

지하철 구내의 대기 중 SO₂, TSP 농도와 대기 허용기준에 관한 연구

김 성 천

경희대학교 환경학과

A Study on Airborne Concentrations of SO₂, TSP and Air Quality Standards of a Subway Stations

Seong Cheon Kim

Department of Environment, Kyunghee University

ABSTRACT

The airborne concentrations of Sulfur Dioxide and Total Suspended Particulates were investigated in 4 subway lines in Seoul at early summer, 1990 and early summer, 1991.

The results of the study were as follows :

1. The airborne concentrations of SO₂ and TSP were 0.022 ppm, 445.7 µg/m³ respectively. And percents of over annual air quality standard of WHO was that SO₂ and TSP were 41.7%, 100% respectively.
2. Airborne SO₂ concentrations by subway lines were that line 1 was 0.025 ppm, line 2 was 0.023 ppm, line 3 was 0.020 ppm, and line 4 was 0.017 ppm. And TSP concentrations by subway lines were that line 2 was 533.8 µg/m³, line 1 was 516.5 µg/m³, line 4 was 371.6 µg/m³, and line 3 was 369.3 µg/m³.
3. Annual variation of concentration of TSP was not significant statistically (t=0.327), and that of SO₂ in 1990 was slightly higher than that in 1991 (t=1.433, p<0.1).
4. Coefficients of correlation between TSP and SO₂ by years were that early summer, 1990 was r=0.277 (p>0.1), and early summer, 1991 was r=0.32 (p>0.1).

Keywords : Sulfur dioxide, total suspended particulates, air quality standards, cumulative distribution, pararosaniline method.

I. 서 론

급격한 산업의 발달로 대도시의 교통난과 토지의 부족현상이 날로 두드러져 가고 있다. 이로 인해 대도시 교통난 해소와 토지이용의 극대화를 위해 지하공간을 활용해 나가고 있다. 그 예로는 지하철, 지하상가, 지하주차장 등을 들 수 있다. 특히 지하철 내에서는 SO₂, TSP, CO, NO₂, HCHO, Hg, Cd, Cu, Pb, Cr, Rn, Asbestos 등 실로 인간의 건강을 위협하는 무서운 물질들이 도사리고 있다.

대기오염 물질 중 강부식성의 유독기체인 SO₂는 석탄, 석유를 연료로 하는 화력발전소, 자동차, 각종 난방시설, 정유공장, 코우크스공장, 황산제조공장 등

에서 배출되고 있는데, 이 중 70%는 유황을 함유하는 석탄의 연소시에 그리고 16%는 석유의 연소시에 배출되고 있다. SO₂의 인체에 대한 영향은 기관지염이나 폐기종 같은 호흡기계 질환을 유발하거나 악화시키는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 그리고 SO₂는 석탄이나 중유 중에 불순물로 함유되어 있는 황성분의 연소로 생성되는 가스상 물질로서 상온에서 무색의 심한 자극성을 가지며 수용성이 매우 높아 호흡시 수분이 존재하는 비강이나 상기도에 흡수된다.²⁾ 그리고 계절적으로 보면 SO₂의 농도에 영향을 미치는 여러 기상요소 중에 온도의 작용이 크다는 사실이 입증되었으며, SO₂의 농도와 온도 사이에는 역상관을 한다고 알려져 있다.³⁾ 또 SO₂의 농도가

