

# 지하철 역사 내의 실내공기질 현황 및 관리

이희관 | 인천대학교 토목환경공학과  
교수

E-Mail : hlee@incheon.ac.kr

## 1. 머리말

현대 도시인들의 하루 동안 활동 시간을 분석한 연구결과에 의하면 실내에서 80~90%의 시간을 소비하고 있는 것으로 나타났다. 24시간 중 가장 많은 시간을 소비하는 곳은 주거, 업무, 교육 등에 관련된 시설로서 주택, 사무실, 학교 등의 시설이고 다음으로는 버스와 지하철 등의 운송수단 내이다.

국내 일반인들의 하루 일과 중, 실내의 경우 주택 내(13.2시간), 사무실 실내(3.7시간), 학교(1.3시간)에서 소비하고, 실외에서 (2.1시간, 교통수단 내 1.2시간이었다. 미국의 경우, 성인의 실내거주 시간을 21시간, 실외 거주시간을 1.5시간, 교통수단내 있었던 시간을 1.3시간으로 보고하고 있고, 독일의 GerES II 연구 결과에서는 실내 20시간, 실외 3시간, 교통수단 0.9시간으로 제시하고 있다.

이 중에서 교통수단을 사용하는 형태를 구체적으로 살펴보면, 국내 수도권의 경우 통행수단 중 버스와 지하철은 38%를 차지하고 있다. 더욱이 최근

서울시의 미래 교통정책 관련자료에 의하면 2010년까지 지하철에 의한 교통분담률을 40%로 하고 있어 일반인들이 지하철내의 실내공기환경에 노출될 수 있는 가능성이 더욱 증가할 것으로 예측된다.

따라서 지하철 역사내의 실내공기질의 현주소를 보다 면밀히 파악할 필요가 있으며, 또한 이를 토대로 한 효과적인 관리방안의 수립이 매우 절실히 요구되고 있는 실정이다.

## 2. 지하역사 공기질 관리

### 2.1 지하역사 공기질 관리체계

국내에서의 지하역사 공기질에 대한 관리는 1996년 환경부의 “지하생활공기질관리법”으로 7개 항목(PM10, CO2, CO, SO2, NO2, HCHO, Pb)에 대하여 기준을 설정하여 시작되었으며, 현재는 아래 그림 1에도 보여진 바와 같이 환경부, 보건복지

표 1. 다중이용시설로서의 지하역사 공기질 기준

항목	유지기준				권고기준				
	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	HCHO	CO	NO <sub>2</sub>	Rn	TVOC	석면	오존
단위	μg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	ppm	ppm	pCi/ℓ	μg/m <sup>3</sup>	개/cc	ppm
규제치	150	1,000	0.1	10	0.05	4.0	500	0.01	0.06

