

TÍNH TOÁN LIỀU HẤP THỤ TRONG THÙNG HÀNG CỦA THIẾT BỊ CHIẾU XẠ SVST-Co60/B BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP4C2

Mai Văn Nhơn⁽¹⁾, Trần Khắc Ân⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG-HCM

⁽²⁾Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ

(Bài nhận ngày 18 tháng 8 năm 2004, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 19 tháng 11 năm 2004)

TÓM TẮT: Thiết bị chiếu xạ công nghiệp nguồn Cobalt-60, SVST-Co60/B tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ hiện đang được sử dụng chủ yếu cho thanh trùng các mặt hàng thực phẩm khô và đông lạnh. Bài báo trình bày các kết quả tính toán liều hấp thụ trong thùng hàng của thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B bằng chương trình MCNP4C2 đối với hàng thực phẩm có các tỉ trọng là $0,1 \text{ g/cm}^3$, $0,2 \text{ g/cm}^3$, $0,3 \text{ g/cm}^3$ và $0,4 \text{ g/cm}^3$. Từ các kết quả tính toán có thể tính ra các thông số quan trọng của thiết bị về khía cạnh chiếu xạ thực phẩm như phân bố liều trong thùng hàng, tỉ số không đồng đều về liều D_{\max}/D_{\min} . Các số liệu tính toán có ý nghĩa thực tế phục vụ cho công tác vận hành và khai thác thiết bị SVST-Co60/B trong hoạt động chiếu xạ thực phẩm tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ.

1. Mở đầu

Thiết bị chiếu xạ công nghiệp nguồn Cobalt-60 SVST-Co60/B tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ (VINAGAMMA) đã được đưa vào hoạt động từ đầu năm 1999. Thiết bị chiếu xạ này là loại đa chức năng và hiện đang được sử dụng cho khử trùng các vật phẩm y tế, thanh trùng các mặt hàng thực phẩm và chiếu xạ biến tính vật liệu. Hiện nay, hoạt động dịch vụ chiếu xạ tại Trung tâm chủ yếu là thanh trùng các mặt hàng thực phẩm trong đó đa số là thủy hải sản đông lạnh và thực phẩm khô.

Trong vận hành, khai thác thiết bị phục vụ chiếu xạ thực phẩm, các thông số quan trọng cần phải biết là: phân bố liều hấp thụ trong thùng hàng, tỉ số không đồng đều về liều - D_{\max}/D_{\min} , ứng với các tỉ trọng hàng thực phẩm khác nhau. Các thông số này có thể nhận được nhờ các kết quả đo liều hoặc bằng tính toán lý thuyết có độ tin cậy cao. Do chi phí tiến hành đo thí nghiệm lớn và tốn nhiều công sức nên tính toán lý thuyết là một giải pháp tối ưu.

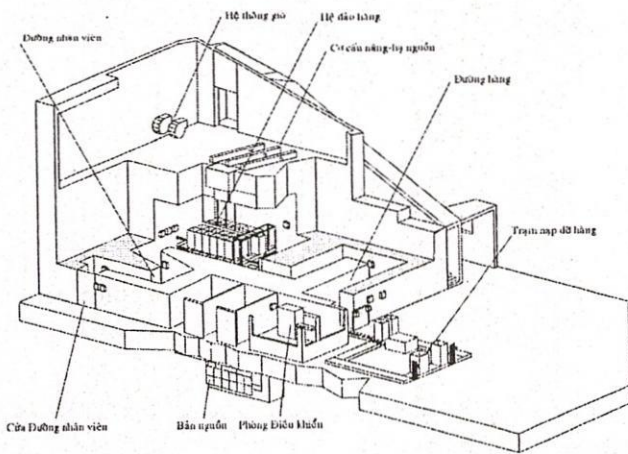
Chương trình MCNP4C2 là phiên bản 4C2 của chương trình tính toán đa mục đích theo phương pháp Monte Carlo MCNP (Monte Carlo N-Particle). Chương trình MCNP4C2 được phát hành bởi Phòng thí nghiệm quốc gia Oak Ridge của Mỹ. Chương trình cho phép tính toán riêng cho từng loại hạt neutron, photon và electron, cho neutron và photon (photon tạo bởi tương tác của neutron), photon và electron, neutron, photon và electron (photon tạo bởi neutron và electron). Tùy theo yêu cầu người sử dụng chương trình có thể đưa ra các kết quả tính: dòng qua bề mặt, mật độ dòng qua bề mặt, quãng đường theo năng lượng hạt để lại, quãng đường theo năng lượng phân hạch, phân bố năng lượng của các xung trong điểm đo. Chương trình cho phép mô tả chi tiết hình học và vật chất có mặt trong bài toán. Chương trình rất phù hợp với các bài toán có cấu hình phức tạp và môi trường do nhiều vật chất tạo nên. Thông thường cấu trúc hình học và vật liệu của thùng chứa hàng và hệ đảo hàng trong buồng chiếu của một thiết bị chiếu xạ là rất phức tạp nên MCNP4C2 đã được lựa chọn để tính toán liều hấp thụ phân bố trong thùng hàng của thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B tại VINAGAMMA.