증가하고 기온이 낮아지면 통계적으로 유의하게 호흡기계 증상과 기도저항이 증가한다는 보고가 있다. 그리고 대기 중의 부유분진은 기체상 매체에 고체 및 액체입자가 부유된 상태인 “에어로졸(aerosol)”로써 정의되어지며, 공기역학적직경(aerodynamic diameter)이 0.001~500 μm 범위의 총부유분진은 대략 2.5~5 μm 보다 작은 미세입자(fine particle)와 그 이상의 거대입자(coarse particle)로 나누어지는 쌍극분포(binomial distribution)를 보인다.⁴⁾ 거대입자는 토양이나 해염과 같은 자연적 발생원(natural source)에 의한 것이 대부분이고, 미세입자는 화석 연료의 연소, 자동차의 배기가스 및 화학물질의 제조과정 등의 인위적 발생원(anthropogenic source)에 의한 것⁵⁾과 아황산가스나 휘발성 유기화합물 등이 응축과정(condensation process)을 거쳐 가스 상에서 입자상으로 전환된(gas-to-particle conversion) 것으로, 오염된 도심지역의 90~99%에 달하는 높은 비율을 차지한다.⁶⁾ 또한 미세입자는 호흡성 분진으로 폐 깊숙히 침투되어 폐질환을 야기시킬 수 있으며, 동일 질량의 분진을 가정할 때 입자의 크기가 감소함에 따라 입자의 표면적은 급증하기 때문에 유해성가스 및 As, Ni, Cr, Pb와 같은 중금속을 쉽게 흡착하여 인체에 전달하는 매체가 된다.⁷⁾ 그리고 부유분진은 공기 중에 오래 머물 수 있고, 그 크기가 10 μm 이하로 아주 작아서 호흡기 내로 깊숙히 침투할 수 있으며, 공기 중의 다른 오염원과 반응하여 그 물질을 더욱 강력한 오염원으로 만들 수 있기 때문에 SO₂와 동시에 노출되었을 경우에는 입자물질에 흡착되어 폐속 깊숙히 침투할 수 있게 되어 피해를 가중시킨다고 알려져 있다.⁸⁾

본 연구에서는 SO₂와 입자상물질로서 총분진(Total Suspended Particulates : TSP)을 서울의 지하철역 1, 2, 3, 4호선 24개 지점에서 조사기간 동안인 1990년과 1991년의 5월에서 6월초 사이에 2회씩 실시하여 총 48개의 sample을 측정하여 각호선별로 기하평균하였고, 2년간의 평균치를 비교하였다. 그리고 현재 우리나라 대기 허용기준치와 외국의 대기 허용기준치와의 차이를 살펴 보았다. 본 연구의 목적은 지하철 내에서 SO₂와 TSP 농도 측정치를 분석하고 그 관계성을 살펴봄으로써 장차 대기오염 허용기준치를 강화시킬 자료를 제공함에 있고, 지하공간의 대기오염 방지에 일조가 되고자 함에 있다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사기간 및 조사지역

조사기간은 1990년 초여름(5월~6월초)과 1991년 초여름(5월~6월초)이고, 조사대상 지역은 서울의 지하철역 24개 지역, 즉 1호선 4개 지역(시청, 종로 3가, 동대문, 제기동), 2호선 8개 지역(이대, 을지로 3가, 영등포구청, 서울대 입구, 교대, 잠실, 왕십리, 동대문구청), 3호선 6개 지역(고속터미널, 압구정, 충무로, 경복궁, 홍제동, 연신내), 4호선 6개 지역(미아삼거리, 쌍문동, 혜화동, 서울역, 신용산, 사당)이다. 그리고 유의성 검정방법으로 t-test를 사용하여 대응하는 두 표본평균간의 차이를 검정하였다.

2. 분석방법

(1) SO₂

우리나라 환경오염공정시험법(대기분야)⁹⁾ 및 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)의 공정시험법인 파라로자닐린법(pararosaniline method)¹⁰⁾에 따라 실시하였다.

시료포집은 개인용 시료포집펌프(Gilian Model, HFS 113)에 흡수액(Potassium Tetrachloromercurate, TCM)을 10 ml 담은 midget impinger를 연결하여 펌프의 유량을 0.8~1.0 lpm으로 40~90분 동안 포집하고 포집한 시료는 실험실에서 전처리를 거친 뒤 spectrophotometer(Beckman Du 70)를 사용하여 파장 548 nm에서 흡광도를 측정하고 검량선에 의해 시료 중의 SO₂ 농도를 구한 것을 대기 중의 농도로 환산한 것이다.

