

## 공기 중 방사성 제논 측정에서 최소검출농도(MDA) 산출에 관한 연구

이완로, 최상도, 김희령, 정근호, 조영현, 강문자, 최근식, 이창우  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지  
 pctor@kaeri.re.kr

### 1. 서론

공기 중에 제논은 매우 미량 함유되어 있고 그 중 방사성 제논은 극 저준위이고 반감기가 비교적 짧기 때문에 분석 시 백그라운드 요동인지 실제 방사능이 존재하는지 판단하는 것은 매우 중요하다. 실제로 저준위 환경방사능 분석에서 백그라운드의 통계적인 요동으로 실제로 방사능이 존재하지 않는 시료가 방사능이 있는 것처럼 측정되기도 하고 반대의 경우도 종종 발생한다. 저준위 방사능 분석에서 백그라운드의 요동인지 실제 방사능이 존재하는지 여부를 판단하는 기준이 최소검출한계(Minimum Detectable Activity, MDA)이다. 공기 중 제논의 함유량은 대략  $8.7 \times 10^{-7}$  %로 극 미량이다. 따라서 공기 중 방사성 제논 분석 시 최소검출농도의 개념 및 설정은 매우 중요하다.

본 논문에서는 공기 중에 방사성 제논 분석 시 MDA를 설정하는 방법에 대해서 고찰하였고, MDA를 낮추기 위한 기본적인 파라메타에 대하여 연구하였다.

### 2. 본론

공기 중 제논을 분석하기 위해서는 특수 전처리, 1차 및 2차 농축, 분리정제 및 마지막으로 방사능 계측을 한다[1]. 식 (1)은 공기 중 방사성 제논( $^{133}\text{Xe}$ )의 방사능을 구하는 방법을 보여주고 있다.

$$A_{\text{Xe-133}} = C \times \frac{R}{\epsilon \times V} \times f_1 \times f_2 \times f_3 \dots \dots \dots (1)$$

$$f_1 = \frac{\lambda(t_m - t_p)}{1 - e^{-\lambda(t_m - t_p)}}$$

$$f_2 = e^{\lambda(t_s - t_p)}$$

$$f_3 = \frac{\lambda(t_s - t_0)}{1 - e^{-\lambda(t_s - t_0)}}$$

여기서  $A_{\text{Xe-133}}$ : 공기 중 Xe-133 activity

(mBq/m<sup>3</sup>)

- $R$ : Xe 계측기에서 측정된 순계수율 (cps)
- $C$ : 공기 중 Xe 가스의 체적비 (0.087 cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), 항상 일정
- $V$ : Xe 계측기 내에 포집된 Xe의 부피 (cc 또는 cm<sup>3</sup>)
- $\epsilon$ : Xe 계측기의 효율(일반적으로 70 %이상 나옴)
- $f_1$ : 계측하는 동안 붕괴에 의한 보정인자
- $f_2$ : 샘플 포집 후 전처리하는 동안 방사능 붕괴에 의한 보정인자
- $f_3$ : 샘플을 포집하는 동안 붕괴에 의한 보정인자
- $t_0$ : 샘플링을 시작하는 시간
- $t_s$ : 샘플링을 종료하는 시간
- $t_p$ : 전처리를 종료하는 시간
- $t_m$ : 측정을 끝내는 시간

식(1)에서 나타냈듯이 제논 방사능은 검출기의 계수율과 검출기 내에 포집된 제논의 포집량, 검출효율에 의해서 결정된다. 또한 제논의 반감기가 5.24일로 짧기 때문에 포집에 의한 붕괴보정, 이송에 의한 보정, 측정에 의한 보정이 필요하다. 그림 1에서는 보정하는 절차를 보여주고 있다. 식 (2)는 방사능 계측이 끝난 시점에서의 방사능을 보여주고 있으며, 붕괴보정을 통해서 최종적으로 공기 중 제논 방사능 농도를 결정한다.

$$\overline{A}_m = C \times \frac{R}{\epsilon \times V} \dots \dots \dots (2)$$

최소검출농도는 Currie의 식을 근거로 해서 유도하였다[2]. 이때 백그라운드 및 샘플 측정시간이 같다고 가정하고 제 1종 및 2종 과오를 5 % 유의수준( $k1-a, k1-b=1.645, 1.645$ ) 설정하면 식 (3)과 같이 설정된다.

