

PG5) 서울지하철역 라돈 분포를 결정하는 요인 분석 Factors Controlling ²²²Rn Distributions in Seoul Metropolitan Subway Stations

전재식 · 이진 · 김주형 · 김민영
서울특별시보건환경연구원

1. 서론

라돈은 지구상에서 자연적으로 발생하는 물질 중 인간에게 가장 큰 위해를 미치는 방사성, 비활성기체이다. 그 주요 발생원은 토양이지만 모든 생활공간에 분포하며 지하에 위치한 실내공간에서 높은 농도로 나타난다. 지하철역은 다중이용시설을 대표하는 지하공간으로 환기가 잘 되지 않아 라돈농도가 기준치를 초과하는 경우가 빈번하게 발생되고 있다.

지하철역에서의 라돈농도는 불검출로 측정되는 공간이 거의 없으며 농도 분포는 근사적으로 대수정규 분포(log-normal distribution)를 나타낸다. 실내공간의 라돈 분포는 여러 가지 영향 요인에 따라 그 정도의 차이가 매우 광범위하다. 실내환경에서 라돈농도를 지배하는 요인은 건축구조물과 인접한 토양가스의 라돈함량 및 실내유입속도, 건축자재, 유입 지하수, 실내의 공기 교환량, 대기압차, 실내구조, 온도, 습도 등 매우 많은 변수로 구성되어 있으며, 라돈을 지배하는 요인들 자체도 타 요인에 의해 지배를 받으므로 실내공간에 대한 라돈농도 평가는 과대 또는 과소평가되지 않도록 유의하여야 한다. 즉, 극히 한정된 시·공간에서의 라돈농도 측정을 통한 실내공간의 라돈농도 평가 시에는 합리적인 해석이 요구된다.

본 연구에서는 1기 지하철(1~4호선)과 2기 지하철(5~8호선)로 운영되고 있는 서울지하철역 232개 역사를 대상으로 한 장기라돈 측정결과의 분석을 토대로, 라돈 분포에 영향을 미치는 요인 평가와 함께 지하철역 라돈농도 예측을 위한 모형을 제안하여 지하터널 및 지하역사 등 지하구조물의 시공과 지하 건축물의 설계 시 방사능 라돈으로부터의 위해를 줄일 수 있는 저감대책을 강구하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 측정 및 분석방법

서울지하철역의 라돈농도는 1998년에서 2004년까지 전체 지하철역의 승강장, 대합실 및 환승통로로 구분하여 총 2,839지점에서 시료를 채취하여 측정·분석한 자료를 이용하였다. 통계처리에 의한 해석을 위하여, 수집된 모든 자료는 SPSS 12.0 및 SAS 8.2 프로그램을 사용하여 분석 자료에서 이용된 변수들에 대해 일반적인 특성을 살펴보았으며, 변수들 간의 관계를 알아보기 위해 pearson correlation analysis, t-test, ANOVA 및 multiple comparison, 그리고 χ^2 -test를 실시하였다. 라돈농도에 영향을 미치는 변수들의 영향을 살펴보기 위해서 단변량을 살펴본 후 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

96개 역사로 운영되고 있는 1기 지하철과 136개 역사로 운영되고 있는 2기 지하철로 구분한 각 기별 산술평균 라돈농도는 각각 $1.69 \pm 0.98 \text{pCi/L}$ 및 $1.62 \pm 1.12 \text{pCi/L}$ 로 나타났다(표 1). 2기 지하철역에서 더 높은 라돈분포를 보일 것이라는 예상과는 달리, 1기와 2기 지하철에서 유사한 라돈농도 분포를 보였다. 이는 1기 지하철 노선이 2기 지하철에 비해 역사의 승강장 위치가 전반적으로 더 낮음에도 불구하고, 화강암 반을 경유하는 비율이 2기 지하철역 21%(29역사)보다 높은 45%(43역사)로 역사가 위치하는 지질학적인 요인과 2기 지하철인 8호선의 낮은 라돈농도 분포의 영향에 기인한 결과로 판단된다. 1기 지하철역은 2기 지하철역에 비해 승강장에서 다소 높은 라돈농도 분포를 나타냈으며, 2기 지하철역은 대합실에서 더 높은 농도 분포를 나타냈다. 화강암반대에 위치하는 역사 승강장의 평균 라돈농도는 $2.06 \pm 1.19 \text{pCi/L}$ 이었으며 비 화강암반대에 위치하는 승강장 평균농도는 $1.50 \pm 0.95 \text{pCi/L}$ 로 나타났고, 층별 화강암과 비 화강암간의

평균 라돈농도의 차이가 있었다($p < 0.001$) (표 2). 일평균 유량이 각각 $33,400\text{m}^3/\text{day}$, $118,700\text{m}^3/\text{day}$ 인 1기와 2기의 유입 지하수량은 역사의 라돈농도와 약한 상관관계를 보였고($r = 0.14$, $p < 0.005$), 유동인구와는 상관관계를 보이지 않았다.

Table 1. Distributions of indoor radon concentrations(pCi/L) at sampling sites of subway stations in different lines.

Site	1st subway	2nd subway	p-value
Platform	1.93±1.06	1.75±1.24	0.008
Concourse	1.39±0.76	1.44±0.96	0.341
Transform	1.88±1.06	2.01±1.10	0.355
Mean	1.69±0.98	1.62±1.12	0.090

1st subway; 1, 2, 3, 4 line.

2nd subway; 5, 6, 7, 8 line.

Table 2. Average radon concentrations(pCi/L) at platforms by type of bedrock and basement level.

Basement level	Granite		Non-Granite		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
2	1.73	0.84	1.45	0.88	<0.001
3	2.38	1.01	1.73	1.15	<0.001
4	3.39	1.38	1.77	0.12	<0.001
5	3.85	1.77	1.79	1.03	<0.001
6	-	-	1.74	0.83	-
Mean	2.06	1.19	1.50	0.95	<0.001

이번 연구에서 지하철역 해당 지점의 공간적 라돈농도 분포 패턴을 결정하는데 역사가 위치하는 기반암의 종류 및 층별 깊이가 중요한 역할을 함이 확인되었다. 독립변수들로서 화강암(Jurassic Granite, Jgr)과 층별 깊이는 승강장 라돈분포를 지배하고 있다. 따라서 이들 요소의 중요성은 해당 역사의 지점마다 다를 수 있다고 추정되며, 이를 확인하기 위해 다중회귀분석(Multiple Linear Regression)에 의한 통계 처리 기법을 사용하게 되었으며, 회귀분석 결과는 표 3과 같다.

Table 3. Results of multiple regression analysis.

Parameter		Estimate	SE	p-value
Intercept		1.107	0.087	<0.0001
Basement level		0.274	0.025	<0.0001
Bedrock	Granite	0.520	0.044	<0.0001
	Non-Granite	reference	-	-
Site	Concourse	-0.191	0.074	0.0103
	Platform	-0.197	0.073	0.0073
	Transform	reference	-	-

참 고 문 헌

- 전재식, 김덕찬, (2006) 서울지역 지하철역의 라돈농도 분포 특성, 대한환경공학회지.
- 전재식, 김덕찬, 이지영 (2007) 지하철역 라돈의 시간적 변화와 기여원 평가, 대한환경공학회지.
- Durrani, S.A. and R. Ilić (1997) Radon measurements etched by track detectors, World Scientific.
- Wilkening M. (1990) Radon in the environment, Elsevier.