

PHÁT TRIỂN PHƯƠNG PHÁP CHUẨN NỘI TRONG PHÂN TÍCH KÍCH HOẠT TẠI Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT

TRẦN TUẤN ANH¹, HỒ VĂN DOANH¹, TRỊNH VĂN CƯỜNG¹, NGUYỄN THỊ THỌ¹,
NGUYỄN DUY QUANG¹, HỒ MẠNH DŨNG²

¹Viện Nghiên cứu hạt nhân, Thành phố Đà Lạt

²Trung tâm hạt nhân, Thành phố Hồ Chí Minh

Email: ttanhfr@vinatom.gov.vn

Tóm tắt: Phương pháp chuẩn hóa k0-INAA đã được phát triển và ứng dụng trong phân tích mẫu địa chất, sinh học và môi trường tại lò phản ứng Đà Lạt. Nhằm nâng cao năng lực và đa dạng hóa phân tích, phương pháp chuẩn nội INAA (k0-IM-NAA) đã được nghiên cứu để xác định hàm lượng nguyên tố trong các mẫu hình học không chuẩn. Phương pháp này sử dụng một nguyên tố hiện diện trong mẫu để làm chuẩn nội. Hiệu suất ghi của đầu dò với hình học đo không chuẩn được xác định tương đối bằng cách đo các tia gamma của các hạt nhân có mặt trong mẫu. Phép đo này cho phép hiệu chỉnh hiệu ứng tự che chắn gamma trong mẫu và thăng giáng thông lượng neutron trong quá trình chiếu mẫu trong lò phản ứng. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng 03 mẫu chuẩn SMELS III, Montana II Soil (SRM 2711a) và Brick Clay (SRM 679) để tiến hành phân tích hàm lượng nhằm kiểm tra tính hiệu lực của phương pháp. Độ chính xác của phương pháp được đánh giá thông qua giá trị u-score tại độ tin cậy 95%. Phương pháp k0-IM-NAA bước đầu được áp dụng trong phân tích hàm lượng nguyên tố của một số mẫu gạch cổ khu di tích Cát Tiên.

Từ khóa: *phương pháp chuẩn nội, k0-IM-NAA, hình học không chuẩn, lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt.*

1. Giới thiệu

Kỹ thuật phân tích kích hoạt sử dụng phương pháp chuẩn hóa k0-INAA đã được phát triển và ứng dụng thành công trong phân tích định lượng thành phần nguyên tố trong các đối tượng mẫu khác nhau. Phương pháp này sử dụng một chuẩn đơn (thường là ^{197}Au) được chiếu đồng thời với mẫu phân tích để kiểm soát thông lượng neutron trong quá trình chiếu xạ và hằng số hạt nhân k0. Bên cạnh đó hệ số lệch phổ α và tỉ số thông lượng neutron nhiệt và trên nhiệt f cần phải được xác định chính xác tại vị trí chiếu. Ngoài ra một tham số quan trọng trong phương pháp này là hiệu suất ghi của đầu dò. Với các loại mẫu hình học chuẩn như dạng lá mỏng hoặc hình trụ thì hiệu suất ghi có thể được xác định chính xác thông qua các bộ nguồn chuẩn gamma. Tuy nhiên đối với các mẫu có hình học không chuẩn và có bề dày thì việc xác định hiệu suất ghi và hiệu chỉnh suy giảm thông lượng neutron bên trong mẫu gặp nhiều khó khăn.

Trước bài toán đặt ra cho hình học mẫu lớn và không phá hủy mẫu, phương pháp chuẩn nội IM-NAA đã được đề xuất [4]. Phương pháp này dựa trên cơ sở xác định các đường cong hiệu suất tương đối của các nguyên tố hiện diện trong mẫu, từ đó lập tỉ số đường cong hiệu suất tương đối và quy về một đường cong hiệu suất ghi tương đối duy nhất, đường cong này đã bao gồm các hiệu ứng suy giảm cường độ gamma trong mẫu (hiệu ứng hấp thụ gamma trong mẫu). Đây là ưu điểm của phương pháp IM-NAA. Một ưu điểm khác là phương pháp này sử dụng một nguyên tố hiện diện trong mẫu làm nguyên tố chuẩn (chuẩn nội) và tỉ số hàm lượng tương đối của các

