

ĐÁNH GIÁ CHE CHẮN AN TOÀN BỨC XẠ CƠ SỞ CHIẾU XẠ ĐÀ NẴNG

RADIATION SHIELDING SAFETY EVALUATION OF THE IRRADIATION FACILITY IN DA NANG

Hoàng Thanh Phi Hùng*

Cơ sở Chiếu xạ Đà Nẵng, Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ, VINATOM, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: hoangthanhphihung@gmail.com

(Nhận bài / Received: 03/4/2025; Sửa bài / Revised: 09/6/2025; Chấp nhận đăng / Accepted: 11/6/2025)

DOI: 10.31130/ud-jst.2025.23(7).184

Tóm tắt - Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả che chắn bức xạ của hệ thống chiếu xạ công nghiệp sử dụng nguồn gamma Cobalt-60 (^{60}Co) có hoạt độ 151 kCi tại Cơ sở Chiếu xạ Đà Nẵng (tính đến tháng 4 năm 2025). Hệ thống được sử dụng để chiếu xạ thủy sản xuất khẩu, thiết bị y tế và các mẫu phục vụ nghiên cứu. Để đánh giá mức độ an toàn, nhóm nghiên cứu đã đo đặc suất liều thực nghiệm tại nhiều vị trí, kết hợp với mô phỏng phân bố suất liều bằng chương trình MCNP. Kết quả đo và mô phỏng đều cho thấy, suất liều tại các vị trí kiểm tra thấp hơn đáng kể so với giới hạn 12 $\mu\text{Sv/giờ}$ theo tiêu chuẩn TCVN 4397-87 dành cho nhân viên bức xạ. Các kết quả này xác nhận rằng, thiết kế che chắn hiện tại đáp ứng đầy đủ yêu cầu về an toàn bức xạ trong điều kiện vận hành bình thường của hệ chiếu xạ công nghiệp sử dụng nguồn ^{60}Co .

Từ khóa - Che chắn bức xạ; An toàn; suất liều; Mô phỏng MCNP; Gamma Cobalt-60

1. Giới thiệu

Trong bốn thập kỷ qua, thị trường thực phẩm chiếu xạ đã phát triển mạnh mẽ. Công nghệ chiếu xạ gamma ngày càng khẳng định tính hiệu quả vượt trội trong lĩnh vực vệ sinh và khử trùng thực phẩm [1]. Đặc biệt, ứng dụng phương pháp chiếu xạ kiểm dịch thực vật mang lại nhiều ưu thế so với các phương pháp xử lý truyền thống như xông hơi bằng methyl bromide (fumigation), xử lý kết hợp lạnh, xử lý nhiệt độ cao có kiểm soát, xử lý bằng hơi nước nóng, hay làm lạnh nhanh. Chiếu xạ gamma - sử dụng bức xạ phát ra từ nguồn cobalt-60 - đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao an toàn thực phẩm bằng cách giảm thiểu hoặc loại bỏ hiệu quả các vi sinh vật gây hại, đồng thời ít ảnh hưởng đến hương vị, hàm lượng vitamin và giá trị dinh dưỡng của sản phẩm. Các hệ thống chiếu xạ công nghiệp hiện nay thường được thiết kế để vận hành trong dải liều hấp thụ từ vài kilogray (kGy) – xử lý vi khuẩn E. coli – đến vài chục kilogray nhằm tiêu diệt các tác nhân gây bệnh như Salmonella một cách hiệu quả [2].

Cobalt-60, với chu kỳ bán rã 5,27 năm, là nguồn bức xạ gamma được sử dụng phổ biến trong công nghiệp nhờ đặc tính không tan trong nước và quy trình sản xuất tương đối đơn giản. Tổng hoạt độ phóng xạ của một hệ thống chiếu xạ công nghiệp thường đạt mức cao, dao động trong khoảng 100 kCi đến 800 kCi tùy vào mục đích, được phân loại là Nguồn loại I – cấp độ nguy hiểm cao nhất tiêu chuẩn

Abstract - This study aims to comprehensively assess the radiation shielding effectiveness at the Da Nang Irradiation Facility which operates an industrial gamma irradiation system utilizing a ^{60}Co source with a current activity of 151 kCi (as of April 2025). The system is used for irradiating seafood, medical devices, and research materials. Radiation dose rate measurements and MCNP Monte Carlo simulations were conducted at multiple locations to assess shielding effectiveness. All measured and simulated dose rates around the irradiation chamber were significantly below the occupational exposure limit of 12 $\mu\text{Sv/h}$ set by TCVN 4397-87. These results confirm that, the current shielding design provides effective protection against gamma radiation during the routine operation of the industrial ^{60}Co source.

