

## G-4

# 서울소재 지하철역내 입경분포 및 총분진과 미세분진 농도 비교

## A Study on the Size Distribution, TSP and PM10 Concentrations in Subway Stations in Seoul

이 지원, 김 현욱

가톨릭대학교 산업보건대학원 산업위생학과

### I. 서론

서울시 지하철은 하루 400만명 이상의 시민이 이용하고 있으며, 그 주변의 지하상가와 더불어 중요한 생활 공간 중의 하나가 되었다. 지하철의 지하생활권은 폐쇄적 공간이라는 특수한 인위적 환경이며, 일반 사업장과는 달리 어린이와 노약자를 포함한 다수인이 이용, 왕래함에 따라 공기오염에 따른 건강장해의 위험성도 크다.

부유분진(suspended particulate matters)은 분진의 발생원과 입자크기, 농도 및 성분에 따라 직접적으로 인체에 미치는 영향과 직결되는 문제이기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다(Colome et. al, 1992). 특히 부유분진중 공기역학적직경(aerodynamic diameter)이  $30\mu\text{m}$ 보다 큰 입자는 코나 구강을 통하여 흡입되는 양은 적으나, 직경이  $10\mu\text{m}$ 이하의 작은입자들은 호흡성분진(respirable particulate)으로서 호흡시 꽤 깊숙히 흡입되어 폐포나 기관지 등에 침착하여 폐암 등을 유발시키는 것으로 알려져 있으며(Buell, 1967), 이중 대부분의 입자크기는  $5\sim 10\mu\text{m}$ 의 입자들로서 인체에 더욱 유해한 것으로 보고되고 있다(Owen et al., 1992).

본 연구는 지하철역 2호선, 3호선, 5호선에서 총 12곳을 대상으로 개인용 입경 분리포집기를 이용하여 매표소와 승강장에서 분진농도를 입경분포 별로 조사하고, 호선별 교차역과 비교차역으로 나누어 PM10 및 TSP의 농도를 비교하고 양자간의 상관성을 정립하여, 지하철역에서의 공기중의 호흡가능성 분진에 대한 기준과 대책을 정립하는데 필요한 기본자료를 제공하는데 있다.

### II. 실험방법

조사대상은 서울시 3개 지하철 호선에서 12곳을 선정하여 각 장소에서 매표소와 승강장 각 1곳씩 총 24곳을 연구대상으로 하였으며, 조사시기는 1996년 7월 10일부터 1996년 8월 30일까지 아침 8시와 오후 5시사이의 유동인구가 많은 시간에 하였으며, 측정시간은 약 300~450분이었다. 지하철역은 호선별로 2호선(서울대 입구역, 신촌역, 신도림역, 시청역), 3호선(고속터미널역, 경복궁역, 교대역, 종로 3가역), 5호선(답십리역, 군자역, 왕십리역, 영등포 구청역)으로 구분하여 측정하였고, 인구가동이 많은 곳의 분진오염도가 더 높을 것을 예상하여 각 호선마다 교차역 2곳과 비교차역 2곳으로 다시 나누었다.

지하철 역에서 발생하는 분진의 크기를 측정하기 위하여 일반적으로 분진크기 분포결정에 많이 사용되는 8단계의 Marple personal cascade impactor (Model 298, Anderson Sampler, Inc., USA)를 개인시료 채취용 펌프(Model 224-PCXR7, SKC, USA)에 연결하여 사용하였다. 총분진은 모든 stage에서 측정된 농도를 합하여 산출하였으며, 호흡성 분진은 입경의 크기가  $10\mu\text{m}$ 이하인 stage no. 3, 4, 5, 6, 7, 8 및 back filter상의 분진을 모두 합하여 산출하였다.

### III. 결과 및 고찰

입경 분리 포집기에서 얻은 자료를 각 단계별로 평균값을 구하여 작성한 히스토그램의 GM과 GSD를 그래프로 나타내었다(Fig 1, 2). Table 1에서 PM10와 TSP를 비교해 볼 때 TSP는  $220.65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 우리나라 TSP의 지하환경 기준농도  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하지 않았지만, 대기중의 분진농도와 비교했을 때 경희대 수원캠퍼스 옥상에서 측정된 대기중 연평균농도인  $123.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ (이태정, 1992)보다 1.8배 높았고, 신촌지역 도로변에서 측정된 연평균농도  $165.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ (신동천 등, 1990)보다는 1.3배 높았으나, 서울시가 지하철역에서 측정된 평균농도  $335.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (서울시 지하철 공사, 1992)보다는 낮았다.