nguyên tố khác nhau trong mẫu đối với chuẩn nội được xác định, chính vì sử dụng nguyên tố hiện diện trong mẫu, nên nguyên tố được chọn làm chuẩn thì cùng điều chiếu với các nguyên tố trong mẫu, do đó suy giảm thông lượng trong mẫu do hiệu ứng tự che chắn neutron có thể được loại bỏ [1]. Phương pháp này rất có ý nghĩa trong việc định tính và định lượng các nguyên tố trong các mẫu khảo cổ học, có giá trị về lịch sử, bảo tồn giá trị lịch sử của mẫu, hoặc đối với các mẫu có hình học lớn. Báo cáo này trình bày một số kết quả nghiên cứu phương pháp chuẩn nội IM-NAA trong việc xác định hàm lượng nguyên tố trên một số mẫu chuẩn, qua đó đánh giá khả năng áp dụng phương pháp này tại lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt.

2. Thực nghiệm

2.1. Chuẩn bị mẫu

Các mẫu chuẩn SMELS III, Montana II Soil, Brick Clay và mẫu phân tích (mẫu gạch cổ khu di tích Cát Tiên) dạng bột được cân theo các khối lượng khác nhau và đóng trong các lọ (vial) bằng polyetylen nhằm khảo sát hiệu ứng suy giảm gamma và thăng giáng thông lượng neutron trong mẫu. 03 mẫu gạch cổ kích thước không xác định cũng được chuẩn bị để kiểm tra tính hiệu lực của phương pháp. Kích thước vial và khối lượng mẫu được cho trong Bảng 2.1 và Bảng 2.2 và Hình 2.1.

Bảng 2.1. Kích thước của vial đựng mẫu.

Vial	Chiều cao (mm)	Đường kính (mm)	Bề dày (mm)
C1	5	6	1
C2	8	6	8
C3	16	6	8
C4	26	9	11

Bảng 2.2. Khối lượng các mẫu chuẩn và mẫu phân tích.

STT	Loại mẫu	Vial	Mã hóa	Khối lượng (mg)
1	SMELS III	C1	SM-C1	89,49
2	Montana II Soil	C1	MO-C1	110,62
3	Brick Clay	C1	BC-C1	103,25
4	Brick Clay	C4	BC-C4	1346,94
5	Gạch CT-G15	C1	KC363-C1	116,74
6	Gạch CT-G15	C2	KC363-C2	213,01
7	Gạch CT-G15	C3	KC363-C3	461,42
8	Gạch CT-G15	C4	KC363-C4	1350,34
9	Gạch CT-G25	C1	KC394-C1	130,75
10	Gạch CT-G25	C2	KC394-C2	237,08
11	Gạch CT-G25	C3	KC394-C3	559,32

12	Gạch CT-G25	C4	KC394-C4	1660,27
13	Gạch CT-G26	C1	KC383-C1	125,14
14	Gạch CT-G26	C2	KC383-C2	208,68
15	Gạch CT-G26	C3	KC383-C3	450,34
16	Gạch CT-G26	C4	KC383-C4	1428,98
17	Gạch CT-G15	LS15 (2x2cm)	KC363-LS	3897,57
18	Gạch CT-G25	LS25 (2x2cm)	KC394-LS	3366,30
19	Gạch CT-G26	LS26 (2x2cm)	KC383-LS	3898,79



Hình 2.1. Hình dạng lọ đựng mẫu vial và mẫu hình học không xác định (LS).

2.2. Chiếu và đo mẫu

Các mẫu được chiếu 10 giờ tại mâm quay lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt với thông lượng neutron nhiệt tại vị trí chiếu $\phi_{th} = 3,5 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$, tham số lệch phổ trên nhiệt $\alpha = 0,073$ và tỉ số neutron nhiệt và neutron trên nhiệt $f = 37,3$ [5]. Các mẫu sau khi chiếu, để rã một thời gian thích hợp theo từng nhóm nguyên tố và được đo trên hệ phổ kế gamma sử dụng đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết loại GMX-30190 (ORTEC) với hiệu suất ghi tương đối 30% và độ phân giải năng lượng tại 1332,5 keV của ^{60}Co là 2,1 keV. Phổ gamma được thu nhận thông qua chương trình MASTRO.