Key words - Shielding; Safety; dose rate; MCNP simulation; Gamma Cobalt-60

phân loại mức độ nguy hiểm theo quy định quốc gia. Do đặc tính đâm xuyên mạnh và khả năng ion hóa cao của tia gamma, để đảm bảo an toàn tuyệt đối, việc hiện diện của nhân viên vận hành hoặc công chúng tại buồng chiếu xạ trong quá trình hoạt động là hoàn toàn bị cấm.

Nguồn ^{60}Co phát ra hai bức xạ gamma có năng lượng 1,173 MeV và 1,332 MeV [3]. Trong khoảng năng lượng từ 1 keV đến 2 MeV, hệ số suy giảm khối (*mass attenuation coefficient*) đối với các nguyên tố có số nguyên tử nhỏ hơn 26 (Fe) gần như giống nhau, có giá trị khoảng 0,055 cm^2/g [4]. Vì vậy, khả năng che chắn tia gamma ở dải năng lượng này không phụ thuộc đáng kể vào bản chất vật liệu, mà chủ yếu phụ thuộc vào khối lượng riêng và chiều dày lớp chắn. Chỉ thường được lựa chọn trong các thiết kế yêu cầu che chắn nhỏ gọn, trong khi đối với các hệ thống chiếu xạ công nghiệp quy mô lớn, bê tông cốt thép trộn với đá mật độ cao là vật liệu ưu tiên nhờ tính hiệu quả về chi phí và tính khả thi kỹ thuật. Theo Quy phạm An toàn Bức xạ Ion hóa Việt Nam (TCVN 4397-87), suất liều bức xạ cho phép đối với nhân viên làm việc trong khu vực bức xạ thường xuyên là 12 $\mu\text{Sv/giờ}$, trong khi đối với các nhân viên khác là 1,2 $\mu\text{Sv/giờ}$ [5].

Hiện nay, Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ – trực thuộc Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam – đang vận hành hai cơ sở chiếu xạ sử dụng nguồn ^{60}Co , trong đó cơ sở chiếu xạ tại Đà Nẵng đang khai thác

¹ Danang Irradiation Facility, Research and Development Center for Radiation Technology, VINATOM, Da Nang, Vietnam (Hoàng Thanh-Phi Hùng)

một hệ thống chiếu xạ công nghiệp. Nguồn ^{60}Co tại đây không chỉ phục vụ chiếu xạ sản phẩm thương mại mà còn được sử dụng cho các mục tiêu nghiên cứu và phát triển. Tại thời điểm đưa vào vận hành (tháng 9/2017), hoạt độ ban đầu của nguồn là 211 kCi. Kết cấu tường che chắn được xây dựng bằng bê tông cốt thép có mật độ $2,30\text{ g/cm}^3$ với độ dày trung bình 1,85 m, đáp ứng yêu cầu an toàn đối với nhân viên và công chúng. Trước nhu cầu gia tăng đối với chiếu xạ, thủy sản, sản phẩm y tế, tháng 12 năm 2020, VINAGAMMA đã bổ sung thêm nguồn phóng xạ mới với hoạt độ 123 kCi cho cơ sở này. Theo quy định về an toàn bức xạ, toàn bộ quá trình vận hành phải đi kèm hệ thống giám sát bức xạ liên tục nhằm phát hiện sớm nguy cơ rò rỉ và đảm bảo mức độ an toàn cao nhất cho nhân viên vận hành cũng như công chúng xung quanh [6].

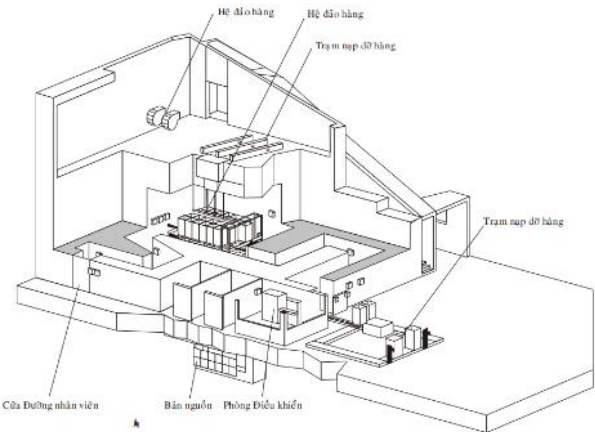
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết bị chiếu xạ VINAGAI- ^{60}Co và thiết kế che chắn bức xạ tại Cơ sở Chiếu xạ Đà Nẵng

Kiểu và số sê-ri của thiết bị chiếu xạ: Máy chiếu xạ VINAGAI - ^{60}Co , sử dụng nguồn phóng xạ Cobalt-60 được bọc hai lớp thép không gỉ. Đây là loại nguồn phóng xạ kín, đảm bảo an toàn bức xạ, không gây rò rỉ phóng xạ trong quá trình vận hành. Thiết bị này được lắp đặt tại Cơ sở Đà Nẵng, là sản phẩm do chính Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ nghiên cứu, thiết kế và chế tạo [7, 8].

