

제주도 용암해수 중 라돈 농도 분석

박연현, 한충훈, 박재우*

제주대학교, 제주특별자치도 제주시 제주대학로 102

*mtc0252@jejunu.ac.kr

1. 서론

^{222}Rn 과 그 딸핵종에 의한 유효선량이 자연방사성 핵종에 의한 전체 선량의 50% 이상을 차지하고 있는데, ^{222}Rn 의 위험성은 ^{222}Rn 의 불활성적인 성질보다 붕괴 후 발생하는 딸핵종의 이온상태가 다른 물질에 영향을 주는 것이 문제가 된다. 라돈을 측정하기 위한 방법으로 알파선 분광분석법, 감마선 분광분석법 등이 사용되고 있으며, ^{222}Rn 농도의 변화에 대한 원인은 내부적으로 어미핵종인 ^{226}Ra 이 포함된 암석과 연관이 있으며 외부적으로는 강수량 및 대기압의 영향을 받는 것으로 알려져 있다[1].

본 연구 제주도 용암해수 중 ^{222}Rn 농도를 분석한 결과이다. DURRIGE 사 RAD7과 저준위 액체섬광 계수기 (Liquid Scintillation Counter : LSC, Quantulus 1220)를 이용하여 용암해수 중 ^{222}Rn 를 측정하였다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 용암해수 시료 채취

용암해수 시료는 제주시 구좌읍에 위치한 용암해수산업단지 내 취수 2 지점에서 2016년 3월부터 6월까지 시료를 채취하였다. 이때 시료채취 시 용암해수는 사전에 충분히 흘려보내주고 시료를 채취할 때 기포가 생기지 않도록 유의하여 채취한다.

2.1.2 액체섬광계수기 측정

채집한 용암해수를 의 경우 사전에 준비한 Mineral Oil Scintillator (Perkin Elmer) 10 mL와 용암해수 10 mL를 충분히 섞이도록 흔들어 주고 액체섬광계수기를 이용하여 측정을 실시하였다.

최적의 PSA 준위를 결정하기 위하여 표준시료는 α -선 표준선원(^{241}Am)과 β -선 표준선원(^{90}Sr)을 10 mL씩을 각각 측정용기에 취하고 섬광액 10 mL를 넣어 혼합하여 실제 측정시료와 같은 조건의 표준시료를 만들었다. PSA 준위를 80에서 200까지 10씩 증가시키면서 최적의 PSA 설정값을 결정하였다[2].

표준선원 ^{226}Ra (10,500 Bq/L; KRISS)를 이용하여 계측효율을 계산하였다[3].

$$\epsilon = \frac{R^* - R_0}{A_s(1 - \exp^{-\lambda t}) \times 60} \quad (1)$$

여기서 λ 는 ^{222}Rn 붕괴상수(0.182/일)이고 t 표준용액의 측정시간까지 경과시간(일), A_s 는 ^{226}Ra 표준선원 방사능(Bq), R^* 는 α -선의 총 피크영역 계수율(cpm), R 는 α -선의 백그라운드 계수율(cpm)이다.

측정기기의 성능에 따른 최소검출방사능을 결정하기 위해 계측시간에 따라 알파스펙트럼의 채널에서 피크영역을 선택하여 계수율을 측정하였다. 최소검출 방사능을 결정하기 위해 다음의 식을 이용하였다[4].

$$MDA(Bq/L) = \frac{4.65 \times \sqrt{\frac{C_B}{T_B} + \frac{2.71}{T_B}}}{V \times \epsilon \times 60} \quad (2)$$

식(2)에서 C_B 는 백그라운드 계수율(cpm), T_B 는 백그라운드 계측시간(분), ϵ 는 알파선의 총 피크영역에서 계측효율이고 V 는 시료량(L)이다.

라돈의 농도는 아래 식(3)을 이용하였다[4].

$$C = \frac{R_S - R_B}{V \times \epsilon \times e^{-\frac{-0.693 \times T}{3.82}}} \quad (3)$$

식 (3)의 경우 R_S 는 측정된 계수율, R_B 는 Blank시료의 계수율, V 는 시료량(L), ϵ 는 계측효율, T 는 시료 채집일로부터 측정까지의 걸린 시간(일)이다.

2.1.3 RAD7 측정

주변영향을 많이 받는 라돈의 특성 상 단기적이고 연속적인 측정을 위하여 본 실험에서는 DURRIGE RAD7과 그의 세부장비인 RADH20를 이용하였다. 시료 측정용기는 "wat250" 모드로 하여 정해진 용량 (200 mL)의 시료를 채수한 후, 5 분 동안 4회 측정하였다[5].

2.2 결과

2.2.1 최적의 PSA 준위 결정

최적의 PSA 준위 결정 결과 Fig. 1에서 보듯이

최적의 PSA값은 140으로 확인 할 수 있었다.