2.3. Xử lý số liệu

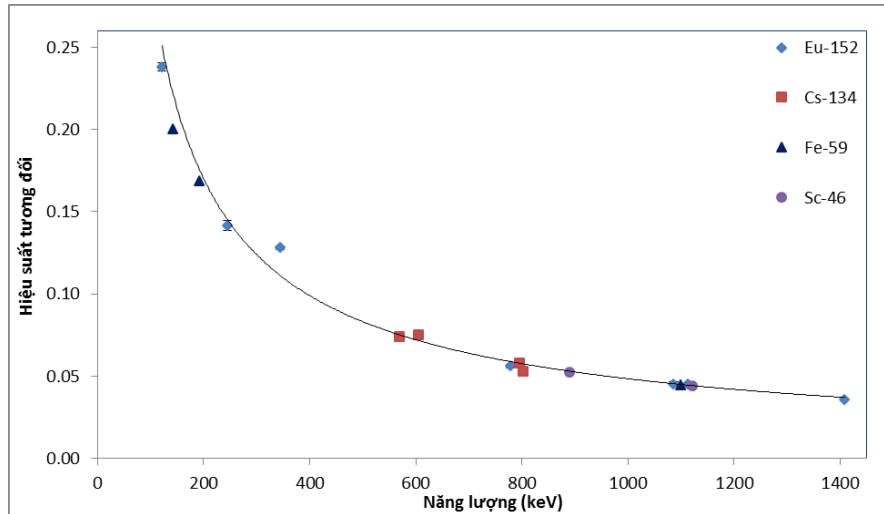
a) Xác định hiệu suất tương đối

Hiệu suất tương đối được xác định bằng cách sử dụng các tia gamma của các hạt nhân hiện diện trong mẫu kích hoạt như ^{46}Sc (889, 1120 keV), ^{152}Eu (121, 344, 778, 1085, 1408 keV), ^{59}Fe (142, 192, 1099, 1291 keV) và ^{134}Cs (569, 604, 796, 801, 1365 keV). Hiệu suất theo năng lượng của mỗi hạt nhân sau đó được chuẩn hóa về một đường cong hiệu suất tương đối trên toàn dải năng lượng từ 100 – 2000 keV và được biểu diễn theo biểu thức [1][2]:

$$\varepsilon_{\gamma} = \exp\left[\sum_{i=0}^m a_i (\ln E_{\gamma})^i\right] \quad (2.2)$$

Trong đó a_i là hệ số của hàm đa thức bậc m .

Hình 2.2 biểu diễn hiệu suất tương đối của mẫu Brick Clay (NIST 679).



Hình 2.2. Hiệu suất tương đối của đầu dò đo trên mẫu Brick Clay (NIST 679).

b) Xác định hàm lượng nguyên tố

Khi một mẫu đồng nhất được chiếu trong trường neutron, tỉ số hàm lượng ρ của nguyên tố x đối với nguyên tố y được biểu diễn theo công thức [1][2]:

$$\frac{\rho_x}{\rho_y} = \frac{\left((SDC)(f+Q_0(\alpha)) \right)_y N_{p_x} (\varepsilon_\gamma)_y k_{0,Au}(y)}{\left((SDC)(f+Q_0(\alpha)) \right)_x N_{p_y} (\varepsilon_\gamma)_x k_{0,Au}(x)} \quad (2.1)$$

Trong đó: S là hệ số bão hòa trong quá trình chiếu ($1 - e^{-\lambda t_i}$), D là hệ số rã $e^{-\lambda t_d}$, C là hệ số hiệu chỉnh sự phân rã trong quá trình đo $(1 - e^{-\lambda t_c})/\lambda t_c$, λ là hằng số phân rã, và t_i, t_d, t_c là khoảng thời gian chiếu, thời gian rã và thời gian đo mẫu; f là tỉ số giữa thông lượng neutron nhiệt và thông lượng neutron trên nhiệt, $Q_0(\alpha)$ là tỉ số của tích phân cộng hưởng (I_0) và tiết diện neutron nhiệt (σ_0) đã hiệu chỉnh sự lệch phổ neutron trên nhiệt (α); N_p là diện tích đỉnh gamma của hạt nhân quan tâm; ε_γ là hiệu suất ghi của đầu dò và $k_{0,Au}$ là hệ số k_0 đối với ^{197}Au [6].