Bảng 1. Thông tin đặc trưng kỹ thuật thiết bị chiếu xạ VINAGAI

STT	Đặc điểm	Thông tin
1	Dạng bản nguồn phóng xạ	Phẳng, hình chữ nhật
2	Hoạt độ phóng xạ nguồn ^{60}Co	151 kCi (Tính đến 02/2025)
3	Số bản nguồn	03
4	Số mô-đun nguồn trong một bản nguồn	04
5	Loại nguồn	BC-188/GIK-A6
6	Kích thước sử dụng thùng hàng	48 x 65 x 90 cm
7	Trọng lượng cực đại nạp hàng trong một thùng	180 kg
8	Tốc độ xử lý cực đại	36 thùng/h

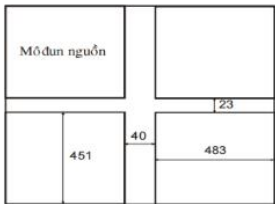


Hình 3. Mặt cắt nhà chiếu xạ VINAGAI

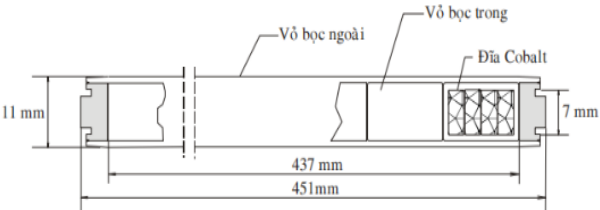
Tường của Buồng chiếu xạ được thiết kế nhằm đảm bảo an toàn bức xạ cho nhân viên vận hành. Thiết kế này vẫn đáp ứng tiêu chí an toàn khi hoạt động với hoạt độ tối đa lên đến 74 PBq (tương đương 2 MCi) nguồn cobalt-60 (^{60}Co) [11, 12]. Các phần tường bê tông cốt thép bao quanh buồng chiếu có độ dày lớn hơn so với phần trần, tuân thủ các tiêu chuẩn an toàn bức xạ và đáp ứng yêu cầu bảo vệ cao hơn đối với các hướng bố trí nguồn và khu vực làm việc. Thiết kế nhà nguồn không chỉ che chắn hiệu quả bức xạ gamma trực tiếp mà còn ngăn chặn bức xạ gamma tán xạ ngược từ các bề mặt xung quanh. Tại Buồng chiếu, một bể nước có độ sâu 6 m được bố trí để lưu giữ các bản nguồn trong trạng thái không chiếu xạ. Bể nước có hai chức năng chính: làm mát và làm sạch bề mặt nguồn. Ngoài ra, nó còn đóng vai trò che chắn làm giảm suất liều bức xạ trong khu vực buồng chiếu trong trường hợp dừng máy. Khi các nguồn phóng xạ được hạ xuống và lưu giữ trong bể nước, nhân viên có thể vào bên trong buồng để tiến hành các công việc bảo trì, sửa chữa hoặc chuẩn bị cho các chu trình chiếu xạ tiếp theo. Trong điều kiện này, suất liều bức xạ đo được bên trong buồng chiếu thấp hơn $0,22\text{ }\mu\text{Sv/giờ}$, nằm trong giới hạn an toàn cho phép theo quy định.

Buồng chiếu có hai lối tiếp cận chính: Đường hàng và Đường nhân viên:

- Đường hàng được thiết kế với các khúc ngoặt vuông góc nhằm giảm thiểu bức xạ tán xạ ra ngoài trong điều kiện cửa thường xuyên đóng mở để xe vận chuyển hàng ra vào.



Hình 1. Kích thước các bản nguồn



Hình 2. Cấu tạo thanh nguồn ^{60}Co

Thiết bị chiếu xạ VINAGAI – ^{60}Co được thiết kế có 3 bản nguồn (source rack). Mỗi bản nguồn chứa 04 mô-đun nguồn (source module). Mỗi mô-đun có khả năng chứa tối đa 41 thanh nguồn thuộc loại BC-188 hoặc GIK-A6 [9, 10]. Cấu trúc các bản nguồn được trình bày trong Hình 1, Hình 2 mô tả chi tiết một thanh nguồn.

- Đường nhân viên không sử dụng khúc ngoặt vuông góc mà thiết kế với các đoạn ngoặt tù, phù hợp với yêu cầu vận chuyển container chứa nguồn phóng xạ mỗi khi cần bổ sung nguồn vào hệ thống chiếu xạ.

