

## 서울시 대기관측망을 중심으로 부유분진 기준농도 초과자료를 이용한 시공간적 경향성 비교 연구

최여진<sup>1</sup> · 김민영<sup>2</sup> · 김기현<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 지구환경과학과 대기환경연구실, 143-747 서울시 광진구 군자동

<sup>2</sup>서울시 보건환경연구원, 137-734 서울시 서초구 양재동

<sup>3</sup>경희대학교 환경연구센터, 449-791 경기도 용인시

### The Patterns of the PM Air Quality Guidance Level in Seoul during 1990~2000

Ye-Jin Choi<sup>1</sup> · Min-Young Kim<sup>2</sup> · Ki-Hyun Kim<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

<sup>2</sup>Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment,  
Yang Jae Dong, Seoul 137-734, Korea

<sup>3</sup>Center for Environmental Research, Kyung Hee University, Yong In 449-701, Korea

**Abstract:** The PM (particulate matter) concentration data sets exceeding the Daily Air Quality Guidance Levels (i.e., established by the Korean Ministry of Environment) were selected from 31 air quality monitoring stations in Seoul from 1990 to 2000. (For reference, the 24hr environmental standard values of PM<sub>10</sub> and TSP are 150 and 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively.) When the data sets were compared between land use types, both PM fractions were exceeded most frequently in residential areas. However, the highest TSP concentration was measured at industrial areas (351.0 $\pm$ 35.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), while the highest PM<sub>10</sub> concentration was measured in residential areas (182.9 $\pm$ 42.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). When the temporal distribution patterns of the exceedance data sets were compared to those measured routinely (without any discrimination based on exceedance criteria), large differences were present. It was demonstrated that the occurrences of exceedance data sets increased rather significantly in recent years.

**Keywords:** TSP, PM<sub>10</sub>, frequency, exceedance concentrations

**요약:** 본 연구에서는 서울시에 의해 운영되는 서울시내 31개 지역의 대기오염 자동측정망에서 1990년부터 2000년까지 11년 동안 측정된 자료 중, TSP와 PM<sub>10</sub>에 대한 대기환경기준을 초과한 자료만을 선택적으로 분리한 후 여러 가지 통계적인 분석을 수행하였다. 이러한 연구목적에 맞추어, 각 토지 이용 상태별로 환경기준을 초과한 분진농도의 경향성을 비교해본 결과, TSP의 경우 초과농도의 전반적인 발생분포가 녹지, 주거, 상업, 준공업지역 순서로 증가하는 양상을 보여주었다. 준공업 지역에서 351.0 $\pm$ 35.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 초과농도를 보였다. PM<sub>10</sub>의 초과농도는 주거지역에서 182.9 $\pm$ 42.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최고농도를 보이며, 초과농도분포는 준공업, 상업, 녹지, 주거지역 순서로 증가하는 양상을 보인다. 발생빈도수를 각 지점별 측정망수로 나누어 준 결과 주거지역에서 21회로 다른지역에 비해 높은 초과빈도수를 보였다. 이들 초과농도자료들만에 국한시켜 시간적 주기성을 분석한 결과에 따르면, 일반적으로 관측되는 부유분진 자료들과 차별화 된 경향성이 어느 정도 확인되었다. 특히 계절적인 주기로 구분하였을 때, 일반농도자료는 PM<sub>10</sub>과 TSP 모두 겨울철에 가장 큰 농도를 보인데 반해, 초과농도는 다른 양상을 보여주었다. 이러한 연구결과, PM<sub>10</sub>의 연도별 경향성에서 가장 주목할 점은 측정이 시작된 1995년 이후 초과농도의 크기가 지속적으로 감소함에도 불구하고, 그 발생빈도수는 최근에 들어 괄목할 만큼 증가하고 있다는 점을 들 수 있다.

**주요어:** TSP, PM<sub>10</sub>, 빈도수, 농도분포

\*Corresponding author: khkim@sejong.ac.kr

Tel: 82-2-3408-3233

Fax: 82-2-499-2354

## 서 론

가파른 물질문명의 성장으로 인해 에너지와 연료의 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. 비록 정도의 차이는 있겠지만, 세계 어느 곳에서도 대기오염 또는 그와 연관된 영향을 발견하지 않을 수 없다(오현선, 1996). 따라서, 과거에는 상대적으로 주목받지 않던 대기의 질에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구들의 결과는 대기 중에서 오염물질이 증가 또는 축적되는 현상이 사람을 위시한 동·식물에 게도 많은 피해를 초래할 수 있다는 사실을 밝혀 주었다(최진수 외, 1998).

1960년 이후 각국에서는 국민건강의 보호 등을 목적으로 나라별로 각각 일정한 기준을 설정하여 오염물질 농도를 규제하기 시작하였다(김종석, 1991). 환경기준이란, 오염이 진행중인 현재의 대기 또는 수질을 보다 자연상태에 가깝도록 개선해 나가기 위해서, 각 나라별로 달성 가능한 목표치를 설정하는 것을 의미한다. 이러한 법제적 기준의 활용은 사람 및 동·식물의 건강은 물론 재산상에 미치는 피해를 최소화하고, 자연상태에 가까운 환경질로 회복할 수 있는 기반을 제공하는 것을 그 목적으로 한다(김종석, 1991). 대기환경기준의 설정은 우선적으로 건강, 재산, 자연 등을 환경오염으로부터 보호하기 위해서, 어떻게 어느 정도로 기준치를 제시하는 가가 선결요인이라고 할 수 있다.