Bài báo đưa ra các kết quả tính toán liều hấp thụ trong thùng hàng của thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B với các tỉ trọng khác nhau của hàng thực phẩm được chọn là tôm và các sản phẩm từ tôm bằng chương trình MCNP4C2. Từ các số liệu tính được về liều hấp thụ có thể xác định được phân bố liều hấp thụ trong thùng chứa hàng, tính ra được tỉ số không đồng đều về liều ứng với từng tỉ trọng hàng. Các số liệu này sẽ là tài liệu quan trọng phục vụ cho công tác vận hành và khai thác thiết bị chiếu xạ tại VINAGAMMA trong chiếu xạ hàng thủy hải sản đông lạnh.

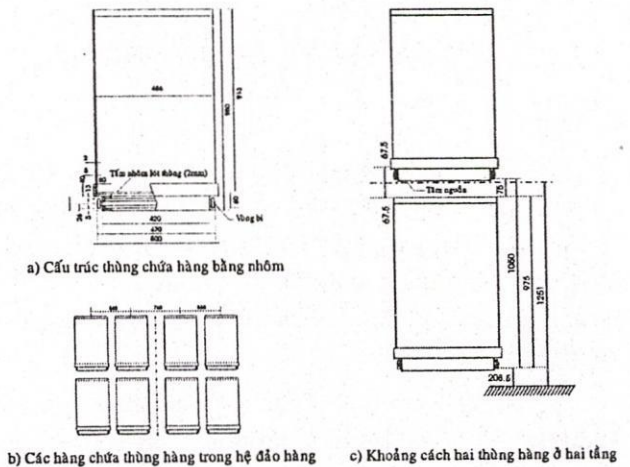
2. Chương trình tính liều hấp thụ trong thùng hàng

Việc chiếu xạ của thiết bị SVST-Co60/B được thực hiện trong buồng chiếu xạ. Trong buồng chiếu có bể nước chứa nguồn, hệ đảo hàng, các cơ cấu cơ khí liên quan. Hệ đảo hàng có nhiệm vụ tiếp nhận thùng hàng vừa được vận chuyển bằng xe từ kho chứa hàng đi vào buồng chiếu, đảo các thùng hàng trong buồng chiếu và chuyển thùng hàng đã chiếu lên xe để đưa ra ngoài buồng chiếu. Hệ đảo hàng chứa 68 thùng hàng được xếp theo 4 hàng (mỗi bên nguồn 2 hàng) và theo hai tầng. Hình 1 mô tả mặt cắt của thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B.

Chương trình đưa số liệu vào để chạy MCNP4C2 tính liều hấp thụ trong thùng hàng chứa tôm đông lạnh bao gồm các thông tin: mô tả hình học bài toán, khai báo vật liệu có mặt trong bài toán, mô tả nguồn phóng xạ, yêu cầu thông tin đưa ra và một số khai báo cần thiết khác. Mô tả hình học bài toán gồm các mô tả buồng chiếu, hệ đảo hàng, thùng nhôm, đường nhân viên và đường hàng đi vào buồng chiếu, bể nước chứa nguồn sâu 6 mét và các bản nguồn Cobalt-60. Chương trình mô tả chi tiết thùng chứa hàng, từng thanh nguồn, các chi tiết cơ khí của hệ đảo hàng, kích thước tường bê tông, đường hàng và đường nhân viên. Hình 2a mô tả thùng chứa hàng bằng nhôm, Hình 2b và 2c mô tả bố trí các hàng chứa thùng hàng ở hai tầng của hệ đảo hàng [6].