Để tăng cường khả năng che chắn bức xạ do tán xạ có thể thoát ra ngoài qua hai lối này, các cửa ra vào được chế tạo từ sắt có lõi chì có chiều dày 1,2 cm và được tích hợp hệ thống khóa liên động an toàn. Kích thước tổng thể của Buồng chiếu được trình bày như sau:

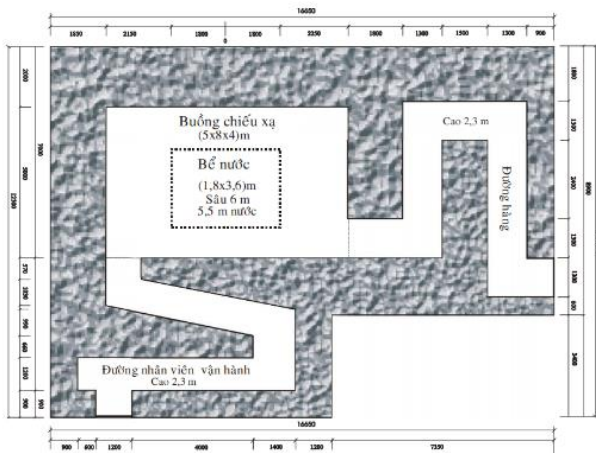
- Kích thước không gian Buồng chiếu: (8 x 5 x 4) mét (cao 4 mét).

- Bể nước trong Buồng chiếu: (1,8 x 3,6 x 6) mét.

- Trần Bồng chiều dày 1,7 mét.

- Đường hàng có chiều rộng 1,3 mét, cao 2,3 mét, cửa sắt có lõi chì dày 1,2 cm.

- Đường nhân viên rộng 1,2 mét, khúc cua 1,4 mét, cao 2,3 mét, cửa sắt có lõi chì dày 1,2 cm.



Hình 4. Mặt cắt Buồng chiếu xạ

2.2. Mô phỏng và tính toán

Chương trình mô phỏng Monte Carlo N-Particle (MCNP) được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu phân tích vận chuyển bức xạ, đặc biệt trong lĩnh vực thiết kế lò phản ứng hạt nhân, đánh giá an toàn bức xạ và mô phỏng hệ thống chiếu xạ gamma công nghiệp. Trong nghiên cứu này, MCNP được triển khai để mô phỏng phân bố suất liều trong buồng chiếu xạ sử dụng nguồn gamma ^{60}Co . Các kết quả mô phỏng đã được đối chiếu và chứng minh sự tương hợp tốt với dữ liệu thực nghiệm, được thu thập bằng nhiều loại liều kế như polymethylmethacrylate (PMMA), Fricke, ethanol-chlorobenzene và kali dichromate [13, 14]. Quá trình mô phỏng được thực hiện trên hệ thống máy trạm HP Z8 G4 với cấu hình gồm RAM DDR4 ECC 128 GB và 2 CPU Intel Xeon Gold 6138 (2,0 GHz, Turbo 3,7 GHz; 36 lõi/72 luồng) với chương trình MCNP phiên bản 6.3. Thời gian mô phỏng được tối ưu hóa nhằm đảm bảo độ lệch chuẩn (relative error) của kết quả nhỏ hơn 5%, đáp ứng yêu cầu độ chính xác trong tính toán liều. Mô hình đầu vào (input) của chương trình được xây dựng đầy đủ cấu trúc hình học của hệ thống chiếu xạ VINAGAL - bao gồm bể nước, các bản nguồn, cấu trúc tường bê tông cốt thép, hành lang ra vào và cửa chắn bức

xạ. Vật liệu và mật độ được mô tả theo đúng tiêu chuẩn thiết kế thực tế. Để nâng cao hiệu quả tính toán và đảm bảo độ chính xác, phương pháp tối ưu hóa đường đi của các tia bức xạ đến các bề mặt phản xạ chính đã được áp dụng. Cách tiếp cận này giúp tập trung số lượng hạt mô phỏng vào các khu vực có đóng góp suất liều đáng kể, từ đó cải thiện độ hội tụ số liệu và rút ngắn thời gian mô phỏng. Nhờ vậy, độ tin cậy của kết quả mô phỏng được đảm bảo trong toàn bộ khu vực khảo sát.

Bên cạnh đó, suất liều tại các điểm khảo sát P_{ii} được tính toán bởi phân gamma truyền qua và gamma tán xạ qua các lõi vào Buồng chiếu: Đường hàng và Đường nhân viên.

$$P_{tt} = P_{pe} + P_{sc} \quad (1)$$

Đối với gamma truyền qua được xác định qua công thức:

$$P_{pe} = P_0 \times e^{-\mu t} \quad (2)$$

Công thức tính suất liều tại một điểm khảo sát do bức xạ bị tán xạ từ các bề mặt hoặc điểm khác nhau trong Buồng chiếu xạ) như sau:

$$P_{sc} = P_0 \prod_i \left(\frac{S_i \times \alpha_i(\theta_i; \theta_s)}{R_i^2} \right) \quad (3)$$

Với:

P_{tt} : suất liều tổng nhận được tại điểm khảo sát (thường tính bằng mGy/h hoặc mSv/h).

P_{pe} : suất liều do gamma truyền qua.

P_{sc} : suất liều do tán xạ tại điểm khảo sát.

$P_0=1,96 \times 10^9$: suất liều tại sát nguồn có hoạt độ 151 kCi.

