

# 지하철역사내 측정위치별 PM-10 및 중금속 농도특성에 관한 연구

## A study of PM-10 and Heavy Metal characteristics in the air at the each site of a subway station.

장정욱\*, 조장제\*, 최우건\*, 박덕신\*\*, 정우성\*\*, 김태오\*\*\*

Chang, Jung-Wook Cho, Jang-Je Choi, Woo-Gun Park, Duk-Sin Jung, Woo-Sung Kim, Tae-Oh

### Abstract

Subway has been used one of major public transportations because of overpopulation and heavy traffic problems in the metropolitan areas. So, the air pollution has been serious. In this study, continuous date of PM-10 (particles with aerodynamic diameter  $< 10\mu\text{m}$ ) and heavy metal concentration measurements for winter, spring and summer. These measurements have been carried out in the outdoor, concourse, platform, tunnel. The study results showed that the average seasonally concentration of PM-10 particles were  $141.57\mu\text{g}/\text{m}^3$  in winter,  $129.34\mu\text{g}/\text{m}^3$  in spring and  $122.73\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The average concentration of PM-10 particles at indoor higher than outdoor. The concentration of Fe, Cu, showed the largest peak concentrations during the respective season.

### 1. 서론

도시인구의 급증 및 과밀화로 인한 교통량 수요의 확대는 지하철 시대를 도래케 하였다. 주된 교통수단으로서의 지하철의 등장은 사회적 요구에도 불구하고 지하공간 공기질 등의 새로운 문제가 나타나게 되었다. 지하철은 효율적으로 공간을 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 지하철의 사용이 증가함에 따라 그 폐쇄성으로 인해 지하생활공간의 공기질 문제가 점차 심각해지고 있다. 지하철 역사내의 환경문제는 환기시설의 노후화 및 환기관련 대책의 미흡, 회석·확산공간의 한계성, 에너지 절약 차원의 건물의 밀폐화, 외부공기의 지하유입으로 인한 축적 등에 의한 공기 오염 물질의 지하공간내 축적과 지상 오염공기의 지하유입에 따른 공기질 악화문제로 지적되고 있다. 또한 오염정도가 비교적 쉽게 악화되어 지하역사 근무자 뿐만 아니라 일반시민에게도 그 피해가 우려되어 환기관련 대책의 필요성이 크게 대두되고 있다.

지하철의 공기를 악화시키는 주요 원인중 하나인 부유분진(suspended particulate matters)은 그 크기가 작아짐에 따라 표면적이 증가하여 중금속 흡착이 쉽게 일어난다. 이러한 부유분진 중 직경이  $10\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자들은 기체상 매체속에 고체 및 액체 입자가 부유된 상태인 "에어로졸(aerosol)"로써 정의되어지며 호흡성 분진(respirable particle)으로서 인체에 흡입 될 때, 폐속으로

\* 금오공과대학교 석사과정

\*\* 철도기술연구원 철도환경·재료연구팀

\*\*\* 금오공과대학교 교수

의 침투도가 최대가 되어 폐암 등을 유발시키는 것으로 알려져 있다(Buell, 1967).

이에 본 연구에서는 미세먼지(PM-10)와 미세먼지에 포함되어 있는 주요 중금속(Fe, Cu, Pb, Cr 등)을 측정, 분석함으로써 철도청 지하전철구간의 폐적한 실내공간의 확보를 위한 효과적인 방안을 정립하는데 기본자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시료채취 및 측정기간

시료의 측정은 3차에 걸쳐 수행하였으며, 1차 측정은 2003년 2월 3일부터 2003년 2월 11일까지, 2차 측정은 2003년 4월 7일부터 4월 15일까지, 3차 측정은 2003년 7월 8일부터 7월 17일까지 시행되었다. 철도청 지하전철 구간 중 이용객수, 유동인구, 통행량 등을 고려하여 선정(A노선, B노선, C노선에서 각각 3개, 2개 역사)하였다. 그리고 측정 역사의 외기, 대합실, 승강장, 터널을 대상으로 집중적으로 조사하였다.

### 2.2 시료채취방법

실내공간의 미세먼지(PM-10)와 미세먼지에 포함된 주요중금속(Fe, Cu, Pb, Cr등)을 채취하기 위하여 공기역학적 직경이  $10\mu\text{m}$ 이하인 분진을 포집하는 mini-vol potable sampler(Model 4,1, Airmetric co., USA)를 이용하였다. mini-vol potable sampler는 분진의 크기별 분리장치(particle size separator)와 여과기(filter medium)를 통과하면서 분진의 충돌(impaction)에 의해 분리된다. 여지는 섬유여지(USA, Gelman Science Co. Model T60A20)를 사용하였으며, 포집유량은 5L/min으로 유지하여, 24hr동안 외기, 승강장, 대합실, 터널의 중앙에서 벽과 1m 거리를 뺀 지점에서 포집하였다.

