

지하철역에서의 공기질 평가에 관한 연구
- PM-10 및 중금속 -
A Study on the Indoor Air Quality in Subway
- PM-10 and Heavy Metals -

배상호* , 최우건* , 박덕신** , 정우성** , 김태오***
Bea, Sang-Ho 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. In this study, continuous date of PM-10 (particles with aerodynamic diameter < 10um) and heavy metal concentration measurements for autumn and winter period were analysed. These measurements have been carried out at the outdoor, concourse, platform, tunnel. The study results showed that the average seasonal concentration of PM-10 particles were $181.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ in autumn and $129.03\mu\text{g}/\text{m}^3$ in winter, respectively. The concentration of Fe, Cu showed the largest peak concentrations during the respective season.

1. 서 론

최근 경제성장과 산업구조의 변화에 따른 도시집중 현상으로 인해, 도심지역의 교통량 수요가 확대되어 지하철이 주된 대중 교통수단으로 이용되고 있다. 이에 따라 일반시민의 지하공간에서의 생활시간이 길어져서 지하역사내의 쾌적한 환경이 절실히 요구되고 있다. 이러한 지하철시대에 대응하고자 환경부는 2000년 11월부터 지하철 환경오염 요인의 저감과 환경위해 요소의 전반적인 환경관리 방안을 포함하고 있는 지하생활공간 공기질 관리법을 확정·공표하였다(환경부, 2000).

* 금오공과대학교 석사과정
** 철도기술연구원 철도환경·재료연구팀
*** 금오공과대학교 교수

지하역사의 공기질은 회석·확산공간의 한계성, 환기량 부족, 에너지 절약 차원의 건물의 밀폐화, 외부공기의 지하유입으로 인한 축적 등으로 인하여 쉽게 악화되어 지하역사 근무자뿐만 아니라 일반시민에게도 그 피해가 우려되어 환기관련 대책의 필요성이 크게 대두되고 있다(김신도, 이정주등, 2000).

지하철의 공기를 악화시키는 주요 원인중 하나인 부유분진(suspended particulate matters)은 크기가 작아짐에 따라 표면적이 급속히 증가하여 중금속의 흡착이 쉽게 일어난다. 이러한 부유분진 중 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자들을 호흡성 분진(respirable particle)이라 하며, 이 작은 입자들이 인체에 흡입될 때 폐속으로의 침투도가 최대가 되어 폐암 등을 유발시키는 것으로 알려져 있다(Buell, 1967).

이에 본 연구에서는 미세입자(PM-10)와 미세입자에 포함되어 있는 중금속(Fe, Cu, Pb, Cr)을 측정, 분석함으로써 철도청 지하역사의 쾌적한 실내공간의 확보를 위한 효과적인 방안을 수립하는데 기본자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 시료채취 및 측정기간

본 연구는 2001년 10월 22일 부터 2001년 10월 28일 까지 7일 동안 철도청 지하철 전구간(A노선, B노선, C노선의 26개 역사)의 승강장만을 대상으로 1차 측정을 실시하였다. 2차 측정은 1차 측정결과 미세입자(PM-10)와 중금속농도가 환경부의 지하공기질기준치를 초과한 역, 이용객 수, 유동인구, 통행량을 고려하여 역사를 선정하였다. 선정(A노선, B노선, C노선에서 각각 2개 역사)된 2차 측정 역사는 2002년 1월 21일 부터 1월 27일 까지 7일간 외기, 대합실, 승강장, 터널을 대상으로 집중적으로 조사하였다.

2.2 시료채취방법

미세입자(PM-10)와 미세입자에 포함된 중금속(Fe, Cu, Pb, Cr)을 채취하기 위하여 공기역학적 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하인 분진을 포집하는 mini-vol potable sampler(Model 4,1, Airmetric co., USA)를 이용하였다. 여지는 섬유여지(USA, Gelman Science Co. Model T60A20)를 사용하였고, 포집유량은 $5\text{L}/\text{min}$ 으로 유지하였다. 또한 포집은 24시간하였고 외기, 승강장, 대합실, 터널의 중앙 지점에서 채취하였다.

2.3 분석방법

여지에 포집된 중금속을 분석하기 위한 전처리는 미국 EPA에서 고시한 CWA(Clean Water Act)의 microwave 전처리장치(Questron Co. Model Q-15 MicroPrep)를 이용하여 수행하였다. 이 방법은 포집된 시료에 질산 10ml를 가한 후 각각 5분씩 고온에서 진공가압하여 중금속 성분을 추출하는 것이다(황인조, 김동술, 1998). 전처리가 끝난 시료는 경희대학교 연구지원센터에서 ICP-MS(Model Direct Reading Echelle)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