Hình 1: Mặt cắt thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B



Hình 2: Thùng hàng chứa sản phẩm

Trong chương trình cần đưa vào các khai báo về vật liệu có trong bài toán. Do thủy hải sản đông lạnh được thanh trùng tại VINAGAMMA chủ yếu là tôm nên các số liệu về hàng thực phẩm được chọn là tôm. Thành phần tôm gồm prôtít, lipít, nước, canxi, phốt pho, sắt, natri và kali. Tỷ trọng của tôm được thay đổi theo hàm lượng nước chứa trong tôm và các sản phẩm của tôm. Bảng 1 đưa ra tỷ phần các nguyên tố của tôm ứng với các tỷ trọng khác nhau. Bảng 2, 3, 4 là tỷ phần các nguyên tố trong không khí, bê tông và các vật liệu khác [3, 4, 5].

Bảng 1: Thành phần các nguyên tố theo các tỷ trọng của tôm chế biến

TT	H	C	N	O	Na	S	K	Ca	P
0.1	0,00831	0,03627	0,01124	0,04142	0,00017	0,00066	0,00101	0,00011	0,00080
0.2	0,02086	0,01892	0,00590	0,15294	0,00009	0,00035	0,00053	0,00006	0,00042
0.3	0,03206	0,01892	0,00590	0,24174	0,00009	0,00035	0,00053	0,00006	0,00042
0.4	0,04326	0,01892	0,00590	0,33054	0,00009	0,00035	0,00053	0,00006	0,00042

Bảng 2: Thành phần không khí ở điều kiện tiêu chuẩn

Không khí	Tỷ trọng (g/cm ³)	N	O	Ar
	0,00129	0,75500	0,23200	0,01300

Bảng 3: Thành phần bê tông

Tỉ trọng (g/cm ³)	H	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
2,2505	0,00453	0,51260	0,01155	0,00387	0,03555	0,36036	0,01422	0,04355	0,01378

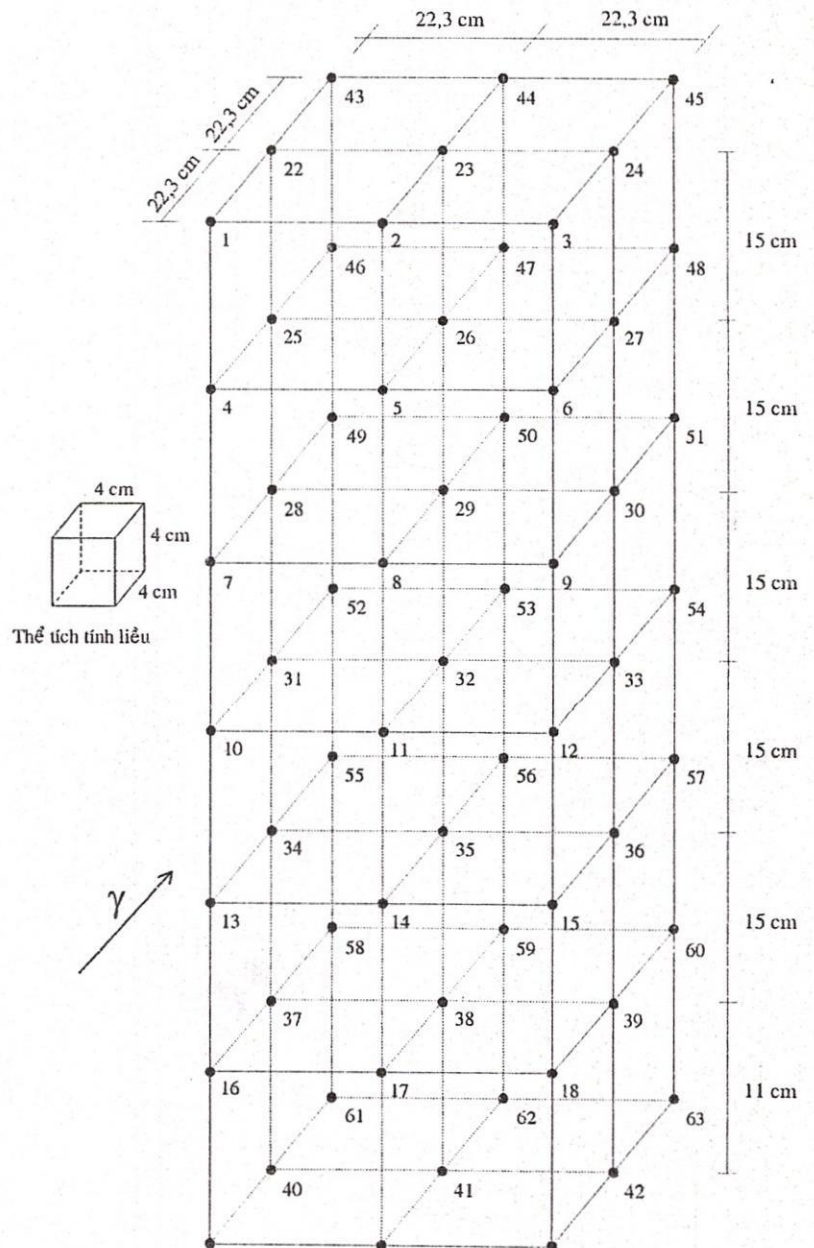
Bảng 4: Tỉ trọng và thành phần của nước, sắt, nhôm, Cobalt, thép không rỉ

