

ICP-MS를 이용한 건축자재의 천연방사성핵종 Th과 U 분석

이훈¹, 주선동¹, 임기중¹, 임종명^{2*}

¹한국방사선안전재단, 경기도 성남시 분당구 대왕판교로 644번길 49

²한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*lh@korsafe.or.kr

1. 서론

생활주변방사선 안전관리법이 시행됨에 따라 원료물질 및 가공제품에 포함되어 있는 Th-232, U-235, U-238, Ra-226, K-40 과 같은 천연방사성 핵종에 대한 정확한 분석이 필요하며 이를 사용하는 일반 대중 및 취급종사자들에 대한 체계적인 관리가 필수적으로 요구되어지고 있다. 대표적인 천연방사성핵종인 Th과 U의 분석은 시료의 매질을 모두 파괴하여 알파스펙트로미터 또는 ICP-MS 로 측정하는 파괴분석법이 있으며 감마스펙트로미터를 이용하여 시료의 파괴없이 Th과 U을 직접측정하는 직접측정법 또는 Pb, Bi와 같은 Th과 U의 딸핵종을 지표핵종으로 설정하여 Th과 U을 간접측정하는 간접측정방법이 이용되어진다.

본 연구에서는 인증표준물질(CRM : Certified Reference Material) 4 종을 이용하여 Th과 U의 회수율의 비교를 통해 ICP-MS를 이용한 Th과 U 분석법의 유효성을 평가하였으며 ICP-MS 분석법을 이용하여 시중에 판매되고 있는 건축자재 중 타일 18 종, 시멘트 19 종, 페인트 4 종을 선정하여 Th과 U을 분석하였다.

2. 본론

2.1 시료 및 시약

본 연구의 표준인증물질은 NIST(National Institute of Standards and Technology) SRM(Standard Reference Material) 1944(New-York/New Jersey waterway sediment), 8704(Buffalo river sediment), 278(Obsidian rock), 1633c(Trace element in coal fly ash), 총 4가지를 사용하였다. 시약은 모두 분석시약 등급으로 32% HCl, 65% HNO₃, 28~30% Ammonia solution (Merck EMSURE[®] KGaA)을 사용하였고 Fe carrier 는 Iron(III) nitrate nonahydrate(Sigma-Aldrich, ACS reagent≥98%)를 이용하여 제조하였으며 용 용법의 용제는 Lithium metaborate, Lithium

bromide(XRF scientific Limited)을 사용하였다.

2.2 실험방법

ICP-MS를 이용한 Th과 U 분석법의 유효성 평가는 다음의 Fig. 1 의 실험과정과 같이 105°C 건조된 SRM 0.5 g과 Lithium borate 1.5 g, Lithium bromide 0.2 g을 백금도가니에 넣어 700~1100°C의 구간에서 25 분 동안 bead 형태를 만든 후 5% HNO₃ 100 mL에 용해하였다. 용해된 시료는 Fe carrier 25 mg을 넣고 NH₄OH 를 사용하여 pH 7 상태에서 침전시켜 3800 rpm, 6 분 동안 원심분리한 후 상등액은 버리고 침전물을 8 M HCl 30 ml 로 용해하여 시료로 사용하였다.

건축자재 시료는 105°C, 4 시간동안 건조 후 550°C, 8 시간동안 회화하여 회분화된 시료를 이용하여 Fig. 1 과 같이 유효성 평가의 이후 실험 방법으로 Th과 U을 분석하였다.

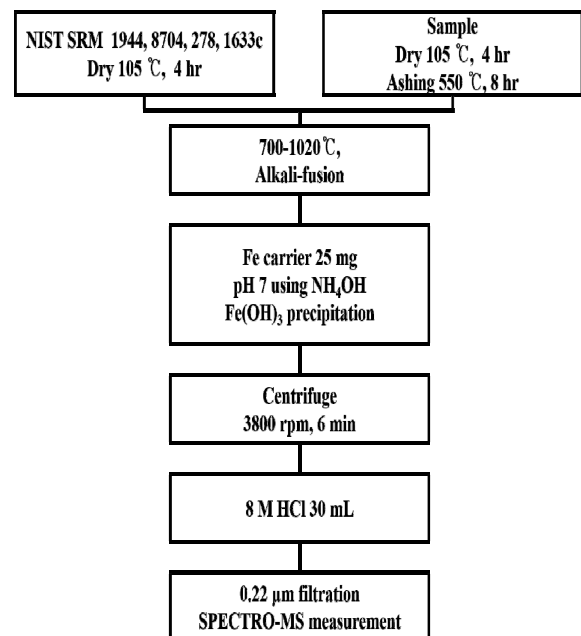


Fig. 1. Schematic representation of experiment.