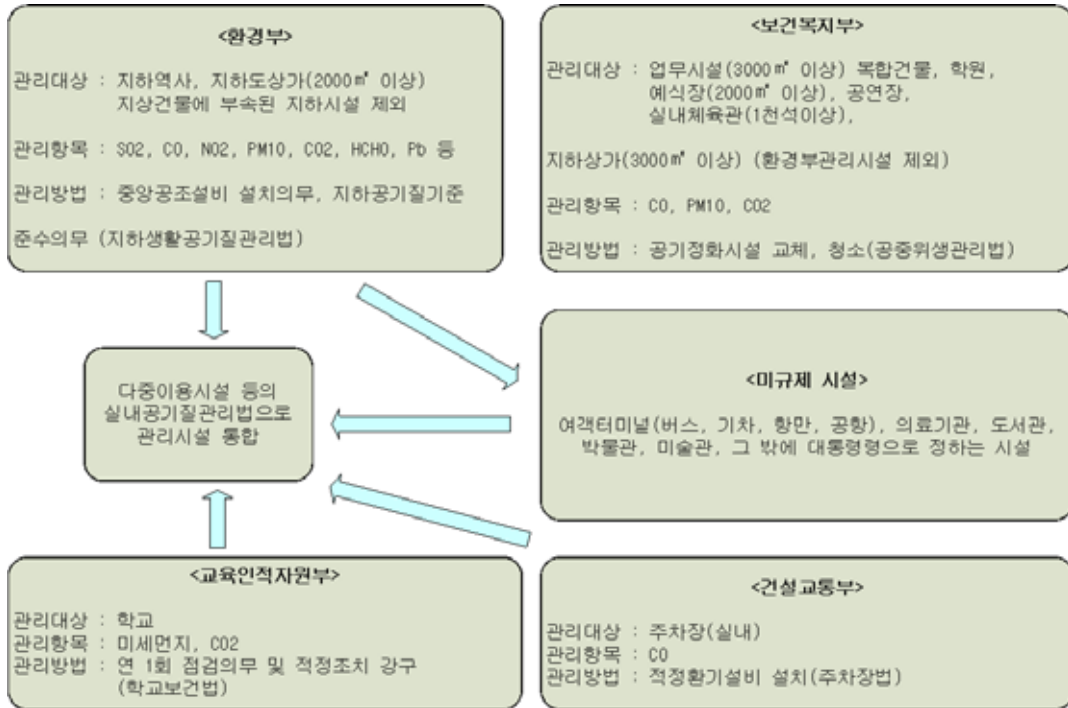


그림 1. 국내 실내공기질의 관리체계

부, 교육인적자원부, 건설교통부 등에서 각각 관리해오던 시설들에 대해 “지하생활공기질관리법”을 중심으로 2003년에 “다중이용시설등의실내공기질관리법”이라는 통합된 법을 제정하여 환경부에서 관리하고 있다.

## 2.2 지하역사의 공기질 기준

지하역사 공기질과 관련해서는 표 1에 정리된 바와 같이 4개 항목(PM10, CO<sub>2</sub>, HCHO, CO)에 대하여 유지기준을 마련하였으며, 5개 항목(NO<sub>2</sub>, Rn, TVOC, O<sub>3</sub>, 석면)에 대하여 권고기준을 마련하여 제도적으로 관리하고 있다. 표 2는 현재 지하역사 내에서의 오염물질 항목별 기중항목의 주요 발생원

을 정리한 것으로, 표에서도 나타난 바와 같이 오염 발생원은 우리 주변의 일상 생활환경 중에 널리 분포하고 있으며, 그 영향 또한 다양하게 나타나고 있어 이에 대한 적절한 관리가 요구되고 있다.

## 3. 지하역사 공기질 현황

### 3.1 일반적인 현황

#### 3.1.1 지하철의 역사

국내 지하철은 1974년 8월 15일 서울에 지하철 1호선(청량리~서울역)의 개통을 시작으로 1980년 2호선, 1985년 3·4호선이 개통되는 등 지속적으로 건설되어, 현재 서울 8개호선 239개, 분당선 12개,

표 2. 실내 오염물질의 발생원 및 인체 영향

오염물질	주요 발생원	인체의 영향
PM <sub>10</sub>	대기 중 먼지가 실내로 유입, 마모(바닥, 신발 등), 연소기구, 흡연, 옷감 등	각종 호흡기질환(기관지염, 기관지 천식, 폐렴, 면폐증), 알레르기성 질환
CO <sub>2</sub>	사람의 호흡, 각종 난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성 폐질환, 기도저항 증가, 중추신경 영향 등
HCHO	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감 등	눈, 코, 목 자극증상, 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환, 비염, 정서불안증, 기억력 상실 등
CO	연소기구(난로, 가스렌지), 흡연	심장장애, 중추신경계 장애
NO <sub>2</sub>	연소기구(난로, 가스렌지), 흡연	기도저항, 심장장애, 중추신경계 장애
Rn	흙, 바위, 지하수, 화장암, 콘크리트 등	폐암 등
VOC	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 세탁소, 의복, 방향제, 건축자재, 왁스 등	피로감, 정신착란, 두통, 구토, 현기증, 중추신경 억제작용 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 석면브레이크, 방열재 등	피부질환, 호흡기질환, 석면증, 폐암, 중피증, 편평상피 등
O <sub>3</sub>	복사기기, 생활용품, 연소기기	기침, 두통, 천식, 알레르기성 질환

부산 2개호선 63개, 대구 30개, 인천 21개, 광주 14개 등 총 379개의 지하역사로 구성되어 운용되고 있다.

서울지하철의 경우 1호선은 수도권인 인천·수원·의정부·안산까지 연결·운행함으로써 수도권 교통의 대동맥 역할을 하고 있으며, 2호선은 한강을 사이에 두고 시청을 기점으로 한 순환노선인 본선과 성수동에서 신설동 사이의 지선을 기본노선으로 하여 도시의 균형발전에 이바지하고 있다. 3·4호선은 도심을 X자형으로 교차하며, 이로써 대부분의 지역이 30분 이내의 생활권으로 좁히는데 큰 역할을 하고 있다.

더욱이 자동차보급의 확대와 도로 확보의 미비로 지하철의 확장이 요구됨에 따라 제2기 공사가 착수되어 2기 지하철의 5호선은 공황~고덕·거여간 52km, 6호선은 역촌~신내간 31km, 7호선은 도봉~온수간 42km, 8호선은 암사~모란간 17.7km으로, 5호선은 1996년, 6호선은 2001년, 7호선은 2000년, 8

호선은 1999년에 각각 개통되었다.