μ : hệ số hấp thụ tuyến tính của tường bê tông.

Π_i : ký hiệu Tích số qua các bề mặt/lớp tán xạ.

S_i : diện tích hiệu dụng của vùng tán xạ thứ i – diện tích này phụ thuộc vào hình học nguồn và hướng chiếu.

$\alpha_i(\theta_i; \theta_s)$: hệ số tán xạ (phản xạ hay albedo) của bề mặt vật liệu thứ i , phụ thuộc góc tới θ_i và góc tán xạ θ_s .

R_i : khoảng cách từ vị trí tán xạ thứ i đến điểm khảo sát, liệu giảm theo bình phương khoảng cách R_i^2 .

t : chiều dày của tường bê tông.

2.3. Đo thực nghiệm

Số liệu đo đạc thực nghiệm được thực hiện bằng thiết bị Radiation Alert – Inspector, tại các vị trí được chỉ định trên sơ đồ mặt bằng, tại độ cao 1 mét so với mặt sàn. Phông bức xạ môi trường tại thời điểm đo được xác định là 0,10 $\mu\text{Sv/giờ}$.

Xử lý và phân tích số liệu: Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm Excel 2013.

Thiết bị đo: Inspector; Kiểu IA-V02; Số hiệu: I09937.

Hãng sản xuất: International Medcom, USA.

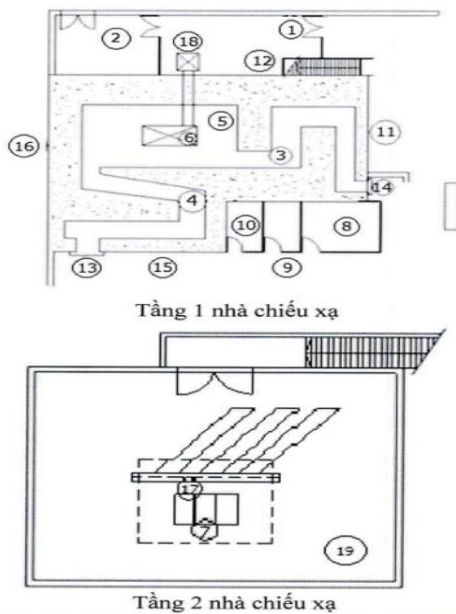
Han hiệu chuẩn: 6/2025.

Thông số kỹ thuật thiết bị đo:

- Loại đầu đo: Ống đếm Geiger Muller.

- Dải suất liều đo: 0,001 $\mu\text{Sv/giờ}$ - 1100 $\mu\text{Sv/giờ}$.

- Hệ số chuẩn trung bình: 1,08.



Hình 5. Các vị trí đo kiểm xạ (D)

* Vị trí D7 và D17 được xác định tương ứng tại miệng ống dẫn dây kéo nguồn chiếu xạ và tại khe nối giữa các tấm bê tông sàn trong khu vực buồng chiếu.

** Vị trí D9 nằm tại hành lang phía trước phòng điều khiển và được xem là đại diện cho khu vực tiếp cận của công chúng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả đo đạt suất liều khi không chiếu hàng và khi chiếu hàng.

Bảng 2. Giá trị suất liều đo thực nghiệm

Vị trí đo theo sơ đồ	Suất liều bức xạ ($\mu\text{Sv/giờ}$)				
	Trung bình (Không chiếu hàng)	Sai số	Trung bình (Chiếu hàng)	Sai số	TCVN 4397 – 87
D1	0,19	0,003	0,19	0,01	12
D2	0,16	0,01	0,22	0,02	12
D3	0,15	0,01	(*)	(*)	12
D4	0,16	0,01	(*)	(*)	12
D5	0,16	0,01	(*)	(*)	12
D6	0,16	0,01	(*)	(*)	12
D7	0,18	0,01	2,37	0,11	12
D8	0,20	0,01	0,22	0,003	12
D9	0,17	0,01	0,19	0,003	12
D10	0,20	0,01	0,20	0,01	12
D11	0,16	0,02	0,20	0,01	12
D12	0,16	0,01	0,37	0,03	12
D13	0,13	0,003	0,13	0,003	12
D14	0,14	0,003	0,15	0,01	12
D15	0,18	0,003	0,18	0,003	12
D16	0,15	0,01	0,15	0,01	12
D17	0,15	0,01	24,42	1,36	12
D18	0,16	0,02	0,16	0,02	12
D19	0,20	0,01	0,20	0,01	12

Ghi chú: In đậm là là giá trị cao hơn giới hạn

(*): Suất liều tại vị trí này không đo trực tiếp bằng thiết bị đo cầm tay, đã trừ phòng và nhân với hệ số hiệu chuẩn.

