

스크린도어 설치 후 서울지하철역 라돈 농도의 변화 특성

A Noticeable Change in Indoor Radon Levels After Platform Screen Doors Installation in Seoul Subway Station

전재식* · 윤종철 · 이호찬 · 엄석원 · 채영주

서울특별시보건환경연구원

(2011년 10월 7일 접수, 2011년 12월 9일 수정, 2012년 1월 30일 채택)

Jae-Sik Jeon*, Jong-Cheol Yoon, Ho-Chan Lee,

Seok-Won Eom and Young-Zoo Chae

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

(Received 7 October 2011, revised 9 December 2011, accepted 30 January 2012)

Abstract

Platform screen doors (PSD) installed at 289 stations in Seoul metropolitan subway from November 2005 to December 2009, are expected to prevent death from a fall and improve air quality. In this study, we systematically surveyed changes in radon concentrations before and after PSD installation in Seoul metropolitan subway stations. By solid-state nuclear track detectors (SSNTD), the radon concentrations before and after the PSD installation were measured at 54 stations of 6 lines from 2 to 7 reported to have relatively high radon concentrations. Mean radon concentrations at platforms were decreased by approximately 56% from 121.7 Bq/m³ to 54.0 Bq/m³. Before PSD installation, mean radon concentrations were in the decreasing order for subway lines 7, 5, 6, 3, 4 and 2. On the other hand, after PSD installation the order was changed to 5, 6, 7, 3, 4 and 2. According to a radon map of Seoul metropolitan subway, the number of platforms where radon concentration over was 74 Bq/m³ decreased from 38 to 12 after PSD installation.

Key words : Subway, Platform screen doors (PSD), Radon concentration, Solid-state nuclear track detectors (SSNTDs), Radon map

1. 서 론

서울의 지하철은 대표적인 대중교통수단으로 정착되어 교통난 해결에 일조하고 있으나 실외와 다른 공간적 밀폐성은 실내공기질 악화를 초래하여 사회적

인 문제로 대두되고 있다. 지하철역사에 분포하고 있는 대기오염물질은 외부로부터 유입 또는 내부에서 발생하여 축적된 미세먼지(Lee *et al.*, 2010)와 지하공간에서 자연적으로 생성된 방사능 라돈이 대표적인 유해물질로 조사된 바 있다(Jeon and Kim, 2006). 토양으로부터 기원하는 라돈은 자연적으로 발생한다는 이유로 그 동안 위해성에 관한 무관심과 경각심 부족 등 생활환경에서 소홀히 취급되어 왔다. 그러나

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-570-3365, E-mail : jeon1807@seoul.go.kr

실내공기질관리법 (Korean Ministry of Environment, 2004)에서 라돈에 대한 관리기준을 설정하고, 최근 개정된 실내공기질 공정시험기준 (Korean Ministry of Environment, 2010)에서 구체적인 시험방법을 제시한 것은 방사능 라돈의 위해로부터 국민건강 보호 차원의 매우 적절한 조치라 할 수 있다.

서울지하철에서 라돈이 환경오염 문제로 부각되기 시작한 것은 1998년 5월로 장마로 인해 7호선 공릉역 등이 침수된 후 라돈이 고농도로 검출되면서 부터이다. 서울지하철에서의 라돈연구는 Kim and Kim (1993)에 의해 처음 실시되었으며, 라돈 농도 측정결과 (Jeon and Kim, 2006; Kim and Kim, 1993)가 일본 및 유럽의 지하철역 라돈분포 (Yafasov and Akimov, 2001; Liendo *et al.*, 1997; Doi and Kobayashi, 1996; Yu *et al.*, 1996; Espinosa and Gammage, 1995)에 비해 상대적으로 높은 수준으로 보고된 바 있다. 지하역사의 라돈분포에 영향을 미치는 직접적인 원인은 토양에 존재하는 라돈가스와 지속적으로 접촉하여 역사에 유입된 지하수 (Jeon *et al.*, 2007)이며 단층지역과 같은 지질학적 요인도 역사 내 라돈분포에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나로 알려져 있다 (King *et al.*, 1996). 특히, 열차풍은 터널내부에 존재하던 라돈의 상당부분을 지하역사 및 전동차 객실로 운송하여 승객의 보건상 문제를 유발할 수 있다 (Jeon *et al.*, 2007). 서울시에서는 지하철 안전사고와 공기질 개선을 위하여 2005년 11월 2호선 사당역에 승강장 스크린도어 (Platform Screen Door: PSD)를 설치하여 효과를 검토하였다. 그리고 이 결과를 기초로 2009년 12월까지 약 4년에 걸쳐 289개 서울지하철 전체 역사에 PSD를 설치하여 운영 중에 있다.