표1은 지하철 A노선, B노선, C노선에서 측정된 미세입자(PM-10)의 평균농도를 나타내었다. 1차

측정 결과 과천선의 평균 농도가 179.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 특히 A노선의 I역은 301.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전체 3개 노선 중 가장 높은 농도값을 보였다. 이는 A노선 중 I역이 유동인구가 가장 많고, 역사 주위에 상가가 밀집되어 있는 원인으로 사료된다. 미세먼지(PM-10) 평균농도는 전체 3개 노선 중 73%가 우리나라의 지하공기질기준치인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균)를 초과하는 다소 높은 농도값을 나타내었다. 2차 측정결과, 터널내의 미세먼지(PM-10) 농도는 거의 모든 역사에서 지하공기질기준치를 초과하였다. 각 측정 장소별 평균농도는 외기 105.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대합실 121.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승강장 129.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 터널 157.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다. 2차 측정결과 대합실이 승강장에 비하여 낮은 농도를 보였는데 이는 열차에 의한 영향을 받지 않고, 외부 공기의 유입으로 인한 공기순환이 이루어졌기 때문으로 사료된다. 또한 터널내에서 농도가 가장 높은 이유는 열차 운행시 미세먼지의 비산에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

도표 1. 1차 측정 및 2차 측정결과 미세먼지(PM-10) 평균농도 (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	1차 측정	2차 측정			
	승강장	외기	대합실	승강장	터널
A노선	179.69	104.59	84.27	147.47	168.42
B노선	156.79	120.14	155.13	134.46	184.78
C노선	206.55	91.16	126.32	105.14	119.08
전체평균	181.01	105.29	121.91	129.03	157.43

승강장에서의 1차 측정과 2차 측정의 결과를 비교하면 전자가 후자에 비해 높은 농도를 나타내고 있다(그림1). 이러한 차이는 계절별 영향이라 추정되며, 이전의 서울시 지하철 연구결과에서도 확인된 바 있다(김동술, 김신도, 김윤신, 1998). 그러나 철도청 지하철구간이 주로 교외에 위치하고 있는 점과 각 역사의 환기특성을 고려하여 추후 다각적인 검토가 필요하다고 사료된다. 또한 계절별 미세먼지(PM-10)를 측정, 분석하여 효과적인 관리방안의 수립도 요망된다.

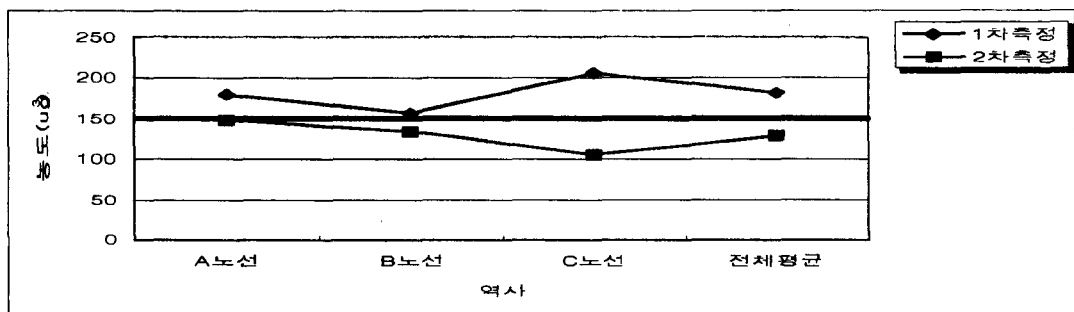


그림1. 승강장에서 측정된 미세먼지(PM-10) 평균농도 비교

표2에 지하철 A노선, B노선, C노선에서 측정된 중금속(Fe, Cu, Pb, Cr)의 평균농도를 나타내었다. 1차 측정 결과 철(Fe)의 경우, C노선의 S역이 36.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 수치를 보였고, 구리

(Cu)의 경우는 전노선 중 A노선의 S역이 가장 높게 조사되었다. 납(Pb)의 경우, 1차 측정기간 동안 B노선에서의 평균값이 $0.22\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 노선보다 높게 조사되었으나 2차 측정기간에는 C노선에서만 검출되었다. 우리나라의 납(Pb) 지하공기질기준치인 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 역사는 없는 것으로 조사되었다. 크롬(Cr)의 경우 전체평균 값이 1차 측정기간에는 $0.06\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었고, 2차 측정에서 $0.12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 크롬(Cr)은 전노선에서 높은 농도 수치를 나타내지 않았지만 인체에 치명적인 위해를 가져올 수 있다는 측면에서 보다 심층적인 연구가 필요하다고 사료된다. 전체 중금속 평균농도를 비교하면 2차 측정 결과가 1차 측정 결과보다 높은 농도 값을 보였다. 이는 표1에서 나타낸 미세입자(PM-10) 평균농도와 비교할 때 중금속 농도는 미세입자 농도와 상관관계가 없음을 알 수 있다.

