

5678 서울도시철도 지하역사의 라돈 관리 현황

Current Status of Radon Management in the 5678 Seoul Metropolitan Rapid Transit Subway

김준현† 윤현식* 서강진* 우희영* 김만화* 박종헌**
Jun-Hyun Kim Hun-Sik Yoon Kang-Jin Seo Hee-Yeong Woo Man-Hwa Kim Jong-Hun Park

ABSTRACT

Underground Subway station's air pollutants are introduced from the indoor or outdoor. And Radon is a major pollutant in the subway station. Radioactive substances Radon is occurring naturally in granite tunnel wall and underground water.

Especially inert gas Radon that causes lung cancer in human is anywhere but 5678 S.M.R.T. tunnels deep and pass through the granite plaque have a lot of Radon. The Radon concentration is determined by the following reasons : radon content of soil and concrete, underground water, ventilation, pressure difference, building structure, temperature, etc. So Radon concentration is hard to predict. And we can't only ventilate owing to era of high oil prices.

This study focuses on our efforts for the reduction of Radon concentration. And the purpose is to provide basically datas of specially managed 15 subway station's Radon concentration.

1. 서론

1974년 지하철 개통 이후 지하철은 2009년의 일평균 730만 명이상이 이용, 높은 수송 분담율을 차지하여 대표적인 대중교통수단으로 자리매김하고, 이용객의 증가와 역사의 신설 및 각종 편의시설의 증가로 지하철역은 시민 생활공간의 일부분이며, 아울러 역사내 실내공기질은 시민건강에 대단히 중요성을 차지하고 있다.

지하역사에서 중요하게 관리되고 있는 오염물질은 다중이용시설등의 실내공기질 관리법상 유지기준으로 미세먼지(PM10), 이산화탄소, 일산화탄소, 폼알데하이드와 권고기준으로 라돈, 석면, 휘발성유기화합물, 이산화질소, 오존등이 있으나, 라돈을 제외한 모든 오염물질은 산업활동 및 사람의 활동 등에 의해 발생하는데 반해, 라돈은 자연에서 발생하는 것으로 생활환경측면에서 다소 소홀이 관리되어 왔다.

라돈의 붕괴과정에서 생성되는 라돈자손들은 생성 당시부터 정전기적으로 전하를 띤 입자이므로 공기 중에 존재하는 먼지 담배연기 그리고 수증기와 즉시 부착하여 에어로졸을 형성하거나 벽 또는 물체의 표면에 흡착한다. 반감기가 짧은 라돈자손이 호흡을 통해 직접 흡입 또는 에어로졸 형태로 흡입되면 폐에 흡착 후 붕괴되면서 주변조직에 α -입자에 의해 장기적으로 폐암을 유발할 수 있는 생물학적 손상을 야기한다.

흡연에 이어 두 번째로 폐암발병 기여도가 높은 원인물질로 알려져 있는 라돈은 국내의 경우 암에 의한 사망률은 1990년대 중반까지 간암과 위암에 의한 사망률이 1,2위를 차지하였으나 1994년 16.7%였던 폐암 사망률이 1999년 이후 1위를 차지하여 2004년에는 20.6%로 나타났다.

† 서울도시철도공사, 터널관리단 환경팀 주임
E-mail : subcl@smrt.co.kr

* 서울도시철도공사, 터널관리단, 환경팀 주임, 차장, 환경팀장, 터널관리단장

** 서울도시철도공사, 기술본부장 E-mail : jhpark348@yahoo.co.kr

실내의 라돈농도를 저감 및 제어하는 방법은 라돈이 실내로 유입되지 못하게 하는 방법과 실내에 유입된 라돈을 감소시키는 방법으로 방출원의 제거, 방출원의 조절, 공기를 청정하게 하는 방법이 있다.