지금까지 발표된 서울지하철역의 라돈연구는 대부분 PSD 설치 이전에 조사한 결과이며, PSD 설치 이후의 농도변화에 대한 조사는 아직까지 거의 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 서울지하철의 PSD 설치 전·후 라돈 농도의 변화를 비교·평가하기 위하여 PSD 설치 후의 지하철역 라돈 농도를 심층적으로 조사·분석하였다. 즉, 서울지하철역의 전체 평균 라돈 농도를 상회하는 54개 역사를 연구대상으로 선정하였으며, 2004년부터 2010년까지 지속적으로 조사한 지하철역 라돈측정 자료를 토대로 PSD 설치 전·후의 역사별 라돈 농도 특성 및 경향에 대한 분석을 실시하였다. 또한, PSD 설치 전·후의 지하철 라돈분

포 지도를 작성하여 비교 제시하고자 하였다. 본 연구결과는 PSD 설치로 인한 지하철역사 내 라돈저감 효과에 대한 평가 자료로 활용될 수 있으며, 지하철 라돈저감 및 유해오염물질 대책강구에 도움이 될 것으로 판단한다.

2. 연구방법

2.1 측정 장소 및 시기

본 연구에서 라돈농도는 1998년부터 2004년까지 74 Bq/m^3 이상으로 조사된 54개 역사를 선정하여 이를 대상으로 측정하였다 (서울특별시, 2007). PSD 설치 전·후 비교 데이터는 PSD 설치를 시작한 2006년부터 설치가 완료된 2010년까지 매해 4~7월에 연속 측정한 장기 라돈 데이터를 이용하였다. 조사대상 역사는 2호선 8개 역사, 3호선 7개 역사, 4호선 8개 역사, 5호선 13개 역사, 6호선 12개 역사 그리고 7호선 6개 역사이었다. PSD 설치 후의 라돈 농도는 2010년에 측정한 자료를 일괄적으로 사용하였으며, PSD 설치 전의 라돈 농도는 역사별로 PSD 설치 시점을 고려하여 가장 최근의 측정 데이터를 사용하였다. 일부 라돈 검출기 분실 및 자료 확보가 되지 않은 역사는 2004년의 자료를 활용하였다. 역사별 PSD 준공년도와 PSD가 설치되기 전의 라돈 측정 년도를 표 1에 나타내었다.

2.2 시료 채취 및 분석

본 연구에서는 장기 라돈 농도 측정을 위하여 시간적분형 라돈검출기인 고체비적검출기 (SSNTDs, solid-state nuclear track detectors)를 사용하였다. 지하철역 승강장 및 대합실의 천정으로부터 약 1 m 아래에 검출기를 설치하여 시료를 채취하였다 (그림 1). 각 측정지점별로 2개씩의 검출기를 설치하여 약 3개월간 시료채취 후 회수하여 분석하였으며, 분석결과의 평균값을 데이터로 사용하였다. 장기 라돈 농도 측정은 cellulose nitrate 성분의 LR-115 필름을 사용하였으며, 검출기가 부착되어 있는 라돈캡을 직접 제작하였다. 시료채취 후 수거된 필름은 부식용액 (10%-NaOH)으로 에칭 (60°C, 90 min)한 후, 생성된 비적을 광학현미경 및 CCD-Camera를 사용하여 약 200배로 확대시켜 비적수를 계산하였다 (Durrani and Ilić, 1997). 검출기는 사용 전에 교정을 통하여 환산인자를 결정하였

Table 1. Dates of PSD installations and radon survey.