Một chương trình máy tính có tên k0-IM-DALAT đã được phát triển dựa trên ngôn ngữ lập trình Matlab để tính toán hàm lượng các nguyên tố bằng phương pháp chuẩn nội. Độ tin cậy của chương trình đã được kiểm tra và đánh giá thông qua việc phân tích hàm lượng của các mẫu chuẩn. Scandium (Sc) được sử dụng như nguyên tố chuẩn nội để phân tích thành phần các nguyên tố khác trong mẫu chuẩn và các mẫu phân tích khác. Phương pháp tương đối được sử dụng để xác định hàm lượng tuyệt đối của Sc trong mẫu.

c) Tiêu chí đánh giá kết quả

Trong thực nghiệm này, sử dụng giá trị u -score tại độ tin cậy 95% để đánh giá độ chính xác của phương pháp bằng cách so sánh giá trị hàm lượng thực nghiệm với giá trị chuẩn trong trường

hợp có xét đến độ không đảm bảo đo của phương pháp. Giá trị *z-score* được xác định theo biểu thức [7]:

$$u - score = \frac{|\rho_x - \rho_{ref}|}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_{ref}^2}} \quad (2.2)$$

Trong đó ρ_x và ρ_{ref} : là hàm lượng thực nghiệm và hàm lượng chuẩn; σ_x và σ_{ref} : là độ không đảm bảo của hàm lượng thực nghiệm và hàm lượng chuẩn.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả phân tích hàm lượng các nguyên tố trong các mẫu chuẩn SMELS III và Montana II Soil (SRM 2711a) bằng phương pháp chuẩn nội k0-IM-NAA được cho trong Bảng 3.1 và Bảng 3.2. Hai mẫu chuẩn này có khối lượng <100 mg là khoảng khối lượng thường được sử dụng trong phân tích bằng phương pháp k0-INAA.

Đối với mẫu chuẩn SMELS III, đây là mẫu chuẩn sử dụng để kiểm tra QA/QC và đánh giá, xác định hiệu lực của quy trình phân tích k0-NAA đối với các đồng vị sống dài ($T_{1/2} > 1$ ngày) sử dụng chương trình k0-IAEA [8], [9]. Kết quả phân tích trong Bảng 3.1 chỉ ra 14/15 nguyên tố đã được phân tích bằng phương pháp k0-IM-INAA sử dụng Sc làm chuẩn nội. Độ lệch tương đối của giá trị hàm lượng phân tích so với giá trị chuẩn <10% ngoại trừ nguyên tố Yb (lệch 12,1%). Các giá trị phân tích đều nằm trong z-score.

Bảng 3.1. Hàm lượng nguyên tố trong mẫu chuẩn SMELS III xác định bằng k0-IM-INAA.

#	Nguyên tố	Hàm lượng tương đối so với Sc	Hàm lượng tuyệt đối (mg kg ⁻¹)	Hàm lượng tham khảo (mg kg ⁻¹)	Độ lệch (%)	u-score
1	Au	0,785	0,879 ± 0,071	0,901 ± 0,016	-2,4	0,3
2	Co	20,0	22,4 ± 1,81	24,3 ± 0,33	-7,8	1,0
3	Cr	82,4	92,3 ± 9,06	86,7 ± 0,33	6,5	0,6
4	Cs	17,4	19,5 ± 0,83	20,8 ± 0,34	-6,3	1,4
5	Fe	6944	7777 ± 610	8200 ± 190	-5,2	0,7
6	In	434	486 ± 17	462 ± 19	5,2	0,9
7	Sb	43,6	48,8 ± 2,1	51,2 ± 1,3	-4,7	1,0
8	Sc	1,0	1,12 ± 0,08	1,14 ± 0,031	-1,8	0,2
9	Se	125	140 ± 9	131 ± 6	6,9	0,8
10	Sr	6799	7615 ± 606	8159 ± 200	-6,7	0,9
11	Th	23,9	26,8 ± 1,0	26,2 ± 0,9	2,3	0,4
12	Tm	22,6	25,3 ± 5,4	23,3 ± 0,7	8,6	0,4
13	Yb	20,7	23,2 ± 1,4	20,7 ± 0,5	12,1	1,7
14	Zn	525	588 ± 38	618 ± 11	-4,9	0,8
15	Zr	4046	4532 ± 190	4580 ± 100	-1,0	0,2

Ghi chú: Sc sử dụng làm chuẩn nội.