방출원의 제거는 미국 환경보호청(EPA)에서 토양 흡입법(soil suction method)을 추천하고 있으나, 많은 비용뿐만 아니라 지하역사 등 이미 건축된 건물에는 적용이 곤란한 단점이 있고, 방출원을 조정하는 방법으로 유입경로(배수구, 바닥의 틈, 건물의 갈라진 틈 등)를 차단하거나 slab 밑에 넣어 subslab 환기를 시켜주는 방법이 있으며, 공기를 청정하게 하는 방법으로 환기가동율을 증가시켜 농도를 저감시키는 방법이 있다.

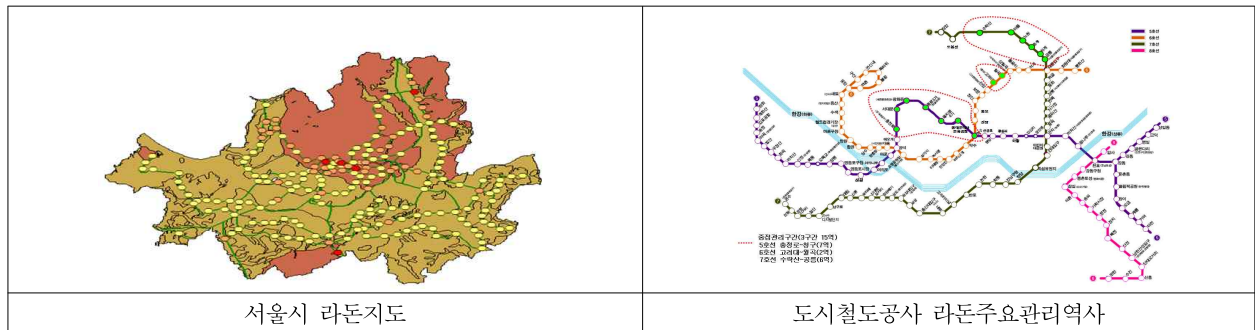
널리 알려진 환기방법에 의존한 방법과 더불어, 터널과 지하역사를 분리시킨 스크린 도어(이하 PSD), 배수로 덮개, 지하수가 모이는 집수정에 국소배기장치를 이용한 저감, 지하수의 정제, 월류 등을 해소해 공기면으로의 접촉면적을 줄이고자 노출지하수 해소를 위한 사이펀 설치, 수중펌프 설치, 승강장하부 청소 등 지하철 운영기관에서 할 수 있는 다양한 저감 노력을 통한 지하역의 공기오염도를 저감 할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2-1 대상역사 선정 및 측정방법

본 연구에서는 지질학적으로 화강암반을 기반으로 하는 깊은심도의 지하역사 및 공간적 밀폐성 등의 특성으로 도시철도공사에서 별도로 특별관리하고 있는 역사를 중심으로 하였으며, 호선별로는 5호선은 충정로, 서대문, 광화문, 종로3가, 을지로4가, 동대문역사문화공원(舊 동대문운동장), 청구역 7개 역이며, 6호선은 고려대, 월곡역, 7호선은 수락산, 마들, 노원, 중계, 하계, 공릉역으로 총 15역을 선정하였다.

(사진 1)



측정지점은 승강장, 대합실 2개지점이며, 측정방법은 실내공기질 시험방법에 따라 시간적분형 라돈검출기인 알파비적검출기(한국, Rn-Tech. co)를 이용한 90일이상의 장기측정법과 라돈연속모니터링 측정기(Sun, RM-1027)을 이용한 단기측정법으로 측정하였다.

2010년 3월 다중이용시설등의 실내공기질 관리법 라돈 측정방법에 대한 주시험법이 8시간 단기 모니터링에서 90일이상 장기측정법으로 바뀌었으며, PSD 설치건설 전후 라돈농도의 변화는 건설기간을 고려(6개월~12개월)하여 장기측정방법인 알파비적검출기에 의한 측정방법을 이용하였고, 국소배기장치, 사이펀 설치, 승강장하부청소 등 저감 시행에 따른 라돈농도의 변화는 전후 비교를 위해 단기측정방법인 연속모니터법을 이용하여 전 후 각 3~4일간의 데이터를 이용하였다.