2.3 측정 및 분석

Accustandard[®]에서 제조된 Thorium standard 1000 µg/g, Uranium standard 1000 µg/g의 표준용

액을 2% HNO₃로 희석하여 0.5, 1, 2.5, 5, 10 mg/L의 검량선을 단계별로 만들었으며 모든 시료는 검량범위에 적정범위로 희석하여 ICP-MS(SPECTRO-MS)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분석법의 유효성 평가

유효성 평가에 사용된 인증표준물질은 본 연구의 시료인 건축자재의 매질과 비슷한 구성을 가지고 있는 것으로서 인증표준물질 4종에 대한 ICP-MS를 이용한 Th과 U 분석법의 회수율은 Table 1.과 같이 Th과 U의 회수율은 각각 약 98.7%, 98.5% 이었으며 상대표준편차(RSD : Relative Standard Deviation)는 Th은 1.2%, U은 1.9% 의 결과를 나타내었다. 이를 통해 Th과 U의 회수율 모두 98% 이상의 매우 높은 정확도와 2% 미만의 정밀도를 나타냄으로서 ICP-MS를 이용한 Th과 U의 분석법은 건축자재 중 Th과 U 분석에 적용할 수 있는 유효한 분석법으로 판단되었다.

Table 1. Recovery of Th and U using ICP-MS

CRM	Recovery (%)		RSD (%)	
	Th	U	Th	U
1944	97.4	98.7	1.3	1.6
8704	98.4	100.5	2.3	1.0
278	98.8	98.8	4.0	1.9
1633c	100.3	96.0	1.6	1.3

3.2 건축자재의 Th과 U 분석

용융법으로 전처리된 건축자재 중 타일 18 종, 시멘트 19 종, 페인트 4 종의 ICP-MS를 이용한 Th과 U의 분석 결과를 다음의 Table 2. 에 나타내었다. 건축자재의 Th과 U의 분석결과, Tile의 Th은 9.74 ~ 52.23 mg·kg⁻¹, U은 4.04 ~ 9.30 mg·kg⁻¹ 이었으며 Cement의 Th은 1.41 ~ 25.34 mg·kg⁻¹, U은 0.60 ~ 10.56 mg·kg⁻¹, Paint의 Th은 0.02 ~ 2.57 mg·kg⁻¹, U은 0.01 ~ 0.59 mg·kg⁻¹ 수준의 결과를 보였다. Th의 최고 농도는 Tile-11 으로 52.23 mg·kg⁻¹, U의 최고 농도는 Cement-16으로 10.56 mg·kg⁻¹ 으로 분석되었다.

Table 2. Th and U concentration in Building material

Material	Th			U		
	Min	Med.	Max	Min	Med.	Max
Tile	9.7	16.6	52.2	4.0	5.2	9.3
Cement	1.4	6.6	25.3	0.6	2.2	10.6

ICP-MS를 이용한 질량농도 분석결과를 방사능 농도로 환산하여 IAEA report와 비교한 결과를 다음의 Table 3. 에 나타내었다. 본 연구에서 분석한 건축자재 중 Tile과 Cement 시료는 IAEA report에서 제시한 평균치와 유사한 수준의 방사능농도를 가지고 있는 것으로 판단되었다.

Table 3. Comparison of NORM activity in building material

Material	IAEA(Bq·kg ⁻¹) ^a		This work (Bq·kg ⁻¹)	
	²³² Th	²³⁸ U	²³² Th	²³⁸ U
Tile	20 ~ 200	30 ~ 200	40 ~ 212	50 ~ 116
Cement	7 ~ 240	7 ~ 180	6 ~ 103	7 ~ 130

a) IAEA 2003 Tech Report 415, p. 104

4. 참고문헌

- [1] M. Lust and E. Realo, "Assessment of natural radiation exposure from building materials in Estonia", Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 61(2), 107-112 (2012).
- [2] D. Amrania and M. Tahtatb, "Natural radioactivity in Algerian building materials", Applied Radiation and Isotopes, 54, 687-689 (2001).
- [3] N. Ibrahim, "Natural activities of ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in building materials", Journal of Environmental Radioactivity, 43, 255-258 (1999).