Đối với mẫu chuẩn SRM 2711a là mẫu chuẩn đất đá, nguyên tố Sc được sử dụng làm chuẩn nội. Hàm lượng của 16 nguyên tố đã được xác định với $|u-score| < 1,95$ và độ lệch tương đối so với giá trị chuẩn < 10%. Trong thực nghiệm này, các mẫu được chiếu 10 giờ trên mâm

quay nên không phân tích các đồng vị sống ngắn của các nguyên tố Al, Ca, Cl, Cu, Mg, Mn, Ti, V ($T_{1/2} \sim$ vài phút đến vài giờ). Bảng 3.2 cho thấy có sự phù hợp tốt giữa giá trị phân tích và giá trị chuẩn.

Bảng 3.2. Hàm lượng nguyên tố trong mẫu chuẩn Montana II Soil (SRM 2711a) xác định bằng phương pháp chuẩn nội INAA.

#	Nguyên tố	Hàm lượng tương đối so với Sc	Hàm lượng tuyệt đối (mg kg^{-1})	Hàm lượng tham khảo (mg kg^{-1})	Độ lệch (%)	u-score
1	As	12,2	103 ± 6	107 ± 5	-4,2	-0,6
2	Ba	76,7	646 ± 61	730 ± 15	-11,6	1,4
3	Co	1,124	$9,46 \pm 0,47$	$9,89 \pm 0,18$	-4,3	0,8
4	Cr	6,59	$55,5 \pm 3,7$	$52,3 \pm 2,9$	6,2	0,7
5	Cs	0,745	$6,3 \pm 0,4$	$6,7 \pm 0,2$	-6,4	1,1
6	Eu	0,115	$0,97 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,2$	-12,0	0,6
7	Fe%	0,316	$2,66 \pm 0,31$	$2,82 \pm 0,04$	-5,7	-0,5
8	Hf	1,057	$8,9 \pm 0,4$	$9,2 \pm 0,2$	-3,2	0,6
9	Hg	0,83	$6,99 \pm 0,6$	$7,42 \pm 0,18$	-5,7	0,7
10	K%	0,285	$2,4 \pm 0,4$	$2,53 \pm 0,1$	-6,7	-0,4
11	La	4,32	36 ± 2	37 ± 1	-1,8	-0,3
12	Na%	0,135	$1,14 \pm 0,05$	$1,2 \pm 0,01$	-5,0	-1,1
13	Rb	14,6	123 ± 10	120 ± 3	2,5	0,3
14	Sb	2,76	$23,2 \pm 1,1$	$23,8 \pm 1,4$	-2,6	0,4
15	Sc	1	$8,4 \pm 0,4$	$8,5 \pm 0,1$	-1,0	0,2
16	Sm	0,665	$5,6 \pm 0,3$	$5,93 \pm 0,23$	-5,6	-0,9
17	Th	1,724	$14,5 \pm 0,7$	15 ± 1	-3,2	0,4

Ghi chú: Sc sử dụng làm chuẩn nội

Hàm lượng của 10 nguyên tố trong mẫu chuẩn gạch Brick Clay (SRM 679) đã được phân tích với khối lượng mẫu khác nhau (từ 0,1 đến 1,3 gram) nhằm khảo sát ảnh hưởng của hiệu ứng tự hấp thụ neutron và hiệu ứng hấp thụ gamma khi tăng khối lượng mẫu (tức là tăng bề dày mẫu). Với phương pháp k0-INAA truyền thống thì cần thiết phải hiệu chỉnh các hiệu ứng này. Tuy nhiên đối với phương pháp k0-IM-INAA thì việc sử dụng hiệu suất tương đối từ các gamma phát ra từ các hạt nhân hiện diện trong mẫu đã giải quyết được vấn đề nêu trên. Các giá trị phân tích trong Bảng 3.3 có z-score < 2, nghĩa là kết quả phân tích được chấp nhận.

Bảng 3.3. Hàm lượng nguyên tố trong mẫu chuẩn Montana II Soil (SRM 2711a) xác định bằng phương pháp chuẩn nội INAA.