환경기준에 의하여 대기질을 평가하는 항목은 어느 정도 다양하다. 국내의 경우 대기환경기준은 SO<sub>2</sub>, TSP, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pb 등 7개 항목으로 평가되고 있다(이 중에서 TSP는 2000년 12월을 기준시점으로 제외됨)(민달기, 1999). TSP 또는 PM<sub>10</sub>으로 대별되는 부유분진의 경우, SO<sub>2</sub>와 함께 대기오염의 지표로 사용되어 왔으며, 분진내의 증진속은 다른 유기성 발암물질의 촉진제(promotor) 또는 공동 발암원(carcinogen)으로 작용할 수 있음으로 인체에 매우 유해한 물질로 알려져 있다(최성우, 2000). 실제로 부유분진과 관련된 피해는 여러 가지 현상으로 확인되고 있다. 특히 오늘날 호흡기계 질환자의 수가 계속 증가하고 있을 뿐만 아니라, 폐암 등과 관련된 사망자 수도 지속적으로 증가하는 것으로 밝혀지고 있다. 이러한 현상의 환경적 요인을 설명하기 위해서는, 대기 중의 부유분진과 관련된 여러 가지 현상에 대한 조

사가 필요한 실정이다(이동석, 1997). 특히 대기오염이 인체에 미치는 위해도 평가(risk assessment) 및 대기오염의 관리측면에서 부유분진의 발생원, 구성성분, 오염양상 등에 대한 연구는 매우 중요한 의미를 갖는다(정용 외, 1987).

일반적으로 대기 중의 부유분진에는 토사에 의한 비산먼지, 해염입자, 화분 등과 같은 자연적인 발생원은 물론 산업시설, 가정의 난방과 관련된 인위적인 배출원으로부터 발생한 각종 유기물과 무기물이 포함되어 있다. 따라서 각종 산업시설 및 대형 디젤 자동차의 급격한 증가는 대기 중 부유분진의 농도를 증가시키는 중요한 요소로 작용하고 있다(Tomatis, 1990). 각종 산업시설에서 사용하는 화석연료의 연소 또는 자동차와 같은 인위적인 배출원에 의해 발생하는 먼지는 보통 입径이 10 $\mu$ m 이하의 먼지가 주를 이룬다. 이들 성분은 호흡시 체내에 흡입되기 쉽고, 비표면적이 크고, 각종 유해성분을 함유하고 있다. 따라서 이들의 환경보건학적 중요성이 점차 강조되고 있는 실정이다(최진수와 백성욱, 1998).

최근에는 황사현상 또는 광화학오염 등을 위시한 대기오염현상에 대하여 많은 사회적 관심이 집중되고 있다. 대기오염의 주요 축을 구성하는 미세분진의 중요성을 감안하여, 본 연구에서는 서울시에 소재한 광화문, 남가좌, 오류 등 31개의 대기관측망을 중심으로 1990~2000년 기간까지 관측된 PM<sub>10</sub>과 TSP의 환경기준치 초과 현황을 파악하기 위하여, 이들 초과농도자료만을 추출하여 이들의 과다발생 현상에 대한 경향성을 여러 가지 시·공간적 기준에 맞추어 분석하였다.

## 연구방법

대기오염 자동측정망에서는 현재 기준성 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, TSP, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pb)을 연속적으로 측정하고 있다. 이러한 측정 네트워크를 통하여 측정된 모든 자료는 자동감시체제(TMS)를 통해 관할 환경관리청 및 환경부로 전송되고 있다. 대기오염 자동측정망은 현재 전국 50개 도시에 145개소가 운영되고 있다. 이중 101개소는 환경부에서, 나머지 44개소는 서울시 등 지방자치단체에서 운영하고 있다(환경부, 2000c). 이들 측정소 중 서울시에서 운영하고 있는 대기오염 자동측정망의 위치는 Fig. 1에 그리고 이들의 운영실태는 Table 1에 제시하였다. 본 연구에

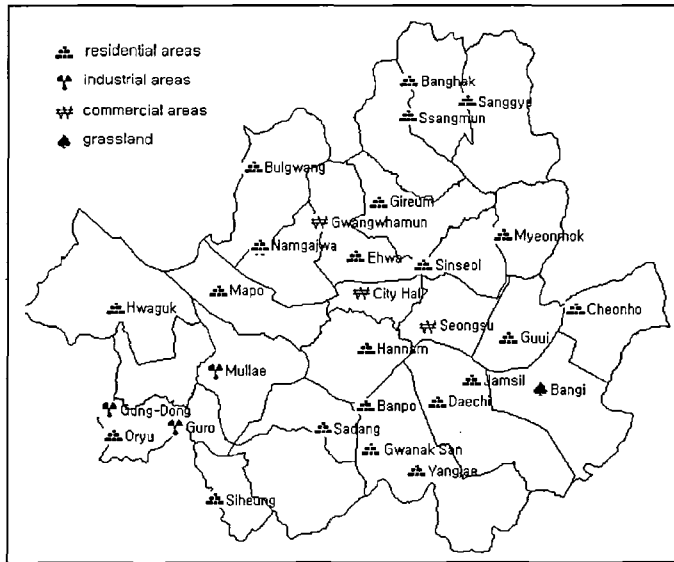


Fig. 1. The map of all air pollution observatory sites located within the territory of the Seoul metropolitan city.

서는 환경부와 서울시가 운영중인 서울시내 31개 지역 대기오염 자동측정망을 중심으로 1990년부터 2000년까지 11년 동안 측정된 자료 중 TSP와 PM<sub>10</sub>에 대한 대기환경기준을 초과한 농도자료만을 선택적으로 분리한 후, 이들 자료에 대해 여러 가지 통계적인 분석을 수행하였다.