(2) TSP

TSP의 농도는 37 mm glass fiber filter를 담은 three-piece cassette를 시료포집펌프(Gilian Mode, HFS 113A)와 연결하여 유량 2.5~3.0 lpm으로 400~480분 동안 공기를 포집한 후, 사용한 filter를 건조기에서 24시간 동안 보관한 뒤에 천평(Sartorius 200R)을 사용하여 filter의 무게를 재고 여기에서 공기를 포집하기 전 filter의 무게를 빼준 뒤 공시료(blank)로 보정하고 포집한 총공기량으로 나누어 농도를 구하는 중량분석법에 의해서 구한 것이다. 그리고 부유분진농도는 다음과 같이 계산하였다.¹⁵⁾

$$\text{부유분진농도}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_c - W_s}{V} * 10^3$$

W_c : 포집 후 여과지의 질량(mg)

W_s : 포집 전 여과지의 질량(mg)

V : 총 공기흡인량(m³)

III. 조사결과 및 고찰

1. SO₂ 및 TSP의 농도 계산법

Table 1. Comparison of four air quality standards on SO₂ and TSP

Pollutants	Classification	Korea	U.S.A.	Japan	WHO
SO ₂ (ppm 이하)	Annual Mean	0.05	0.03		0.022
	24 hr. Mean	0.15*	0.14	0.04	0.056
	3 hr. Mean		0.50		
	1 hr. Mean			0.10	
TSP (µg/m ³ 이하)	Annual Mean	150	50*		90
	24 hr. Mean	300	150*	100	230
	1 hr. Mean			200	

* 년간 3회 이상 초과해서는 안됨.

현재까지 알려진 연구결과에 의하면 공기 중의 분진, 입자상물질 등은 정규분포 보다 대수정규분포를 한다고¹¹⁾ 알려져 있다. 본 조사에서 얻어진 SO₂ 와 TSP도 대수정규분포를 하고 있으므로 대표값으로 기하평균(Geometric Mean, GM)과 산포도로써 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, GSD)를 각각 구하였다. 기하평균값은 대수확률지의 분포에서 50% 확률에 해당하는 농도치로써 산술평균값 보다 약간 낮은 값을 갖는 것으로 알려져 있으며 기하평균, 기하표준편차, 범위(Range)는 다음과 같이 계산하였다.¹²⁾

* 기하표준편차(GSD)=

대수정규분포의 84.1% 확률에 해당하는 농도치
대수정규분포의 50% 확률에 해당하는 농도치

* 기하평균(GM) = $\sqrt[n]{X_1 * X_2 * \dots * X_n}$

* 범위(Range) = $\frac{GM}{GSD} \sim GM * GSD$

2. 각국의 대기환경기준

Table 1의 한국, 미국, 일본, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 대기 중 SO₂와 TSP에 대한 연간 평균, 24시간 평균, 1시간 평균 환경농도 기준을 살펴보면, SO₂의 년평균 대기기준치는 우리나라가 0.05 ppm 이하인데 비해, 미국이 0.03 ppm, WHO가 0.022 ppm으로 한국에 비해 미국과 WHO가 매우 낮게 정해져 있음을 알 수 있다. 그리고 24시간 대기기준치도 우리나라가 0.15 ppm 이하인데 반해 미국이 0.14 ppm 이하, 일본은 0.04 ppm 이하, WHO는 0.056 ppm 이하로 이것도 역시 한국에 비해 미국, 일본, WHO가 대단히 낮게 정해져 있다. 그리고 TSP의 년평균 대기기준을 살펴보면, 우리나라의 기준이 150 µg/m³ 이하로, 미국의 기준인 50 µg/m³ 이하, 세계보건기구의 기준인 90 µg/m³ 이하와 비교해서 월등하게 높게 정해져 있다는 것을 알 수 있으며, 24시간 평균 대기기준치도 우리나라가 300 µg/m³ 이하인데 비해, 미국이 150 µg/m³ 이하, 이웃나라 일본은 100 µg/m³ 이하, WHO는 90 µg/m³ 이하로 이것도 역시 한국에 비해 미국과 일본, WHO가 대단히 낮게 정해져 있다. 이와 같은 세계적인 추세로 볼때 우리나라의 대기환경 기준치는 마땅히 강화되어야 하고 국민보건 측면에서도 그 대책 마련이 시급하다 할 수 있다.