(사진 2)



3. 결과 및 고찰

3-1. PSD 설치로 인한 효과분석

도시철도공사내 PSD는 5호선 김포공항역 등 5역은 '07년 이전에, 이후 '09년까지 143역을 건설하여 '09년 12월까지 148역 총연장구간 155km구간에 대한 건설을 완료하였다. 그러므로 PSD 건설 전후에 대한 자료의 비교는 PSD완료 후인 '10년 측정결과와 이전 측정결과이며, 알파비적검출기에 의한 승강장 및 대합실 2개 지점의 평균값을 사용하였다.

시민의 안전을 위해 건설된 PSD가 승강장과 터널을 구획함으로써 터널측 오염물질의 승강장 및 대합실로의 확산을 방해하여 지하역사의 공기질 개선에 기여한다는 것은 널리 알려진 사실이다.

지하역사내 PSD 건설은 초기에 시범 건설된 5개역사를 제외한 143역은 구간별로 나뉘어 공사가 진행되었으며, 도시철도공사에서 특별관리하고 있는 5호선 충정로역 등 15역에 대한 PSD 설치기간은 Table1과 같다.

(Table 1) 서울지하철 5~8호선 PSD 준공일

호선	역사	계약일	준공일	호선	계약일	계약일	준공일
5	충정로	'07.12.28	'08.12.30	6	고려대	'08.11.14	'09.6.26
	서대문		'08.12.29		월곡		'09.6.26
	광화문	'05.07.11	'07.10.26	7	공릉	'07.7.11	'08.9.24
	종로3가	'07.12.28	'08.12.29		하계		'08.9.24
	을지로4가		'08.12.30		중계		'08.9.5
	동대문역사문화공원		'08.12.29		노원		'08.9.5
	청구		'08.12.29		마들		'08.9.5
			수락산	'08.9.30			

'09.12월말에 준공완료된 PSD 설치전인 2008년과 설치이후인 2009, 2010년 역사별 라돈 농도의 변화는 Table 2, Figure 1과 같다. PSD 설치전 측정결과는 '08년 1차 1월4일~4월3일, 2차 4월3일~6월4일, 3차 6월4일~9월19일, 4차 9월19일~'09년 1월 5일까지이며, 5호선은 종로3가, 동대문역사문화공원역이 5.5±0.6, 4.2±1.1, 6호선 월곡역이 4.3±1.5, 7호선 마들역이 4.0±0.6으로 법정기준을 초과하는 사례가 있었다.

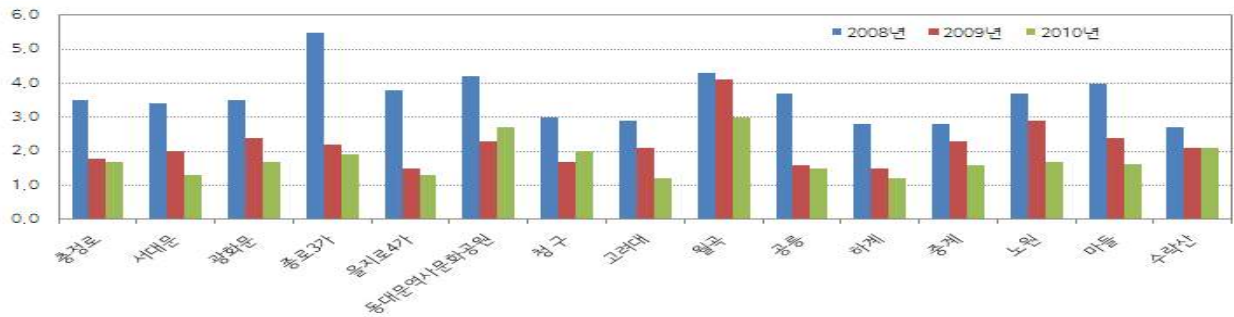
2009년 측정은 1차 1월5일~4월3일, 2차 4월3일~6월4일 3차 6월4일~9월4일까지 측정하였다.