특히 본 연구의 대상물질로 선정된 부유분진은 24시간 기준으로 측정되었으며, 하루 13시간 이상 측정된 경우 유효측정일로 간주하였다. 측정방법은 TSP의 경우 고용량 공기포집법(High Volume Air Sampler)을 사용하였고, PM<sub>10</sub>의 경우 베타선 흡수법( $\beta$ -Ray Absorption Method)을 사용하였다(환경부, 2000b). 우리나라 TSP 농도의 일평균 환경기준치는 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 일본 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 미국 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높게 책정되어 있다. 연평균 환경기준치도 역시 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 미국의 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 높다. 이에 반해 PM<sub>10</sub>의 경우 일평균 환경기준치는 TSP의 절반에 달하는 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하고 있다. 그러나 두 성분 모두 월평균 환경기준치는 책정되어 있지 않은 실정이다(Table 2). 자동차의 증가 등으로 인하여, 인체에 유해성이 큰 미세먼지에 대한 관리의 필요성이 증가함에 따라, 미세먼지, 특히 PM<sub>10</sub> 환경기준을 1995년 추가로 설정하였다. 향후에는 미세먼지 관리체제로 전환하기 위하여, 연차적으로 TSP 측정기를 PM<sub>10</sub> 측정기로 대체해 나가고 있는 실정이다(환경부,

2000a).

주어진 초과농도 자료에 대한 다양한 시간적 분석을 하기 위해서, 24시간 기준의 초과 농도를 월평균, 계절평균, 연도별로 구분하여(각각의 주기에 대해) 부유분진의 농도자료에 대한 시간적 변화양상을 살펴보았다. 특히 이러한 분석에서 오염발생이 심각한 지역들에 대한 세밀한 분석결과를 제시하기 위해, 전체 자료에서 TSP와 PM<sub>10</sub>의 기준 초과 지역들을 별도의 기준으로 선택하여 집중적인 분석을 시도하였다. 또한 TSP와 PM<sub>10</sub>의 농도기준 초과현상을 공간적 규모, 특히 토지사용의 특성 등과 연계하여 설명하기 위해, 다음과 같은 방식으로도 추가적인 분석을 수행하였다. 서울시에서 제시한 자료를 기초로 하여 전체 관측 대상지점을 준공업지역, 주거지역, 상업지역, 녹지지역으로 구분한 후, 이들 4대 지역을 대표하는 농도를 계산한 후, 개별적인 분석을 통해 토지사용방식과 초과농도자료의 연계성을 비교해보고자 하였다. TSP와 PM<sub>10</sub>의 초과농도를 보다 체계적으로 설명하기 위해, 여타 오염물질들과의 관계도 다양한 방식으로 비교해 보았다(특히 이러한 비교에서 기준설정 간격이 두 분진과 달리 8시간 기준으로 측정된 O<sub>3</sub>, CO는 다시 24시간기준에 맞게 변환한 후, 비교분석에 사용하였다.). 그리고 마지막으로 환경기준을 초과한 자료들이 기준초과의 유무에 상관없이 일상적으로 관측되는 자료들의 분포특성과 어떻게 차별화 되는가를 설명하

**Table 1.** The site locations and target periods for the measurements of TSP and PM10 exceedance level in Seoul city.

Stn. No	Site Code	Site	TSP		PM10	
			Start point	End point	Start point	End point
1	GR	Guro	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
2	HG	Hwaguk	92-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
3	NGJ	Namgajwa	90-01-01	00-12-31	99-06-01	00-12-31
4	GU	Guui	90-01-01	00-12-31	00-01-01	00-12-31
5	GD	Gung-Dong	90-01-01	00-12-31	00-01-01	00-12-31
6	BP	Banpo	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
7	SS	Seongsu	90-01-01	00-12-31	00-01-01	00-12-31
8	BH	Banghak	90-01-01	00-12-31	95-01-01	98-12-31
9	BI	Bangi	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
10	HN	Hannam	90-01-01	00-12-31	00-01-01	00-12-31
11	EH	Ehwa	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
12	CH	Cheonho	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
13	SD	Sadang	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
14	SH	Siheung	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
15	BD	Beon-Dong	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
16	SJ	Sinjeong	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
17	SG	Sanggye	98-06-01	00-12-31	98-06-01	00-12-31
18	GHM	Gwangwhamun	-	-	00-01-01	00-12-31
19	MM	Myeonmok	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
20	SS2	Sinseol	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
21	BG	Bulgwang	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
22	MP	Mapo	90-01-01	94-12-31	95-01-01	00-12-31
23	ML	Mullae	99-01-01	00-12-31	99-01-01	00-12-31
24	DC	Daechi	90-01-01	00-12-31	99-01-01	00-12-31
25	JS	Jamsil	90-01-01	00-12-31	99-01-01	00-12-31
26	SM	Ssangmun	90-01-01	95-12-31	95-01-01	97-12-31
27	CH	City Hall	90-01-01	00-12-31	95-01-01	00-12-31
28	GAS	Gwanak San	90-01-01	92-12-31	-	-
29	GE	Gireum	90-01-01	00-12-31	00-01-01	00-12-31
30	OR	Oryu	90-01-01	00-12-31	00-01-01	00-12-31
31	YJ	Yangjae	90-01-01	00-12-31	95-01-01	00-12-31

기 위해, PM<sub>10</sub>과 TSP 모두 초과발생율이 높은 것으로 판명된 반포동과 성수동을 택하여 일반자료와 초과자료의 경향성의 차이를 세밀하게 비교해 보았다.

## 결과 및 토론

### 전체 분진자료의 농도분포

Table 3에는 기준 초과현상의 경향성을 설명하기 위해, 기준 초과자료의 발생빈도를 기준으로 선정한 지역들에 대하여 통계처리한 결과를 제시하였다. TSP의 경우, 초과농도가 가장 높은 지역은 상계동(SG(Station No. 17),  $381 \pm 57.2 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=8$ )이었고, 초과농도가 가장 낮은 지역은 잠실동(JS25,  $329 \pm 20.5 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=12$ )이었다. 반면에 빈도수가 가장 높

은 지역은 한남동(HN10,  $344 \pm 38.1 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=92$ )이었고, 빈도수가 가장 낮은 지역은 사당동(SD13,  $373 \pm 39.0 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=5$ )이었다. 농도와 빈도수 모두 높은 지역은 발생율이 2.29%인 한남동(HN10,  $344 \pm 38.1 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=71$ )으로 나타났다. PM<sub>10</sub>의 경우, TSP의 초과양상과는 상당 수준 다른 결과를 보여주었다. 초과농도가 가장 높은 지역은 문래동(ML23,  $221 \pm 44.4 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=10$ )이었고, 초과농도가 가장 낮은 지역은 구의동(GU4,  $176 \pm 22.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=14$ )으로 나타났다. 반면에 빈도수가 가장 큰 지역은 방학동(BH8,  $192 \pm 53.9 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=51$ )이었고, 기준 농도를 초과한 횟수가 가장 적은 지역은 방이동(BI9,  $178 \pm 25.5 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $N=2$ )으로 확인되었다. 또한 PM<sub>10</sub>의 농도와 빈도수가 모두 높은 지역은 발생률이 5.16%

**Table 2.** The maximum allowable level enforced by the Korean Ministry of the Environment since 1993 for the regulations of atmospheric criteria pollutants.