3. 지하철 구내의 대기 중 SO₂ 농도와 TSP 농도

Table 2를 보면, 서울의 지하철역 24개 지점에서 1990년과 1991년 초여름에 조사된 48개 샘플의 SO₂의 기하평균(Geometric Mean, GM)이 0.022 ppm이었고, 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, GSD)가 1.681이었으며, 범위(Range)는 0.013~0.036 ppm으로 나타났다. 그리고 TSP는 기하평균(GM)이 445.7 µg/m³, 기하표준편차(GSD)가 1.294, 범위(Range)는 344.3~576.9 µg/m³로 나타났다. 한편, Table

Table 2. Concentration and No. of over air quality standards of SO₂ and TSP

Pollutants	GM*	GSD**	Range	No. of samples	No. of over annual air quality standards (%)			No. of over 24 hr air quality standard (%)			
					Korea	U.S.A.	WHO	Korea	U.S.A.	Japan	WHO
SO ₂ (ppm)	0.022	1.681	0.013-0.036	48	1 (2.1)	5 (10.4)	20 (41.7)	0	0	2 (4.2)	1 (2.1)
TSP (µg/m ³)	445.7	1.294	344.3-576.9	48	48 (100.0)	48 (100.0)	48 (100.0)	45 (93.8)	47 (97.9)	48 (100.0)	47 (97.9)

* Geometric mean.

** Geometric standard deviation.

Table 3. Concentration of SO₂ and TSP by years

Pollutants	Year	GM	GSD	Range
SO ₂ (ppm)	Early summer, 1990	0.025	1.763	0.014-0.044
	Early summer, 1991	0.019	1.513	0.012-0.028
TSP (µg/m ³)	Early summer, 1990	440.4	1.325	332.5-583.4
	Early summer, 1991	451.1	1.261	357.7-568.8

3을 보면 SO₂는 1990년 초여름의 기하평균이 0.025 ppm, 기하표준편차가 1.763, 범위는 0.014~0.044 ppm이었고, 1991년 초여름의 기하평균이 0.019 ppm, 기하표준편차가 1.513, 범위는 0.012~0.028 ppm이었다. 그리고 TSP는 1990년 초여름이 440.4 µg/m³, 기하표준편차가 1.325, 범위는 332.5~583.4 µg/m³이었고, 1991년 초여름의 기하평균은 451.1 µg/m³, 기하표준편차가 1.261, 범위는 357.7~568.8 µg/m³로 나타났다. 그리고 조사대상의 1990년 초여름의 SO₂는 한국, 미국, WHO의 연간 대기기준치를 초과한 곳이 각각 1, 3, 11군데를 나타냈는데, 이는 미국(13%)이나 세계보건기구(46%)에 비해서 한국기준치를 초과한 곳이 한군데(2.1%)인 점으로 보아 한국의 기준치 설정이 너무 미약함을 알 수 있고, 1991년 초여름의 SO₂의 연간 기준치를 초과한 곳은 한국이 0%, 미국이 8%, 세계보건기구가 38%로 나타났다. 그리고 년 3회 이상 초과할 수 없는 24시간 평균치에서는 1990년 초여름에 한국, 미국, 일본, WHO의 기준치를 초과한 곳이 각각 0, 0, 2, 1군데로 나타났으며, 1991년 초여름에는 모두 다 기준치를 초과한 곳이 없는 것으로 나타났다. 이것으로 보아 1990년보다도 1991년의 지하철내의 SO₂의 농도가 약간 개선되었음을 볼 수 있다. 또, 1990년 초여름과 1991년 초여름의 TSP는 한국, 미국, WHO의 연간 허용기준을 초과한 곳이 각각 24, 24, 24곳으로 모두 100% 초과하였다. 그리고 년 3회를 초과해서는 안되는 24시간 평균에서도 1990년 초여름에는 한국, 미국, 일본, WHO가 각각 22, 23, 24, 23군데로 거의 대부분이 허용기준을 초과하고 있음을 알 수 있으며, 1991년에도 각각 23, 24, 24, 24군데로 전년에 비해서