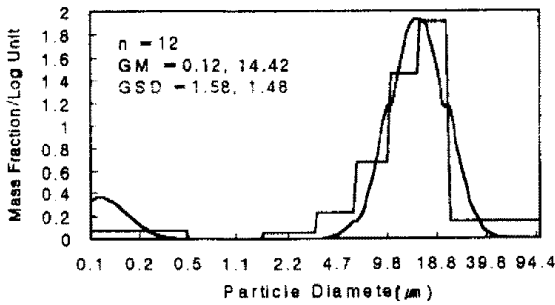


Fig. 1 Particle size distribution in ticket office

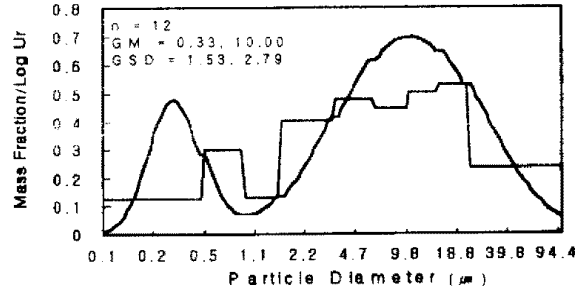


Fig. 2 Particle size distribution in platform

PM10의 농도는  $168.50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실내공기 기준농도  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 것으로 나타났으며, 이러한 조사결과는 다른 자료 즉, 지하철 1, 2, 3 및 4호선에서 조사한 호흡성 분진의 평균농도  $170\mu\text{g}/\text{m}^3$ (백남원 등, 1989)와 비슷한 결과를 보였으나, 서울시에서 1~4호선 각 2개역씩 8개역을 대상으로 측정한 종로 5가역  $221\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 청량리역  $215\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 남부터미널역  $189\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 사당역  $182\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다는 낮고, 동대입구역  $165\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 길음역  $157\mu\text{g}/\text{m}^3$ (서울시, 1996) 보다는 높게 나타났다.

PM10 및 TSP의 기준초과율도 PM10이 62.5 %, TSP가 29.17 %로 PM10이 TSP보다 기준 초과율이 훨씬 높게 나타나는 것을 볼 때 호흡성 분진의 오염도가 높다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Summary of PM10 and TSP concentrations

\*\*\* :  $P < 0.001$

	No. of samples	GM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	GSD	Range ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Percent exceeding current standard <sup>a)</sup> (%)
PM10***	24	168.50	1.54	74.77 ~ 387.44	62.5
TSP	24	220.65	1.48	100.10 ~ 428.95	29.17

a) Current Standard : PM10 =  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ , TSP =  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ministry of Environment, 1995)

교차역과 비교차역에서의 TSP에 대한 PM10의 비율은 70% 이상 나타났다. 대기중에서 측정된 도심 지역의 TSP 중 PM10이 차지하는 비율 50~60%(이용근, 1986)보다 높게 나타났고, 대구지역에서 측정된 TSP 중 PM10의 비율은 대체로 61~75% 선으로(박상태, 1995) 보고되어 비슷한 양상을 나타내었다. PM10의 분포가 전체적으로 50% 이상을 차지하여 지하철역 내에서 생활하는 사람들과 이용자에게 PM10 노출량이 상당할 것으로 시사된다.

Table 2. Concentrations of particulate at the untransfer and transfer stations

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

		Line 2		Line 3		Line 5	
		GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD
PM10	untransfer	186.81	1.34	186.83	1.24	105.48	1.16
	transfer	219.59	1.63	199.09	1.34	142.19	2.01
TSP	untransfer	248.20	1.26	223.78	1.38	143.51	1.19
	transfer	296.26	1.46	262.03	1.16	186.51	1.85
PM10/TSP(%)	untransfer	75.27		83.49		73.50	
	transfer	74.12		75.98		76.24	

GM : Geometric Mean

GSD : Geometric Standard Deviation

— : Means on the same line are not significantly different (DUNCAN's procedure)

승강장에서의 분진농도가 매표소에서의 분진농도보다 높은 것을 Table 3에서 볼 수 있다. 그리고 서울시에서 조사한 고속터미널 지하철역 승강장  $275.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 매표소  $182.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ (서울시 지하철공사, 1992), 백남원 등이 조사한 승강장  $131.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 매표소  $63.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ (백남원과 이기라, 1996)로 대체적으로 승강장이 매표소보다 분진농도가 높다는 같은 결과를 나타냈다.

