

지하철 역사의 실내공기오염 현황

순천향대학교 환경보건학과

손부순

1. 서론

오늘날 경제적 생활환경의 개선으로 인하여 현대인의 일상생활 대부분이 다양한 실내공간에서 이루어지고 있고, 인구 및 산업의 도시집중화에 따른 지하생활 공간의 이용이 확대되는 등 생활양식과 거주환경에 많은 변화를 가져오고 있다.

최근 대도시의 생활인들은 실내환경의 일부분인 지하공간(지하철, 지하상가, 지하터널 등)에서의 생활시간이 점차 증가되는 경향을 보이고 있으나 국내에는 이들 지하공간 내 오염물질의 발생원과 농도분포에 대한 특성화가 되어있지 않다.

지하공간의 개발 및 활용 필요성은 도시인구의 과밀·집중화로 인하여 교통문제와 주거공간의 확보 문제 등과 직접적으로 연계되어 있다. 현재 국내의 경우 지하공간은 주로 지하철, 지하상가, 지하주차장 등의 형태로 널리 이용되고 있다. 특히 지하운송수단인 지하철은 현재 일 평균 400만명 이상의 이용객 수송을 담당하고 있어 갈수록 심각해지는 도심의 교통난 해소를 위한 유일한 대중교통수단으로 인식되고 있다.

그러나 서울시 지하철이 주된 대중교통수단으로 이용·확대됨에 따라 부가적인 환경 문제가 발생되고 있다. 지하철 역사내의 전형적인 환경문제는 환기시설의 노후화 및 환기관련 대책의 미흡 등으로 인한 공기오염 물질의 지하공간 내 축적과 지상 오염공기의 지하유입에 따른 공기질 악화문제 등이 지적되고 있다. 또한 구조물의 균열·구조물 노후화 및 부실시공과 함께 유리섬유, 석면 등 각종 유해성 건축 자재 역시 지하환경의 오염원이 되고 있다.

현재 지하공간에서 문제가 되고 있는 실내오염물질은 분진(TSP) 또는 미세먼지(PM10), 중금속, 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 라돈, 포름알데히드(HCHO), 석면, 미생물성 물질, 휘발성 유기화합물(VOC), 악취 등을 들 수 있다. 이와 같은 오염물질은 외부공기의 상태·환기율·실내에서의 미세기후 등의 요인에 의해 일반적으로 발생되며, 이들 주요 실내오염물질의 발생원 및 인체

영향을 나타내면 <표 1>과 같다.

지하철은 운행특성상 다수의 시민이 이용 또는 왕래를 하고 있고, 또한 외부와 거의 차단된 한정된 지하공간인 관계로 인하여, 각종 유해물질이 조금만 발생·유입하게 되면 지하공간 내에 축적될 가능성이 높아 이용시민의 인체에 커다란 영향을 미치게 된다. 따라서, 환경적으로 취약한 공간이라 할 수 있는 지하철내의 실내공기 오염에 관한 연구와 관심이 절실히 필요하다.

< 표 1 > 실내 오염물질의 발생원 및 인체영향

오염물질	주요발생원	인체영향
분진	대기중 분진이 실내로 유입, 실내 바닥의 먼지, 담배재 등	규폐증, 진폐증, 탄폐증, 석면폐증 등
담배연기 (각종가스, HC, PAH, 분진, HCHO, 니코틴 등)	담배, 파이프 담배 등	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기관지천식, 폐암 등
연소가스(CO, NO ₂ , SO ₂ 등)	각종난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성폐질환, 기도저항 증가, 중추신경 영향 등
라돈	흙, 바위, 지하수, 화강암, 콘크리트 등	폐암 등
포름알데히드	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감 등	눈, 코, 목 자극증상, 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환, 비염, 정서불안증, 기억력 상실 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 석면브레이크, 방열재 등	피부질환, 호흡기질환, 석면증, 폐암, 중피증, 편평상피 등
미생물성물질 (곰팡이, 박테리아, 바이러스, 꽃가루 등)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 애완동물	알레르기성 질환, 호흡기질환 등
유기용제 (벤젠, 톨루엔, 스티렌, 알데히드, 케톤 등)	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 세탁소, 의복, 방향제, 건축자재, 왁스 등	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경 억제작용 등
악취	외부 악취가 실내로 유입, 채취, 담배의 흡연 등	식욕감퇴, 구토, 불면, 알레르기증, 정신신경증 등