### 3.1.2 지하철의 운행과 이용승객

현재 국내의 지하철은 주로 지역주민들의 출/퇴근 수단으로 이용되고 있는데, 그림 2에서와 같이 4계절 모두 비슷한 경향을 나타내고 있다. 구체적으로 06:00부터 승객인원이 점차 증가하면서 08:00 ~ 09:00 기점으로 최고점에 이른 다음 점차 감소하다가 06:00 PM부터 증가하는 추세를 나타내고 있다. 또한 직장인들의 퇴근시간 이후인 16:00 ~ 22:00 예도 비교적 많은 유동인구가 활동하고 있음을 알 수 있다.

그림 3은 열차운행횟수를 나타낸 것으로 승객이용 패턴 유형과 비슷한 경향을 보여주고 있다. 선행연구결과에 의하면 지하철 역사내의 주요 공기질 인자로 이용승객과 전동차가 보고되고 있으며, 후에 나타나는 실내공기질 측정자료를 통해서도 잘 나타내고 있다.

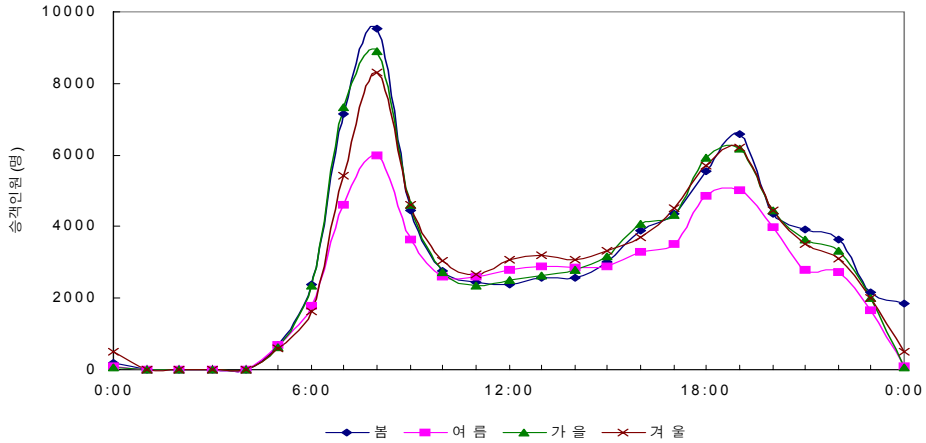


그림 2. 시간대별 지하철 이용승객의 변화

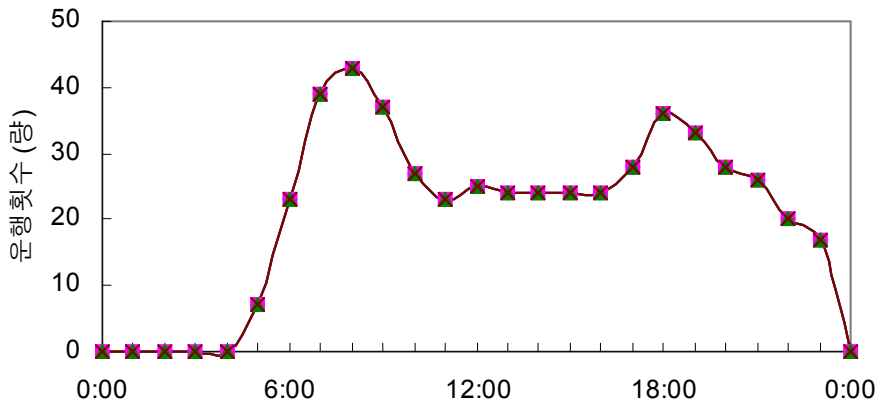


그림 3. 시간대별 지하철 운행자료

### 3.2 지하철내 실내오염원별 기여도

지하철, 지하상가 및 지하도 등 주요 다중이용시설의 경우에서 실내공기오염물질은 외부로부터 유입되는 오염물질과 내부에서 발생하는 오염물질로 분류된다. 외부오염물질은 외기유입에 의한 대기오염, 통행인들의 의복 및 신발 등에 의한 오염 등이 있으며 내부오염물질은 레일 브레이크 및 전력 공

급선의 마모과정에서 발생하는 구리 관련 성분과 지하철 운행 중 축적된 미세먼지의 재비산에 의한 오염이 대부분을 차지하고 있다. 아래 표 3은 각 오염원들에 영향을 미치는 요인들을 보여 주고 있다.