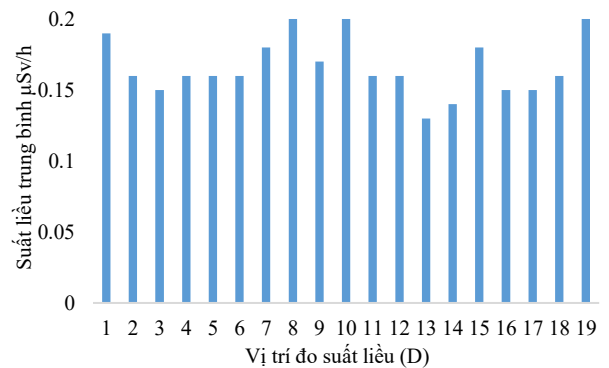
Các phép đo suất liều tại các vị trí từ D1 đến D19 đã được thực hiện trong hai trạng thái vận hành của hệ thống:

- (i) khi đang tiến hành chiếu xạ sản phẩm;
- (ii) khi không chiếu xạ (nguồn ^{60}Co được lưu trữ trong bể nước).

Các kết quả đo cụ thể, cùng với sự so sánh đối chiếu với các tiêu chuẩn an toàn bức xạ, được trình bày chi tiết trong Bảng 2, Hình 6 và Hình 7.

Trong điều kiện không chiếu xạ cho thấy suất liều tại tất cả các vị trí đo đều thấp hơn đáng kể so với giới hạn liều nghề nghiệp dành cho nhân viên bức xạ trực tiếp, là $12 \mu\text{Sv/h}$ theo quy định hiện hành. Kết quả này khẳng định rằng môi trường làm việc trong trạng thái không chiếu xạ đảm bảo an toàn cho nhân viên vận hành khi cần thao tác trong buồng chiếu. Bên cạnh đó, các kết quả đo tại các vị trí khảo sát trong điều kiện không chiếu xạ cũng cho thấy suất liều đều thấp hơn giới hạn liều dành cho công chúng, củng cố thêm mức độ an toàn bức xạ của hệ thống ở trạng thái lưu giữ nguồn.

Trong điều kiện chiếu xạ, suất liều các vị trí từ D3 đến D6, tương ứng với khu vực chiếu xạ, không thể đo trực tiếp bằng thiết bị đo cầm tay do các hạn chế về an toàn bức xạ và yêu cầu vận hành hệ thống. Để đánh giá suất liều tại các khu vực này, các phương pháp gián tiếp đã được áp dụng, bao gồm tính toán số và mô phỏng bằng chương trình MCNP.



Hình 6. Biểu đồ suất liều khi không chiếu hàng ($\mu\text{Sv/h}$)



Hình 7. Kết quả đo suất liều khi chiếu hàng ($\mu\text{Sv/h}$)

3.2. Kết quả tính toán số và mô phỏng MCNP

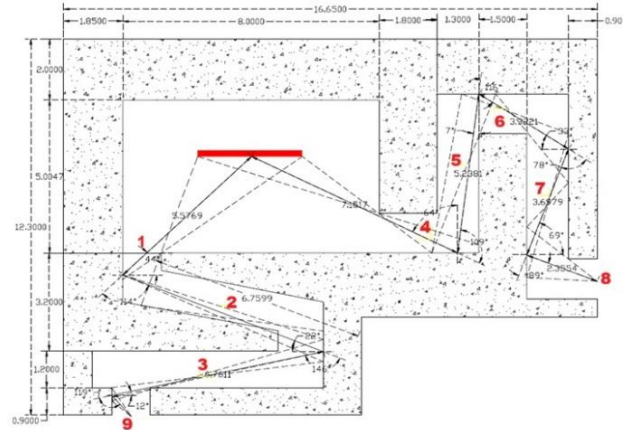
Chương trình mô phỏng MCNP và tính toán số đã được sử dụng để xác định suất liều tại 09 vị trí khảo sát khác

nhau trong hệ thống chiếu xạ. Trong đó, hai vị trí tương ứng với khu vực cửa ra vào của nhân viên và cửa vào/ra hàng được mô phỏng ở trong điều kiện chưa xét đến lớp che chắn bổ sung từ cửa chì phía ngoài cùng. Các kết quả tính toán và mô phỏng chi tiết tại các vị trí này được trình bày trong Bảng 3. Mô tả đường đi, khoảng cách và các vị trí tính liều bằng phương pháp tính toán số được minh họa trong Hình 8.