Vật liệu	Tỉ trọng (g/cm ³)	H	C	O	Al	Mn	Fe	Co	Ni
Nước	1	0,1119		0,8881					
Thép	7,86						1		
Nhôm	2,6989				1				
Nguồn	8,83							1	
Thép không rỉ	7,9		0,005			0,005	0,8		0,19

Chương trình tính liều hấp thụ trung bình trong 63 thể tích hình hộp với kích thước 4 cm x 4 cm x 4 cm được phân bố đều trừ 6 hình hộp ở đáy thùng chứa hàng. Việc bố trí các hình hộp này được dự tính cho phù hợp với các điểm đo thực nghiệm. Tâm các hình hộp được phân bố trên 3 mặt cắt đứng của thùng hàng: hai mặt đối diện với nguồn và một mặt giữa thùng hàng. Mỗi mặt có 21 điểm tính liều. Liều hấp thụ được tính tại từng vị trí trong thùng hàng, theo từng thùng hàng trong hệ đảo hàng. Vị trí các tâm hình hộp được mô tả trong Hình 3. Các điểm tính được đánh số từ 1 đến 63.

Mỗi một chương trình tính liều hấp thụ cho 3 điểm trong thùng chứa hàng. Như vậy, ứng với một tỉ trọng hàng có 21 chương trình tính. Một chương trình tính 3 điểm có 196 thẻ ô (Cell Card), 194 thẻ mặt (Surface Card), 8 thẻ mô tả vật liệu (Material Card), 72 thẻ kết quả (Tally Card), 4 thẻ dịch tọa độ, 33 thẻ nguồn và 1 thẻ định thời gian tính. Thời gian chạy của mỗi chương trình là 120 phút trên máy PC Pentium 4.

Hoạt độ nguồn Cobalt-60 được dùng trong tính toán là 240 kCi, thời gian chiếu xạ được tính là 1 giờ.



Hình 3: Vị trí các điểm tính liều trong thùng

3. Kết quả tính toán và bình luận

File số liệu đưa ra của MCNP4C2 được đọc bằng Notepad và được xử lý bằng Excel. Bảng 5 là một thí dụ về kết quả tính phân bố liều hấp thụ trong thùng hàng có tỉ trọng 0,2 g/cm³. Các giá trị trong bảng là liều hấp thụ tính bằng kGy với thời gian chiếu xạ là 1 giờ. Các kết quả tính toán luôn luôn nhỏ hơn các giá trị đo thực nghiệm từ 0,4 % đến 9,2 % (sai số đo thực nghiệm là 5%) [1, 2].