자료: 김윤신, "지하공간의 오염문제와 환경 개선방안", 「도시문제」, 1994

2. 서울시 지하철역의 공기 오염도 현황

서울시 지하철 역사내 공기오염은 이용승객과 열차운행 빈도가 급증하면서 라돈, 석면, 포름알데히드와 같은 발암성 물질뿐만 아니라 각종 중금속 및 분진 등이 역사와 터널내부에 축적될 가능성이 높은 것으로 지적되고 있다. 또한 지상의 자동차 배기가스 등 대기오염물질이 지하로 유입되어 지하공기의 오염을 가중시키는 요인으로 작용하기도 한다. 그러나 지하철은 그 이용특성상 실내오염물질의 노출시간이 비교적 단기간이기 때문에 단기노출에 의한 환경적 영향을 최소화 할 수 있는 실천방안 마련에 세심한 주의가 요구된다.

서울시 지하철 역사의 공기질은 현재 진공청소기 도입, 환기구 높이기, 환기시설 개량 등의 각종 개선대책을 시행하고 있기 때문에 지하철역 공기오염도는 매년 전반적으로 감소하는 추세를 보이고 있다(<표 2> 참조).

< 표 2 > 지하철역 연도별 공기오염도 현황

연도별	부유분진	일산화탄소	이산화탄소	이산화질소	아황산가스
권고치	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{일}$	20 ppm/8h	1,000 ppm/8h	0.15 ppm/h	0.15 ppm/h
1990	526	2.8	0	0.044	0.021
1991	441	3.1	661	0.044	0.026
1992	381	3.2	663	0.054	0.027
1993	386	3.0	664	0.057	0.027
1994	상 : 298 하 : 244	상 : 3.5 하 : 4.4		상 : 0.076 하 : 0.064	상 : 0.023 하 : 0.028
1995	상 : 212 하 : 227	상 : 2.7 하 : 3.3		상 : 0.060 하 : 0.042	상 : 0.018 하 : 0.022
1996	상 : 203 하 : 225	상 : 3.5 하 : 3.8		상 : 0.034 하 : 0.052	상 : 0.012 하 : 0.020

주 : 공기질 권고치는 『지하생활공간 공기질 관리법』 제정이전임.

자료: 최정한(1995)

이하에서는 서울시 지하철역의 공기 오염도 현황을 관련 문헌을 통하여 주요 오염물질별로 간략하게 살펴보고자 한다.

1) 분진 (TSP, PM10)

일반적으로 분진은 지하철 지하공간의 공기질 오염에 가장 심각한 영향을 미치는 오염물질로 인식되고 있다. 총먼지(총부유분진 : TSP)는 거대입자와 미세입자의 총합을 지칭하고, 미세먼지(PM10)는 공기역학적 직경이 10 μm이하의 분진을 의미하며 PM10의 농도는 TSP의 60~70 %정도로 추정되고 있다(Hopke, 1988). 최근에는 미세먼지(PM10)가 실제로 인체에 더 큰 영향을 미치고 있는 것으로 알려지면서 미세먼지의 농도에 더욱 관심이 모아지고 있다.

1997년의 "지하생활공간 공기오염 저감방안 연구"의 결과에 의하면 미세먼지의 평균 농도는 전반적으로 규제기준 미만이었으나, 서울역 및 신촌역 등 일부 역사에서는 규제기준을 크게 초과하거나 근접한 것으로 제시되었다(<표 3> 참조).