Bảng 3. So sánh suất liều mô phỏng và tính toán tại 09 vị trí. (S)

Vị trí đo	Khoảng cách và độ dày bê tông (cm)	Suất liều mô phỏng (μSv/giờ)	Suất liều tính toán (μSv/giờ)
S1	350 cm (Air)	$2,4 \times 10^8$	$6,45 \times 10^8$
S2	320 cm (Air) + 150 cm (RC) + 60 (Air)	$2,33 \times 10^6$	$3,9 \times 10^6$
S3	320 cm (Air) + 100 cm (RC) + 120 cm (Air) + 100 cm (RC) + 60 cm (Air)	$5,78 \times 10^3$	$2,05 \times 10^4$
S4	390 cm (Air)	$2,34 \times 10^8$	$3,98 \times 10^8$
S5	225 cm (Air) + 180 cm (RC) + 65 cm (Air)	$2,21 \times 10^6$	$6,49 \times 10^6$
S6	225 cm (Air) + 180 cm (RC) + 130 cm (Air) + 75 cm (Air)	$1,67 \times 10^5$	$3,12 \times 10^5$
S7	225 cm (Air) + 180 cm (RC) + 130 cm (Air) + 150 cm (RC) + 65 cm (Air)	$1,78 \times 10^3$	$4,71 \times 10^3$
S8	225 cm (Air) + 180 cm (RC) + 130 cm (Air) + 150 cm (RC) + 130 cm (Air) + 90 cm (Air)	23,8	25,1
S9	320 cm (Air) + 100 cm (RC) + 120 cm (Air) + 100 cm (RC) + 120 cm (Air) + 90 cm (Air)	4,39	3,74

Ghi chú:
* S7 – Lối vào Đường hàng; S8 – Lối vào Đường nhân viên;
* RC - reinforced concrete - Bê tông cốt thép;
* Air – Không khí.



Hình 8. Các vị trí thực hiện tính toán, mô phỏng

Kết quả thu được từ phương pháp tính toán lý thuyết và mô phỏng MCNP cho thấy có sự tương đồng tốt. Điều này chứng tỏ cả hai phương pháp đều có thể được sử dụng để ước lượng suất liều tại các vị trí khảo sát trong Buồng chiếu xạ. Cụ thể, tỷ số suất liều tại vị trí S1 và S3 đạt $4,2 \times 10^4$, trong khi tỷ số suất liều tại vị trí S4 so với vị trí S7 là 13×10^4 . Ngoài ra, suất liều tại vị trí S3 cao hơn S7 khoảng

3,2 lần theo kết quả mô phỏng và 4,4 lần theo kết quả tính toán lý thuyết. Kết quả này cho thấy, thiết kế hành lang với hai khúc ngoặt vuông góc liên tiếp có hiệu quả che chắn bức xạ vượt trội hơn so với hành lang chỉ có khúc ngoặt góc tù. Cụ thể, đối với thiết kế sử dụng hai khúc ngoặt vuông góc, khả năng giảm suất liều tốt hơn khoảng 3,2 lần so với thiết kế sử dụng khúc ngoặt tù, góp phần nâng cao mức độ an toàn bức xạ cho hệ thống.

Tại các vị trí S8 và S9, các giá trị suất liều ban đầu được tính toán bằng phương pháp số và mô phỏng chưa xét đến thiết kế cửa sắt có lõi chì. Sau khi xét đến hiệu ứng suy giảm gamma trong vật liệu của cửa sắt có lõi chì, các giá trị tương ứng của hai phương pháp tại cửa đường hàng và cửa đường nhân viên tương ứng đều thấp hơn 0,1 μSv/giờ.

4. Kết luận

Dựa trên kết quả kiểm xạ tại nhà nguồn, cũng như các tính toán và mô phỏng đã thực hiện, có thể khẳng định rằng thiết kế che chắn hiện tại của Buồng chiếu xạ sử dụng nguồn gamma ⁶⁰Co tại Cơ sở Chiếu xạ Đà Nẵng đáp ứng yêu cầu an toàn bức xạ. Tổng hoạt độ nguồn hiện tại là 151 kCi, hệ thống che chắn kết hợp với các biện pháp bảo vệ bổ sung cho phép đảm bảo an toàn cho nhân viên vận hành ngay cả khi nâng hoạt độ nguồn lên tới 2 MCi.

Các kết quả đo suất liều ngoài tường tại các vị trí khảo sát đều ghi nhận giá trị dưới 1 μSv/giờ, phù hợp với giới hạn liều đối với khu vực công chúng theo quy định hiện hành. Tuy nhiên, tại vị trí nắp bê tông phía trên Buồng chiếu xạ - thuộc khu vực hạn chế tiếp cận, suất liều đo được là 24,42 μSv/giờ, vượt ngưỡng giới hạn liều nghề nghiệp được phép (12 μSv/giờ). Do đó, cần áp dụng các biện pháp kiểm soát nghiêm ngặt khu vực trên đỉnh Buồng chiếu xạ, bao gồm hạn chế tiếp cận thường xuyên và tuyệt đối không cho phép người không phận sự tiếp cận vào khu vực này, nhằm ngăn ngừa nguy cơ tiếp xúc bức xạ ngoài ý muốn và đảm bảo an toàn vận hành lâu dài. Ngoài ra, việc giám sát an toàn tại khu vực nắp bê tông phía trên buồng chiếu đã được thiết lập và duy trì theo đúng các tiêu chuẩn an toàn vận hành quốc tế về bức xạ, nhằm đảm bảo tuyệt đối an toàn cho nhân viên và ngăn ngừa mọi nguy cơ tiếp xúc ngoài ý muốn.