Bảng 5: Phân bố liều trong thùng hàng có tỉ trọng 0,2 g/cm³

Z (cm)	H (cm)	Điểm	Liều (kGy)	Sai số	Điểm	Liều (kGy)	Sai số	Điểm	Liều (kGy)	Sai số
45,7	88	1	1,368	0,006	22	1,172	0,006	43	1,371	0,006
45,7	88	2	1,532	0,007	23	1,202	0,006	44	1,529	0,007
45,7	88	3	1,366	0,006	24	1,174	0,006	45	1,367	0,006
30,7	73	4	1,435	0,006	25	1,213	0,006	46	1,438	0,006
30,7	73	5	1,604	0,007	26	1,230	0,006	47	1,605	0,007
30,7	73	6	1,427	0,006	27	1,213	0,006	48	1,427	0,006
15,7	58	7	1,364	0,006	28	1,203	0,006	49	1,376	0,006
15,7	58	8	1,512	0,007	29	1,222	0,006	50	1,502	0,007
15,7	58	9	1,367	0,006	30	1,200	0,006	51	1,371	0,006
0,7	43	10	1,322	0,006	31	1,211	0,006	52	1,332	0,006
0,7	43	11	1,414	0,006	32	1,228	0,006	53	1,423	0,006
0,7	43	12	1,325	0,006	33	1,206	0,006	54	1,318	0,006
-14,3	28	13	1,422	0,006	34	1,216	0,006	55	1,406	0,006
-14,3	28	14	1,570	0,007	35	1,227	0,006	56	1,580	0,007
-14,3	28	15	1,406	0,006	36	1,206	0,006	57	1,405	0,006
-29,3	13	16	1,434	0,006	37	1,188	0,006	58	1,443	0,006
-29,3	13	17	1,605	0,007	38	1,207	0,006	59	1,614	0,007
-29,3	13	18	1,406	0,006	39	1,193	0,006	60	1,430	0,006
-40,3	2	19	1,275	0,006	40	1,113	0,005	61	1,263	0,006
-40,3	2	20	1,463	0,006	41	1,186	0,005	62	1,470	0,006
-40,3	2	21	1,259	0,006	42	1,102	0,005	63	1,255	0,006

Z (cm): Tọa độ theo trục Z, H (cm): Chiều cao tính từ đáy thùng phần chứa hàng

Từ bảng số liệu trên có thể đưa ra một số nhận xét về phân bố liều trong thùng hàng. Liều trong một thùng hàng được phân bố tương đối đều đặc biệt là liều ở mặt phẳng đối diện nằm giữa thùng hàng. Tuy nhiên, trong thùng hàng có các vị trí liều hấp thụ là cực tiểu và cực đại. Các giá trị liều hấp thụ cực đại được in đậm, các giá trị cực tiểu được in nghiêng đậm. Các vị trí có liều hấp thụ cực tiểu là 4 ở trên cùng và dưới cùng giữa hai cạnh bên cạnh thùng hàng vuông góc với bản nguồn: liều D_{min1} , ở trên cùng (điểm 22 và 24) và liều D_{min2} , dưới cùng thùng hàng (điểm 40 và 42). Đối với thùng hàng của thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B, hai vị trí cực tiểu dưới nhỏ hơn hai vị trí cực tiểu trên do cản xạ của đai nhôm dày 5 mm gia cố thùng hàng và đế nhôm của thùng hàng. Đối với tỉ trọng hàng từ 0,2 g/cm³ đến 0,6 g/cm³ chênh lệch giữa hai giá trị trên và dưới là 0,07 kGy. Các vị trí có liều hấp thụ cực đại là 4 vị trí giữa hai cạnh thùng hàng đối diện bản nguồn (điểm 5, 47, 17 và 59). Bằng chương trình tính liều dọc theo chiều cao thùng hàng với khoảng cách các điểm là 5 cm (thay vì 15 cm) có thể tìm thấy chiều cao chính xác các điểm cực đại ở phía trên cách mép trên thùng hàng 18 cm và phía dưới cách đáy thùng hàng 13 cm. Vị trí liều cực đại nằm ở hai mặt đối diện với bản nguồn là do hai mặt này được chiếu trực tiếp từ bản nguồn và thùng hàng được dịch chuyển qua hai tầng nên liều cực đại sẽ nằm gần khoảng giữa hai nửa thùng hàng. Vị trí hai điểm liều cực tiểu ở trên cùng và dưới cùng

của hai mặt cạnh bên thùng hàng vuông góc với bản nguồn do không được chiếu trực tiếp từ bản nguồn.

Từ bảng số liệu về liều hấp thụ trong thùng hàng với các tỉ trọng khác nhau có thể xác định được các giá trị liều cực đại và cực tiểu, tính được tỉ số D_{max}/D_{min} . Các giá trị D_{max} và D_{min} và tỉ số D_{max}/D_{min} ứng với các tỉ trọng khác nhau được đưa ra trong Bảng 6. Giá trị cực đại cho thùng hàng được tính là trung bình của 4 giá trị cực đại, giá trị cực tiểu D_{min1} và D_{min2} cho thùng hàng là trung bình của hai giá trị cực tiểu tương ứng phía trên và phía dưới thùng hàng.