선행 연구를 통하여 각 역사별 미세먼지의 오염원의 평균 기여도를 살펴보면, 대합실의 경우 토양 관련, 외부복합, 철관련 오염원의 평균 기여도는 각

표 3. 지하역사 오염원에 기여하는 주요 요인

외부 유입	자체 발생	오염물질 확산
지하철 이용 승객 지하보도 유동인구 환기시스템 자연환기(외기출입구)	열차바퀴 마모 레일 마모 브레이크 마모 전력공급선 마모	열차풍 환기시스템

각 25.3%, 41.8%, 33.0%로 조사되었다. 승강장의 경우에는 토양관련, 외부복합, 철관련 오염원의 평균 기여도는 각각 17.6%, 23.0%, 59.4%이며, 터널의 경우 토양관련, 외부복합, 철관련 오염원의 평균 기여도는 각각 13.9%, 17.4%, 68.8%이다. (그림 4 참조)

따라서 지하철 내의 공기 중 대합실이 승강장이나 터널에 비해 외기로부터의 영향이 많은 것으로 나타났다. 반대로 터널의 경우는 상대적으로 금속성분, 즉 표 3에서 정리된 바와 같이 내부 오염원에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 이는 추후 지하철 내 실내공기질 방안수립시 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

### 3.3 오염도 현황

지하철 내의 공기질을 살펴 보면, 그림 5~그림 8에 정리된 바와 같다. 이들 실내공기오염물질들 중에서 CO<sub>2</sub>, HCHO, NO<sub>2</sub>의 경우에는 현재 기준치의 절반 또는 그이하의 낮은 농도를 나타내고 있으며, 2000년 이후 해마다 적게나마 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 지하역사내에서 중요한 오염물질인 PM10의 경우에는 기준치에 거의 육박하는 농도 값을 나타내고 있으며 그 농도수준이 최근에 오히려 다소 증가하고 있는 경향을 나타내고 있어 이에 대한 관리방안이 요구되고 있다.

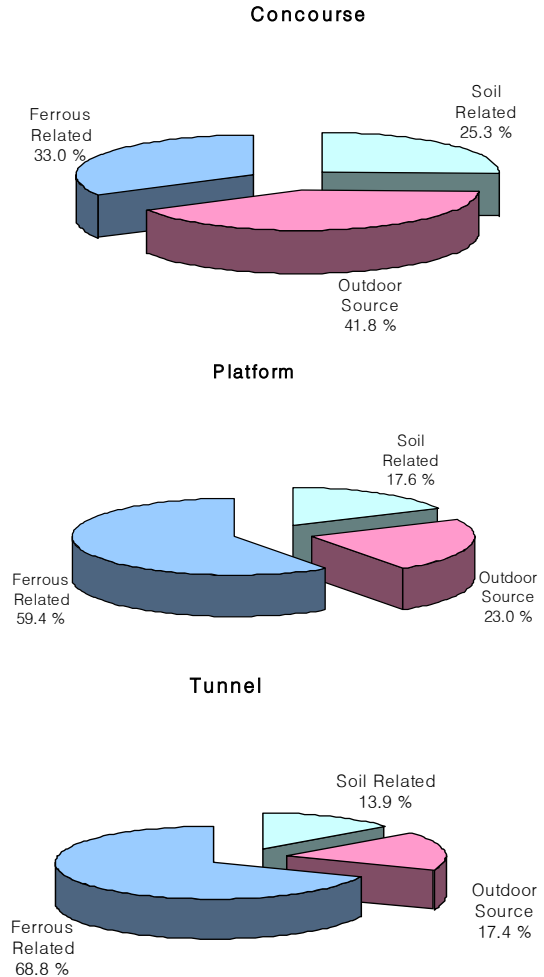


그림 4. 대합실, 승강장, 터널의 미세먼지 오염원별 기여도

지하역사내 PM10에 대해서 자세히 살펴보면 (그림 9와 표 4 참조) 각 역사별 년평균이 2000년에는 3호선 대청역이 169.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았으며, 2001년에는 4호선 수유역이 188.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. (단, 2001년까지는 기준이 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으므로 기

