2024) 333:2577–2586.
20. Le Nhu Sieu et al., Natural Radioactivity in Commonly Building Materials Used in Vietnam. WM2011 Conference, Phoenix, Arizona, USA, 2011.
21. Le Quang Vuong et al., Assessing Radiation Hazards Associated with Natural Radioactivity in Building Materials in Ho Chi Minh City, Vietnam. Nuclear Technology & Radiation Protection, 38 (2023) 30-38.
22. Trần Văn Luyến, Thái Khắc Định. Độ an toàn bức xạ của gạch men. Tạp chí Khoa học trường Đại học Sư phạm TP. HCM, số 16, 2009.
23. Lê Như Song và cs., Nghiên cứu, đánh giá hàm lượng phóng xạ tự nhiên trong xỉ thép khi làm vật liệu xây dựng và san lấp. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, số 01 năm 2022.
24. Lê Quang Vương và cs., Nghiên cứu phương pháp đánh giá hoạt độ radon trong nhà sử dụng hệ phổ kế gamma. Tạp chí Khoa học trường Đại học Sư phạm TP. HCM, 20 (2023) 208102094.
25. Nguyễn Quang Long và cs., Nghiên cứu phong phóng xạ môi trường, vật liệu xây dựng và thành lập bản đồ số về phong phóng xạ môi trường trên địa bàn Hà Nội, Đề tài cấp KHCN cấp Thành phố Hà Nội, Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, 2008.
26. Đinh Quốc Dân và cs., Sử dụng tro xỉ nhiệt điện trong san lấp cho công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật. Đề tài KHCN cấp Bộ, Viện KHCN Xây dựng, 2017.
27. IAEA BULLETIN, USA Perspectives: Safety & Security of Radioactive Sources, 41/3/1999.
28. Radioactive Material in Scrap Metal, <https://www.southernscientific.co.uk>
29. IAEA Safety Standards Series No. SSG-17, Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries, 2012.
30. VIETNAMNET GLOBAL, Seven incidents of radioactive sources in Vietnam, 2016.
31. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 31:2018/BTNMT về Môi trường đối với phế liệu sắt, thép nhập khẩu làm nguyên liệu sản xuất, 2018.
32. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7469:2005 về An toàn bức xạ - Đo hoạt độ vật liệu rắn được coi như chất thải không phóng xạ để tái chế, tái sử dụng hoặc chôn cất.