Bảng 6: Các giá trị D_{max} , D_{min} và tỉ số D_{max}/D_{min} trong thùng hàng

Tỉ trọng (g/cm ³)	D_{max}		$D_{min.1}$		$D_{min.2}$		$D_{max}/D_{min.1}$ (A)		$D_{max}/D_{min.2}$ (B)	
	kGy	Sai số	kGy	Sai số	kGy	Sai số	Giá trị	Sai số	Giá trị	Sai số
0,1	1,737	0,004	1,337	0,004	1,270	0,004	1,299	0,005	1,368	0,005
0,2	1,607	0,003	1,173	0,004	1,108	0,004	1,370	0,005	1,450	0,005
0,3	1,467	0,003	1,013	0,004	0,943	0,003	1,448	0,005	1,556	0,006
0,4	1,352	0,003	0,880	0,003	0,813	0,003	1,536	0,005	1,663	0,007

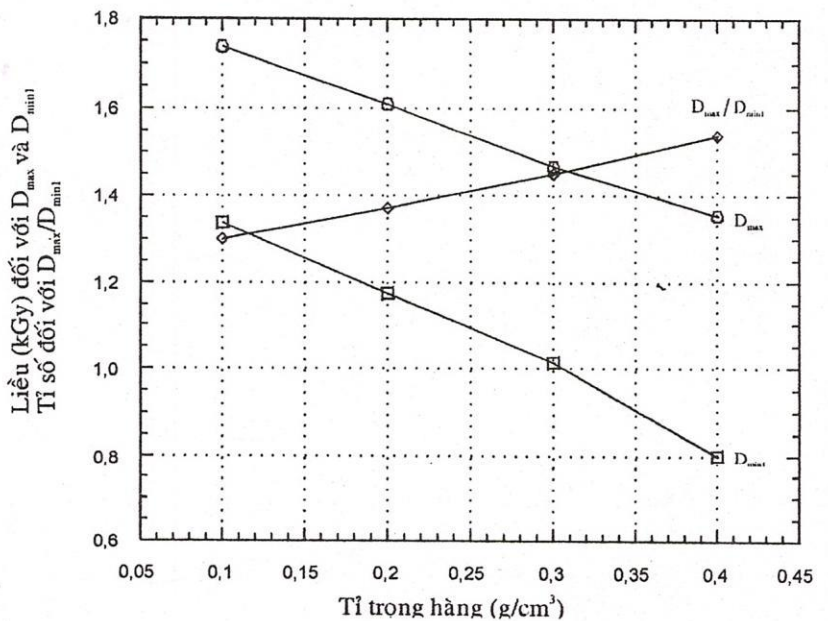
Các vị trí ở đáy thùng hàng có liều hấp thụ thấp nhất và là các giá trị không mong muốn trong chiếu xạ. Hàng chiếu xạ sẽ được xếp vào thùng với tấm lót đáy thùng hàng là vật liệu xốp 3 cm để tránh vùng liều hấp thụ thấp. Khi đó ta chỉ quan tâm đến các giá trị cực tiểu phía trên thùng hàng, D_{min1} . Các vị trí cực tiểu phía trên là vị trí nhân viên vận hành thường đặt liều kế để kiểm soát liều chiếu.

Để phục vụ cho công tác vận hành thiết bị trong chiếu xạ thực phẩm, từ các số liệu tính toán được có thể đưa ra các hàm làm khớp và đồ thị của các giá trị liều hấp thụ cực đại, cực tiểu và tỉ số D_{max}/D_{min1} . Tỉ số D_{max}/D_{min1} là một hàm gần tuyến tính theo tỉ trọng hàng chiếu xạ. Để thuận tiện trong việc sử dụng cho nhân viên vận hành thiết bị, các hàm làm khớp và đồ thị được tính với hoạt độ nguồn quy đổi là 100 kCi, thời gian chiếu xạ là 1 giờ. Nhân viên vận hành dựa trên tỉ trọng hàng cần chiếu xạ, liều chiếu cần đạt được và yêu cầu cần đảm bảo về liều cực tiểu, liều cực đại và yêu cầu về tỉ số không đồng đều về liều sẽ có thể tính ra thời gian chiếu xạ cần thiết. Các hàm là khớp là:

Hàm làm khớp D_{max} : $D_{max} = 0,5597\rho^2 - 0,8873\rho + 0,8226$ với $R^2 = 0,9988$
 Hàm làm khớp D_{min1} : $D_{min.1} = 0,5967\rho^2 - 0,9766\rho + 0,6588$ với $R^2 = 0,9995$
 Hàm làm khớp D_{max}/D_{min1} : $D_{max}/D_{min1} = 0,8226\rho + 1,2096$ với $R^2 = 0,9965$

Các giá trị D_{max} , D_{min1} được tính bằng kGy, các giá trị tỉ trọng ρ được tính bằng g/cm³, các giá trị R^2 là các giá trị tự tương quan.