Table 4. Concentration of SO₂ and TSP by Lines

Pollutants	Lines	GM	GSD	Range
SO ₂ (ppm)	1	0.025	2.29	0.011-0.057
	2	0.023	1.51	0.015-0.034
	3	0.020	1.73	0.012-0.035
	4	0.019	1.43	0.014-0.028
TSP (µg/m ³)	1	516.5	1.15	447.9-595.5
	2	533.8	1.21	439.6-648.2
	3	369.3	1.29	286.5-475.9
	4	371.6	1.16	320.2-552.4

약간 더 심해졌음을 알 수 있다. 이로 미루어 보아 우리나라 지하철의 TSP의 문제가 심각한 상태에 도달되어 있다는 것을 알 수 있고, SO₂의 문제도 미국이나 일본, 그리고 WHO의 기준에 비추어 보면 지하공간이라는 점에서 심각하게 고려해야 하리라고 생각한다. 그리고 SO₂와 TSP에 동시에 노출되었을 때는 더욱 더 심각한 피해가 우려되므로 현재 우리나라에서 적용하고 있는 허용기준치는 마땅히 강화되어야 하며, 지하공간에서의 환기문제에 보다 많은 관심을 나타내야 하리라고 생각한다.

4. 지하철 호선별 대기 중 SO₂와 TSP 농도

Table 4는 각 호선별로 SO₂와 TSP의 기하평균과 기하표준편차와 범위를 나타낸 것인데, SO₂는 1호선이 기하평균이 0.025 ppm으로 가장 큰 값이고, 2, 3, 4호선 순으로 나타났고, 그 중 왕십리, 동대문구장, 경복궁, 혜화동, 서울역 등이 WHO의 연간 기준인 0.022 ppm을 조사기간 동안 초과하였다. 그리고 TSP는 2호선이 533.8 µg/m³으로 가장 높고 1, 4, 3호선 순으로 나타났고, 그 중 거의 모든 지역이 한국, 미국, 일본, WHO의 기준을 초과하였다. 그리고 Fig. 1은 Table 4를 도해한 것인데 SO₂와 TSP의 한국과 WHO의 기준치를 근간으로 기하평균과 범위를 나타낸 것이다. Fig. 2와 3은 확률방안지를 사용하여 48개의 SO₂와 TSP의 sample을 표시한 것인데, 가로축에 농도를 그리고 세로축에 확률을 나타내었다. 이는 종모양의 확률곡선을 직선으로 선형화시킨 것이다. 그 방법은 (1) 자료를 크기 증가순으로 배열하고, (2) 20개 군으로 나눈 다음, (3) 누적도수에 대한 확률을 계산하면 된다. 이 두 그림에서도 자료가 일정하게 선형화됨을 알 수 있다. 그러므로 SO₂와 TSP 농도는 정규분포(normal distribution)보다는 대수정규분포(log normal distribution)를 한다고 말할 수 있다.

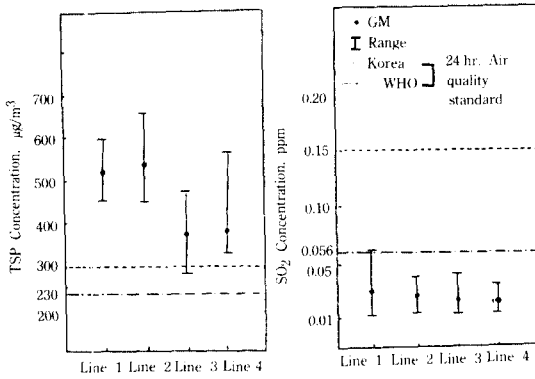


Fig. 1. Underground airborne SO₂ and TSP concentrations by subway lines.