	Standard	Experimental method*
SO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.03ppm (an annual average)</li> <li>• 0.14ppm (24hr-average)</li> <li>• 0.25ppm (1hr-average)</li> </ul>	Pulse U.V. Fluorescence Method
CO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 9ppm (8hr-average)</li> <li>• 25ppm (1hr-average)</li> </ul>	Non-Dispersive Infrared Method
NO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.05ppm (an annual average)</li> <li>• 0.08ppm (24hr-average)</li> <li>• 0.15ppm (1hr-average)</li> </ul>	Chemiluminescent Method
TSP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150mg m<sup>-3</sup> (an annual average)</li> <li>• 300mg m<sup>-3</sup> (24hr-average)</li> </ul>	High Volume Air Sampler Method
PM10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80mg m<sup>-3</sup> (an annual average)</li> <li>• 150mg m<sup>-3</sup> (24hr-average)</li> </ul>	β-Ray Absorption Method
O <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.06ppm (8hr-average)</li> <li>• 0.1ppm (1hr-average)</li> </ul>	U.V. Photometric Method
Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.5mg m<sup>-3</sup> (3 months average)</li> </ul>	Atomic Absorption Spectrophotometry

\*For reference, the common methodologies used for their determinations are also provided.

인 변동(BD15,  $203 \pm 54.1 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 48)이었다.

오염발생이 심각한 지역들에 대해 보다 세밀한 분석을 제시하기 위해, 전체 자료들 중 TSP와 PM<sub>10</sub>의 기준 초과횟수가 전체 비교대상기간인 1990~2000년까지 30회 이상인 지역들을 택하여 여러 가지 경향성을 살펴보았다. TSP의 경우, 초과횟수가 30회 이상인 지역은 모두 8개 지역(구로동, 남가좌동, 반포동, 한남동, 쌍문동, 오류동, 성수동, 방이동)으로 확인되었다. 구로동(GR1,  $352 \pm 47.2 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 33) 측정망의 경우, 공단의 대기질 측정에 최적인 지역에 설치되어, 90년 초까지는 높은 초과발생 빈도수를 보였다. 그러나 이 지역의 공단 규모가 서서히 감소하면서, 최근에는 이러한 현상이 거의 발견되지 않고 있다. 상업지역인 성수동(SS7,  $364 \pm 52.9 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 71) 측정망 역시 90년 초에 많은 빈도수를 보였으나, 2000년에 접어 든 후 점차 줄어드는 추세에 있다.

PM<sub>10</sub>의 경우 초과횟수가 30회 이상인 지역의 TSP의 결과와 상당히 다르게 반포동, 방학동, 이화동, 천호동, 번동, 신정동, 상계동을 포함하는 7개 지역으로 나타났다(이들 지역에 설치된 측정소는 모두 주거지역으로 분류된다.). 이 지역들의 초과농도는 여타 지역에 비해 상대적으로 미미하지만, 전반적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 반면에 초과빈도는 1998년 측정을 개시한 이후, 꾸준히 증가하고 있다. PM<sub>10</sub>의 기준을 빈번히 초과하는 지역의 면면을 살펴보면, 번

동(BD15,  $203 \pm 54.1 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 48)은 도로변과 인접한 특성, 상계동(SG17,  $199 \pm 48.8 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 35)은 중앙시장과 인접, 신정동(SJ16,  $190 \pm 40.0 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 40)은 바로 옆에 중·고등학교(학교운동장 등과 같은 분진발생원 존재)와 인접, 이화동(EH11,  $198 \pm 53.2 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 39)과 천호동(CH12,  $191 \pm 44.0 \mu\text{g m}^{-3}$ , N = 39)은 주위에 상권이 발달된 주거지역의 특성 등을 지니고 있다. 이들 모든 지역은 특히 2000년에 들어 초과횟수의 발생빈도가 뚜렷하게 증가하는 것으로 보인다. 그런데 이와 같이 크기가 다른 분진들의 기준농도 초과현상의 결과를 비교해 보면, 어느 정도 지역적 경향성의 차이가 존재하는 것 처럼 보인다. 실제로 이러한 가능성을 확인하기 위해, 모든 관측점으로부터 확인된 PM<sub>10</sub>과 TSP의 초과농도 발생빈도만을 이용하여 양자간의 상관성분석을 시도해 본 결과, 양자간에는 상관성이 거의 미미한 수준이란 것을 알 수 있었다. 이러한 비교결과는 양자의 기준 초과현상에는 상당한 차이가 존재한다는 것을 구체적으로 확인시켜 준다.