월곡역이 '09년 측정값이 4.1±1.9으로 측정되었으며 월곡역을 제외한 5,7호선 라돈농도 측정농도는 양호한 값을 나타내었다. PSD 준공시점인 2009년 월곡역은 본선환기실 이전공사('09.9월~'10.3월)로 인해 본선환기가 정지되어 타 역사에 비해 높게 측정된 것으로 보인다.

(Table 2) PSD 설치에 따른 역사 라돈 농도 저감 현황

역사	Item	PSD 설치전	PSD 설치후	
		2008년(pCi/ℓ)	2009년(pCi/ℓ)	2010년(pCi/ℓ)
5	충정로	3.5±0.4	1.8±0.2	1.7±0.5
	서대문	3.4±0.5	2.0±0.5	1.3±0.1
	광화문	3.5±0.4	2.4±0.5	1.7±0.1
	종로3가	5.5±0.6	2.2±0.2	1.9±0.6
	을지로4가	3.8±0.9	1.5±0.4	1.3±0.4
	동대문역사문화공원	4.2±1.1	2.3±0.7	2.7±0.3
	청구	3.0±1.1	1.7±0.4	2.0±0.4
6	고려대	2.9±0.5	2.1±0.2	1.2±0.4
	월곡	4.3±1.5	4.1±1.9	3.0±0.5
7	공릉	3.7±0.8	1.6±0.7	1.5±0.4
	하계	2.8±0.2	1.5±0.2	1.2±0.1
	중계	2.8±0.2	2.3±0.7	1.6±0.2
	노원	3.7±1.0	2.9±0.9	1.7±0.2
	마들	4.0±0.6	2.4±0.4	1.6±0.1
	수락산	2.7±0.5	2.1±0.6	2.1±0.9

(Figure 1) 라돈 집중관리지역에 대한 라돈농도 감소현황



2010년 측정은 1차 09년 9월4일~10년 3월9일까지, 2차 3월9일~5월29일까지, 3차 4월6일~6월30까지 측정하였다. PSD 설치이전 기준치를 초과했던 역사중 종로3가역은 09년,10년 각각 2.2±0.2, 1.9±0.6, 동대문역사문화공원 역은 2.3±0.7, 2.7±0.3으로 측정되었으며, 6호선 월곡역은 3.0±0.5로 측정되었다. 7호선 마들역이 2.4±0.4, 1.6±0.1으로 측정되었다.

PSD 설치후 역사내 라돈농도 측정역사 평균농도는 2008년에 비해 2009년 39.0%, 2010년은 50.5% 저감되었으며, PSD 정상운영 시점인 2010년은 설치시점인 2009년에 비해 약 18.8% 저감되었는데, 이는 PSD 건설전에 배수로 및 집수정 덮개 설치와 PSD 설치후 국소배기장치 설치, 사이펀 설치, 승강장 하부 준설등의 자구적인 저감 노력에 의한 복합적인 시너지 효과에 의한 것으로 판단된다.

3-2. 도시철도공사의 라돈 저감을 위한 추진사례

도시철도공사의 라돈 농도 저감에 대한 자구적인 노력은 라돈 연구용역으로 우리공사 라돈실태를 파악하고 2002년 5,7호선 배수로 덮개 설치에서부터 시작되었으며, 이후 집수정 덮개를 설치로 담보상태를 유지해왔다. 철판으로 만든 배수로 덮개가 점검, 노반 및 터널청소 등으로 철판사이의 간격이 벌어져 기대했던 효과보다 지속적인 관리가 필요하게 된 것이다.

측정방법은 라돈저감을 위한 평가를 위해 설치 전후 각각 3~4일간 측정 후 일평균값을 사용하였으며, 단기측정방법인 연속식 라돈 모니터링을 이용 측정하였다.