승강장은 매표소에 비해 공기의 정체가 심하고 지하철 전동차와 근접하여 있으므로 비교적 덜 밀폐

된 대표소에 비해 분진의 오염이 더 크다고 할 수 있다. 평상시 지하철역을 이용하는 많은 시민들의 이동으로 인해 바닥에 침착되어 있는 분진의 재비산으로 인하여 분진농도가 높아진 것이 아닌가 생각되며, 지하철의 승강장에서 불어오는 바람에 실린 분진 등이 직접적으로 지하철 역의 분진농도에 영향을 주었으리라 사료된다. 환기 설비의 운영실태도 Filter 청소를 하지 않아 제진 기능을 제대로 발휘하지 못하거나 Duct 청소를 하지 않아 그 안에 침전된 먼지가 재비산하는 실태에 있다(백남원 외, 1996). 따라서 퇴적된 분진의 재비산을 방지하려면 주기적으로 바닥과 터널내, 덕트내부, 필터등을 청소하여야 할 것으로 본다.

Table 3. Concentrations of particulate at the ticket office and the platform \* : P<0.05

		Line 2		Line 3		Line 5	
		GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD
PM10	ticket office	153.85	1.28	165.01	1.23	120.76	1.78
	platform*	266.64	1.31	225.42	1.16	124.19	1.63
TSP	ticket office	215.86	1.21	209.76	1.26	152.82	1.69
	platform*	340.65	1.23	279.55	1.19	175.14	1.50
PM10/TSP(%)	ticket office	71.27		78.67		79.02	
	platform	78.27		80.64		70.91	

GM : Geometric Mean GSD : Geometric Standard Deviation

— : Means on the same line are not significantly different (DUNCAN's procedure)

최근에 서울시에서 조사한 호선별 오염도가 높은 순서는 1호선, 2호선, 4호선, 3호선 순으로 나타났으며, 본 연구에서는 호선별 오염도가 높은 순서로 2호선, 3호선, 5호선의 순으로 나타났다. 이 순서는 호선별 시공된 연도와 비례하여 시설물의 노후화가 하나의 원인으로 볼 수 있었다. 시설물로는 바닥, 천정, 벽 및 파이프 보온용 피복 물질 등이 있으며 이러한 물질들이 노후하여 수분 등에 의해 부식하면 더욱 용이하게 분진이 발생된다. 또한 보수 작업시에도 분진발생 우려가 있으므로(백남원 등, 1989) 보수 작업을 진행할 때는 분진 비산을 방지하는 시설을 하고 작업을 진행해야 할 것이다.

Table 4. Comparison of TSP Concentrations by line and year (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5
Kim Seong Cheon, 1993.	516.5	533.8	369.3	371.6	-
Seoul Subway Company, 1994.	414	349	357	327	-
Seoul Subway Company, 1996	289	237	170	205	-
Lee Ji Won, 1997.	-	340.7	279.6	-	175.1

#### IV. 결론

본 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 분진의 크기 분포를 보면 대표소 및 승강장에서 이산형(bimodal) 분포를 볼 수 있었다. 둘째, 지하 공간 환경기준 권고치를 초과한 곳은 PM10와 TSP가 각각 62.5%, 29.17% 였다. 셋째, 지하철 호선별 대기 중 PM10 농도는 교차역에서 비교차역보다 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차는 없었고, 설립된 연한이 오래되었을수록 높게 나타났으나 호선별 차이는 없었다. TSP는 교차역에서 비교차역보다 높았지만 통계적 유의성은 없었으나, 호선별로는 차이를 보여 2호선과 3호선이 각각 5호선보다 유의하게 높은 농도를 보였다. 넷째, 지하철 호선별 대기 중 TSP 와 PM10 농도 모두 승강장에서 대표소에서보다 통계적으로 유의하게 높았다(P<0.05). 다섯째, PM10/TSP의 비율이 전체적으로 70 % 이상을 나타냈다.

본 연구 결과 지하철역에서는 총분진보다 미세분진의 오염도가 높게 나타났고, 특히 지하철이 설립된 지 오래될수록 높았으며 승강장 내 오염도가 심하였고, 대부분 환경기준 권고치를 상당수준 초과한 상태에 있으므로 지하역사에 대한 환경기준치가 마련되어야 할 것으로 사료된다.