#### 공간적 농도분포의 경향성-토지이용 사례별 분포

토지의 이용형태에 따라 분류된 지역별로 부유분진의 초과발생 경향성을 알아보기 위해, 우선적으로 분석대상인 31개 지역을 주거지역, 상업지역, 준공업지역, 녹지로 구분하였다. 그리고 이들 지역의 특성에

**Table 3.** A statistical summary of 24hr-averaged, PM10 and TSP data that are measured to exceed the environmental standard. For the purpose of our study, the data exceeding environmental standard value of 150 (PM10) and 300mg m<sup>-3</sup> (TSP) were used for this comparison. All study sites are classified in terms of land use type. (Unit: µg m<sup>-3</sup>)

Class	Station#	Mean	SD	SE**	Min	Max	N	Rel freq.(%)
A. TSP								
Industrial areas	GR*	351.64	47.23	8.22	302	557	33	1.81
	GD	366.00	60.29	15.07	303	534	16	0.40
	HG	343.00	20.70	7.83	327	373	7	0.64
	NGJ*	367.07	54.29	8.09	302	538	45	1.12
	GU	364.13	24.13	63.55	301	460	8	0.22
	BP*	352.47	41.24	7.07	301	445	34	1.86
	BH	337.63	20.53	7.26	316	369	8	0.20
	HN*	343.97	38.08	3.97	301	493	92	2.29
	EH	376.10	62.40	19.73	304	476	10	1.10
	Residential areas	CH	367.33	57.24	16.52	305	453	12
SD		373.20	39.01	17.45	320	428	5	0.55
SH		342.67	33.36	13.62	310	387	6	0.66
BD		360.11	37.15	12.38	312	429	9	0.99
SJ		344.38	34.88	12.33	307	403	8	0.88
SG		380.88	57.23	20.23	306	473	8	0.88
JS		328.75	20.53	5.93	304	375	12	0.30
SM*		352.37	42.48	7.18	301	455	35	1.60
OR*		362.20	51.46	8.70	301	485	35	0.87
YJ		358.52	41.08	8.22	307	455	25	0.62
Commercial areas	SS*	363.87	52.89	6.28	301	494	71	1.77
Grassland	BI*	344.78	33.16	5.86	301	426	32	2.19
Commercial areas	GHM	210.33	38.89	22.45	175	252	3	0.82
	CH	191.00	16.87	8.44	167	206	4	0.18
Grassland	BI	178.00	25.46	18.00	160	196	2	0.09

따라 먼지의 초과발생과 관련한 여러 가지 통계결과를 Table 4에 제시하였다. 먼저 월 단위로 구분된 자료부터 각 토지 이용 상태별 환경기준 초과 분진 농도의 분포형태를 비교해 보았다. 그 결과, TSP의 경우, 전반적인 초과농도의 크기는 녹지 < 주거 < 상업 < 준공업지역 순서로 증가하는 양상을 보여주었다. 준공업지역에서 351±35.9µg m<sup>-3</sup>로 가장 높은 농도를 보였다. 반면 초과 빈도수는 주거지역에서 360회로 가장 많이 일어났다. 그런데 측정점의 숫자가 지나치게 주거지역에 편중되었다는 점을 감안하여, 각 지역별 측정망수로 초과횟수를 나눈 후 이들의 발생빈도를 상대적인 관점에서 비교해보았다. 그 결과 녹지지역이 32회로 다른 지역(준공업 25회, 상업 23회, 주거 21회)에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 아직까지 녹지지역의 측정망수가 절대적으로 부족하기 때문에 이와 같은 결과를 정확한 경향이라고 결론 짓기 위해서는 추가적인 분석이 필요한 것으로 보인다. 그

러나 중요한 사실은 (아래에 제시한) PM<sub>10</sub>의 경향과는 달리, 주거지역에서 확연하게 낮은 상대발생빈도를 띠는 점에 주목할 필요가 있다.

PM<sub>10</sub>의 경우, 전반적인 초과농도는 준공업 < 상업 < 녹지 < 주거지역 순서로 증가하는 양상을 보여주었다. 이 중 주거지역에서 183±42.4µg m<sup>-3</sup>의 최고농도가 확인된 반면, 준공업지역에서는 176±20.4µg m<sup>-3</sup>으로 근소한(7.4µg m<sup>-3</sup>) 차이로 최소 초과농도값을 보였다. 초과횟수도 역시 주거지역이 442회로 다른 곳에 비해 많이 발생하였음을 알 수 있다. TSP의 경우와 같이 상대적인 관점에서 초과발생 빈도를 비교하기 위해 각 지역별 측정망수로 나누었을 때도, 역시 21회로 다른 지역(준공업 15회, 상업 8회, 녹지 2회)에 비해 주거지역의 초과횟수가 많은 것을 확인할 수 있다. 이는 주거지역에도 다양한 배출원이 존재할 수 있다는 점을 강하게 시사하는 것으로 보인다. 계절적 농도변화를 보면 여름에는 준공업지역이

Table 3. Continued.

Class	Station#	Mean	SD	SE**	Min	Max	N	Rel freq.(%)
B. PM 10								
Industrial areas	GR	181.00	36.05	7.36	152	314	24	1.10
	GD	179.64	30.60	9.23	152	251	11	3.01
	ML	221.20	44.44	14.05	164	285	10	1.37
Residential areas	HG	190.11	39.96	9.17	153	291	19	0.87
	NGJ	187.07	37.15	9.93	151	256	14	2.55
	GU	175.60	22.64	7.16	151	223	10	2.74
	BP*	179.16	40.84	7.33	151	316	31	1.42
	BH*	192.18	53.92	7.55	151	395	51	13.97
	HN	200.14	28.45	10.75	166	236	7	1.92
	EH*	198.38	53.16	8.51	150	384	39	4.27
	CH*	190.85	44.12	7.07	153	293	39	4.27
	SD	212.46	50.79	14.09	151	315	13	1.42
	SH	192.92	39.25	8.01	151	279	24	2.63
	BD*	202.65	54.06	7.80	151	378	48	5.26
	SJ*	190.30	39.98	6.32	151	303	40	4.38
	SG*	199.17	48.75	8.24	151	345	35	3.83
	MM	177.25	20.19	10.09	156	195	4	0.18
	SS2	184.29	31.27	11.82	151	233	7	0.32
BG	204.25	27.68	13.84	175	237	4	0.18	
MP	205.56	45.99	15.33	157	289	9	0.41	
DC	191.69	40.15	10.04	151	272	16	2.19	
JS	178.33	21.55	12.44	154	195	3	0.41	
SM	176.83	25.74	4.78	151	269	29	1.32	
Commercial areas	SS	177.18	26.36	6.39	152	252	17	4.66
	GHM	210.33	38.89	22.45	175	252	3	0.82
	CH	191.00	16.87	8.44	167	206	4	0.18
Grassland	BI	178.00	25.46	18.00	160	196	2	0.09

#For the full information concerning the name for each station, refer to Table 1.