< 표 3 > 서울시 지하철 역사의 호선별 분진(PM10, TSP) 농도

(단위 : μg/m³)

구 분	1호선				2호선				3호선				4호선				
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1992년	200.0	192.0	189.3	174.0	140.8	163.5	99.2	127.7	85.6	106.0	85.3	99.3	79.6	85.8	69.2	58.3	
1997년	PM10	119.8	148.9	63.4	82.1	118.7	125.0	62.3	72.8	80.5	78.2	47.6	64.5	101.4	67.4	59.7	73.0
	TSP	243.0	290.3	157.0	129.0	228.0	265.1	225.7	113.1	186.0	184.9	115.1	97.3	205.1	219.0	139.4	111.7

주 : 1) A:대합실, B:승강장, C:역무실, D:외기

2) 본 측정치는 겨울철 측정결과임

자료 : 1) 윤명조 외, 「지하생활공간 공기오염 저감방안 연구」, 서울특별시, 1997.

2) 신용배 외, 「서울시 지하철내 환경기준 설정 및 환경관리방안에 관한 연구」, 서울시지하철공사, 1992

전반적으로 미세먼지의 농도분포는 "1호선>2호선>4호선>3호선"순으로 나타났 다. 또한 측정장소별 농도분포는 "실외<대합실<승강장"순으로 오염농도가 증가하였 으며, 승강장의 경우 열차풍에 의한 터널내 분진의 유입과 오염된 외기뿐만 아 니라 승객의 의류에서 부유하는 분진이 주요원인으로 알려지고 있어 승강장에서

의 미세먼지 농도저감 방안마련이 시급한 것으로 평가되었다.

총먼지(TSP)의 경우 실내 공기질 농도는 "1호선 > 2호선 > 4호선 > 3호선"의 분포를 보이고 있고, 3호선을 제외할 경우에는 승강장 및 대합실의 농도가 모두 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 있다. 특히 1호선 승강장의 평균농도가 290 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며, 측정 역사별로는 신촌역과 서울역이 각각 321.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 304 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고농도를 보이고 있다. 결과적으로 미세먼지와 총먼지는 지하공간 시설의 노후화, 이용시민의 혼잡도, 외기 여건 등에 따라 크게 좌우될 수 있는 것을 알 수 있다.

2) 가스상 오염물질(NO_2 , SO_2 , CO, CO_2)

▶ 질소산화물(NO_2)

일반적으로 자동차의 배기가스에 의해 발생되어 외기와 함께 지하역사에 유입되어 실내공기오염에 영향을 미치는 것으로 알려진 NO_2 의 평균농도 분포는 1~4호선의 대합실 및 승강장의 농도분포가 각각 0.014 ppm ~ 0.024 ppm, 0.021 ppm ~ 0.029 ppm의 분포를 보이고 있어 규제기준치인 0.15 ppm에 크게 미달하는 것으로 나타났다. 호선별로는 2호선이 승강장과 대합실의 평균농도가 높게 나타났고, 3호선이 비교적 오염도가 낮은 것으로 보고되고 있다. 그리고 측정역사의 경우 신촌역의 승강장과 대합실의 농도가 타 역사에 비해 높은 것으로 나타났다.

▶ 아황산가스(SO_2)

아황산가스의 평균농도 분포는 대합실과 승강장이 각각 0.01 ppm ~ 0.017 ppm과 0.012 ppm ~ 0.025 ppm이고 호선별로는 1호선의 농도가 높으며, 3호선과 4호선이 비교적 낮은 농도를 보이고 있다.

▶ 일산화탄소(CO) 및 이산화탄소(CO_2)

일산화탄소의 평균농도는 대합실과 승강장이 각각 1.2 ppm ~ 2.3 ppm, 1.6 ppm ~ 2.6 ppm으로 규제기준인 25 ppm보다는 크게 미달하고 있다. 호선별 농도 차이도 1 ppm의 근소한 차이로 모두 비슷한 농도분포를 보였고 전 호선이 규제

기준에 크게 미달하는 것으로 나타났다. 이산화탄소의 농도분포는 대합실과 승강장이 각각 543 ppm ~ 721 ppm, 597 ppm ~ 757 ppm으로 전반적으로 규제 기준인 1000 ppm에 근접하였으나 초과하지 않고 있다.