#	Nguyên tố	Hàm lượng tuyệt đối (Vial C1) (mg.kg^{-1})	Hàm lượng tuyệt đối (Vial C4) (mg.kg^{-1})	Hàm lượng tham khảo (mg.kg^{-1})	z-score (Vial C1)	z-score (Vial C4)
1	Ba	451 ± 44	473 ± 26	432 ± 10	0,4	0,9

2	Ce	115 ± 4	101 ± 2	105	0,9	0,4
3	Co	24,9 ± 0,8	25,1 ± 0,2	26	0,4	0,4
4	Cr	120 ± 6	111 ± 5	109,7 ± 4,9	1,0	0,1
5	Cs	9,4 ± 0,5	9,03 ± 0,2	9,6	0,2	0,6
6	Eu	1,64 ± 0,07	1,55 ± 0,02	1,9	1,4	1,8
7	Fe%	8,95 ± 0,22	8,75 ± 0,5	9,05 ± 0,21	0,1	0,3
8	Hf	4,3 ± 0,2	4,4 ± 0,1	4,6	0,6	0,5
9	Rb	201 ± 17	183 ± 4	190	0,6	0,4
10	Sc	22,4 ± 0,5	-	22,5	-	-
11	Zn	163 ± 15	123 ± 3	150	0,9	1,8

Ghi chú: Sc sử dụng làm chuẩn nội

Từ các kết quả phân tích hàm lượng nguyên tố trong các mẫu chuẩn có thể thấy tính khả thi của phương pháp chuẩn nội trong việc giải quyết các bài toán về khối lượng và hình học mẫu khác nhau. Trên cơ sở đó, phương pháp này được áp dụng để phân tích thử nghiệm các mẫu thực tế. 03 mẫu gạch cổ khu di tích Cát Tiên (CT-G15, CT-G25 và CT-G26) được chiếu và phân tích hàm lượng nguyên tố. Trong thực nghiệm này, hàm lượng nguyên tố chuẩn nội Sc trong mẫu gạch được xác định bằng phương pháp tương đối sử dụng chuẩn Brick Clay SRM 679. Các mẫu trong vial C1, C2, C3, C4 và hình học không xác định LS được phân tích bằng phương pháp k0-IM-INAA. Các giá trị phân tích được cho trong Bảng 3.4, Bảng 3.5 và Bảng 3.6.

Bảng 3.4. Hàm lượng nguyên tố trong mẫu gạch cổ tháp CT-G15.

#	Nguyên tố	Hàm lượng (mg/kg)				
		C1	C2	C3	C4	LS15
1	Ce	90,9 ± 4,3	102 ± 5,5	85,9 ± 3,4	99,8 ± 3,6	95,7 ± 3,6
2	Co	18,9 ± 0,7	18,9 ± 1	19 ± 0,6	18,8 ± 0,6	20 ± 0,6
3	Cr	114 ± 6,8	113 ± 5,9	107 ± 3,5	115 ± 4	110 ± 3,5
4	Cs	13,1 ± 0,9	13,3 ± 1	12,7 ± 0,6	13,8 ± 0,6	13,9 ± 0,5
5	Eu	1,44 ± 0,11	1,46 ± 0,16	1,31 ± 0,07	1,38 ± 0,06	1,43 ± 0,06
6	Fe	51122 ± 2312	51214 ± 2034	51663 ± 1643	50305 ± 1618	49775 ± 1584
7	Hf	8,63 ± 0,49	9,11 ± 0,5	8,32 ± 0,31	9,06 ± 0,31	9,36 ± 0,32
8	Rb	140 ± 27	126 ± 12	122 ± 5	130 ± 5	133 ± 6
9	Sb	1,24 ± 0,3	1,9 ± 0,44	1,27 ± 0,12	1,22 ± 0,08	1,25 ± 0,05
10	Sc	19 ± 0,7	18,9 ± 0,8	19 ± 0,6	18,8 ± 0,6	18,8 ± 0,6
11	Ta	1,83 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,75 ± 0,1	1,8 ± 0,1	1,85 ± 0,1
12	Tb	1,09 ± 0,19	1,1 ± 0,16	1,04 ± 0,09	1,06 ± 0,07	1,08 ± 0,06
13	Tm	3,35 ± 0,44	3,55 ± 0,36	3,08 ± 0,16	3,56 ± 0,16	3,29 ± 0,12
14	Zn	116 ± 8,6	116 ± 16,3	110 ± 5,5	106 ± 4,1	99 ± 9

Bảng 3.5. Hàm lượng nguyên tố trong mẫu gạch cổ tháp CT-G25.

