

# 간이챔버를 이용한 주요 산업원료물질에 대한 라돈방출률 평가

허동혜<sup>1</sup> · 윤석원<sup>1</sup> · 송명한<sup>2</sup> · 양민주<sup>1</sup> · 김용재<sup>1,2</sup> · 장병욱<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>한국원자력안전기술원 · <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교

E-mail: s137hdh@kins.re.kr

중심어 (keyword) : 산업원료물질, 라돈발산계수, 라돈방출률

## 서론

다양한 제품 개발에 사용되고 있는 산업원료물질은 대부분 수입에 의존하고 있으며 그 가격이 고가이기 때문에 해당 산업체에서는 이들을 주로 공장 실내에 대량으로 적재하는 경우가 많다. 사무실에 비해 실내 공간이 상대적으로 넓고 공조 설비가 미비하여 균일한 공조가 어렵기 때문에 산업체 근무자들의 라돈 흡입에 의한 방사선 피폭이 좀 더 높아질 가능성이 있다. 특히, 공조 설비가 미약한 밀폐된 작업장 내 많은 양의 산업원료물질을 사용하거나 보관하는 경우, 그 위험성은 더욱 높아진다. 따라서 이런 고농도 산업원료물질을 사용하는 작업장에서의 방사선학적 위험성을 체계적으로 평가하기 위해서는 보다 정확하게 라돈의 농도를 측정, 평가하는 것이 중요하다[1].

산업원료 물질에서 발생하는 라돈의 양을 측정하여 각각의 라돈발산계수 및 라돈방출률에 대한 정보는 측정하는 것은 상당히 중요하다. 이 연구에서는 새롭게 디자인 된 라돈 간이 챔버 및 알파 비적수동형 검출기를 이용하여 국내에서 주로 사용되고 있는 산업원료물질의 라돈발산계수와 라돈방출률을 구하여 일정 공간 내에서 누적되는 라돈의 양을 평가하였다.

## 재료 및 방법

연구에 사용된 산업원료물질은 2007년도부터 한국원자력안전기술원에서 수행된 “산업원료물질의 천연 및 인공방사능 기초조사”의 결과를 토대로 <sup>226</sup>Ra 농도가 높은 물질들을 선별하여 사용하였으며 표 1.에 주요 산업원료물질의 <sup>226</sup>Ra의 평균농도를 큰 농도 순으로 나타내었다 [2].

표 1. 주요 산업원료 물질의 <sup>226</sup>Ra의 평균농도(Bq · g<sup>-1</sup>)

산업원료명	평균농도	산업원료명	평균농도
모나자이트	18.1	보오크사이트	0.286
저어콘	4.70	점토	0.0683
카오린	0.628	일메나이트	0.0548
인광석	0.355	장석	0.0476
루틸	0.315	흑연	0.0356

통상 라돈방출률의 측정에는 Alpha-Guard 나 Rad7과 같은 능동형 검출기를 이용하지만 상당히 고가이기 때문에 이 연구에서는 보다 저렴하고 간편한 알파 비적수동형 검출기인 라듀엣(Raduet)을 사용하였으며 이를 이용하여 원료에서 상당량 방출되는 <sup>222</sup>Rn(토론, Thoron)에 대한 영향을 보정해 주었다. 또한, 보다 다양한 산업원료물질 자료의 축적을 위해서 10개의 라돈 간이 챔버를 제작하여 동시에 측정하였다.

라돈방출률의 측정은 스테인레스 재질의 라돈 간이 챔버에 산업원료물질과 라듀엣을 함께 넣어서 35일 방사 평형 후 CR-39에 누적되어 있는 알파 비적을 계수하여 이를 라돈 농도로 환산, 평가하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 라돈발산계수( Radon emanation coefficient)

평가된 누적 라돈 농도에 대한 발산계수(f)는 다음 식(1)을 이용하여 산출하였다.

$$f = \frac{A_{eq} \cdot V}{A_m \cdot M} \quad (1)$$

$A_{eq}$  = 35일간 챔버 내에서 누적된 라돈 농도(Bq·m<sup>-3</sup>)

$A_m$  = 산업원료물질의 라돈 농도(Bq·g<sup>-1</sup>)

$V$  = 단위면적당 챔버 부피(m<sup>3</sup>)

$M$  = 산업원료물질의 무게(g)

