

SAI SỐ HỆ THỐNG CỦA PHƯƠNG PHÁP ĐO GAM-MA TRÊN CƠ SỞ PHÂN BỐ NGẪU NHIÊN CỦA NGUỒN PHÓNG XẠ TRONG CÁC THÙNG CHỨA CHẤT THẢI

TRẦN QUỐC DŨNG*

TÓM TẮT

Trong kiểm tra các thùng thải phóng xạ, việc đánh giá sai số liên quan đến việc phân bố ngẫu nhiên của các nguồn phóng xạ bên trong thùng thải đang được quan tâm. Các đánh giá mang tính cực đoan đã được đưa ra trên cơ sở giả thiết nguồn phóng xạ luôn ở vị trí có sai số lớn nhất. Điều này không phản ánh đúng thực tế. Bài báo này trình bày một phương pháp đánh giá sai số hệ thống của kỹ thuật đo gam-ma sử dụng hai đề-téc-tơ đồng nhất trên cơ sở giả thiết rằng phân bố của nguồn phóng xạ trong các thùng chứa chất thải có tính ngẫu nhiên. Kết quả cho thấy trong hầu hết các trường hợp, sai số hệ thống nhỏ hơn nhiều so với cách đánh giá bằng phương pháp tất định mang tính cực đoan.

Từ khóa: kỹ thuật đo gam-ma, chất thải phóng xạ, phổ kế gam-ma.

ABSTRACT

Discussion on the systematic error of gamma measurement based on the random distribution of radioactive sources in the waste

In the checking of radwaste drums, the evaluation of errors related to the random distribution of the radioactive source inside the radwaste drums is concerned. The extreme assessments were made based on the assumption that radioactive sources are in the place causing the largest error. This does not reflect reality. This paper presents an evaluation method of systematic error of the measurement technique using two identical detectors based on the assumption that the distribution of radioactive sources in the waste drums are random. The results show that in most cases systematic errors are much smaller than that of the deterministic method having the extreme assessments.

Keywords: Gamma techniques, Radioactive waste, Gamma spectrometry.

1. Giới thiệu

Quá trình hoạt động của lò phản ứng hạt nhân tạo ra một số lượng lớn rác thải phóng xạ thường được chứa trong các thùng kín lớn. Các thùng thải phóng xạ cần phải được kiểm tra để đánh giá thành phần và hoạt độ của các đồng vị phóng xạ trước khi đem đi cất giữ hoặc điều kiện hóa nhằm tuân thủ các nguyên tắc về quản lý chất thải phóng xạ. Yêu cầu của phương pháp đo đáp ứng được các vấn đề sau: thứ nhất, nhận biết được gam-ma đặc trưng cho các đồng vị; thứ hai, xác định mức độ phóng xạ; thứ ba, đánh giá được sai số của phép đo [2].

Không kể đến sai số hệ thống của thiết bị đo và sai số ngẫu nhiên, sai số hệ thống

* TS, Trung tâm Hạt nhân TPHCM

của phép đo là do sự vào phân bố của nguồn và chất độn (matrix material) không đúng như giả thiết khi tiến hành xây dựng phép đo. Cho đến hiện nay việc đánh giá sai số hệ thống này của phép đo là một vấn đề đang được quan tâm. Các đánh giá cực đoan với các giá trị cực đại của sai số hệ thống cho kỹ thuật quét gam-ma phân đoạn (Segmented Gamma Scanning) và sử dụng hai đề-téc-tơ đồng nhất đã được đưa ra [3-5]. Việc đánh giá cực đoan dựa trên giả thuyết là các nguồn phóng xạ trong thùng thải luôn ở các vị trí mà sai số hệ thống là cực đại. Điều này không phản ánh đúng thực tế bởi vì khi các nguồn phóng xạ được đưa vào thùng thải thì chúng nằm ngẫu nhiên ở một vị trí nào đó chứ không nhất thiết phải nằm ở các vị trí sẽ dẫn đến sai số cực đại. Trên cơ sở đã có, chúng tôi đã nêu ra một phương pháp tính toán sai số hệ thống gần với thực tế hơn dựa trên giả thiết các nguồn rác thải trong thùng được phân bố theo một cách hoàn toàn ngẫu nhiên theo luật phân phối đều. Kết quả cho thấy trong hầu hết các trường hợp, sai số hệ thống nhỏ hơn nhiều so với cách đánh giá bằng phương pháp tất định mang tính cực đoan.