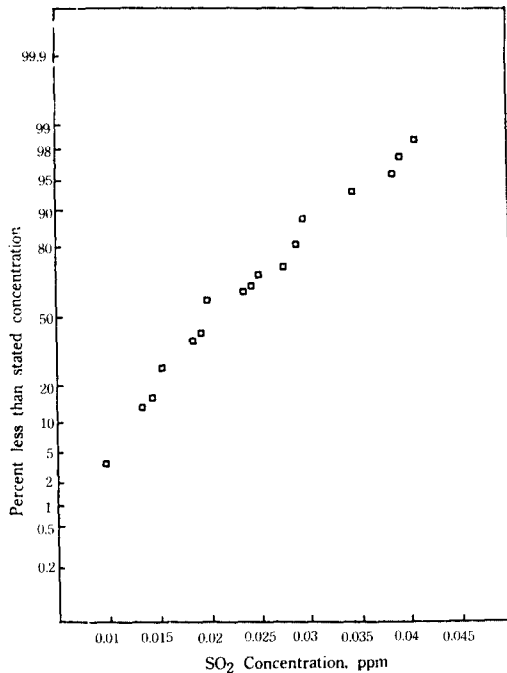


Fig. 2. Cumulative distribution of airborne SO₂ concentration.

그리고 Table 2에서 지하철 1, 2, 3, 4호선의 한국의 연간 평균인 0.05 ppm을 초과한 곳은 1군데(2.1%)이었으나 미국기준인 0.03 ppm을 초과한 곳이 5곳(10.4%)으로 나타났으며 세계보건기구의 기준인 0.022 ppm을 초과한 곳은 20군데(41.7%)로 나타났다. 이로 미루어 볼때 우리나라 지하철의 SO₂ 농도도 상당히 심각한 상태라고 보여진다. 그리고 연간 3회 이상 초과해서는 안되는 24시간 허용기준치를 초과

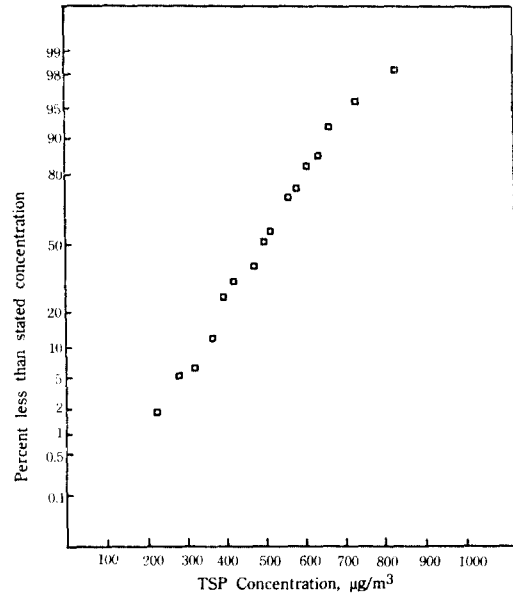


Fig. 3. Cumulative distribution of airborne TSP concentration.