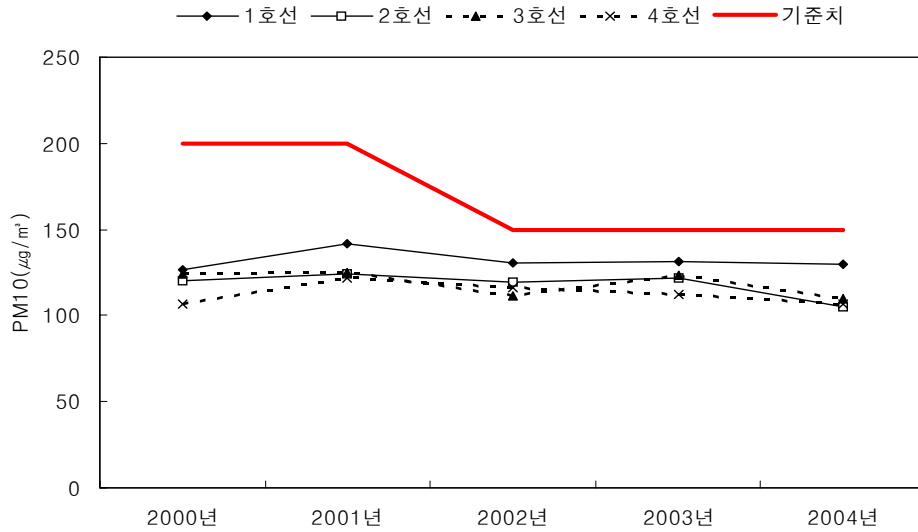


그림 5. 지하역사내 미세먼지(PM10) 측정자료(2000년 ~ 2004년)

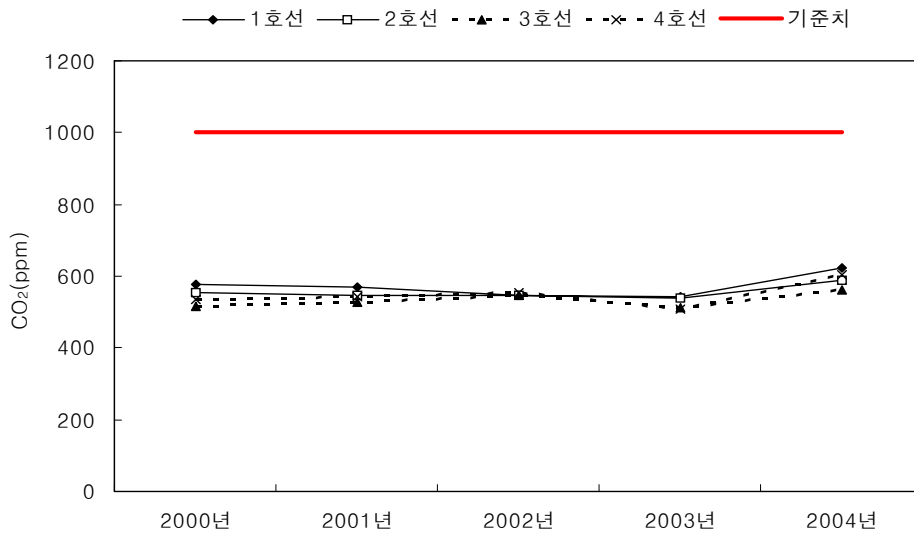


그림 6. 지하역사내 이산화탄소(CO2) 측정자료(2000년 ~ 2004년)

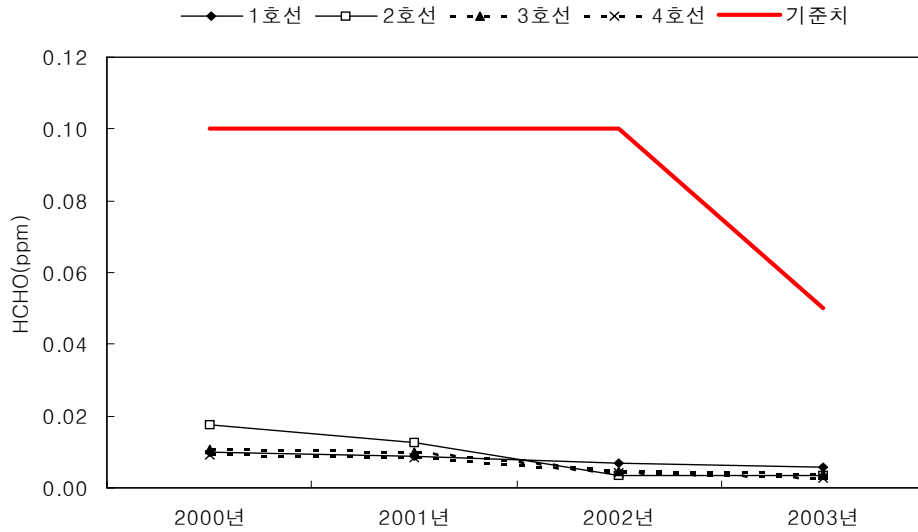


그림 7. 지하역사내 (HCHO) 측정자료(2000년 ~ 2003년)