Line	Subway station	PSD installation	Radon survey
2	Dongdaemun History & Culture Park	2007.11	2007
	Ahyeon	2009.11	2008
	Euljiro 4 (sa)-ga	2009.12	2008
	Ewha Womans Univ.	2006.06	2004
	Jamsil	2007.12	2007
	City Hall	2009.12	2008
	Yeongdeungpo-gu Office	2006.05	2004
3	Yeoksam	2007.07	2004
	Gyeongbokgung	2009.12	2008
	Anguk	2009.12	2008
	Jongno 3 (sam)-ga	2008.06	2006
	Chungmuro	2009.12	2008
	Seoul Nat'l Univ. of Education	2008.02	2007
4	Dongnimmun	2009.12	2008
	Hongje	2009.12	2008
	Namtaeryeong	2009.12	2008
	Samgakji	2009.12	2008
	Hoehyeon	2007.11	2006
	Chungmuro	2009.12	2008
	Miasamgeori	2008.12	2004
	Myeong-dong	2007.08	2004
5	Dongdaemun Station	2006.04	2004
	Dongdaemun History & Culture Park	2008.06	2004
	Gwanghwamun	2007.10	2007
	Dongdaemun History & Culture Park	2008.12	2008
	Seodaemun	2008.12	2008
	Euljiro 4 (sa)-ga	2008.12	2008
	Jongno 3 (sam)-ga	2008.12	2008
	Cheonggu	2008.12	2008
	Gunja	2007.10	2007
	Chungjeongno	2008.12	2008
6	Wangsimni	2007.10	2004
	Cheonho	2009.06	2008
	Janghanpyeong	2009.06	2008
	Majang	2009.06	2008
	Dapsimni	2009.06	2008
	Korea Univ.	2009.06	2008
	Yeokchon	2009.12	2008
	Bulgwang	2009.11	2008
	Gwangheungchang	2009.12	2008
	Sindang	2009.06	2008
7	Dokbawi	2009.12	2008
	Wolgok	2009.06	2008
	Eungam	2006.10	2004
	Yeonsinnae	2009.12	2008
	Anam	2009.06	2008
	Dongmyo	2009.06	2008
	Gusan	2009.11	2008
	Gongneung	2008.09	2008
	Nowon	2008.09	2008
	Madeul	2008.09	2008
7	Junggye	2008.09	2008
	Hagye	2008.09	2008
	Onsu	2009.06	2008



Fig. 1. SSNTDs set at subway stations.

다. 검출한계는 시료채취 기간에 따른 오차를 고려할 때 다소 차이는 있지만, 3개월 이상 시료채취를 할 경우 7.4 Bq/m³이다. 그 외의 라돈 농도 측정방법은 실내공기질 공정시험기준 (Korean Ministry of Environment, 2010)에 준하여 수행하였다.

2.3 라돈지도 작성 및 통계 분석

서울지하철역 라돈 농도와 기반암석과의 상관성을 파악하기 위해서 ArcView 3.3을 이용하여 수치지질도(digital geology map)에 UTM 좌표를 나타냈으며, 이를 바탕으로 현재의 지하철역 실내 라돈 관리 기준치인 148 Bq/m³을 기준으로 3단계로 라돈 농도를 구분하여 지하철 라돈분포 지도를 작성하였다. 모든 통계분석은 SPSS (Ver. 12.0)를 이용하였다.

2.4 정도관리

본 연구에서는 장기 라돈 농도 측정결과에 대한 데

이터의 신뢰성 확보를 위해서 2011년 1월 26일부터 2월 28까지 장기-단기 라돈측정을 병행 실시하고 각 방법에 의해 산출된 라돈 농도의 비교 검증 절차를 수행하였다. 그림 2는 4호선 N역사 승강장의 동일 장소에서 두 가지 방법으로 라돈 농도를 측정하는 과정을 나타낸 것이다. 단기 라돈 농도 측정은 RAD-7

(Durridge, USA)을 사용하였으며, 33일 동안 연속해서 라돈 농도를 모니터링 하였다. RAD-7은 여과지를 통하여 측정용기로 유입된 공기 중 라돈이 붕괴할 때 방출하는 알파입자를 실리콘 반도체 검출기를 이용하여 계수하는 방식으로 검출한계는 4 Bq/m³이다. 장기-단기 측정방법으로 실시한 라돈 평균값은 각각 104.3 Bq/m³, 101.8 Bq/m³으로 분석되어 유사한 농도 수준을 보였다(표 2).



Fig. 2. Setting for simultaneous analysis of long and short-term measurements.

3. 결과 및 고찰

3.1 PSD 설치에 따른 라돈 농도 특성 및 경향

54개 역사를 대상으로 2004년부터 2010년까지 매년 4~7월 사이의 약 3개월 동안 지속적으로 측정된 라돈 농도 측정결과를 표 3에 나타냈으며, PSD 설치 전·후의 지하철역 승강장과 대합실의 라돈 농도를 비교하였다. PSD 설치 전의 승강장과 대합실의 라돈 농도 범위는 각각 48.1~264.9 Bq/m³, 13.7~200.5 Bq/m³이었으며, 설치 후는 각각 12.8~120.6 Bq/m³, 5.1~82.8 Bq/m³로 조사되었다. PSD 설치 전·후 승강장 라돈의 평균농도는 각각 121.7 Bq/m³, 54.0 Bq/m³으로 PSD 설치로 승강장 라돈 농도가 56% 저감되었으며, 대합실은 각각 75.5 Bq/m³, 34.0 Bq/m³으로 55% 저감된 것으로 나타났다(그림 3). 전 등(2009)에 의하면 PSD설치 전에 비해 설치 후의 승강장 라돈 농도가 41~71% 감소하는 것으로 나타나 본 연구결과와 유사한 감소율을 보였다.