2. Mô hình tính toán sai số

2.1. Nguyên lý đo

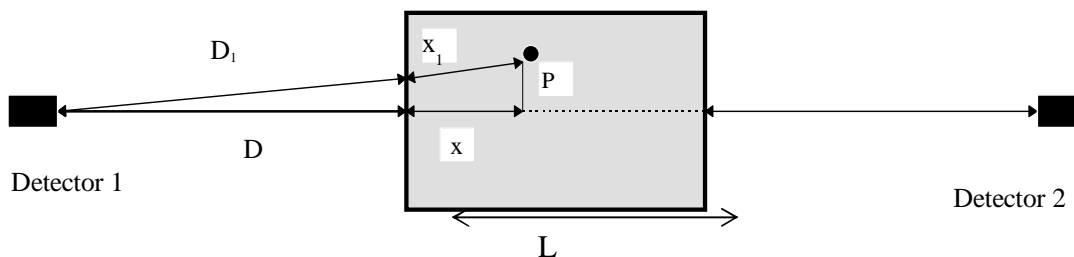
Nguyên lý của kỹ thuật đo được đề xuất bởi A.Cesana và cộng sự [1]. Thùng thải hình trụ được đặt nằm, hai detector đồng nhất đặt trên trục của thùng với cùng khoảng cách từ đáy (hình 1). Nếu khoảng cách này đủ lớn thì kích thước của detector và bán kính của thùng có thể bỏ qua.

Nếu gọi A là hoạt độ của nguồn tại điểm P; C₁, C₂ là các tốc độ đếm của đề-téc-tơ 1 và đề-téc-tơ 2, khi đó

$$A = \frac{(C_1 C_2)^{1/2}}{G} \tag{1}$$

G- hiệu suất đo hình học được xác định bởi

$$G = \frac{(C_1 \cdot C_2)^{1/2}}{A} = \frac{\alpha}{D^2} \exp(-\mu_1 \cdot L / 2) \tag{2}$$



Hình 1. Cấu hình đo một thùng chất thải
Khoảng cách từ hai đề-téc-tơ tới hai đáy thùng là như nhau

Trong đó: α - hệ số, nó phụ thuộc vào năng lượng của bức xạ gam-ma cần đo, hiệu suất ghi của đề-téc-tơ, vật liệu và bề dày của thành thùng; μ - hệ số hấp thụ tuyến tính (cm^{-1}), với $\mu_1 = 2/D + \mu$.

Việc đưa ra hệ số G ở công thức (2) đã sử dụng ba giả thiết gần đúng: thứ nhất, khoảng cách D đủ lớn hơn chiều dài của thùng thải L, khi đó, $D \sim D1$, $x \sim x_1$; thứ 2, $x/D \ll 1$; thứ 3, hoạt độ phóng xạ tập trung ở trong một lớp mỏng cắt ngang trục thùng.

Trong trường hợp tổng quát, hoạt độ nguồn phân bố một cách ngẫu nhiên, khi đó thùng thải được chia nhỏ thành nhiều lớp mỏng. Nếu A_i là hoạt độ của lớp thứ i ở độ sâu x_i khi đó tốc độ đếm của hai đề-téc-tơ 1,2 được tính như sau:

$$C_1 = \frac{\alpha}{D^2} \sum_i A_i e^{-\mu_1 x_i}, \quad C_2 = \frac{\alpha}{D^2} \sum_i A_i e^{-\mu_1(L-x_i)}$$

$$\text{Vì thế } (C_1 \cdot C_2)^{1/2} = \frac{\alpha \cdot e^{-\mu_1 L/2}}{D^2} \left(\sum_i A_i e^{-\mu_1 x_i} \cdot \sum_i A_i e^{+\mu_1 x_i} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Từ hệ thức này ta thấy hiệu suất đo hình học chính xác G_T phải được xác định bằng công thức sau:

$$G_T = \frac{(C_1 \cdot C_2)^{1/2}}{A} = \frac{\alpha \cdot e^{-\mu_1 L/2}}{D^2 \cdot A} \left(\sum_i A_i e^{-\mu_1 x_i} \cdot \sum_i A_i e^{+\mu_1 x_i} \right)^{1/2} =$$

$$= \frac{\alpha \cdot e^{-\mu_1 L/2}}{D^2} \left\{ 1 + \sum_i \sum_{j>i} \frac{A_i \cdot A_j}{A^2} \left[e^{\mu_1(x_i-x_j)} + e^{-\mu_1(x_i-x_j)} - 2 \right] \right\}^{1/2} \quad (4)$$