### 2.3 분석방법

여지에 포함된 중금속 분석을 위한 전처리 방법은 미국 EPA에서 고시한 CWA(Clean Water Act)의 microwave 전처리장치(Questron Co. Model Q-15 MicroPrep)를 이용하여 질산으로 녹인 다음 수행하였다. 중금속 분석은 포집된 시료를 질산 10ml를 가한 후 power 4, 5에서 각각 5분씩 고온에서 진공가압하여 중금속 성분을 추출하였다. 전처리가 끝난 시료는 경희대학교 연구지원센터에서 ICP-MS(Model Direct Reading Echelle)를 사용하여 주요중금속(Fe, Cu, Pb, Cr)을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

표1은 철도청 지하전철구간인 지하철 A노선, B노선, C노선에서 측정된 미세먼지(PM-10)의 평균농도를 나타낸 것이다. 1차 측정의 결과 분당선의 평균 미세먼지 농도가  $143.24\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, A노선 K역은 전체 3개 노선 중  $199.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도값을 보였다. 우리나라의 PM-10 지하공기질 기준치인  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균)을 초과한 역사는 전체 3개 노선의 총 28측정 지점 중 29%비율을 나타내었다. 2차 측정 결과를 보면 A노선 S역의 터널 안에서 가장 높은  $250.42\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었고, 터널 안은 A노선 K역, C노선 D역을 제외하고 모든 지점에서 지하공기질 기준치를 초과하였다. C노선 D역의 터널은  $68.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮은 농도를 나타내었는데 이는 이 역이 종착역으로 터널 안 열차운행이 없었던 것에 기인한다고 추정된다. 3차 측정 결과 A노선의 I역이  $225.42\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 미세먼지 농도를 나타내었다. 이는 A노선 중 I역의 유동인구가 일 평균 약 20000명으로 가장 많고, 역사 주위에 상가가 밀집되어 있는 원인으로 사료된다. 각 측정 장소별 평균농도는 1차 측정에서는 외기  $91.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대합실  $132.83\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 승강장  $141.57\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 터널

163.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로, 2차 측정은 외기 98.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대합실 101.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 승강장 129.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 터널 134.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3차 측정은 외기 80.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대합실 69.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 승강장 122.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 터널 145.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  순으로 농도값을 나타내었다. 1차, 2차, 3차 측정결과 대합실의 미세먼지 농도가 승강장에 비하여 낮게 조사되었는데 이는 대합실은 열차에 의한 직접적인 영향을 받지 않고 외기의 순환통로와 가까이 위치하고 있어 외부 공기의 유입으로 인해 농도가 낮은 것으로 사료된다. 또한 터널에서 농도가 가장 높은 이유는 주로 환기, 열차의 운행횟수 및 시간 등 다양한 요인에 의하여 농도가 높게 측정되었다고 생각된다.

표 1. 1차, 2차 및 3차 측정결과 미세먼지(PM-10) 평균농도

(unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	1차 측정				2차 측정				3차 측정			
	외기	대합실	승강장	터널	외기	대합실	승강장	터널	외기	대합실	승강장	터널
A노선	84.08	126.04	139.12	156.38	83.45	138.00	164.33	190.76	79.77	69.66	102.32	172.71
B노선	110.68	138.83	152.47	170.98	129.79	109.14	150.55	144.84	87.60	54.22	121.43	111.13
C노선	80.81	133.61	133.12	163.56	83.68	55.86	73.14	68.45	74.00	83.19	144.44	152.18
전체평균	91.86	132.83	141.57	163.64	98.97	101	129.34	134.68	80.46	69.02	122.73	145.34

노선별로 각 측정지점 결과의 평균값을 비교하여 그림1에 나타내었다. 1차 측정이 2차, 3차 측정에 비해 높은 미세먼지 농도를 나타내었다. 승강장에서 측정된 미세먼지(PM-10)의 1차 측정과 2차, 3차 측정의 차이는 계절별 영향이라 추정되며, 이전의 서울시 지하철 연구결과에서도 확인된 바 있다.(김동술 등, 1998) 그러나 철도청 지하철철구간이 주로 교외에 위치하고 있는 점과 각 역사의 환기특성을 고려하여 추후 다각적인 검토가 필요하다고 사료된다.