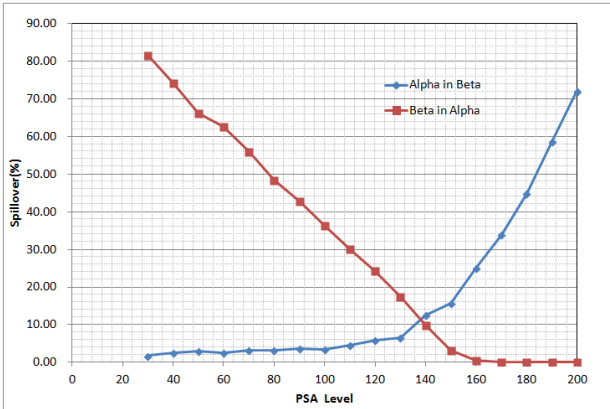


Fig. 1. Alpha/Beta crossover curves as function of PSA setting obtained with ^{241}Am and ^{90}Sr .

2.2.2 기기효율 및 최소검출방사능

Fig. 2은 표준선원 ^{226}Ra (10,500 Bq/L; KRISS)를 이용하여 시간에 따른 알파 붕괴 스펙트럼 변화이다. 표준선원을 만든 시점부터 약 21 일이 지난 후 측정된 알파선의 계수율은 평형값의 97%에 도달하였다.

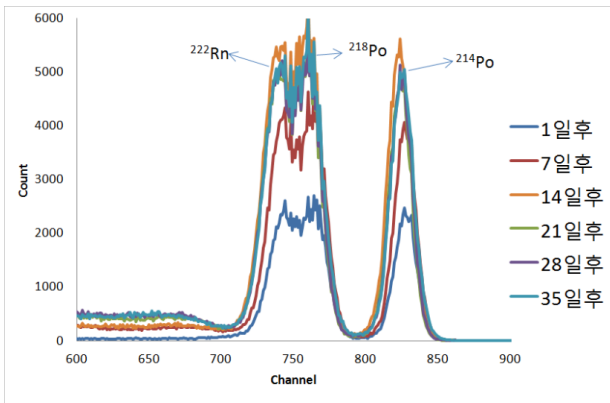


Fig. 2. Over time changing the concentration of the ^{226}Ra standard solution.

LSC의 효율계산 결과 평균적인 기기효율은 $93.50 \pm 5.10\%$ 였으며, 식(2) 이용한 최소검출방사능 (MDL) 값은 0.3788 Bq/L 로 확인할 수 있었다.

2.2.3 용암해수 중 라돈농도 결과분석

Table 1은 RAD7와 액체섬광계수기를 이용하여 제주도 용암해수 중 라돈농도를 측정된 결과 평균 라돈농도는 RAD7은 $55.1\text{--}63.0 \text{ pCi/L}$, LSC는 $61.9\text{--}295.5 \text{ pCi/L}$ 사이로 측정되었다. YS-1(고염도) 지점의 경우 LSC값과 RAD7의 값이 거의 유사하게 측정됨을 확인할 수 있었지만 YS-2(저염도)의 경우는 LSC의 측정 농도가 RAD7의 측정 농도보다 5배 높게 측정되었다.

Table 1. Radon concentrations in saline ground water

Site	RAD7 (pCi/L)		LSC(pCi/L)	
	YS-1 (45)	YS-2 (45)	YS-1 (2)	YS-2 (2)
Average	63.0 ± 24.3	55.1 ± 13.3	61.9 ± 23.6	295.5 ± 15.9
Max	102.0 ± 24.0	96.6 ± 22.9	85.5 ± 13.7	321.8 ± 24.1
Min	10.7 ± 8.9	21.0 ± 8.1	23.9 ± 3.7	3.9 ± 7.2

3. 결론

제주도지역에서 세계적으로 희귀한 용암해수를 채취하여 라돈을 측정된 결과 제주도 북동쪽에 위치한 2지점의 평균 라돈농도는 RAD7은 $55.1\text{--}63.0 \text{ pCi/L}$, LSC는 $61.9\text{--}295.5 \text{ pCi/L}$ 사이로 측정되었다. YS-1(고염도) 지점의 경우 LSC값과 RAD7의 값이 거의 유사하게 측정됨을 확인할 수 있었지만 YS-2(저염도)의 경우는 LSC의 측정 농도가 RAD7의 측정 농도보다 5배 높게 측정되었다. 이 측정결과와의 차이는 이는 측정기간 및 샘플수의 차이로 인해 발생하였을 것으로 예상되고 이 두 지점 모두 미국 환경보호청(EPA)가 지정한 먹는 물에 대한 라돈농도 제한치인 4000 pCi/L 만족하는 것으로 확인되었다.

4. 감사의 글

이 연구는 교육과학기술부 한국연구재단 중점연구사업(NRF-2010-0020077)지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 신현상, 이창우, 이명호, 조영현, 홍광희, 최근식 "저준위 액체섬광계수기와 파형분석법을 이용한 수용액 중 라돈-222 및 라듐-226의 분석법 연구" 분석과학, 12(5), 428-435, (1999).
- [2] Curie LA. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Anal. Chem. 40, 586, (1968).
- [3] 박기화, "제주도 지하수 부존 특성에 대한 지구 과학적 해석", 한국지질자원연구원, 142-147, (2006).
- [4] 조정숙, "지하수 속 ^{222}Rn 방사능농도의 측정 불확도 연구", 부산대학교 물리학과, 39-41, (2014).
- [5] 조정숙, 이효민, 김선웅, 김진섭 "부산 금정구지역의 지하수에 포함된 라돈농도 변화 연구", 방사선방어학회지 37(3), 149-151, (2012).