trong đó, A là hoạt độ tổng. $A = \sum A_i$

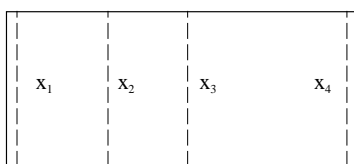
Nếu so sánh công thức (4) và công thức (2) ta thấy hai giá trị G_T và G gần bằng nhau khi hệ số hấp thụ tuyến tính μ nhỏ hay khoảng cách (x_i-x_j) nhỏ, nghĩa là hoạt độ tổng tập trung ở một phần nhỏ trong thể tích của thùng. Sai số sẽ tăng lên khi hệ số hấp thụ μ tăng hoặc/và khoảng cách giữa các nguồn (x_i-x_j) lớn. Sai số đạt giá trị cực đại khi có 2 nguồn có hoạt độ như nhau nằm ở hai đầu thùng.

2.2. Đánh giá sai số

Mô hình tắt định

Các tính toán đã chỉ cho thấy sai số do giả thiết thứ nhất và thứ hai gây ra chỉ khoảng 7% [3]. Như đã đề cập ở trên đây, khi hệ số hấp thụ μ không đổi thì sai số chủ yếu là do khoảng cách giữa các nguồn (x_i-x_j) lớn. Để ước lượng sai số này, hai nguồn dạng tấm với những khoảng cách giữa chúng khác nhau được làm mẫu như Hình 2. Tỷ số giữa hoạt độ đo được (A) và hoạt độ “thực” (A_t) trong thùng thải phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai nguồn thể hiện ở Bảng 1 cho trường hợp hệ số hấp thụ $\mu=0,03\text{cm}^{-1}$ và $D=150\text{ cm}$.

Do không thể biết được phân bố của nguồn trong thùng nên khi đánh giá sai số hệ thống của phép đo các giá trị ước lượng lớn nhất thường được chọn. Cụ thể ở trong trường hợp đang xét sai số hệ thống sẽ là 220% tương ứng với sự phân bố của 2 nguồn có hoạt độ như nhau nằm ở hai đầu thùng, hoạt độ đo được lớn gấp hơn 3 lần hoạt độ thực trong thùng.



Hình 2. Một tập hợp của hai nguồn phóng xạ trong hai lớp khác nhau được xem xét

Bảng 1. Sự phụ thuộc của A/A_t vào khoảng cách giữa hai nguồn

Khoảng cách giữa hai nguồn	x_1-x_2 (L/4)	x_1-x_3 (L/2)	x_1-x_4 (L)	x_2-x_3 (L/4)	x_2-x_4 (3L/4)
A/A_t	1,17	1,49	3,22	1,15	2,14

Mô hình dựa trên sự phân bố ngẫu nhiên của nguồn

Mô hình tính toán trên là cực đoan và đưa ra sai số lớn nhất do luôn giả định rằng thùng chất thải luôn chứa 2 nguồn có hoạt độ như nhau nằm ở hai đầu thùng khi đánh giá sai số hệ thống. Điều này không phù hợp với thực tế do xác suất để có 2 nguồn có hoạt độ như nhau nằm ở hai đầu thùng là rất thấp. Dựa trên nhận xét này, một mô hình đánh giá sai số dựa trên giả thuyết sự phân bố ngẫu nhiên của hai nguồn theo luật phân bố đều được đề nghị với thủ tục tính như sau:

- Khởi tạo biến một cách ngẫu nhiên để có được giá trị x_1 với $0 \leq x_1 \leq L$;
- Khởi tạo biến một cách ngẫu nhiên để có được giá trị x_2 với $0 \leq x_2 \leq L$;
- Tính giá trị hoạt độ A_i theo công thức (1) và (2) sau đó tính tỉ số A_i / A_t ;
- Tính giá trị $A_{tb} = \sum_{i=1}^n A_i / n$, n là số lần thử.

Không làm mất tính tổng quát của bài toán, giá trị của hệ số α và hoạt độ của nguồn được chọn là 1.

Khá nhiều các tính toán cho các trường hợp khác nhau về sự thay đổi của hệ số suy giảm tuyến tính gam-ma và khoảng cách từ đáy thùng đến đề-téc-tơ đã được tiến hành. Ở đây chỉ đưa ra một số kết quả tiêu biểu để làm cơ sở cho thảo luận về phương pháp. Các kết quả với 10 phép thử được cho ở Bảng 2. Tỉ số trung bình của hoạt độ tính và hoạt độ thực qua những lần thử được cho ở Bảng 3.