\*Sites that exhibit the exceedance data more than 30 times are all marked.

\*\*SE = standard error

높은 반면, 겨울에는 주거지역이 높은 것을 볼 수 있다. 이런 결과를 보면, PM<sub>10</sub>은 주거지역에서 주로 발견할 수 있는 공사현장 및 운동장과 같은 직접적인 발생원에 의해 많이 영향받는다는 것을 추정할 수 있다.

이들 초과자료에 대한 계절적 농도변화를 보면 여름과 겨울에 모두 준공업지역에서 높은 농도를 보였다. Fig. 2에는 공간적인 기준으로 구분된 TSP 자료 군에 대한 초과농도의 평균값과 발생빈도를 비교하였다. Fig. 3에는 동일한 분석을 PM<sub>10</sub>에 적용하였다. 두 그림의 빈도분포는 모두 공간적으로 분류된 자료 군에 관측점 총 갯수의 차이가 현저하다는 점을 감안하여, 각자의 총 지점 수로 초과빈도수를 나누어 준 후, 계절별로 그래프를 그린 것이다. Fig. 2와 Fig. 3에 제시된 결과를 전체적으로 보면, 두 가지 중

류의 분진 관측 결과 모두, 계절별 초과농도의 크기의 상대적 경향성은 현격한 차이를 보이지 않는 것으로 나타난다. 그렇지만 발생빈도의 경우, TSP가 상대적으로 겨울철에 높게 나타나는데 반해, PM<sub>10</sub>은 봄철에 뚜렷하게 높다는 점에 주목할 필요가 있을 듯 하다. 이와 같은 차이는 입경이 상대적으로 작은 PM<sub>10</sub>은 봄철 발생하는 황사와 같이 외부 오염원의 영향에 상대적으로 민감한 반면, TSP의 경우 겨울철 낮은 혼합고 또는 강한 풍속 등의 영향으로 지역적 배출이 중요하게 작용할 가능성을 시사하는 것으로 보인다.

### 시간적 농도분포

월변화: 분진농도의 기준초과현상에서 시간적 반복성 또는 경향성의 유무를 확인하기 위한 방편으로,

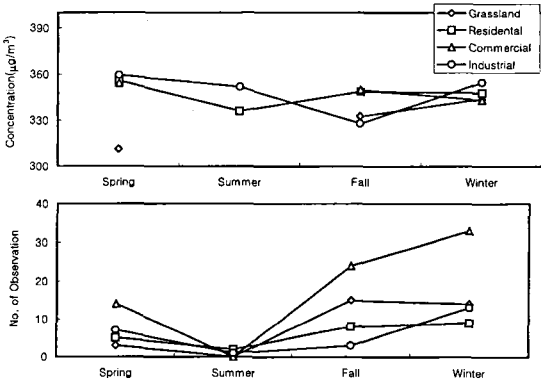


Fig. 2. Seasonal mean concentrations and frequency distribution patterns of TSP data exceeding the environmental guidance level are compared among data groups divided on the basis of land use type.

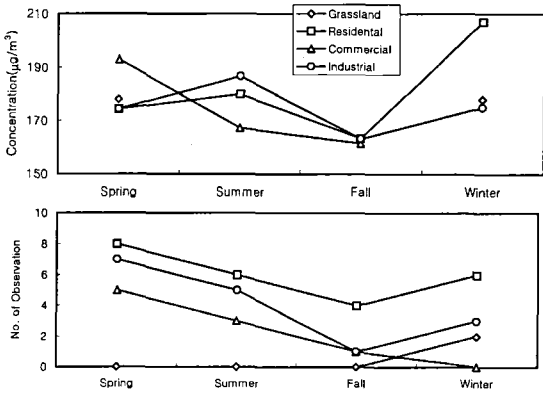


Fig. 3. Same as Fig. 2 but for PM10.

30회 이상 초과치를 보인 각 관측지의 자료를 취합하여 집중적인 분석을 시도하였다. 이들 지역에서 24시간 단위로 측정된 자료를 월별로 취합 분류하여, 월 대표값을 산출하였다(Fig 4). TSP의 초과농도는 9월에 급감한 경향을 제외하고는 봄, 겨울철에 높고, 여름철에 낮은 초과농도를 보이는 것으로 나타났다. 대체로 많은 지역에서 관측된 PM<sub>10</sub> 농도의 경우, 1월에 가장 높고, 점차 낮아지다가 8월에 소멸, 10월이 지나면서 서서히 증가하는 경향을 보인다. 정확한 원인을 제시하기는 어렵지만, 이들 초과자료의 농도 대 빈도의 관계는 일반 자료에서 발견할 수 있는 상호간의 관계와는 상당히 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 초과빈도는 두 성분 모두 4월에 가장 많은 발생빈도를 보이는데, 이는 대규모의 먼지가 유입되는 황사현상의 영향 외에도, 봄철에 각종 건설공사

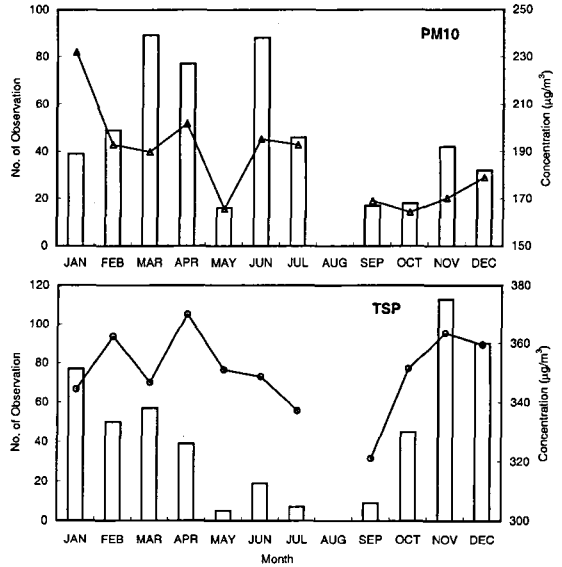


Fig. 4. Temporal variation of PM10 and TSP over monthly scale. The sites that recorded the concentrations above the guidance level for more than 30 times were selected for this computation. Frequency is compared using bar chart, while that for concentration is made by triangle.