Table 2. Comparison of radon concentrations according to long and short-term measurements.

Measurement method	Measurement period	No. of samples	²²² Rn (Bq/m ³)		
			Mean ± SD	Max.	Min.
Long-term	2011.1. 26 ~ 2. 28	8 (radon cup)	104.3 ± 5.2	111.7	97.3
Short-term		33 (day)	101.8 ± 18.4	144.0	73.5

Table 3. A statistical summary of radon concentrations before and after PSD installation at subway stations.

Site	Sampling period	No. of samples	²²² Rn (Bq/m ³)		
			Mean	SD	Range
Subway platform (Line 2 ~ Line 7)	Before PSD installation (April ~ July, 2004 ~ 2008)	54	121.7	59.7	48.1 ~ 264.9
	After PSD installation (April ~ July, 2010)	54	54.0	28.5	12.8 ~ 120.6
Subway concourse (Line 2 ~ Line 7)	Before PSD installation (April ~ July, 2004 ~ 2008)	54	75.5	41.7	13.7 ~ 200.5
	After PSD installation (April ~ July, 2010)	54	34.0	21.1	5.1 ~ 82.8

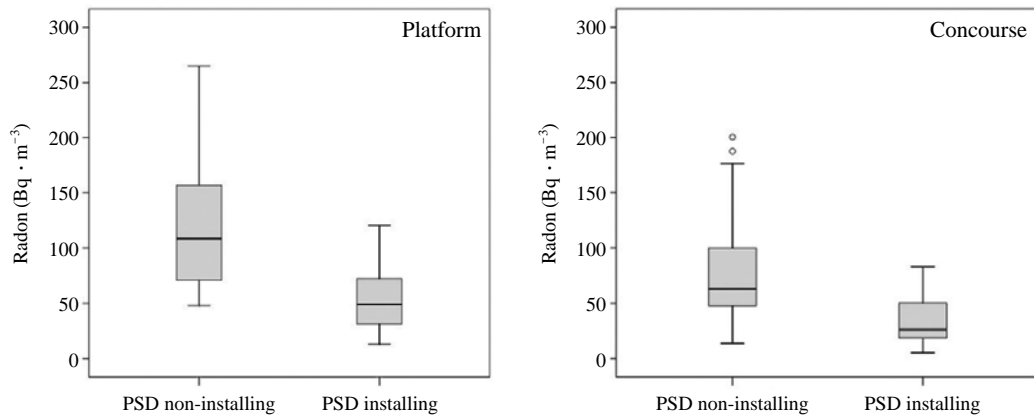


Fig. 3. Average radon concentrations before and after PSD installation.

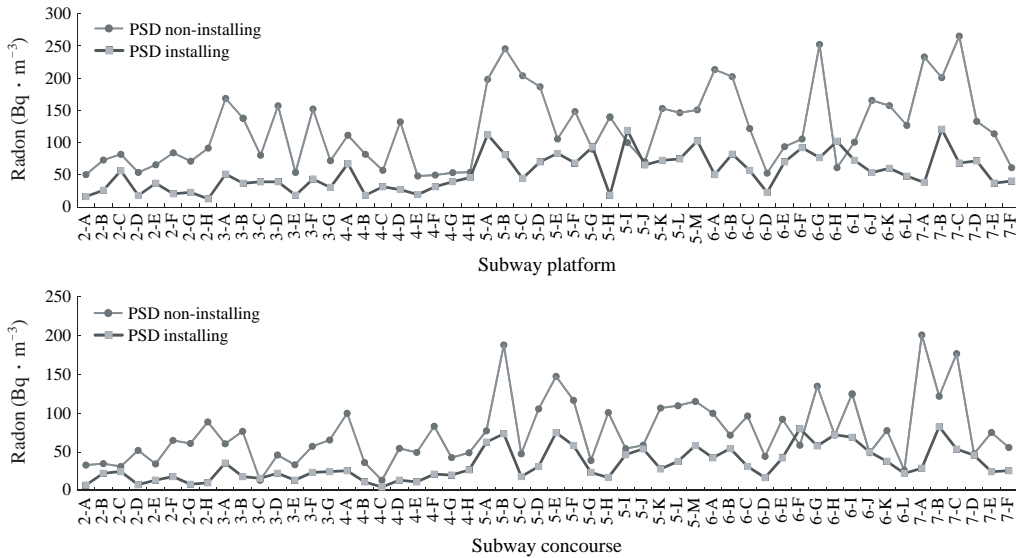


Fig. 4. Variations of radon concentrations before and after PSD installation.