Bảng 2. Kết quả với 10 phép thử

Lần thử i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_1(\text{cm})$	0	10	40	30	50	85	75	20	40	30
$x_2(\text{cm})$	90	50	60	90	80	86	80	50	80	40
A_i/A	3.21	1.47	1.17	2.03	1.3	1.13	1.11	1.29	1.47	1.11

Bảng 3. Tỷ số trung bình của hoạt độ tính và hoạt độ thực qua những lần thử với $D=150 \text{ cm}, \mu=0.03 \text{ cm}^{-1}$.

Số lần thử	10	50	100	500	1000	4000
A_{tb}	1.53	1.51	1.46	1.41	1.46	1.44

3. Kết luận

Kết quả trong Bảng 2 và các trường hợp đã xem xét cho thấy xác suất về sự phân bố của nguồn để dẫn đến sai số lớn khi khoảng cách giữa hai nguồn lớn hơn một nửa độ cao của thùng là thấp so với các trường hợp khác. Các trường hợp thử từ 10 đến 4000 đã được khảo sát, kết quả ở Bảng 3 cho thấy sai số trung bình chỉ dao động từ 40-50 %. Như vậy sự phân bố ngẫu nhiên của nguồn phóng xạ trong thùng thải đã đưa đến kết quả sai số hệ thống nhỏ hơn nhiều so với phương pháp tắt định. Điều này làm tăng độ tin cậy về khả năng áp dụng của kỹ thuật đo.

Để có thể đưa ra mô hình đánh giá sai số dựa trên sự phân bố ngẫu nhiên của nguồn phóng xạ, cần phải tiến hành làm sáng tỏ các yếu tố sau đây:

- Mô hình về sự phân bố đều của nguồn trong thùng thải đã phản ánh đúng quy trình đưa nguồn thải vào thùng trong thực tế chưa.
- Việc áp đặt hai nguồn ngẫu nhiên có hoạt độ như nhau trong mô hình tính là chưa phản ánh đúng thực tế, vì thế cần phải mô hình hóa sự ngẫu nhiên về hoạt độ của nguồn.
- Cần phải thiết lập một chương trình tính tổng quát để có thể đánh giá ảnh hưởng đến sai số hệ thống của các yếu tố như: hiệu suất ghi của đề-têc-tơ, khoảng cách từ đề-têc-tơ đến thùng thải, hệ số suy giảm tuyến tính tương ứng với các năng lượng gam-ma khác nhau của các nguồn thải phóng xạ v.v...
- So sánh các cấu hình đo khác nhau để từ đó có thể tối ưu hóa việc lựa chọn kỹ thuật đo sao cho có thể nhận được sai số hệ thống là thấp nhất.

Mặc dù vẫn còn phải tiếp tục nghiên cứu để có thể đưa ra một phương thức đánh giá sai số hệ thống, mô hình đánh giá sai số dựa trên sự phân bố ngẫu nhiên của nguồn đã chứng minh được khả năng tin cậy của nó do nó phản ánh một cách khá trung thực quá trình xảy ra trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. Cesana, M Terrani and G. Sandrelli (1993), “Gamma Activity Determination in Waste Drums from Nuclear Plants”, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 44, No. 3, pp. 517–520.
2. S. Guardini (1992), “ESARDA Technical Workshop on Nondestructive Assay Techniques Applicable to Safeguarding Nuclear Materials in Waste. Final Report”, *Proc. of 14th ESARDA Annual. Symp.* Salamanca, Spain, 5-8 May, pp. 283.
3. Tran Quoc Dung (1996), “*Non-destructive techniques for assay of radioactive waste*”, Ph.D dissertation, Hungarian Science Academy, Hungary.
4. Tran Quoc Dung (1997), “Calculation of the systematic error and correction factors in gamma waste assay system”, *Annals of Nuclear Energy*, Vol.24, No.1. pp. 33-47.
5. Tran Quoc Dung (2010), “A simple gamma technique for the assay of radioactive waste drums”, *International Journal of Nuclear Energy Science and Technology*, Vol. 5, No. 4. pp 290 – 297.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 03-12-2013; ngày phản biện đánh giá: 14-4-2014;
ngày chấp nhận đăng: 16-5-2014)