한 곳은 일본의 기준치인 0.04 ppm을 초과한 곳이 2곳(4.2%), 그리고 WHO의 기준치인 0.056 ppm을 초과한 곳은 1곳(2.1%)로 나타났다. 그리고 TSP를 보면, 각 호선별 평균이 2호선이 533.8 µg/m³, 1호선이 516.5 µg/m³, 4호선이 371.6 µg/m³, 3호선이 369.3 µg/m³ 순으로 나타났으며, 우리나라의 연간 허용기준치인 150 µg/m³와 미국의 연간 평균치인 50 µg/m³, 그리고 세계보건기구의 연간평균치인 90 µg/m³, 그리고 일본의 연간평균치인 100 µg/m³를 초과한 곳이 모두 다 100%로 나타났으며 한국, 미국, 일본 그리고 WHO의 24시간 허용기준치를 초과한 곳은 각각 45(93.8%), 47(97.9%), 48(100%), 47(97.9%) 군데로 나타났다. 이로 미루어 보아 TSP의 오염은 대단히 심각한 정도이며, 지하공간에서 SO₂와 TSP에 동시에 노출되었을 때 호흡기계 질환과 장기 기관지염 현상이 나타날 수 있다는 점과 점차 지하공간을 이용하는 사람들이 많아진다는 점을 생각할 때 좀더 적극적인 조치들을 취해야 되리라고 생각한다. 한편, Higgins 등은 SO₂ 농도가 0.055 ppm보다 낮은 값이었지만 TSP 농도가 180 µg/m³이었을 때 호흡기에 영향이 나타났다고 보고하였다.¹³⁾ 그리고 SO₂ 농도가 0.01 ppm, TSP 농도가 106~341 µg/m³이었을 때 남자 40~50세 군의 2.8~3.7%가 호흡기질환을 보였고,²⁾ 동경에서는 SO₂ 농도가 0.05 ppm, TSP 농도가 200 µg/m³ 이상일 때 40~50

Table 5. SO₂ and TSP concentration of each Lines by years

Pollutants	Lines	Early summer, 1990			Early summer, 1991		
		GM	GSD	Range	GM	GSD	Range
SO ₂ (ppm)	1	0.029	3.07	0.009-0.089	0.020	1.29	0.016-0.027
	2	0.021	1.35	0.016-0.029	0.024	1.47	0.016-0.035
	3	0.029	1.62	0.018-0.047	0.014	1.42	0.010-0.020
	4	0.025	1.16	0.021-0.028	0.016	1.43	0.010-0.022
TSP (µg/m ³)	1	536.1	1.14	469.9-611.7	497.5	1.15	431.5-573.7
	2	517.5	1.27	407.0-658.0	550.6	1.13	485.7-624.2
	3	358.4	1.32	271.0-474.4	380.4	1.24	304.8-474.7
	4	382.7	1.18	324.8-450.9	384.1	1.14	336.7-438.2

세군 남자의 6.7%, 여자의 3.9%가 장기 기관지염 현상을 보였다고 보고되었다.¹⁴⁾ 이를 근거로 볼 때 우리나라도 세계적인 추세에 맞추어 SO₂와 TSP 농도의 연간 평균치와 24시간 평균치를 보다 강화시켜 국민보건을 위한 SO₂와 TSP 농도의 저감대책 마련이 시급하다 하겠다.

5. 년도별 SO₂와 TSP 농도

1990년 초여름과 1991년 초여름으로 나누어 년도간의 SO₂와 TSP의 농도의 통계적 차이를 살펴본 결과(Table 5), SO₂는 1990년에 0.026 ppm, 1991년에는 0.019 ppm으로, 년도가 1990년 보다 1991년에 농도가 유의하게 낮았으며($t=1.443$, $p<0.1$), 그리고 TSP는 1990년에 448.7 µg/m³, 1991년에는 453.2 µg/m³로 년도가 변함에 따라 통계적인 차이는 없었다($t=0.327$). 그리고 1990년 초여름에 SO₂와 TSP간의 상관관계를 보면, $r=0.277$ ($p>0.1$), 그리고 1991년 초여름에는 $r=0.196$ ($p>0.1$)으로 각 해당년도에 SO₂와 TSP간에는 상관이 매우 낮은 것으로 나타났다. 그런데 지하공간에서 SO₂의 농도가 WHO의 연간 기준치를 20곳(41.7%)이 초과하고 있다는 점과 TSP의 농도가 연간기준치와 24시간 기준치를 거의 모두 초과하고 있다는 점을 주의해야 한다. 이렇게 SO₂와 TSP의 농도가 높은 이유는 주로 환기를 자주 하지 않기 때문이라고 추측이되므로 지하공간에서의 환기의 횟수를 늘리는 것이 무엇보다도 중요하다고 생각된다.

