

PF13) 지하철 승강장 고준위 라돈분포의 원인분석 및 저감방안

Analysis on the Distribution of High Level Radon and Reduction Strategy at Subway Platform

전재식 · 김덕찬¹⁾ · 박영웅²⁾ · 이지영 · 이상수 · 김남진 · 김민영
 서울시보건환경연구원, ¹⁾서울시립대학교 화학공학과, ²⁾(주)알엔테크

1. 서 론

흡연에 이어서 두 번째로 폐암유발 기여도가 높은 물질로 알려진 라돈(radon)은 지각을 구성하는 성분 중에 하나인 우라늄-238의 여섯 번째 붕괴 생성물로 지하광산, 지하터널, 지하병커 및 지하철 승강장을 포함한 모든 지하 구조물의 경우 높은 농도로 존재할 가능성이 있다. 따라서 이런 종류의 지하 구조물에서는 주기적으로 라돈농도를 측정하고, 농도가 높게 검출된 경우 라돈방출을 평가에 근거한 저감대책이 요구된다고 할 수 있다.

현재 국내에서 적용하고 있는 지하철 승강장에서의 라돈 저감방법으로는, 지하수 표면으로부터 방출되는 라돈이 공기 중으로 방출되는 것을 억제하기 위해 승강장을 포함한 승강장 근처의 집수로 및 집수정에 덮개를 설치하는 방법과 승강장으로 방출된 라돈의 농도를 희석시키기 위해 환기횟수를 증가시키는 방법 등을 사용하고 있으나, 열차 풍에 의해 터널 내부의 고농도 라돈을 함유한 공기가 계속해서 승강장으로 유입되는 상황을 고려하면 이들 방법으로는 한계가 있다고 판단된다.

본 연구에서는 수년동안 라돈농도가 높게 평가된 일부 지하철역사 승강장을 대상으로 세부적인 원인분석을 통하여 라돈 저감화 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 이론적 배경

지하철 승강장의 라돈농도가 다음과 같은 식의 지배를 받는다고 가정한 후 분석·평가를 수행하였다.

$$C_{Rn}(pCi/L) = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{\lambda_{Rn} + Q_1 + Q_2} + \frac{E_1 A_1 + E_2 A_2}{V_T (\lambda_{Rn} + Q_1 + Q_2)}$$

위의 식에서 C_{Rn} 은 지하철 승강장에서의 라돈 농도이다. C_1 과 Q_1 은 환기장치 가동을 통하여 지하철 승강장으로 유입되는 외부공기의 라돈농도(pCi/ℓ) 및 환기횟수(h^{-1})이며, C_2 와 Q_2 는 지하철의 왕복으로 인하여 지하철 승강장으로 유입되는 지하터널 공기의 라돈농도(pCi/ℓ) 및 공기 유동으로 인한 환기 효과를 환기횟수(h^{-1})로 나타낸 것이다. 또한 E_1 과 A_1 은 승강장 또는 승강장과 승강장을 연결하고 있는 터널 내부의 웅벽으로부터 방출되는 단위면적당 라돈방출률($pCi/m^2 \cdot hr$) 및 해당되는 웅벽의 면적(m^2)이고 E_2 와 A_2 는 승강장 또는 승강장과 승강장을 연결하고 있는 터널 내부의 집수로 지하수 표면으로부터의 단위면적당 라돈방출률($pCi/m^2 \cdot hr$) 및 해당되는 지하수의 표면적(m^2)이다. V_T 는 승강장 또는 승강장과 승강장을 연결하고 있는 터널 내부의 공간부피(ℓ), 그리고 λ_{Rn} 은 라돈의 붕괴상수(h^{-1})이다.

일반적으로 지하철 승강장의 경우에는 $1pCi/\ell$ 이하의 농도 분포를 가지는 외부 공기의 강제주입 형태로 충분한 환기가 이루어지고 있으므로, 승강장 웅벽으로부터의 라돈방출율과 승강장에 인접한 집수정 및 집수로의 지하수 표면으로부터의 라돈 방출만으로 지하철 승강장에서의 라돈농도가 관리 기준치에 해당하는 $4pCi/\ell$ 를 초과할 가능성이 없을 것이라는 것을 위 식을 통하여 예측할 수 있으나, 승강장과 승강장을 연결하고 있는 터널 내부 공기가 라돈에 의해 오염된 경우에는 승강장에서의 환기장치 가동만

로는 승강장에서의 라돈농도를 기준치 이하로 낮추기가 쉽지 않을 것이라 사료된다.

