

라돈, 토론 백그라운드하에서 우라늄의 공기중 방사능 농도 평가

장시영·윤정현·김봉환

한국원자력연구원

E-mail: sychang@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 라돈, 토론, 백그라운드, 방사능붕괴, 저준위방사능 계측, MDA

서 론

라돈(^{222}Rn)과 토론(^{220}Rn)은 천연 방사성 희유기체로 지표면 또는 지각 중의 우라늄, 토륨 또는 라듐의 함유정도와 지표면 또는 지각의 구조특성에 따라 지상으로 발산(emanation)되어 인간의 생활환경으로 유입되며[1] 인간의 자연방사선 피폭원 중에서 최대의 피폭원이 되고 있다[2]. 한 편, 라돈과 토론 그리고 이들의 딸핵종들은 우주방사선과 다른 천연 방사성핵종들과 함께 방사선/능 측정 및 분석 시 백그라운드 방사선/능으로 작용하기도 한다[1,2].

본 논문에서는 라돈 및 토론이 백그라운드로 존재하는 우라늄 취급 방사선 작업장에서 공기시료채취(air sampling)에 의한 우라늄의 방사능 농도를 평가하기 위한 이론적 방법을 확립한 후 실제로 적용하여 작업현장의 RMS (Radiation Monitoring System)의 측정결과와 비교하였다.

이론 및 방법

공기시료 채취필터에 우라늄이 존재한다면 우라늄의 반감기는 10^8y 이상이므로(^{238}U ; $4.5 \times 10^9\text{y}$, ^{235}U ; $7.1 \times 10^8\text{y}$) 시간의 경과에 따른 우라늄 방사능의 변화는 없을 것이다. 반면, 필터에 채취된 ^{222}Rn (반감기 3.82 d)의 딸핵종들은(^{218}Po (반감기 3.05m), ^{214}Po (반감기 26.8m), ^{214}Bi (반감기 19.7m), ^{214}Po (반감기 $1.6 \times 10^{-4}\text{s}$)) 필터채취 후 반감기가 가장 긴 ^{214}Po 의 10 반

감기(4.5h)정도 경과하면 라돈 딸핵종의 방사능에 의한 백그라운드 기여는 무시가능할 것이다.

마찬가지로 천연 토론(^{220}Rn , 반감기 55s) 역시 짧은 시간에 딸 핵종(^{216}Po (반감기 0.15s), ^{212}Pb (반감기 10.64h), ^{212}Bi (반감기 60.6m), ^{208}Tl (반감기 3.1m) 및 ^{212}Po (반감기 $3 \times 10^{-7}\text{s}$))으로 붕괴하지만 필터시료 채취 후 20시간정도 경과하면 ^{212}Pb 를 제외하고는 거의 붕괴소멸될 것이다. 따라서 이와 같은 방사능 붕괴원리를 이용하면 초장반감기의 우라늄과 단반감기의 라돈 및 토론이 공존하는 환경하에서 공기시료 채취필터의 방사능을 시차를 두어 측정할 경우 우라늄, 라돈(딸핵종) 및 토론(딸핵종)의 방사능과 방사능농도를 평가할 수 있는 수식을 다음과 같이 만들 수 있다.

(1)

$$A_0 = A_u + A_{Rn} + A_{Tn}$$

$$A_u = \frac{A_2 \cdot \exp(-\lambda_{Tn} \cdot t_1) - A_1 \cdot \exp(-\lambda_{Tn} \cdot t_2)}{\exp(-\lambda_{Tn} \cdot t_1) - \exp(-\lambda_{Tn} \cdot t_2)}$$

$$A_{Tn} = \frac{A_1 - A_2}{\exp(-\lambda_{Tn} \cdot t_1) - \exp(-\lambda_{Tn} \cdot t_2)}$$

$$A_{Rn} = A_0 - A_u - A_{Tn}$$

If $A_u < 0$, No U Contribution.