IV. 결 론

본 조사연구에서는 서울시내 지하철역(1, 2, 3, 4호선)을 대상으로 1990년 초여름과 1991년 초여름에 대기오염의 중요한 지표인 SO₂와 TSP를 동시에

측정한 결과를 분석하였으며 다음과 같다.

1. 대기 중 연간 SO₂와 TSP의 농도는 각각 0.022 ppm, 445.7 µg/m³이었다. 그리고 WHO의 연간 대기기준치를 초과한 곳은 SO₂와 TSP가 각각 41.7%, 100%이었다.
2. 지하철 호선별 대기 중 SO₂ 농도는 1, 2, 3, 4호선이 각각 0.025 ppm, 0.023 ppm, 0.020 ppm, 0.017 ppm이었다. 그리고 TSP 농도는 2, 1, 4, 3호선이 각각 533.8 µg/m³, 516.5 µg/m³, 371.6 µg/m³, 369.3 µg/m³으로 나타났다.
3. TSP의 년도별 농도변화는 통계적으로 차이가 없었으며($t=0.327$), SO₂의 년도별 농도변화는 1990년이 1991년 보다 통계적으로 약간 높게 나타났다($t=1.443$, $p<0.1$).
4. 년도별 SO₂와 TSP간의 상관계수는 1990년 초여름이 $r=0.277$ ($p>0.1$), 1991년 초여름이 $r=0.320$ ($p>0.1$)로 상관성이 없었다.

참고문헌

- 1) Revelle, P., Charles Revelle, The Environment, 2nd ed., 395-401, Whillard Grant Press (1984).
- 2) World Health Organization (WHO), Environmental Health Criteria 8, Sulfur Oxide and Particulate Matter, WHO (1979).
- 3) 권숙표, 정 용, 장재연, 박영미, 대기오염에 영향을 미치는 기후요소분석-서울시 신촌지역의 아황산가스 오염도를 대상으로, 한국환경보존협회, 6(2), 1-10 (1985).
- 4) Whitby, K. T., Husar, R. B. and Liu, B. Y. H., Aerosol Size Distribution of Los Angeles Smog, *J. Col. & Inter. Sci.* 39, 203 (1972).
- 5) Hardy, K. A., Elemental Constituents of Miami Aerosol as Function of Particle Size, *Environ. Sci.*

- Technol.* **10**, 1107 (1976).
- 6) Lundgren, D. A. and Paulus, H. J., The Mass Distribution of Large Atmospheric Particles. *JAPCA*. **25**, 1228 (1975).
 - 7) Lee, R. E. and Von Lehmden, D. J., Trace Metal Pollution in The Environment, *JAPCA*. **169**, 723 (1973).
 - 8) Stern, A. C., Boubel, R. W., Turner, D. W. and Fux, D. L., Fundamentals of Air Pollution. Academic Press, Inc., 2nd Edition (1984).
 - 9) 환경청, 환경오염공정시험법, 환경청, 373-386 (1986).
 - 10) Scaringell, F. P., Saltzman, B. E. and Fray, S. A., Spectrophotometric Determination of Atmospheric Sulfur Dioxide. *Anal. Chem.* **39**(14), 1709-1719 (1967).
 - 11) Moore, J. W. and Moore, E. A., Environmental Chemistry, Academic Press, Inc., 208-211 (1976).
 - 12) Paik, N. W., Walcott, R. J. and Brogan, P. A., Worker Exposure to Asbestos During Removal of Sprayed Material and Renovation Activity in Buildings Containing Sprayed Material. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **44**, 428-432 (1983).
 - 13) Higgins, I. T. T., Effects of Sulfur Oxides and Particulates on Health, *Arch. Environ. Health*. **22**, 584-589 (1971).
 - 14) Gore, A. T. and Shaddick, C. W., Atmospheric Pollution and Mortality in the County of London, *Br. J. Prev. Soc. Med.* **12**, 104-113.
 - 15) 환경오염공정시험법(대기분야), 동화기술, 433-434 (1988).

(Received February 4, 1993)