Kết quả nghiên cứu đã xem xét đầy đủ hiệu ứng tán xạ bề mặt từ các thành phần cấu trúc của Buồng chiếu xạ. Nhờ việc lựa chọn vật liệu tường có hệ số phản xạ bức xạ thấp, kết hợp với thiết kế khoảng cách che chắn hợp lý, suất liều đo được tại khu vực phía ngoài các cửa Đường hàng và cửa Đường nhân viên đều rất thấp, tương đương với mức phóng bức xạ tự nhiên của môi trường. Điều này khẳng định hiệu quả che chắn và kiểm soát bức xạ tán xạ trong thiết kế hiện tại của hệ thống.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, việc khảo sát phân bố suất liều trong khu vực Buồng chiếu xạ sẽ được tiếp tục triển khai nhằm tối ưu hóa điều kiện vận hành và nâng cao hiệu quả an toàn bức xạ. Phương pháp mô phỏng phân bố suất liều bằng chương trình MCNP, kết hợp với các phép đo thực nghiệm sử dụng liều kế chuyên dụng bố trí bên trong Buồng chiếu, sẽ được áp dụng để xây dựng bộ dữ liệu phân bố liều chi tiết. Các kết quả thu được sẽ đóng vai trò

cơ sở khoa học cho việc thiết kế quy trình chiếu xạ vật liệu, xác định các thông số chiếu tối ưu, đồng thời đảm bảo tuân thủ nghiêm ngặt các quy chuẩn và tiêu chuẩn về an toàn bức xạ quốc gia và quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Maherani, F. Hossain, P. Criado, Y. Ben-Fadhel, S. Salmieri, and M. Lacroix. "World market development and consumer acceptance of irradiation technology", *Journal of Foods*. Vol. 5. No. 79, pp 79-90, 2016, <https://doi.org/10.3390/foods5040079>.
- [2] M. L. Bari, et al. "Irradiation to kill Escherichia coli O157: H7 and Salmonella on ready-to-eat radish and mung bean sprouts." *Journal of Food Protection*, Vol. 67, No. 10, pp 2263–2268, 2004, <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.10.2263>.
- [3] P. Alaei, *Introduction to Health Physics*, 4th edition. McGraw Hill Companies, Inc., New York, 2008.
- [4] *Safety regulations for ionizing radiations*, TCVN 4397:1987, 1987.
- [5] E. A. Preoteasa, E. Preoteasa and I. Suci, "Atomic and nuclear surface analysis methods: a novel perspective for the characterization of dental composites", *Journal of AIMS Materials Science*, Vol. 5, No. 4, pp 781-844, 2018 <https://doi.org/10.3934/matricsci.2018.4.781>.
- [6] Ministry of Science and Technology of Vietnam, *Circular on occupational radiation protection and public radiation protection*, No. 19/2012/TT-BKHCN, 2012.
- [7] L. M. Tuan, T. K. An, C. V. Chung, and P. P. Thang, "Research and design of the moving system for the cobalt-60 industrial irradiator", *Journal of Nuclear Science and Technology*, Vol.6, No.3, pp 31-39, 2016, <https://doi.org/10.53747/jnst.v6i3.162>
- [8] T. Quynh, "Radiation Sterilization in Vietnam: Status, Opportunities and Challenges". Available at SSRN, 2023. <http://doi.org/10.2139/ssrn.4540864>
- [9] P. de S. Santos and P. A. S. Vasquez, "C-188 Co-60 sources installation and source rack loading optimization processes in a gamma irradiation facility", *Proc. Int. Nuclear Atlantic Conference*, Belo Horizonte, Brazil, 2017, pp 1-6.
- [10] Isotope JSC, "Sterilization technologies", *isotop.ru*, [Online]. Available: <http://www.isotop.ru/en/production/Sterilization/475/> [Accessed April 03, 2025].
- [11] A. Satmoko, "Gamma Irradiator Facilities for Processing Plant Industries Products", *Proc. The 3rd International Conference on Agricultural and Life Sciences*, Vol. 142, No. E3S Web Conf., Indonesia, 2020. p. 01003, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014201003>
- [12] A. G. Chmielewski, "Gamma irradiators", Training /learning course, URCA Reims, France, Erasmus plus project, September 2016.
- [13] M. Sohrabpour *et al.*, "Gamma irradiator dose mapping simulation using the MCNP code and benchmarking with dosimetry." *Journal of Applied radiation and isotopes*, Vol 57, No.4, pp 537-542, 2002, [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(02\)00130-6](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(02)00130-6).
- [14] B. Leal-Acevedo and I. Gamboa-deBuen. "Dose distribution calculation with MCNP code in a research irradiator", *Journal of Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 167, pp: 108320, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.05.010>.