여기서, A_0 , A_1 및 A_2 는 각각 필터시료 채취 직후(0), 4.5시간 이상 경과후(1) 및 20시간 이상 경과 후(2)의 방사능 측정값(Bq)이며 A_u , A_{Rn} 및 A_{Tn} 은 각각 우라늄, 라돈 및 토론의 방사능(Bq)이다. λ_{Tn} 은 토론의 딸핵종인 ^{212}Pb 의 방사능 붕괴상수(0.0651 h^{-1})이다

결과 및 고찰

한국원자력연구원 새빛연료과학동의 연속 공기중 방사능 감시시스템인 Alpha Sentry Continuous Air Monitoring System (Canberra, U.S.A.; 이하 Alpha CAM이라 한다)[3]에 설치되어 있는 유리섬유 밀리포어 에어필터(직경 47 mm, 기공 3 μ m)를 1주일마다 필터를 채취한 후 시차를 두어 저준위 알파/베타 방사능계측기(LBC, Tennelec Series 5, Canberra, U.S.A)로 방사능을 측정하였다.

예시로 그림 1은 2008년 8월 4일부터 8월 10일의 1주일간 시설의 231호 실험실과 굴뚝에 설치된 Alpha CAM에서 채취한 밀리포어 필터 방사능의 시간대별 변화추이를 보여준다.

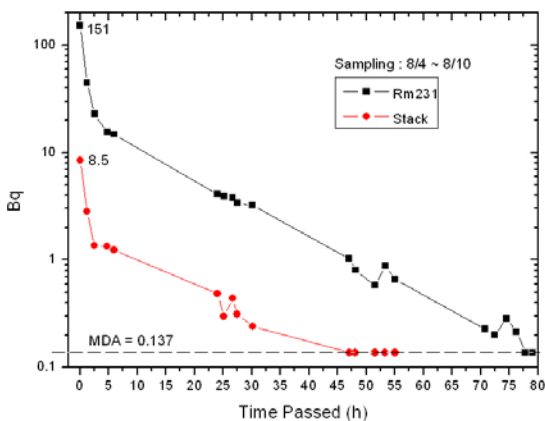


그림 1. 밀리포어 필터의 방사능 변화추이

표 1에는 식 1)의 방법으로 시차를 두어 측정된 밀리포어 필터시료의 방사능 측정결과를 나타내었다.

표 1. 시차별 방사능 측정값

Time lapse (h)	Activity (Bq)	
	RM231	Stack
0.00	151	8.5
4.75	15.5	1.34
24.02	4.09	0.48

그림 1에서 보이듯이 필터시료의 방사능은 초기 수 시간내에 급격히 붕괴하며 수십시간 경과후에 계측기

의 MDA 이하로 붕괴하고 있는데 이것은 전형적인 라돈 및 토론 딸핵종의 붕괴형태임을 알 수 있다[3].

전술한 식 1)의 방법과 표 1의 측정값으로부터 231호 실험실 및 굴뚝방출 우라늄, 토론 및 라돈의 방사능과 방사능농도를 평가한 결과는 다음과 같았다. 비교를 위하여 Alpha CAM으로 측정된 주간 평균농도를 함께 나타내었다.

표 2. 식 1)의 방법으로 평가한 231호 및 굴뚝의 방사능 및 방사능 농도

Nuclide	Activity (Bq)		Concentration (Bq/m ³)	
	RM231	Stack	RM231	Stack
U	-0.24	-0.08	-5.15E-4	-1.45E-4
Tn	21.44	1.93	4.62E-1	3.68E-2
Rn	129.80	6.65	2.80E-1	1.27E-2
Total	151.00	8.52	3.26E-1	1.62E-2
Alpha CAM	-	-	5.00E-2	2.00E-2

표 2에서 우라늄의 방사능과 농도가 음수인 것은 우라늄의 방사능 기여가 없음을 의미하며 총 방사능에 대한 ²²²Rn(딸핵종)의 기여는 80%정도, ²²⁰Rn(딸핵종)의 기여가 20%정도임을 알 수 있다.

결론

라돈 및 토론 백그라운드하에서 공기 중 우라늄의 방사능 농도는 본 논문에서 고려한 라돈 및 토론의 붕괴를 고려한 시차측정법으로 평가할 수 있다. 이 방법은 반감기가 긴 다른 핵종(Cs, Sr, TRU 등)의 방사능 및 농도 평가에도 유용하게 활용될 수 있다.

참고 문헌

1. NCRP Report 97, Measurement of Radon and Radon Daughters in Air, NCRP, (1988)
2. UNSCEAR Report, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR, (2000)
3. 장시영, 김봉환, 한국원자력연구원 새빛연료과학동 굴뚝방출 방사능 평가, 방어학회지33권 3호, (2008)