3. 2 역사별 라돈 농도수준 변화에 관한 고찰

그림 4에는 54개 역사 승강장과 대합실의 PSD 설치 전·후 라돈 농도 변화를 나타내었다. PSD 설치에 따라 대부분 역사의 라돈 농도는 감소하였으나, 6호선 H역의 경우 승강장 라돈 농도가 PSD 설치 전·후 각각 61.1 Bq/m³, 102.0 Bq/m³으로 나타나 오히려 설치 후에 67%의 증가율을 보였다. 또한, 6호선 F역의 대합실에서는 PSD 설치 후에 라돈 농도가 36% 증가하였다. PSD 설치에 따른 지하철역 라돈 농도 변

화에 대한 전 등(2009)의 연구결과에 의하면 오히려 PSD 설치 후에 승강장보다 대합실에서 다소 높은 라돈 농도 수치를 보였다. 본 연구의 조사결과, 일부 역사에서 PSD 설치 전에 비해 설치 후의 라돈 농도 증가 현상은 선행 연구결과와 무관하지 않은 것으로 추정된다. 열차통과 반복되는 PSD 개폐로 인해 터널내부에 존재하던 상당부분의 라돈이 자연스럽게 승강장으로 유입됨을 고려할 때, PSD 설치를 터널과 승강장의 공간적 단절로 판단하여 지하철역 환기량의

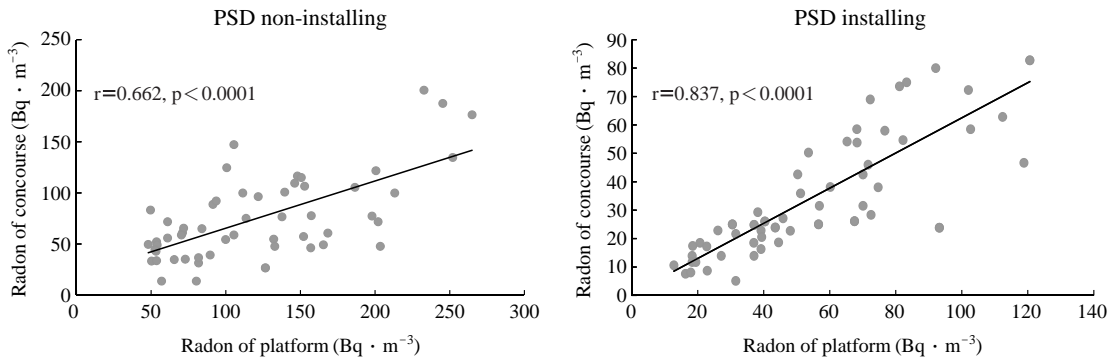


Fig. 5. Correlation between radon concentrations of platform and concourse before and after PSD installation.

Table 4. Comparison of average radon concentrations before and after PSD installation at subway lines.

Line	²²² Rn (Bq/m ³)						Radon reduction rate (%)		
	Before PSD installation			After PSD installation			Platform	Concourse	Mean
	Platform	Concourse	Mean	Platform	Concourse	Mean			
2	71.3	50.2	60.8	26.3	14.4	20.4	63	71	67
3	117.2	50.5	83.9	37.0	22.3	29.7	68	56	65
4	73.4	53.7	63.6	35.1	17.2	26.2	52	68	59
5	148.9	97.4	123.1	77.3	45.2	61.2	48	54	50
6	137.6	79.0	108.3	65.6	48.3	56.9	52	39	47
7	167.6	112.9	140.3	62.7	43.8	53.2	63	61	62

급감 등 임의적인 조절은 역사의 라돈 농도를 오히려 증가시킬 수 있을 것으로 우려된다. 따라서 과거 고농도 라돈이 출현한 지하철역에 대해서는 역사마다의 환경적 특성을 고려한 효율적인 에너지 사용과 병행한 지하철 실내공기질 개선방안이 도입되어야 할 것으로 판단된다.

그림 5에는 PSD 설치 전·후의 승강장과 대합실 라돈 농도간의 상관성을 나타내었다. 두 장소 간 라돈 농도의 상관성을 분석결과, PSD 설치 전($r=0.662$, $p<0.0001$)에 비해서 설치 후($r=0.837$, $p<0.0001$)에 더 큰 상관관계를 보였다.