등의 발주가 빈번한 현상 등의 영향도 어느 정도 반영된 것으로 짐작된다. 과거의 선행 연구들을 보면 봄철 특히 4월(또는 3월) 기간에 황사의 발생빈도가 최고를 기록하는 경우가 뚜렷하게 확인된다(김기현 외, 2002). 또한 8월에는 초과현상을 거의 발견할 수 없는데, 이는 대기의 불안정으로 인해 혼합고가 높아지고, 이 시기에 발견되는 강수현상 등의 영향으로 인하여 대기중의 부유분진이 상당량 세척제거(wash out) 되는데 따른 영향으로도 분석할 수 있다(김우규 외, 1995).

계절변화: 앞에서 1차적으로 월별 단위로 전환한 자료를 다시 계절별(봄: 3~5월, 여름: 6~8월, 가을: 9~11월, 겨울: 12~2월)로 재분류하였다. 전체 31개 지역 중에서 초과횟수가 30회 이상인 지역을 보면, TSP의 경우 8지역(구로, 남가좌, 반포, 한남, 쌍문, 오류, 성수, 방이), PM<sub>10</sub>의 경우 7지역(반포, 방학, 이화, 천호, 번동, 신정, 상계)이 나타난다. 먼저 TSP 초과농도의 발생횟수를 보면, 겨울(175회)에는 높게 나타났고, 여름(9회)에는 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 농도는 가을(360±17.8 µg m<sup>-3</sup>)과 겨울(353±17.8µg m<sup>-3</sup>)에 약간 높게 나타났으나 빈도수만큼 확



**Table 4.** A statistical summary of seasonal mean values for those exceeding PM<sub>10</sub> and TSP environmental standards. The data sets are sorted into land-use characteristics. (Unit:  $\mu\text{g m}^{-3}$ )

	Total	Spring	Summer	Fall	Winter
A. TSP					
Industrial areas	351.0±35.9 (49) <sup>A</sup> 303~437 <sup>B</sup>	359.5±52.4 (13) 303~437	351.8±32.9 (3) 329~375	327.9±13.1 (7) 313~340	354.6±28.1 (26) 325~402
Residential areas	348.1±32.1 (360) 305~463	355.8±42.6 (72) 305~463	336±10.6 (23) 326~351	348.8±35.4 (121) 309~430	347.9±20.3 (144) 315~373.4
Commercial areas	348.5±33.5 (23) 302~435	354.3±39.2 (14) 315~435	-	350.0±37.7 (24) 302~394	343.1±29.2 (33) 304~397
Grassland	333.6±23.1 (32) 301~371	311.2±5.9 (3) 307~318	-	332.7±26.0 (15) 301~371	343.8±20.3 (14) 312~369
B. PM <sub>10</sub>					
Industrial areas	175.5±20.4 (45) 152~211	174.4±25.5 (20) 152~211	186.7±16.0 (13) 172~209	163.3±13.1 (3) 153~178	175.0±21.1 (9) 153~199
Residential areas	182.9±42.4 (442) 151~386	174.4±18.0 (147) 154~209	180.0±12.7 (114) 164~196	163.4±8.0 (72) 151~175	207.0±69.3 (109) 156~386
Commercial areas	176.4±18.7 (24) 152~194	192.9±2.6 (15) 191~194	167.3±21.7 (7) 152~183	161.5 (2) -	- -
Grassland	178±25.5 (2) 160~196	-	-	-	178±25.5 (2) 160~196

A denotes mean and 1 SD with its frequency in the parenthesis.

B denotes range.

실한 차이를 보이지는 않았다. PM<sub>10</sub>의 경우 초과횟수가 봄(94회)에 절대적으로 많았고, 가을(52회)엔 상대적으로 적게 나타났다. 또한 평균초과농도를 살펴본 결과, 겨울( $213 \pm 21.7 \mu\text{g m}^{-3}$ )에 고농도의 수치를 보여주었다. Fig. 5는 이들 중 초과빈도가 가장 많거나 가장 적은 곳을 선택하여 비교하여 본 것이다. TSP의 경우 가장 높은 초과횟수를 보인 곳은 한남동(HN10)이었고, 가장 낮은 초과횟수를 보인 곳은 방이동(BI9)이었다. 초과빈도수가 가장 큰 한남동(HN10, 92회)에서만 하저동고의 경향성을 확인할 수 있었고, 다른지역에선 뚜렷한 경향을 찾아보기 힘들었다. PM<sub>10</sub>의 경우 가장 높은 초과횟수 (N=51)를 보인 곳은 반포동(BP6)이고 가장 낮은 초과횟수 (N=31)를 보인 곳은 방학동(BH8)이었다. 겨울에 초과농도가 상대적으로 매우 높은 것을 확인할 수 있었다. 그러나 초과빈도에서는 뚜렷한 경향성을 확인할 수 없었다. 이는 전체 초과자료와는 다른 결과로서, 계절적 경향을 대표할 수 있는 결과는 아니라 판단된다. 주요 대기오염물질의 계절적 변화양태는(오존과 같은 경우를 제외하면), 대부분 겨울이 여름철보다 높게 나타나는 경향성을 가지고 있다(Lu, 2002). 우리 나라는 기상특성상 겨울철에 고기압대의

영향으로 대기의 난류확산이 여름철보다 약해지고 강수와 같은 제거작용이 약화되는 것에 따른 영향이 뚜렷하게 나타난다. 또한 PM<sub>10</sub>과 TSP 농도의 연관성에 대한 연구 결과에 따르면, 각종 산업체의 열공급 시설 가동이나 가정난방 등에 필요한 연료류의 연소를 통해, 배출되는 PM<sub>10</sub>의 영향으로 동절기의 PM<sub>10</sub>/TSP 비율은 높게 나타난다. 실제로 인위적 배출원의 영향이 비교적 작은 하절기에 비하여 분율값이 약 10%에 가까운 차이를 띠는 연구결과도 발표된 바 있다(최진수와 백성욱, 1998).