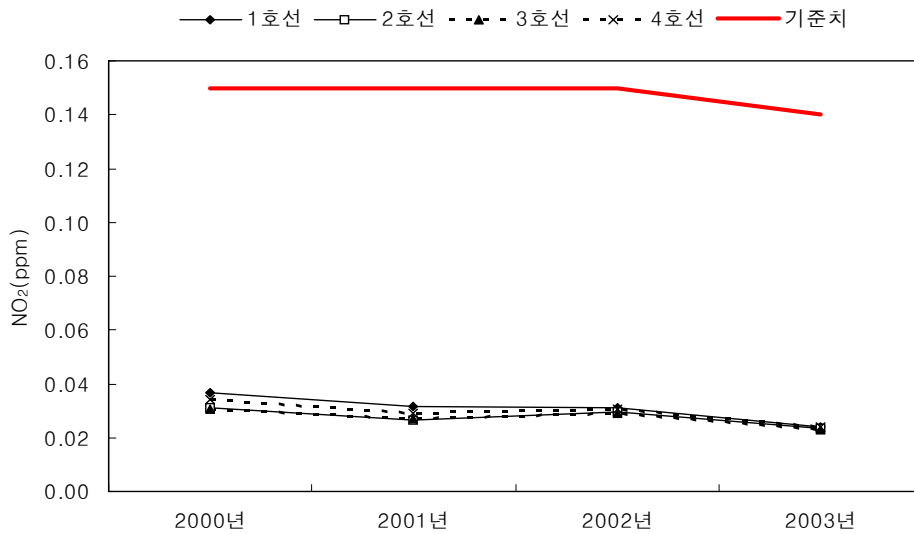


그림 8. 지하역사내 이산화질소(NO2) 측정자료(2000년 ~ 2003년)

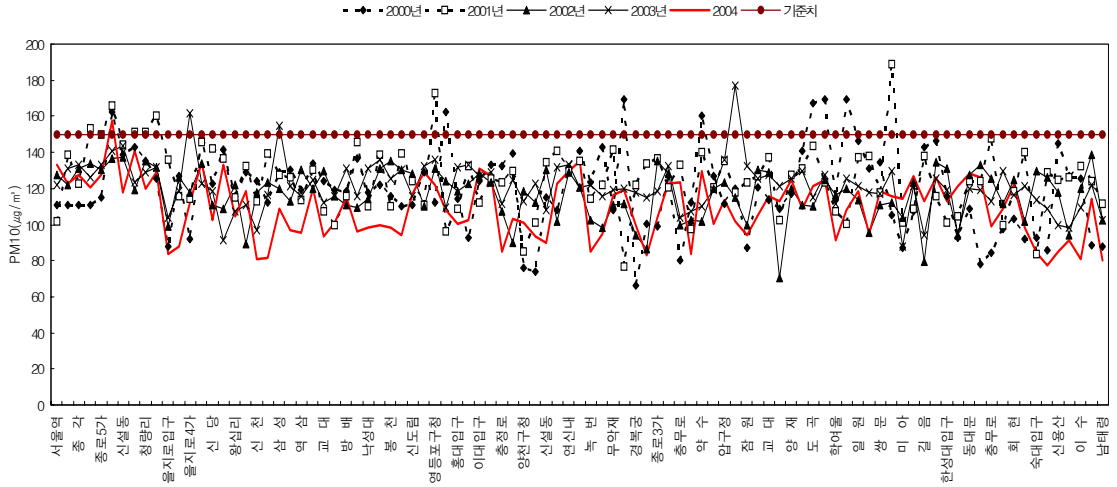


그림 9. 각 역사별 미세먼지 평균 농도(2000년 ~ 2003년)

준치를 초과하지는 않았음.) 그러나 2003년에는 기준치가  $140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화(서울시 조례 규정)됨에 따라 3호선 신사역이  $177.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 기준치를 초과하는 농도를 나타내었다. 전체 호선별 평균 농도를 살펴보면 1호선이 매년 가장 높은 농도수준을 나타내고 있어 그 오염도가 다른 노선에 비해 상대적으로 심각한 것을 알 수 있다.

그림 10은 시간별 지하역사내 오염물질의 변화를 살펴보기 위하여 지하공기질 특별관리 대상역

사 중에서 각 호선별로 1개 역사를 대상으로 한 측정결과이다. 지하역사 내에서 시간에 따른 미세먼지 농도변화를 살펴보면 4개 역사 모두 오전 5~6시를 전후해서 그 농도가 증가하고 증가된 미세먼지 농도는 열차가 운행되는 자정까지 유지되고 있는 유사한 추이를 나타내고 있다.