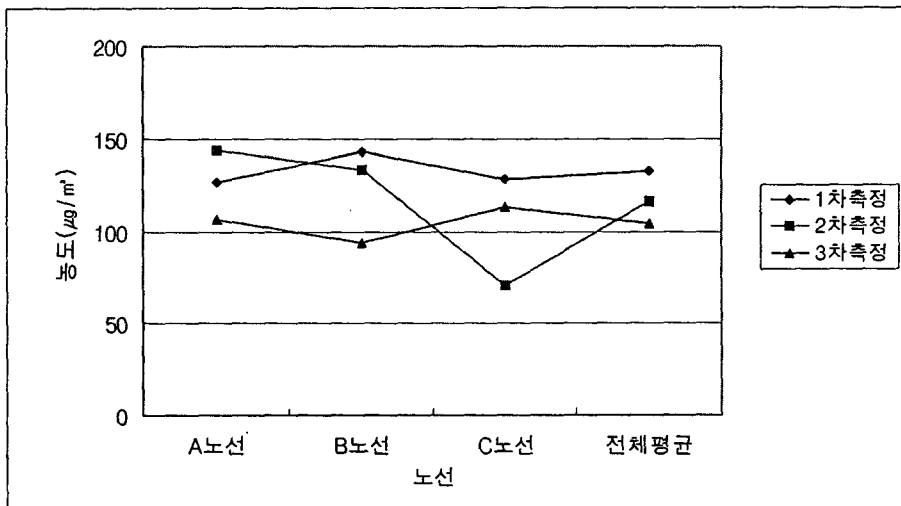


그림1. 승강장에서 측정된 미세먼지(PM-10) 평균농도 비교

표2는 A노선, B노선, C노선에서 측정된 미세먼지(PM-10)의 Indoor/Outdoor ratio를 나타낸 것이다. 2차 측정결과 A노선에서의 I/O ratio가 1.81:1로 가장 높은 비율을 보였고 2차 측정의 C노선에서만 미세먼지 농도가 실내보다 실외가 높게 측정되었다. 이는 측정당시 외기 주변의 신축건물 공사장에서 발생한 먼지의 유입에 의한 것으로 사료된다. 전체적으로 미세먼지 농도가 실외보다 실내가 높게 측정되어 철도청 지하역사의 환기관련 시설의 효과적인 관리방안의 정립이 시급한 실정이라 하겠다.

표 2. 1차, 2차 및 3차 측정결과 미세먼지(PM-10)의 I/O ratio

(unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

노선	A노선		ratio	B노선		ratio	C노선		ratio	
	측정위치	Indoor		Outdoor	Indoor		Outdoor	Indoor		Outdoor
1차측정		132.51	84.08	1.58:1	145.65	110.68	1.32:1	133.37	80.81	1.65:1
2차측정		151.16	83.45	1.81:1	129.84	129.79	1.00:1	73.11	97.63	0.75:1
3차측정		85.99	79.77	1.08:1	87.83	87.60	1.00:1	113.81	73.00	1.56:1

표3은 A노선, B노선, C노선의 각 측정위치에서 분석된 주요 중금속(Fe, Cu, Pb, Cr)의 평균농도를 나타내었다. 1차 측정 결과 철(Fe)의 경우, A노선 I역이  $34.68\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 수치를 보였고, 구리(Cu)의 경우는 전 노선 중 A노선이 평균농도로서 가장 높게 조사되었다. 2차 측정 결과 전체평균이 철(Fe)이  $10.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 구리가(Cu)  $0.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1차 측정 결과보다 낮은 농도 값을 보였다. 3차 측정에서는 철(Fe)의 농도가 1차, 2차 측정에 비해 약 10배정도 감소하였는데 이는 계절적인 영향에 의한 것이라고 추정되지만 이에 대한 구체적인 원인은 아직 밝혀지지 않았다. 미세먼지(PM-10) 평균농도와 각각의 중금속 농도를 비교할 때 둘 사이의 뚜렷한 상관관계는 없는 것으로 나타났다. 전체적으로 철(Fe)과 구리(Cu)의 농도가 비교적 높았으며 이는 열차 운행으로 인한 레일과 열차와의 마찰, 전력선과의 마찰 등에 의해 높은 농도를 나타낸 것으로 사료된다. 또한 겨울철(1차 측정)에 중금속 농도가 높은 값을 나타내는 것은 계절 특성상 난방기 사용, 환기부족 등으로 사료된다.

납(Pb)의 경우, 1차 측정기간 동안 C노선 터널에서의 평균값이  $5.29\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 노선보다 높게 조사되었고 2차 측정기간 역시 C노선 터널에서  $4.76\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 우리나라의 납(Pb) 지하공기질 기준치인  $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하여 검출되었고, 3차 측정기간 동안에는 C노선 터널의 납(Pb)농도가  $0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었다. 크롬(Cr)의 경우 전체평균 값이 1차 측정기간에는  $0.14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었고, 2차 측정에서  $0.31\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3차 측정에서  $0.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 전 노선에서 높은 농도 값을 나타내지는 않았지만 크롬(Cr)의 경우 인체에 치명적인 위해를 가질 수 있다는 측면에서 보다 심층적인 연구가 필요하다고 사료된다.