#	Nguyên tố	Hàm lượng (mg/kg)				
		C1	C2	C3	C4	LS25
1	Ce	127 ± 4,4	134 ± 4,7	123 ± 4,1	120 ± 4	120 ± 5,1

2	Co	22,4 ± 0,8	22,3 ± 0,8	22,9 ± 0,7	22,7 ± 0,7	21,3 ± 0,7
3	Cr	125 ± 4,7	130 ± 4,7	128 ± 4	125 ± 3,9	124 ± 5,4
4	Cs	12,3 ± 0,8	12,1 ± 0,7	12,4 ± 0,6	12,4 ± 0,5	14,3 ± 0,6
5	Eu	1,75 ± 0,1	1,68 ± 0,12	1,68 ± 0,07	1,62 ± 0,06	1,74 ± 0,07
6	Fe	55842 ± 1804	57026 ± 1842	54946 ± 1694	55261 ± 1971	53585 ± 1658
7	Hf	11,1 ± 0,47	10,8 ± 0,41	10,5 ± 0,34	10,6 ± 0,34	11 ± 0,42
8	Rb	132 ± 8	128 ± 8	130 ± 5	126 ± 4	152 ± 7
9	Sb	1,91 ± 0,23	-	1,56 ± 0,11	1,65 ± 0,08	1,5 ± 0,1
10	Sc	21,1 ± 0,7	21,2 ± 0,7	21,2 ± 0,7	21,2 ± 0,7	21,2 ± 0,7
11	Ta	1,81 ± 0,2	2,19 ± 0,2	2 ± 0,1	2,09 ± 0,1	2,2 ± 0,1
12	Tb	1,22 ± 0,17	1,26 ± 0,18	1,45 ± 0,08	1,36 ± 0,06	1,4 ± 0,1
13	Tm	4,71 ± 0,42	3,46 ± 0,23	3,73 ± 0,17	4,07 ± 0,16	3,36 ± 0,23
14	Zn	134 ± 9,9	136 ± 9,8	128 ± 4,6	130 ± 4,4	-

Bảng 3.6. Hàm lượng nguyên tố trong mẫu gạch cô tháp CT-G26.

#	Nguyên tố	Hàm lượng (mg/kg)				
		C1	C2	C3	C4	LS26
1	Ce	99,4 ± 3,7	99,8 ± 3,3	92,9 ± 3,1	92,2 ± 3,1	92,9 ± 3,5
2	Co	16,5 ± 0,7	16,7 ± 0,6	17,8 ± 0,6	16,6 ± 0,5	17,9 ± 0,6
3	Cr	109 ± 4,5	114 ± 3,7	101 ± 3,2	109 ± 3,5	101 ± 3,4
4	Cs	11,1 ± 0,7	11 ± 0,6	12,2 ± 0,5	11,6 ± 0,5	12,3 ± 0,5
5	Eu	1,33 ± 0,11	1,33 ± 0,07	1,36 ± 0,05	1,35 ± 0,06	1,39 ± 0,06
6	Fe	48229 ± 1630	47323 ± 1492	45137 ± 1387	47031 ± 1679	45598 ± 1455
7	Hf	8,28 ± 0,39	8,85 ± 0,3	8,28 ± 0,26	8,78 ± 0,28	8,16 ± 0,29
8	Rb	109 ± 9	118 ± 5	105 ± 5	115 ± 5	121 ± 8
9	Sb	-	-	1,16 ± 0,06	-	1,11 ± 0,08
10	Sc	18,4 ± 0,6	18,2 ± 0,6	18,3 ± 0,6	18,1 ± 0,6	18,3 ± 0,6
11	Ta	1,8 ± 0,2	1,77 ± 0,1	1,79 ± 0,1	1,71 ± 0,1	1,81 ± 0,1
12	Tb	1,14 ± 0,15	1,01 ± 0,08	1,09 ± 0,05	1,04 ± 0,05	1,07 ± 0,07
13	Tm	-	3,22 ± 0,17	3,39 ± 0,13	3,18 ± 0,13	2,96 ± 0,13
14	Zn	116 ± 11,7	97,5 ± 5,5	105 ± 6,8	91,8 ± 3,5	-