현재 PM10의 기준치는 24시간 평균값으로  $140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 규정하고 있으나 시간대별 PM10의 농도변화를 살펴보면 지하철의 운행이 끝난 23시 이후

표 4. 각 호선별 미세먼지(PM10) 평균 농도

PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2000년	2001년	2002년	2003년	2003년
1호선	126.3	142.1	130.3	131.3	129.6
2호선	119.9	124.2	119.0	121.8	105.4
3호선	124.6	124.7	111.1	123.5	109.8
4호선	107.0	122.0	116.3	112.4	106.8



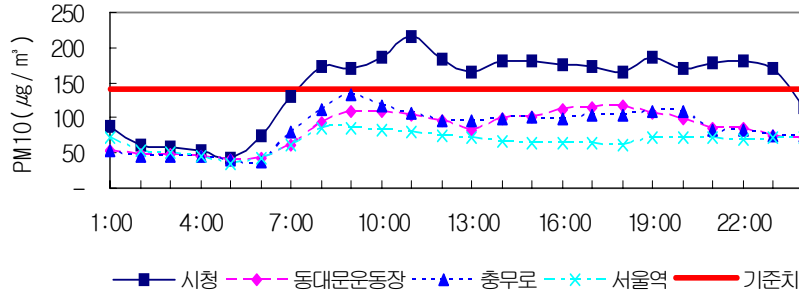


그림 10. 지하역사내의 시간별 PM10 농도

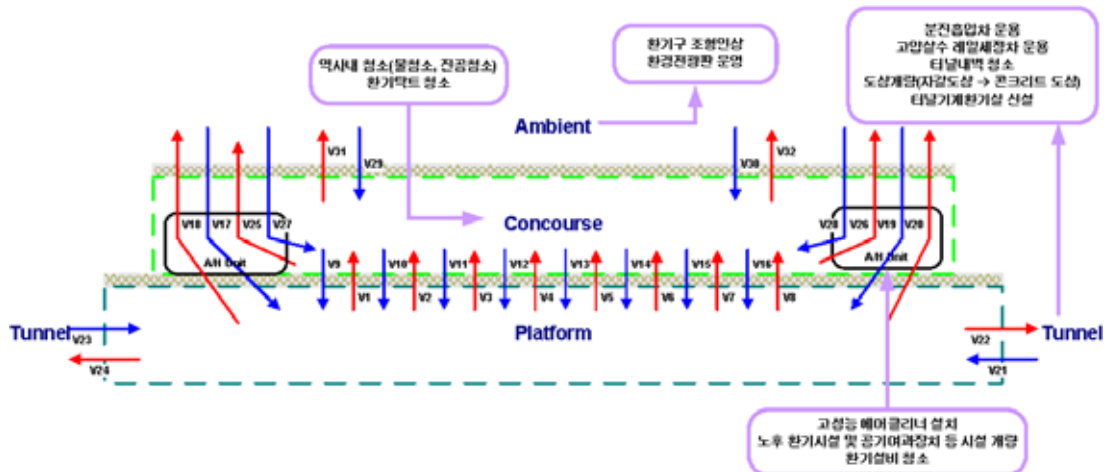


그림 11. 지하역사내 오염 저감을 위한 개별방안

부터 운행이 시작되는 6시까지 7시간의 농도가 낮게 나타나고 있다. 따라서 24시간 평균값이 기준치에 가까운 농도를 나타내는 역사의 경우에는 지하철이 운행되는 시간대에는 실질적인 농도가 기준치를 상회하는 높은 수준임을 알 수 있다.

특히, 동대문운동장과 서울역을 살펴보면, 출퇴근 시간 구분 없이 거의 비슷한 농도분포를 나타내고 있는데, 이는 대규모 상권이 형성되어 낮에는 시민이 밤에는 시민과 상인들이 이용하기 때문인 것으로 분석되었다.

### 3.4 개선대책

#### 3.4.1 기존의 개별 대책

지하역사내의 오염에 대한 문제의 인식이 발생한 이후 정부와 여러 기관에서 적절한 방안을 모색하기 위해 다양한 방안을 제시하였다. 외부의 환기구는 조형구조물 기능을 가지며 시민들에게 공기질 현황을 알리기 위한 환경전광판을 운영하고 있으며 시민들이 지하보도 및 대합실로 이용하는 지점에는 미관상 청결함 유지를 위한 물청소와 진공청소, 그