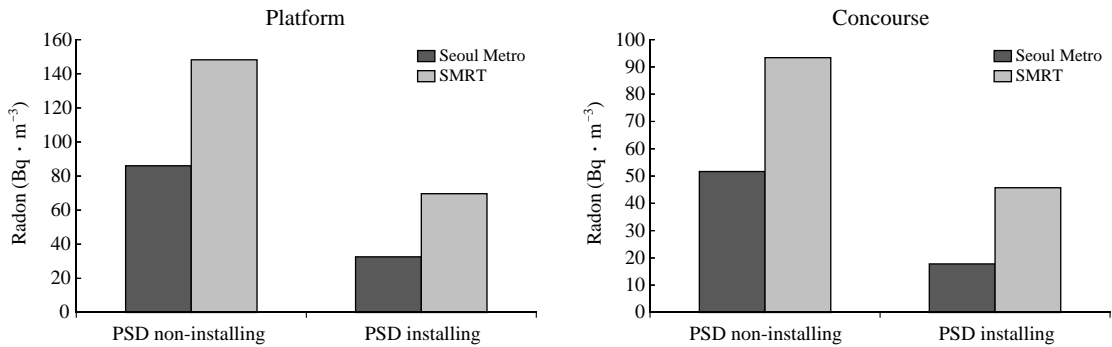
호선별 평균 라돈 농도를 PSD 설치 전과 후로 구분하여 비교 분석한 결과를 표 4에 나타내었다. PSD 설치 전의 호선별 승강장과 대합실의 평균 라돈 농도는 7호선>5호선>6호선>3호선>4호선>2호선 순으로 7호선에서 140.3 Bq/m³로 가장 높게 나타난 반면, PSD 설치 후에는 5호선>6호선>7호선>3호선>4호선>2호선 순으로 5호선에서 61.2 Bq/m³으

로 높은 라돈 농도를 보였다. PSD 설치 후 라돈 저감율은 3호선 승강장이 68%로 가장 높은 감소율을 보였으며 대합실은 2호선에서 71%로 가장 높은 감소율을 나타냈다.

지하철 관리 주체별 라돈 농도 변화를 그림 6에 나타내었다. 승강장의 경우, 서울메트로(Seoul Metro)는 PSD 설치 전 86.0 Bq/m³에서 설치 후에 32.6 Bq/m³으로 62%의 라돈 감소율을 보였으며, 서울도시철도(SMRT; Seoul Metropolitan Rapid Transit)는 설치 전 148.1 Bq/m³에서 설치 후에 70.0 Bq/m³으로 53%의 감소율을 나타내었다. 대합실 역시 이와 유사하게 서울메트로가 65%의 라돈 감소율을 보인 반면 서울도시철도는 51%의 감소율을 나타냈다.

3.3 PSD 설치 전·후 라돈지도 비교 평가

지하철역 라돈분포에 역사 주변의 암반대가 미치는 영향을 파악하기 위하여 수치지질도를 활용하였다(Jeon and Kim, 2006). 서울시지질도를 바탕으로 지



* SMRT: Seoul Metropolitan Rapid Transit

Fig. 6. Attribution of PSD installation for radon reduction in each managing company.

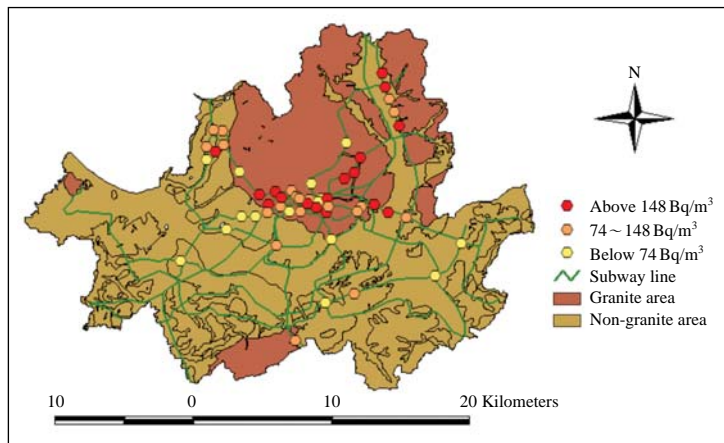


Fig. 7. Distribution map of radon in Seoul subway stations' platform before PSD installation.