KẾT LUẬN

Phương pháp chuẩn nội k0-IM-INAA đã được nghiên cứu và bước đầu áp dụng cho phân tích nguyên tố trong các loại mẫu hình học không chuẩn tại lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Ưu điểm của phương pháp này là xác định trực tiếp hiệu suất ghi tương đối của đầu dò từ các gamma phát ra của các hạt nhân hiện diện trong mẫu, do đó có thể tự hiệu chỉnh hiệu ứng liên quan đến hình học mẫu, suy giảm gamma trong mẫu.... Vì vậy phương pháp này rất thích hợp với các mẫu đòi hỏi phải giữ nguyên hình dạng mẫu như mảnh gốm, hợp kim.... Việc áp dụng phương pháp chuẩn nội trong giải quyết các bài toán phân tích thực tiễn hứa hẹn sẽ đưa kỹ thuật phân tích hạt nhân phục vụ nhu cầu xã hội.

LỜI CẢM ƠN

Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Đề tài cấp Bộ Mã số ĐTCB.08/18/VNCHN đã hỗ trợ kinh phí để hoàn thành báo cáo khoa học này. Xin cảm ơn Ban Tổ chức Hội nghị Khoa học và Công nghệ hạt nhân lần thứ XIII đã cho phép trình bày báo cáo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Nair AGC, Acharya R, Sudarshan K, Gangotra S, Reddy AVR, Manohar SB, Goswami A (2003) Anal Chem 75:4868-4874
- [2].Acharya R, Swain KK, Sudarshan K, Tripathi R, Pujari PK, Reddy AVR (2010) Nucl Instr Meth A doi: 10.1016/j.nima.2010.02.056
- [3].Z. Kis, J. Fazekas, J. Ostor, Zs. Revay, T. Belgya, G. L. Molnar, L. Koltay. Comparison of efficiency functions for Ge gamma-ray detectors in a wide energy range. Nucl. Instrum. Methods 1998, A418, 374-386.
- [4].Techdoc 1838_ Advances in neutron activation analysis of large objects with emphasis on archaeological examples, IAEA.
- [5].Manh-Dung Ho, Quang-Thien Tran, Van-Doanh Ho, Dong-Vu Cao, Thi-Sy Nguyen. Quality evaluation of the k0-standardized neutron activation analysis at the Dalat research reactor, J Radioanal Nucl Chem (2016) 309: 135. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4795-4>.
- [6].De Corte, F., Simonits, A., 2003. Recommended nuclear data for use in the k0-standardization of neutron activation analysis. Atomic Data Nucl. Data Tables 85, 47–67.
- [7].Quality aspects of research reactor operations for instrumental neutron activation analysis, (2001), IAEA TECDOC 1218.
- [8].M. Rossbach, M. Blaauw, 2006, Progress in the k0-IAEA program, Nucl. Instr. and Meth., A 564, 698-701.
- [9].M. Rossbach, M. Blaauw, M.A. Bacchi, Xilei Lin 2007, The k0-IAEA program, J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol. 274, No. 3, 657-662.

DEVELOPMENT OF THE INTERNAL STANDARD METHOD IN NAA AT THE DALAT RESEARCH REACTOR

TRAN TUAN ANH¹, HO VAN DOANH¹, TRINH VAN CUONG¹, NGUYEN THI THO¹, HO MANH DUNG²

¹Dalat Nuclear Research Institute, Dalat city, Vietnam

²Center for Nuclear Techniques, Ho Chi Minh city, Vietnam

Email: ttanhfr@vinatom.gov.vn

Abstract: The k₀-standardization INAA method has recently developed and applied for analysis of geological, biological and environmental samples at the Dalat research reactor. To enhance the analytical capability, a k₀-based internal monostandard INAA method (k₀-IM-NAA) has been investigated for determination of elemental concentration in samples of large size and non-standard geometry. In this method, one of the elements present in the sample is used as an internal monostandard and the relative efficiency could be obtained by using γ -rays of the activation products in the sample itself in order to correct the γ -ray self-attenuation and geometrical effects. Three Standard Reference Materials of SMELS III, Montana II Soil (SRM 2711a) and Brick Clay (SRM 679) have been used to validate the method. The accuracy of the method was evaluated using u-score and % deviation. The k₀-IM-NAA method has been applied to determine the elemental concentrations in the clay bricks at Cat Tien archaeological site.

Keywords: *k₀-IM-NAA method, non-standard geometry, Dalat research reactor.*