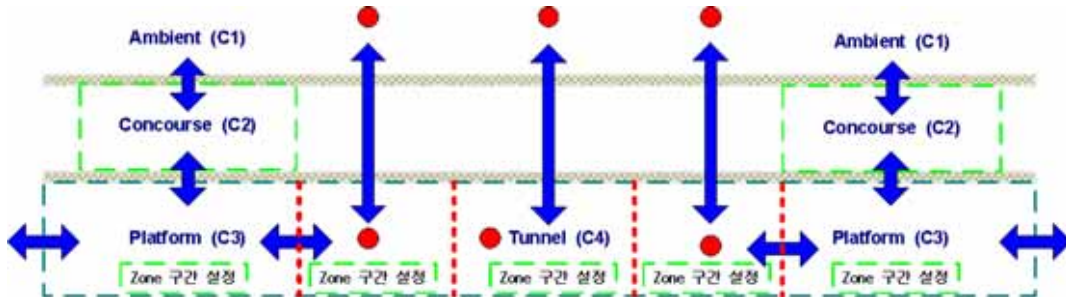


그림 12. 지하역사내 오염저감을 위한 향후 방안

리고 환기시설인 덕트를 청소하였다.

승강장에서는 노후 환기시설 및 공기여과장치 등 시설들을 개량하고 환기실에 고성능에어클리너를 설치하여 깨끗한 공기가 승강장 내로 유입되도록 하며, 본선 터널에서는 자갈로 이루어진 노선을 콘크리트로 도상하여 먼지 재비산을 줄이고 분진흡입차와 고압살수레일세정차를 운영하여 본선터널의 먼지를 제거하는 작업을 행하고 있다.

### 3.4.2 향후 방안

앞에서 기술한 바와 같이 기존의 대책의 경우 오랜 기간을 통하여 여러 가지 개선방안을 제시/시행하였으나 지하역사내의 실내공기질 특성을 고려한 체계적이고 종합적인 관리방안이 제시되고 있지 못하는 실정이다. 따라서 추후 지하철내의 실내공기질 관리방안은 아래 그림 12에서도 보여진 바와 같이 지하역사와 터널을 포함하는 실내공간을 적절히 구획화 (zoning)하여 관리할 필요가 있다. 이와 같은 구획화를 통해서 소구역의 오염특성을 고려한 관리방안을 적용할 수 있을 것이다.

그 예로 최근 지하역사에 승강장과 터널을 분리/설치된 스크린 도어에 의해 승강장 내의 공기질이 약 30% 정도 개선되는 것으로 보고되고 있다. 본선 터널내에는 구획구간을 설정하여 발생된 먼지의 이

동 차단과 동시에 오염발생원을 격리하고, 격리된 공간에 환기를 실시하여 깨끗한 공기질이 유지되도록 할 필요가 있다. 그리고 실내공기질 모니터링을 통하여 정상시와 위험발생시 상황을 파악할 수 있는 시스템의 개발/보급이 필요하다.

## 4. 맺음말(결론)

지하역사내의 오염에 대한 문제점들이 부각되면서 다양한 방안들이 제시되고 시행되었으나, 제시된 방안들은 지하공간내의 다양한 인자들을 고려하지 못하였다. 따라서 다양한 인자들이 존재하는 지하공간에서 종합적이고 효율적인 저감방안을 모색하고자 한다.

첫째, 지하공간내의 오염발생원을 격리한다. 구획구간을 설정하여 오염물질 이동 차단과 한정된 공간에서 발생하는 오염원을 파악 및 제거 한다.

둘째, 격리된 공간에 환기를 실시한다. 오염물질 이동 차단과 발생원제거를 한 격리된 공간에 환기를 통하여 쾌적한 공기환경을 유지한다.

셋째, 역사 내외부의 공기질을 측정하고 분석하는 연속적인 모니터링을 통하여 정상시와 이상 징후 여부를 판단한다.

위와 같이 장기적으로 지하역사내의 공기질 환

경을 유지 관리할 수 있는 종합적인 관리시스템의 구축이 지하역사내 공기질을 쾌적하게 유지하는데 효과적인 방안임에 유의할 필요가 있다.

- 참고문헌 -

1. 서울특별시 지하철공사, 1992, 서울 지하철 내 환경기준설정 및 환경관리방안에 관한 연구, 제 91-54호.
2. 김신도, 1996, 지하상가 공기질의 현황 및 문제점, 「공기청정기술」, Vol. 9, No. 4, pp. 19~28.
3. 김윤신, 1998, 지하생활공간의 환경문제 및 대책, 「공기청정기술」, 11(4), 30-39.
4. 건설교통부·한국건설기술연구원, 2002, 지하철구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구.
5. 환경부, 2002, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구.
6. 서울특별시지하철공사, 2003, 지하공기오염 저감방안에 관한 연구.
7. 이희관, 2004, 지하철 터널내 운행열차에 의한 열차풍의 산정, 설비공학회논문집, 제16권 7호, pp.652-657.
8. 이희관, 2005, Model Development for IAW in a Subway Station, Air 10 Waste Management Association, PA 15222.