2.2 저감화 및 측정 방법

집수정 및 지하수를 집수정으로 유도하는 집수로의 표면적이 웅벽 전체 표면적의 1%에 해당하며 또한 지하철의 왕복으로 인한 터널 내부의 환기횟수가 0.01회/h 라고 가정한 후 라돈 저감화 시공에 있어서 우선순위를 도출한 결과, 웅벽 표면에서의 라돈방출을 및 지하수 표면에서의 라돈방출율이 각각 150pCi/(m²·hr) 이상인 경우, 해당되는 부위를 중심으로 라돈방출 저감화 시공을 한다면 승강장을 포함한 터널 내부에서의 라돈농도를 관리 기준치 이하로 유지할 수 있을 것이라는 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 알파트랙(α-track: Rn-Tech Co., Ltd.)을 사용하여 라돈농도를 측정하였으며 라돈농도 측정값을 다음 식에 대입하여 집수정 및 집수로의 지하수 수면과 터널 내부의 웅벽으로부터의 라돈방출율을 계산하였다.

$$E = \frac{C}{(1 - e^{-\lambda t}) S} \lambda V$$

위 식에서, E는 단위면적당 라돈 방출율(pCi/m²·hr)이며, C는 알파트랙(α-track)을 이용하여 측정된 라돈농도(pCi/ℓ), λ는 라돈의 붕괴상수(h⁻¹), t는 측정시간(h), S는 알파트랙의 입구 또는 알파트랙을 내장한 용기의 바닥면적(m²), V는 알파트랙의 내부용적 또는 알파트랙을 내장한 용기의 부피(ℓ)이다.

3. 결과 및 고찰

라돈농도가 높게 나타난 지하철 역사를 포함한 2개의 지하철 역사를 선정하여 해당역사의 승강장 및 승강장과 연결된 터널 내부의 라돈농도, 집수정 및 집수로의 수면과 터널웅벽으로부터의 라돈 방출율을 측정된 결과를 표 1에 나타내었다.

Table 1. Radon emission rates and concentrations of two subway stations showing the high level radon concentration(from 2006.1.18 to 2006.2.23)

Subway station	Radon conc. (pCi/ℓ)			Radon Emission Rate (pCi/m ² ·hr)		
	Platform	Tunnel	Ground water	Ground water	Breast wall of tunnel	
Station A	Max.	2.07	3.89	506.0	-	31.77
	AM	1.78±0.34	2.81±1.05	433.2±21.92	21.97	9.78±8.73
Station B	Max.	6.49	9.73	936.6	-	22.09
	AM	5.52±1.38	8.11±1.29	850.3±122.05	468.63	6.59±5.31

AM : Arithmetic Mean.

표 1에서 B역사의 경우 환기장치가 1일 24시간 연속 가동됨에도 불구하고 해당 승강장에서의 라돈농도 평균치가 5.52pCi/ℓ로 측정되었는데, 그 원인은 인접한 터널 내부의 비교적 높은 라돈농도 때문인 것으로 판명되었다. 또한 터널내부의 라돈농도 증가의 원인은 주변지역의 화강암 기반을 통과하여 해당역사로 유입되는 지하수에 녹아있는 높은 농도의 라돈 때문인 것으로 추정되므로(전재식, 2006), B역사의 집수정 및 집수 관로를 대상으로 라돈방출을 억제하기 위한 시공을 한다면 해당 승강장에서의 라돈농도를 4pCi/ℓ 이하로 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 전재식 (2006) 서울지역 지하역사의 라돈농도 분포 특성 평가, 한국대기환경학회 춘계학술대회 요지집.
 Park, Y.W et al. (2001) Present Conditions of Radon Measurement Technique in Korea, International Symposium on Radiation Safety Management, 613-621.