각 가스상 오염물질별로 외기와 농도를 비교하면 CO₂를 제외하고 1~4호선의 역사내 가스상 오염물질의 농도는 모두 실외농도보다 낮은 것으로 나타나 가스상 오염물질은 외부 대기질의 영향을 다소 받고 있으며 외기와 순환이 잘 이루어지는 대합실이 승강장보다 다소 높은 농도를 나타내고 있다.

< 표 4 > 서울시 지하철 역사의 호선별 가스상 오염물질 농도

(단위: NO₂, SO₂ : ppb, CO₂, CO : ppm)

구분	1호선				2호선				3호선				4호선				
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1992	NO ₂	22.9	18.4	35.3	32.5	27.7	24.1	29.3	32.3	21.2	23.7	63.6	28.3	24.1	22.4	37.1	26.2
	SO ₂	65.8	58.4	82.9	87.6	55.6	55.2	63.1	76.2	46.1	43.7	72.2	61.1	55.5	50.6	71.4	56.5
	CO	2.96	3.33	3.61	3.09	2.57	2.49	3.14	2.71	1.97	1.58	1.99	2.09	2.14	2.58	2.50	1.96
1997	NO ₂	24	29	17	43	23	31	27	38	17	21	14	26	14	23	12	28
	SO ₂	17	25	14	27	16	17	13	30	10	12	10	19	11	14	11	21
	CO	2.3	2.6	2.0	2.5	2.1	2.5	2.0	2.4	1.2	1.6	1.1	1.3	1.8	2.2	1.7	1.7
	CO ₂	721	757	593	561	669	723	608	556	543	597	522	482	721	654	641	590

주 : 1) A:대합실, B:승강장, C:역무실, D:외기

2) 본 측정치는 겨울철 측정결과임

자료 : 1) 윤명조 외, 「지하생활공간 공기오염 저감방안 연구」, 서울특별시, 1997.

2) 신응배 외, 「서울시 지하철내 환경기준 설정 및 환경관리방안에 관한 연구」, 서울시지하철공사, 1992

3) 포름알데히드

포름알데히드는 일반적으로 지하철 역사내에 사용된 건축자재와 지하철내에서의 흡연 또한 지하상가내 의류상점 등에서 주로 배출되는 특성을 보이고 있다.

< 표 5 > 서울시 지하철 역사의 호선별 포름알데히드의 농도

(단위 : ppm)

구분	1호선	2호선	3호선	4호선
1992년	0.033	0.021	0.020	0.023
1997년	0.020	0.019	0.014	0.019

주 : 1) 본 측정치는 겨울철 측정결과임

자료: 1) 윤명조 외, 「지하생활공간 공기오염 저감방안 연구」, 서울특별시, 1997.

2) 신용배 외, 「서울시 지하철내 환경기준 설정 및 환경관리방안에 관한 연구」, 서울시지하철공사, 1992

특성상 저농도에서 장기간 폭로될 경우에는 인체에 각종 장애를 일으킬 수 있으므로 포름알데히드 농도변화에 대한 지속적인 주의와 유지관리가 필요하다.

4) 라돈

일반적으로 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌 등의 건축자재에서 발생하는 라돈은 방사성 물질로 잘 알려져 있다. 특히 라돈은 폐암을 유발시키는 물질로서 그 중요성이 새롭게 인식되고 있으며 선진 외국에서는 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 1997년 호선별 라돈의 평균농도는 대부분의 역사에서 0.3 ~1.9 pCi/l로 조사되어 국내 라돈 권고치인 4 pCi/l를 초과하지 않고 있다(<표 6> 참조).