표 3. 각 측정위치별 측정된 주요 중금속 평균농도

(unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

		1차 측정				2차 측정				3차 측정			
		Fe	Pb	Cu	Cr	Fe	Pb	Cu	Cr	Fe	Pb	Cu	Cr
A노선	외기	5.38	ND	0.07	0.31	0.51	ND	ND	ND	ND	0.02	0.56	0.07
	대합실	14.98	0.02	0.38	0.17	7.41	0.16	0.14	0.27	0.18	0.01	0.24	0.05
	승강장	23.24	ND	0.54	0.23	15.78	0.06	0.24	0.06	1.70	0.02	0.80	0.10
	터널	26.87	ND	0.78	0.24	35.58	0.15	0.78	0.38	4.87	0.03	3.48	0.64
B노선	외기	2.50	ND	ND	ND	4.36	0.08	0.05	0.12	0.29	0.02	0.18	0.13
	대합실	4.23	ND	0.08	0.01	6.19	0.13	0.07	ND	1.03	0.01	ND	0.02
	승강장	15.73	ND	0.31	0.07	9.80	ND	0.02	ND	2.27	0.02	0.39	0.10
	터널	15.16	ND	0.26	0.35	13.85	0.09	0.04	0.06	2.56	0.01	ND	0.02
C노선	외기	3.29	ND	0.03	0.06	2.73	0.12	0.04	0.01	ND	0.01	0.97	0.13
	대합실	9.13	ND	0.18	0.16	2.80	0.23	0.05	0.06	0.53	0.01	2.03	0.21
	승강장	14.76	ND	0.41	0.02	23.29	0.23	0.41	1.00	1.66	0.02	0.95	0.10
	터널	8.05	5.29	0.70	0.09	6.96	4.76	0.68	1.73	1.51	0.01	1.27	0.22
전체평균		11.94	0.86	0.31	0.14	10.77	0.50	0.21	0.31	1.38	0.02	0.91	0.15

#### 4. 결론

본 연구에서는 첫째, 미세먼지(PM-10)의 1차 측정에서 지하공기질기준치를 초과한 역사는 전체 3개 노선 중 29%를 나타냈고, 2차 측정 결과 39%로 겨울철보다 봄철에 높게 측정되었으며 3차 측정 결과 18%로 나타났다. 둘째, 1차 측정결과 평균농도는 외기  $91.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대합실  $132.83\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 승강장  $141.57\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 터널  $163.64\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 2차 측정결과 평균농도는 외기  $98.97\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대합실  $101.00\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 승강장  $129.34\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 터널  $134.68\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 3차 측정결과 외기  $80.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 대합실  $69.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 승강장  $122.73\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 터널  $145.34\mu\text{g}/\text{m}^3$  나타났다. 셋째, 지하역사에서의 미세먼지(PM-10)는 실외보다 실내가 높은 농도를 보였다. 넷째, 대부분의 역사에서 중금속은 철(Fe)과 구리(Cu)의 농도가 비교적 높은 수치를 나타내었고, 겨울철(1차측정)이 봄·여름철(2차, 3차 측정)보다 높게 측정되었다. 다섯째, 미세먼지(PM-10) 평균농도와 비교할 때 중금속 농도는 미세입자 농도와 뚜렷한 상관관계가 없음을 알 수 있었다.

본 연구 결과로부터 쾌적한 실내공간을 확보하기 위해서는 터널과 승강장에서의 환기 방법과 시설 개선이 우선되어야 할 것으로 사료되며, 차후 미세먼지(PM-10) 및 주요 중금속들의 발생원을 측정, 분석하여 효과적인 환기시설방안 개선이 필요하다고 사료된다.

#### 참고문헌

1. 이지원, 김현욱 (1997), 서울소재 지하철역내 입경분포 및 총분진과 미세분진 농도 비교, 한국대기보전학회 춘계학술대회 요지집, 110-112.
2. 황인조, 김동술 (1998), Submicron 부유분진의 화학적 조성 및 분포에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(1), 11-23.
3. 손정화 (1997), 대기환경중 PM-10에 포함된 다환방향족 탄화수소(PAHs)의 농도분석에 관한 연구, 경희대학교 석사 논문, 12-14.
4. 김동술, 김신도, 김윤신 (1998), 서울시 지하철 환경개선 방안 연구, 서울시 지하철공사.
5. 김신도, 이정주 (2000), 지하철터널간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구,

건설교통부.

6. Buell P, Dunn J. E., Breslow L (1967), Cancer of the lung and Los Angeles type air pollution, *Cancer*, 2139-2147.