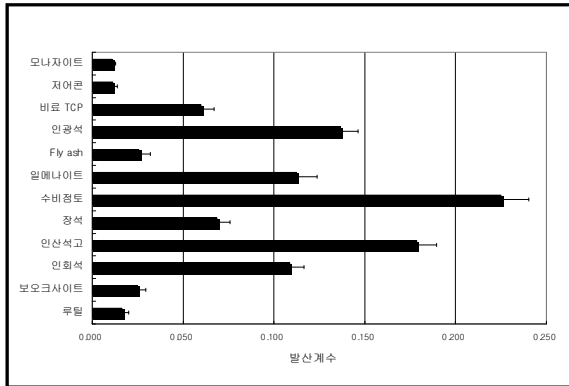


그림 1. 산업원료물질의 누적 라돈 농도로 계산된 라돈발산계수

모나자이트, 저어콘, 플라이 애쉬 및 루틸 등의 발산계수는 낮은 반면 인광석, 인회석, 인산석고 및 수비 점토 등의 발산계수는 높은 경향을 보이고 있다(그림 1). 이는 해당 원료의 광물학적 특성을 그대로 반영하는 것으로 라돈의 발산계수는 광물의 결정형 및 결합력과 밀접한 관계를 보이고 있는데 인광석, 인회석, 인산석고 및 수비점토 등은 결정형이 주로 개형(open form)인 층상 및 판상구조를 가지는 반면 모나자이트, 저어콘, 플라이애시 및 루틸 등은 폐형(closed form)인 정육면체, 정팔면체, 양추의 형태를 가지며 또한 공유결합(-SiO<sub>4</sub>)을 하고 있어 개형에 비해 상대적으로 그 결합력이 높아 라돈이 생성되었다 하더라도 결정구조나 광물격자 내에서 빠져나오기 어렵게 된다.

## 2. 단위 질량당 라돈방출률 (Mass radon exhalation rate)

단위 질량당 라돈의 방출률( $E_m$ )은 식(2)을 통해서 산출하였으며( $\lambda$  = 붕괴상수) 그 결과는 그림 2.와 같다.

$$E_m = \frac{A_{eq} V}{M} \cdot \lambda \quad (2)$$

통상 단위질량당 발산계수가 높은 광물 일수록 라돈방출률도 높게 나타나는 경향을 보인다. 그러나 발산계수가 낮은 모나자이트의 경우 다른 광물들에 비해 워낙 많은 양의 토륨과 우라늄을 함유하고 있기 때문에 가장 높은 값을 나타내고 있다. 원료물질 중 발산계수가 높은 물질이나 모나자이트와 같은 라돈방출률이 높은 물질이 다량으로 적재된 공간에서 누적되는 라돈의 양이 많아지므로 적절한 공조 시스템을 보완, 작업 시 환기률을 강화하여 라돈에 의한 피폭을 최소화할 필요가 있다.

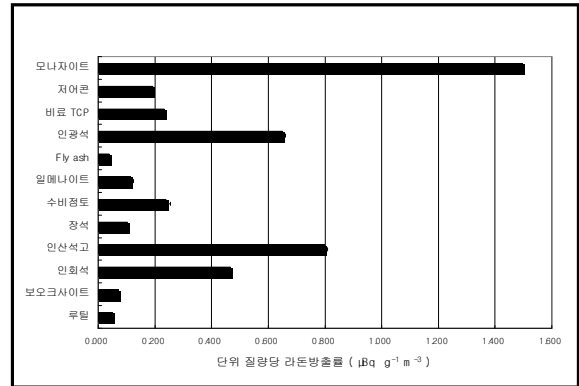


그림 2. 산업원료물질의 누적 라돈 농도로 계산된 라돈방출률

## 결론

라돈 간이 챔버 및 알파트랙 검출기를 이용하여 국내 주요 산업원료물질의 발산계수 및 라돈방출률을 평가하였다. 일반적으로 발산계수가 높으면 라돈방출률이 높은 경향을 보이나 각각의 광물학적 특성에 따라 그 차이가 있고 모나자이트의 경우 발산계수는 낮지만 고농도이기 때문에 라돈방출률은 다른 물질들에 비해 매우 높은 경향을 보여주고 있다.

본 연구에서는 상대적으로 높은 농도의 산업원료물질의 발산계수 및 라돈방출률을 구하였으나 이를 토대로 보다 많은 산업원료와 제품에 대한 조사와 평가가 추가적으로 필요하며 향후 이를 바탕으로 산업원료물질의 가공 및 생산 업체의 근무자에 대한 라돈 흡입에 의한 피폭위해도 평가의 기초자료로서 활용할 수 있을 것이다. 또한, 관련 업체에서는 이들 산업원료와 제품에 대한 라돈방출률 및 발산계수 자료는 적재공간이나 보관 방법을 개선할 수 있는 자료로 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

## 사사

본 연구는 교육과학기술부 원자력기술개발사업 "생활환경중의 방사선 영향 평가"의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

1. 장병욱, 방사선과 광물Ⅲ, 광물과 산업 21권 1호, 2008.
2. B. U. Chang et al., Nationwide survey on the natural radionuclides in industrial raw minerals in South Korea, Journal of Environmental Radioactivity 99, pp. 455-460, 2008.