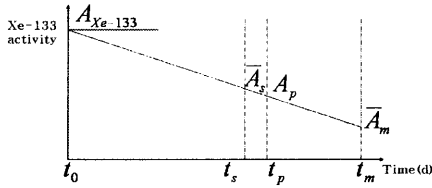


Fig. 1. Decay correction method of Xe measurement among Atmosphere

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V \times t_m} \{2.71 + 4.65\sqrt{R_b \times t_m}\} \dots\dots\dots (3)$$

MDA : 최소검출농도 [mBq·m<sup>-3</sup>]  
 k1-á, k1-b : 제1종 과오 및 제 2종 과오  
 t<sub>m</sub> : 샘플측정시간  
 t<sub>b</sub> : 백그라운드 측정시간  
 R<sub>b</sub> : 백그라운드 카운트 수 [cps]

식(3)에서 보면 공기 중 제는 방사능 분석 시 MDA를 낮추기 위해서 백그라운드 계수율을 낮추든지, 측정 시간을 길게 하면 된다. 그러나 계수율은 검출기의 성능과 관련이 있고, 측정시간은 무한대로 길게 할 수 없다. 분석 시 실제로 MDA를 낮추기 위해서는 포집량을 높인다가 또는 계측기의 계측효율을 높이는 것이 현실적이다. 공기 중 방사성 제는 분석에 사용되는 비례계수기 검출기의 백그라운드 계수율은 2.0 cpm이다. 불확도 95 % 신뢰구간에서 14 % 정도를 나타낸다. 측정시간은 24시간으로 고정했을 경우 MDA를 table 1에서 보여주고 있다. 최저 0.47 mBq/m<sup>3</sup>에서 1.04 mBq/m<sup>3</sup> 범위에서 변동을 갖는다. 즉 측정할 때마다 MDA가 변한다는 것을 의미한다.

Table 1. MDA analysis of Xe measurement among Atmosphere

	최소	최대
포집량(cc)	0.35	0.6
효율(%)	70	90
MDA (mBq/m <sup>3</sup> )	1.04	0.47

전처리 시 일부 과정의 자동화, 농축 및 분석 부분 성능개선을 통해 최대 0.47 mBq/m<sup>3</sup>으로 MDA를 낮췄다.

MDA는 시료의 분석할 때마다 차이를 보이는데

평균 0.7 mBq/m<sup>3</sup>을 보였다. MDA가 0.7 mBq/m<sup>3</sup>이라는 의미를 살펴보면 MDA 이상인 방사능만 검출이 가능하다는 의미이다. 그러나 저준위 검출에서 방사능이 MDA 이상인 경우도 백그라운드 요동일 확률도 있다는 점을 고려해야 한다. 검출기의 백그라운드 계수율이 2 cpm일 경우 24시간 측정하면 2880 신호가 예측된다. 즉 시료가 없는데 자연신호의 크기가 2880이라는 의미이다. 이때 1 mBq/m<sup>3</sup>의 시료를 검출한다고 가정하면 시료에 의한 순 계수치는 최대 400개 정도 된다. 즉 순 계수치는 백그라운드의 14 % 이내이다. 이 정도는 앞에서 언급한 백그라운드 불확도가 95 % 신뢰구간에서 14 % 정도이기 때문에 백그라운드 수준의 요동에 의한 값일 수도 있다. 즉 확률은 매우 낮지만 1 mBq/m<sup>3</sup>라고 측정된 시료의 방사능이 백그라운드의 요동일 수도 있다는 점을 고려해야 한다.

앞에서 언급한 내용을 요약하면 1 mBq/m<sup>3</sup> 방사능은 분명히 MDA(=0.7 mBq/m<sup>3</sup>)보다 높기 때문에 분석에서 시료의 방사능 값으로 나타내지만 백그라운드의 요동에 의한 가능성을 완전히 배제할 것은 아니라는 점이다.

### 3. 결론

본 논문에서는 공기 중에 방사성 제는 분석 시 MDA값을 설정하였고, 또한 MDA를 낮출 수 있는 파라메타를 고찰하였다. 이를 통해서 분석 시 MDA를 낮추는 방안을 제시하였다. 그러나 MDA 이상으로 방사능이 검출된 경우도 미량 극 저준위 분석에서는 백그라운드의 요동에 의한 가능성이 항상 존재한다. 따라서 미량시료 분석 시 결과 해석에 그런 점을 고려해야 할 것이다.

### 4. 참고문헌

[1] Y. Igarashi, H. Sartorius, T. Miyao, W. Weiss, K. Fushimi, M. Aoyama, K. Hirose and H. Y. Inoue, 85Kr and 133Xe monitoring at MRI, Tsukuba and its importance, J. of Environmental Radioactivity, 48, 191-202, 20002.  
 [2] L.A Currie, "Limits for qualitative detection and quantitative determination", Anal. chem., 40(30), pp. 586-593, 1968