Hình 4 biểu diễn các giá trị liều hấp thụ cực đại và cực tiểu và tỉ số không đồng đều về liều ứng với các tỉ trọng khác nhau.



Hình 4: Biểu diễn D_{max} , D_{min1} và tỉ số D_{max}/D_{min1} theo tỉ trọng hàng

4. Kết luận

Các kết quả tính toán khá phù hợp với các số liệu đo bằng thực nghiệm. Sai khác về giá trị tính toán và thực nghiệm có thể do sai số của hoạt độ nguồn phóng xạ được ghi trong đặc trưng kỹ thuật của nguồn là 10%. Phân bố liều trong thùng hàng cho thấy có những giá trị cực trị. Các giá trị này có ý nghĩa thực tế phục vụ cho công tác vận hành thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B tại Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ. Các hàm số và đồ thị được xây dựng từ các kết quả tính là những tư liệu quan trọng giúp cho các nhân viên vận hành xác định thời gian chiếu xạ và giúp cho công tác QA-QC trong chiếu xạ thực phẩm.

Chương trình MCNP4C2 là một chương trình mạnh và hy vọng sẽ được sử dụng có hiệu quả trong các tính toán khác liên quan đến thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B tại VIANAGMMA, phục vụ cho công tác vận hành, công tác an toàn bức xạ, công tác QA-QC và phục vụ cho các tính toán thiết kế máy chiếu xạ trong tương lai.

CALCULATION OF ABSORBED DOSE IN A TOTE BOX OF THE IRRADIATOR SVST-Co60/B BY USING THE CODE MCNP4C2

Mai Van Nhon⁽¹⁾, Tran Khac An⁽²⁾

⁽¹⁾University of Natural Sciences – Vietnam National University - Ho Chi Minh City

⁽²⁾Research and Development Center for Radiation Technology

ABSTRACT: *The industrial Cobalt-60 irradiator, SVST-Co 60/B at Research and Development Center for Radiation Technology has been mainly used for pasteurization of dried and frozen foods. The paper presents the calculation results of absorbed dose in a tote box of the irradiator at the product densities of 0.1 g/cm³, 0.2 g/cm³, 0.3 g/cm³ and 0.4 g/cm³ by using the code package MCNP4C2. Based on the gained results the important parameters of the irradiator such as the dose distribution in a tote box, the ratio of dose inhomogeneity have been calculated. These parameters are very useful and helpful for operation and exploitation of the irradiator in the service of food irradiation at the Center.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Khắc Ân và các cộng sự, *Nghiên cứu phương án cải tiến thiết bị chiếu xạ SVST-Co 60/B nhằm nâng cao hiệu suất xử lý, đáp ứng yêu cầu chiếu xạ hiện nay*, Báo cáo Tổng kết Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Cơ sở năm 2000, Mã số CS/00/02-04, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam.
- [2]. Trần Văn Hùng, Trần Khắc Ân, *Tính toán phân bố liều trong thùng hàng chiếu xạ trên Thiết bị chiếu xạ SVST-Co60/B*, Báo cáo Tổng kết Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Cơ sở năm 2002, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam.
- [3]. Trần Đức Ba, Lê Vi Phúc, Nguyễn Văn Quan, *Kỹ thuật Chế biến lạnh Thủy sản*, Nhà xuất bản Đại học và Giáo dục Chuyên nghiệp, 1990
- [4]. *Introduction to Health Physics*, Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering and Social Studies, Publisher: Robert Maxwell, M.C
- [5]. MCNP4A, Oak Ridge National Laboratory, Radiation Shielding Information Center, 1993
- [6]. *Operation and Maintenance Manual for SVST-Co60/B type Irradiator*, Vol.1, 2, Institute of Isotopes Co., Ltd, Budapest, Hungary