하철 PSD 설치 전과 후의 54개 지하철 승강장 라돈 농도 측정 자료를 적용하여 작성한 라돈지도(radon map)를 그림 7(PSD 설치 전)과 그림 8(PSD 설치 후)에 비교하여 나타내었다. 라돈지도에서 알 수 있듯이, PSD 설치 후에도 설치 전과 유사하게 비 화강암 기반 역사보다 화강암대에 위치하는 역사, 그리고 단층 지역에 위치한 역사에서 상대적으로 높은 농도의 라돈분포를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 미국을 비롯한 일부 유럽국가에서는 각 지역별 라돈퍼텐셜 평가에 근거한 자국의 라돈지도를 작성하여 국가적 차원의 라돈 위해성 관리를 하고 있다(Sundal *et al.*, 2004; Gunderson and Schumann, 1996). 미국에서 현재 사용하고 있는 라돈지도는 실내의 라돈 농도 측정과 지

질특성, 토양환경의 방사능, 토양의 유체투과율 그리고 건물형태 등 5가지 인자를 적용하여 작성하였다(Gunderson and Schumann, 1996). 일부 지하철역에서 라돈 농도가 높은 현상은 일시적일 수 있다. 그러나 여러 물리적인 조건에 따라 농도변화가 큰 라돈의 특성상, 특별한 저감대책이 없는 한 라돈이 고농도로 출현할 가능성은 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 작성·제시한 라돈지도는 지하철역에서 가장 심도가 깊어 환기가 어렵고 고농도 라돈출현 가능성이 상존하는 공간인 승강장 라돈측정 데이터를 이용하여 작성하였다.

그림 7에서 알 수 있듯이, PSD 설치 전에는 전체 54개 역사 중 약 31%인 17개 역사의 승강장에서 실

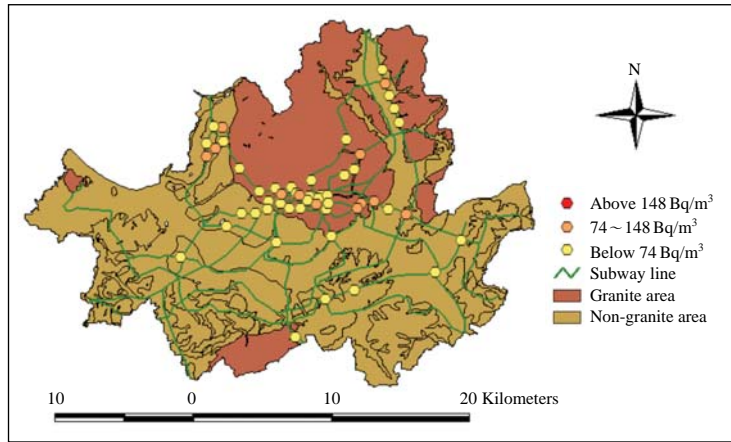


Fig. 8. Distribution map of radon in Seoul subway stations' platform after PSD installation.

내공기질 관리기준(Korean Ministry of Environment, 2004)인 148 Bq/m³을 초과했으나, PSD 설치 후(그림 8)에는 기준초과 역사가 없음을 확인할 수 있다. 또한, 라돈 농도가 74 Bq/m³ 이상의 역사는 PSD 설치 전에 38개 역사였으나 설치 후에는 12개 역사로 감소하였다. 조사대상 54개 역사 중 29개 역사가 화강암반 지대에 위치하고 있으며, 7호선 일부 역사는 의정부 지역에서부터 연결되어 내려오는 단층지대에 인접해 있다(Jeon and Kim, 2006). 따라서 과거 고농도 라돈이 출현했던 역사에 대하여는 PSD 설치 후에도 적절한 환기 등 각별한 라돈 관리가 필요한 것으로 사료된다. 종합하여 PSD 설치로 지하철역의 라돈 농도 수준이 크게 낮아졌다고 판단된다. 그러나 성급한 판단으로 지하철역 환기량의 임의적인 조정은 오히려 라돈 농도를 증가시키는 역효과를 초래할 수 있어 적정하고 효율적인 지하철 환기시스템의 운영 관리가 필요하다고 판단된다. 이와 함께 지하철역 라돈 농도의 기여원이 PSD로 단절된 내부터널이라고 간주할 때 전동차 객실에 대한 정밀 라돈조사 및 평가를 통한 라돈 관리 방안의 도출이 요구된다.

4. 결 론

본 연구는 PSD(승강장스크린도어) 설치 전·후의 지하철역 라돈 농도 변화를 비교 평가하기 위하여 54개 역사를 대상으로 선정하고, 2004년부터 2010년

까지 매년 지속적으로 측정된 라돈 농도 자료를 비교 분석하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) PSD 설치 전·후의 승강장 평균 라돈 농도는 각각 121.7 Bq/m³, 54.0 Bq/m³으로 설치 후에 약 56% 저감되었다. PSD 설치에 따라 대부분의 역사에서 라돈 농도가 감소되었으나, 일부 역사는 라돈 농도의 증가를 보였다. PSD 설치 전·후 승강장과 대합실 라돈 농도간의 상관성을 분석한 결과, PSD 설치 전 $r=0.662$, $p<0.0001$, 설치 후 $r=0.837$, $p<0.0001$ 의 상관관계를 보였다.