기존의 라돈 저감을 위한 19~90kw의 본선환기에 의존하던 환기가동이 배수펌프실내 국소배기장치(2.7~5.5kw)의 설치로 사용용량이 큰 본선환기 가동시간을 줄이고, 국소배기장치를 24시간 가동하면서 적은 에너지 사용으로 라돈농도를 저감하는 방법을 적용하였다.

국소배기장치는 노원역과 고려대역에 시범설치 운영 후 2007년~2008년 5호선 광화문, 종로3가, 을지로4가, 동대문역사문화공원, 6호선 고려대, 7호선 마들, 노원, 하계, 공릉역 4개역, 2010년에 중계역에 추가설치를 하였으며, 설치전후의 라돈농도는 단기측정방법으로 측정한 결과, 배수로를 통해 집수정으로 유입된 지하수에서 발생가스를 제거하는 효과를 보였다. (Table3)

또한 이를 토대로 본선 및 승강장 환기가동 시간을 조정 할 수 있게 되어 9개역에서 7,867kwh/d를 저감하였으며 연간 약1억 4천만원의 예산절감효과를 가져왔다.

(Table 3) 집수정 배기팬 설치에 따른 역사 라돈농도 저감 현황

구분	집수정 배기팬 설치 전			집수정 배기팬 설치 후			역사 내 라돈농도 감소			전력절감량
	대합실	승강장	평균	대합실	승강장	평균	대합실	승강장	평균	
										▼ 7,867
광화문	1.9	3.7	2.8	1.2	2.2	1.7	0.7	1.5	1.1	▼ 735
종로3가	2.1	3.9	3	1.5	2.3	1.9	0.6	1.6	1.1	▼ 434
을지로4가	2.1	3.7	2.9	1.4	2.4	1.9	0.7	1.3	1.0	▼ 816
동대문역사문화	2.2	3.9	3.1	1.3	2.3	1.8	0.9	1.6	1.3	▼ 354
마들	2.4	3.4	2.9	1.3	1.9	1.6	1.1	1.5	1.3	▼ 349
하계	2.5	3.2	2.9	1.4	2.1	1.8	1.1	1.1	1.1	▼ 1,699
공릉	2.4	3.2	2.8	1.4	2.1	1.8	1.0	1.1	1.1	▼ 3,480

아울러, 장기적으로 지하수 유티로 인한 라돈확산을 방지하기 위해 공릉역 유티 배수로에 수중펌프를 설치하여, 집수정으로 유도처리 하였고, 맨홀 유티개소는 공학적 계산을 통한 사이펀 설치 등 라돈 저감노력을 시행하였으며, 단기적으로 승강장 하부 적체된 슬러지로 인해 지하수의 흐름이 원활하지 않아 노출된 상태로 있던 개소에 대한 조치로 본선 및 승강장 하부 슬러지 제거 (Figure 2) 등 터널내 지하수의 공기와의 직접적인 접촉을 최소화를 위한 노력을 지속적으로 시행하였다.

(Figure 2) 배수로 수중펌프 설치 및 승강장 하부 슬러지 제거과정



(Table 4) 승강장 하부 청소 및 사이펀 설치후 측정결과

구분	고인 지하수 배수 전			고인 지하수 배수 후			역사 내 라돈농도 감소량			비고
	대합실	승강장	평균	대합실	승강장	평균	대합실	승강장	평균	
노원역	1.1	2.2	1.7	0.9	1.8	1.4	0.2	0.4	0.3	사이펀 설치
공릉역	3.7	4.1	3.9	0.7	1.4	1.0	3.1	2.7	2.9	막힌 곳 소통

라돈관리 주요역의 환기가동시간이 2001년 15시간에서 2006년 이후 역에 따라 2:40~13:20으로 줄이기 위해 라돈의 저감방법을 환기에 의한 방법만이 아닌 지하수의 유티 또는 정체로 인한 라돈의 확산을 방지하는데 주력하고 있다. 라돈은 방사능 중 유일한 기체상으로 이동성이 크며 공기에 비해 매우 무거운 분자량과 비활성 등 고유한 화학적 특성과 계절적 특성상 라돈농도에 대해서는 예단 하기는 힘들다, 다음의 라돈 주요역사에 대한 2011년 1/4분기 단기측정결과 (Table5)는 저감노력 측면에서 보면 놀라운 결과이다.