< 표 6 > 서울시 지하철 역사의 호선별 라돈 농도

구분 항목	1호선			2호선			3호선			4호선		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1992년	3.2	4.5	1.7	1.8	2.1	2.1	5.4	7.2	5.9	3.2	3.3	3.0
1997년	0.95	0.40	1.25	1.18	1.00	1.03	1.35	0.95	1.40	0.75	0.60	0.80

주 : 1) A:대합실, B:승강장, C:역무실

2) 본 측정치는 겨울철 측정결과임

자료 : 1) 윤명조 외, 「지하생활공간 공기오염 저감방안 연구」, 서울특별시, 1997.

2) 신용배 외, 「서울시 지하철내 환경기준 설정 및 환경관리방안에 관한 연구」, 서울시지하철공사, 1992

3. 지하생활공간의 공기오염물질에 대한 저감방안

1) 오염물질 발생원 관리 대책

- ▶ 실내공기질 발생원 관리를 위한 오염물질 특성별 유입경로 및 배출양상 파악해야 함
 - 외기 유입구 혹은 출입구를 통한 외부공기로 부터의 유입 경로
 - 오염된 공조 및 환기설비계통을 통한 오염물질의 내부로의 유입경로
 - 실내공간 내부에서 발생하는 오염물질 유입경로
- ▶ 실내공간 오염물질 배출원 조사를 위한 Check List
- ▶ 각종 실내공기 오염물질과 미생물류의 주요 오염원 및 관리방안

2) 환기 및 공조설비의 유지관리방안

- ▶ 환기 및 공조설비 가동현황에 대한 기록 유지
- ▶ 실내공기질을 분기마다 자가 측정하여 환기효능에 대한 실태분석
- ▶ 환기 및 공조설비의 위생적 관리를 의무화하여 공기취급설비로 인한 실내공기오염 가능성을 최대한 억제하여야 함

3) 비산먼지 저감대책

- ▶ 다른 가스상 오염물질과는 달리 먼지는 가시적인 요인이 많아서 시민들이 피부로 직접 체감하는 오염물질로서 실내공기질 관리에 있어서 매우 중요한 항목임
- ▶ 비산먼지의 발생원에 대한 지속적인 감시
- ▶ 지하철역 출입구에 출입문 혹은 가드라인을 설치하고 에어커튼 설치방안을 검토할 필요가 있음 (사례; 파리 및 애틀란타 지하철의 경우 도심 지하철 역사에는 출입문이 설치되어 있음)
- ▶ 먼지오염이 심한 역사에는 승강장과 터널을 분리하는 문을 설치할 필요가 있음
- ▶ 지하공간에 내부수리공사시 비산먼지 저감대책을 철저히 강구토록 함
- ▶ 재비산 방지를 위한 주기적인 청소유도(재래식 청소를 진공식 흡입청소로 변환)
- ▶ 바닥에 쌓인 먼지에 대하여도 철저한 청소와 먼지 억제 대책을 강구

4) 미량 특수오염물질의 저감대책

- ▶ 본 조사에서는 라돈의 평균농도가 기준치에 미달하는 수치를 보이거나 장기적으로는 지하환경에서 방출되는 라돈 방사능 가스를 극소화시키는 것이 중요할 것으로 판단됨
- ▶ 환기시설을 정상 운영하여 내부농도를 희석하여 최소화시켜야 함
- ▶ 지하생활공간 내부에 지하수가 누수되는 곳이나 벽 틈새가 갈라진 곳 등에 대한 철저한 점검
- ▶ 지하공간 내부에서 휘발성 운할제나 바닥 청소용 유기성 청결제 사용 억제

5) 공기질 적정관리를 위한 행정관리 강화

- ▶ 지하생활공간의 현황파악을 위한 부서 편성
- ▶ 담당 부서의 행정능력 제고를 위한 지원체계 확보
- ▶ 지하공간의 특성화 관리를 위한 전문가 구성
- ▶ 지하생활공간의 효율적 관리를 위한 위원회 구성
- ▶ 지하생활공간 관리자의 자격요건 강화
등이 필요할 것으로 사료된다.