2) 호선별 평균 라돈 농도 분석결과, PSD 설치 전에는 7호선>5호선>6호선>3호선>4호선>2호선 순으로 7호선에서 가장 높은 라돈 농도를 보였으며, 설치 후에는 5호선>6호선>7호선>3호선>4호선>2호선 순으로 5호선에서 높게 나타났다. 지하철 관리주체별 승강장의 라돈 농도는 서울메트로(2~4호선)와 서울도시철도(5~7호선)에서 PSD 설치 후에 각각 62%, 53%의 감소율을 보였다.

3) PSD 설치 전에는 54개 지하철역 중 17개 역사의 승강장 라돈 농도가 관리기준 148 Bq/m³을 초과하였으나 설치 후에는 기준초과 역사가 나타나지 않았다. 또한 라돈 농도가 74 Bq/m³ 이상인 역사는 PSD 설치 전에 38개 역사였으나 설치 후에는 12개 역사로 감소하였다.

PSD 설치 후 지하철역 라돈 농도는 설치 전에 비해 상당한 개선효과를 보임을 확인할 수 있었다. 그

리나 지하터널이 라돈의 주 발생원임을 고려할 때 터널내부의 공기질과 직결되는 운행 전동차 객실의 라돈 농도에 대한 심층적인 조사와 지하철 환기시스템의 적정하고 효율적인 관리방안의 모색이 요망된다.

참 고 문 헌

- 서울특별시 (2007) 지하철역과 생활환경의 라돈 농도 발표, 서울시 보도자료 (2007. 10. 5).
- 전재식, 전명진, 한규문, 박영만, 류인철, 오광록 (2009) PSD가 지하철역 미세먼지와 라돈 농도에 미치는 영향, 대한환경공학회 추계학술대회발표논문집.
- Doi, M. and S. Kobayashi (1996) Surveys of concentration of radon isotopes indoor and outdoor air in Japan, *Environment International*, 22(1), S649-S655.
- Durrani, S.A. and R. Ilić (1997) Radon measurements etched by track detectors, *World Scientific*.
- Espinosa, G. and R.B. Gammage (1995) Radon levels survey in the underground transport metro system in Mexico city, *Radiation Protection Dosimetry*, 59(2), 145-148.
- Gunderson, L.C.S. and R.R. Schumann (1996) Mapping the radon potential of United States; Examples from the appalachians, *Environment International*, 22(1), S829-S837.
- Jeon, J.S. and D.C. Kim (2006) Distribution of ^{222}Rn concentration in Seoul subway stations, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 28(6), 588-595.
- Jeon, J.S., J.Y. Lee, and D.C. Kim (2007) Temporal variation and source of ^{222}Rn in subway stations, *J. of Korean society of Environmental Engineers*, 29(11), 1231-1242.
- Kim, D.S. and Y.S. Kim (1993) Distribution of airborne radon concentrations in Seoul metropolitan subway stations, *Health Physics*, 65(1), 12-16.
- King, C., B. King, W.C. Evans, and W. Zhang (1996) Spatial radon anomalies on active faults in California, *Applied Geochemistry*, 11, 497-510.
- Korean Ministry of Environment (2004) Indoor air quality management act for public spaces.
- Korean Ministry of Environment (2010) Standard method, Indoor air quality management act for public spaces.
- Lee, T.J., J.S. Jeon, S.D. Kim, and D.S. Kim (2010) A comparative study on PM_{10} source contribution in Seoul metropolitan subway station before/after installing platform screen doors, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 26(5), 543-553.
- Liendo, J., L. Sajo-Bohus, J. Pafalvi, E.D. Greaves, and N. Gomez (1997) Radon monitoring health studies in the Caracas subway using SSNTDs, *Radiation Measurements*, 28(1), 729-732.
- Sundal, A.V., H. Henriksen, O. Soldal, and T. Strand (2004) The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway, *Science of Total Environment*, 328, 41-53.
- Yafasov, A.Y. and V. Akimov (2001) Tectonic factor in the formation of the radon fields in the atmosphere of the Tashkent subway, *Atomic Energy*, 90(2), 130-136.
- Yu, K.N., E.C.M. Young, and K.C. Wong (1996) A survey of radon properties in underground railway stations in Hong Kong, *J. Radiol. Prot.*, 16, 37-43.