도표 2. 승강장에서 측정된 중금속 평균농도 (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	1차 측정				2차 측정			
	Fe	Pb	Cu	Cr	Fe	Pb	Cu	Cr
A노선	19.25	0.10	0.30	0.03	43.60	ND	0.74	0.33
B노선	14.18	0.22	0.16	0.05	37.86	ND	0.21	0.01
C노선	22.70	0.19	0.62	0.09	19.95	0.42	0.25	0.03
전체평균	18.50	0.17	0.36	0.06	33.80	0.14	0.40	0.12

각 측정 위치에서의 중금속 농도는 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr) 순으로 나타났으며, 지하철 역사의 주요 중금속인 철(Fe)과 구리(Cu)의 농도는 외기, 대합실, 승강장, 터널 순으로 높게 조사되었다. 철(Fe)의 농도와 다른 성분의 농도차가 커서 각각 그림2와 3에 나누어 표시하였다. 그림2는 각 측정위치별 철(Fe)의 평균농도, 그림3은 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr)의 평균농도를 나타내었다. 그림2와 3의 결과에서도 알 수 있듯이 철(Fe)과 구리(Cu)의 농도가 비교적 높은 이유는 열차 운행으로 인한 레일과 열차와의 마찰, 전력선과의 마찰 등에 의해 높은 농도를 나타내는 것으로 사료된다.

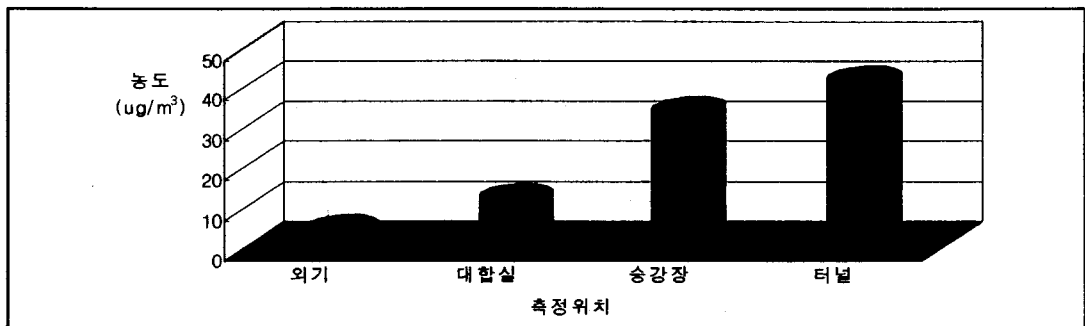


그림2. 측정위치별 측정된 철(Fe)농도 비교

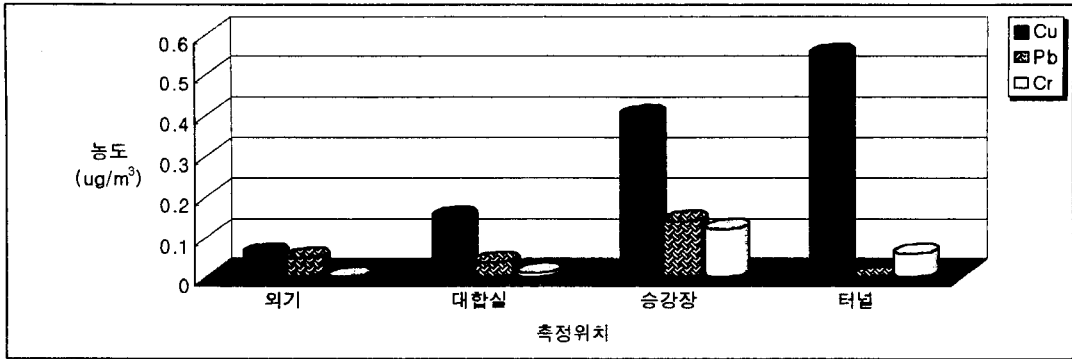


그림3. 측정위치별 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr)농도 비교

4. 결론

본 연구에서는 첫째, 승강장만을 대상으로 한 미세입자(PM-10)의 1차 측정에서 지하공기질기준치를 초과한 역사는 전체 3개 노선 중 73%로 높은 수치를 나타냈고, 2차 측정 결과 17%로 겨울철보다 가을철에 높게 측정되었다. 둘째, 2차 측정 결과 미세입자(PM-10)의 평균농도는 외기 105.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대합실 121.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 승강장 129.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 터널 157.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다. 셋째, 승강장에서 중금속은 철(Fe)과 구리(Cu)의 농도가 비교적 높은 수치를 나타내었고, 겨울철이 가을철보다 높게 측정되었다. 넷째, 중금속 농도는 미세입자(PM-10) 평균농도와 비교할 때 미세입자 농도와 상관관계가 없음을 알 수 있었다. 다섯째, 철(Fe)과 구리(Cu)의 농도는 외기, 대합실, 승강장, 터널 순으로 높게 나타났다.

본 연구 결과로부터 쾌적한 실내공간을 확보하기 위해서는 터널과 승강장에서의 환기 방법과 시설 개선이 우선되어야 할 것으로 사료되며, 차후 계절별 미세입자(PM-10) 및 중금속들의 발생원을 측정, 분석하여 효과적인 방안의 정립이 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, 이정주등 (2000), 지하철구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구, 건설교통부.
6. 환경부 고시 제 2000-139호, 지하공기질공정시험방법, 2000.

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