(Table5) 5678 서울도시철도 라돈 단기측정 결과(2011년 1/4분기)

역사		농도(pCi/ℓ)	대합실	승강장	평균
5	충정로	Mean±SD	0.4±0.1	1.8±0.4	1.1±0.4
	서대문		0.5±0.2	0.9±0.1	0.7±0.2
	광화문		2.5±0.7	2.9±0.6	2.7±0.9
	종로3가		1.4±0.6	2.5±0.7	2.0±0.7
	을지로4가		0.4±0.1	1.4±0.4	0.9±0.3
	동대문역사문화공원		2.4±0.6	3.2±0.2	2.8±0.5
	청구		0.5±0.1	0.8±0.1	0.7±0.2
6	고려대	0.7±0.1	2.0±0.2	1.4±0.6	
	월곡	1.1±0.1	2.7±0.2	1.9±0.6	
7	공릉	0.6±0.1	1.3±0.3	1.0±0.4	
	하계	1.5±0.4	2.8±0.8	2.1±0.7	
	중계	1.1±0.2	2.5±0.6	1.8±0.7	
	노원	1.2±0.3	2.1±0.4	1.7±0.5	
	마들	0.7±0.2	2.2±0.3	1.5±0.4	
	수락산	1.5±0.3	3.4±0.4	2.5±0.9	

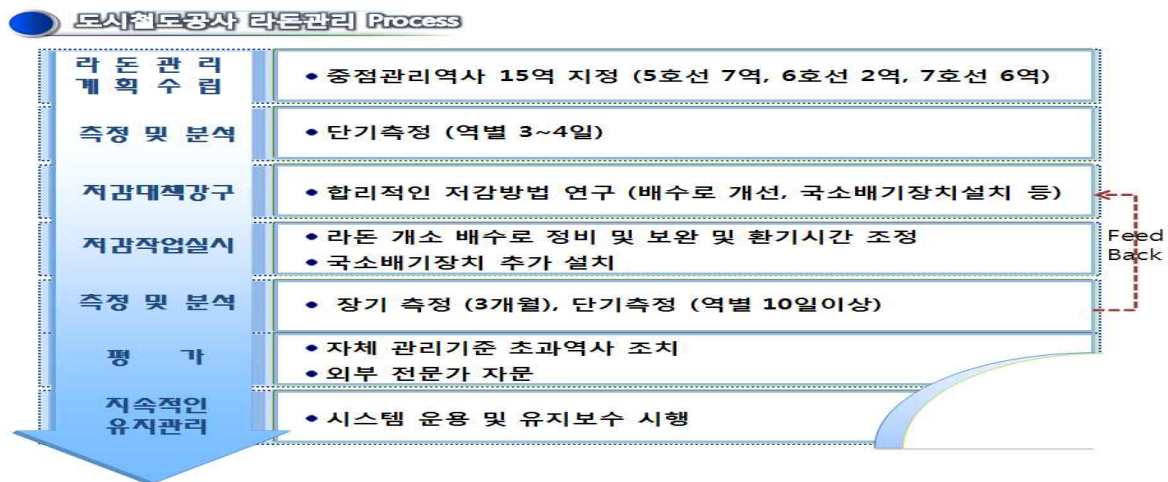
4. 결론

PSD 건설로 승강장의 라돈 저감율은 약 18.8% 정도(2009년 대비 2010년)이며, 화강암대를 기반암석으로 하는 역사의 인접터널은 지하수와 함께 역사 내 고농도 라돈 출현의 주요 기여원인 것으로 보이며, 기존의 환기시스템 운영으로는 라돈 저감에 한계에 이르러, 국소배기 장치 설치로 합리적이고 효율적인 환기시스템 마련과 지하수 월류를 통한 라돈의 확산을 방지하기 위한 수중펌프설치, 사이펀 설치 등 중장기적인 대책과 더불어, 승강장 하부의 지하수 정체 해소 및 준설 등의 단기적인 대책 마련을 통한 관리를 하고 있다.

도시철도 공사에서는 라돈 저감을 위한 노력으로 2001년 라돈연구용역 이후 2002년부터 중앙맨홀 및 배수로 덮개 설치를 시작으로 2007~2010년 국소배기장치 설치, 2008~2009년 PSD 설치, 2010년 수중펌프 및 사이펀 설치, 승강장 하부 청소, 배수로 덮개의 완전밀폐를 위한 보완 등을 시행하였다.

지하역사내 라돈 저감을 위해 라돈 관리 계획 수립하고 라돈 중점관리역사로 15역을 선정하여, 집중관리하고 있으며 중점관리역사에 대한 라돈 저감 사업을 추진하고 장기 및 단기측정을 실시하여 측정값을 바탕으로 분석 및 평가를 실시하고 외부 전문가에 자문등을 실시하고 있으며 (그림 2), 공사관리기준을 2010년 1월 법정기준(4.0pCi/ℓ)보다 낮은 3.0pCi/ℓ로 낮춰 관리토록 하고, 라돈농도에 따라 환기시간 조정, 저감 시설물 등의 지속적으로 보완 실시하여, 동년 12월 2.5pCi/ℓ로 라돈 관리 목표기준을 재설정하였다.

(그림 2)



참고로 현재 도시철도공사에서는 터널관리단 환경팀내 라돈전담반을 운영하고 있으며, 고유가 시대에 적절한 환기와 도시철도에 맞는 라돈저감을 위한 장단기적인 대책을 통해 이용하는 시민들에게 깨끗한 실내공기 질을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 전재식, 김덕찬. “서울지역 지하철역의 라돈농도 분포특성” 대한환경공학회지, pp.588~595(2006)
2. 박덕신, 정우성, 정병철. “환기에 의한 지하역의 라돈 농도 변화”. 한국철도학회 논문집. 제3권 pp62~67, 2000.
3. 전재식, 김동술, 박덕신, 한규문, 이호찬, 이진, 김주원. “스크린도어설치에 의한 지하철역 승강장의 공기 질 변화“, 한국대기환경학회 2009 춘계학술대회 논문집, pp.131-133, 2009.
4. 조승연 “실내 라돈의 측정과 제어“ 한국대기환경학회 2004 춘계학술대회 논문집, pp.260-261, 2004
5. 이재기(한양대학교 방사선 안전기술 센터) “지하철 역사의 라돈문제에 대하여”
6. 한국산업안전공단 산업안전보건위원회 “지하철 터널내 라돈 노출실태 및 관리방안 연구“ 2007년도 연구결과 보고서
7. 이지영, 이호찬, 한규문, 김남진, 전재식, 김민영 “실내환경에서 라돈의 발생원과 농도변화“ 서울특별

시 보건환경연구원보 제 43호 pp355~360. 2007

8. 한양대학교 부설 방사선종합연구소, 국제방사선방호위원회 간행물 65 “가정과 직장에서의 라돈-222”에 대한 방호“,
9. 유맑고밝게빛나라, 김도현, 김선홍, 조승연, “라돈 고농도 건물의 구조에 따른 평가와 저감기술의 적용” 한국실내환경학회 연차학술대회 논문집 제7권 p103-105, 2010
10. 서울특별시 서울도시철도공사 “지하철 라돈농도도 오염원 측정 및 저감방안 연구”, 서울시 시정개발연구원, 1999.5