연변화: 긴 시간적 범위에서 진행되는 부유분진의 농도변화양상과 발생빈도수를 파악하기 위해, 전체 관측기간동안 취합된 자료를 종합적으로 분석해 보았다(Fig. 6). 관측기간동안 측정지점수가 지속적으로 변화하였다는 점을 감안하여, 그림에는 각 성분의 관측점수에 대한 변화를 동시에 비교할 수 있게 제시하였다(Fig. 6, N-TSP, N-PM<sub>10</sub>). PM<sub>10</sub>의 경우 95년 이래 지속적으로 관측점이 증가하였으나, TSP의 경우 95년 이래 일정하게 감소하다가 다시 98년부터 예전 수준을 회복한 것으로 보인다. 전체적인 경향은 이들 관측점 수의 변화도 어느 정도 반영한 것으로

**Table 5.** Comparison of seasonal distribution patterns of PM10 and TSP for stations with data exceeding the guidance level by more than 30 times for the whole study period (Unit:  $\mu\text{g m}^{-3}$ )

A. TSP										
	GR	NGJ	BP	BI	SS	SM	OR	HN		
spring	349.3±39.7 (7)A 313~405B	385±33.9 (2) 361~409	362.3±46.8 (8) 305~435	331.3±5.85 (3) 307~318	363±53.9 (14) 307~475	323.5±26.2 (2) 305~342	324.8±16.3 (4) 308~347	340±36.7 (16) 304~417		
summer	334±26.9 (3) 326~375	318.2±11.5 (4) 302~329	385 (1) 385~385	307~318	307~475	305~342	308~347	317.1 317~317		
fall	332.2±26.5 (6) 303~377	371.9 ± 53.5 (22) 302~498	380.3±44.6 (8) 309~445	348.2 ± 39.2 (15) 301~426	375.1±56.6 (24) 302~494	354.9±38.4 (13) 310~455	375.4±61.0 (16) 301~485	343.6±34.3 (33) 304~430		
winter	360.8±57.6 (17) 302~557	370.2±59.8 (17) 307~538	332.9±227.8 (17) 301~414	348.3±25.9 (14) 311~387	356.1±49.8 (33) 301~482	353.6±46.6 (20) 301~447	358.1±42 (15) 305~442	346.3±42.2 (42) 301~493		

B. PM 10										
	BP	BH	BD	SG	SJ	EH	CH			
spring	165.1±15.4 (14) 152~208	170.7±18.6 (3) 158~192	195.3±36 (20) 157~274	214.2± 47.5 (12) 156~ 307	196.57 ±42.5 (14) 151~ 276	199.8±38.7 (12) 154~280	195.1±48 (19) 153~282			
summer	191.8±38.7 (12) 157~271	174.9±22.1 (10) 152~218	224.9±75.8(13) 152~378	199.8 ±31.5 (5) 154 ~241	201.5 ±20.7 (6) 164~ 227	200.9±41.2 (8) 152~267	183.3±17.7 (6) 170~216			
fall	156.3±5 (3) 151~161	156±5.7 (2) 152~160	172±17.2(8) 151~197	169.6 ±18.4 (8) 151 ~199	169.1 ±19.7 (14) 152~ 215	167.5±15 (13) 153~194	172.8±2.5 (4) 170~176			
winter	214.5±69.2 (22) 151~395	186.3±53.3 (16) 151~316	217.3 (7) 156~330	204.5± 66.3 (10) 154~ 345	213.8 ±64.4 (6 ) 151~ 303	259.3± 91.1 (6) 150 ~384	194.5±56.5 (10) 153~293			

A denotes mean and 1 SD with its frequency in the parenthesis.

B denotes range.

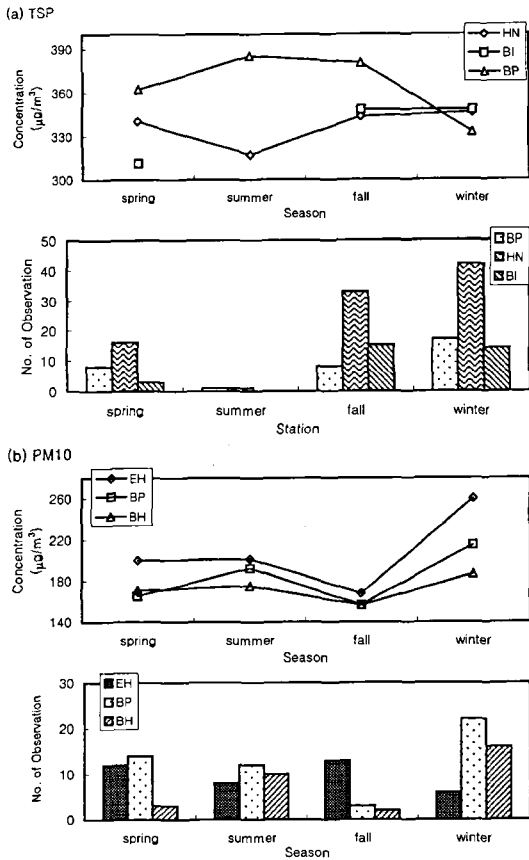


Fig. 5. Comparison of seasonal distribution patterns of PM10 and TSP for stations with data exceeding the guidance level by more than 30 times.

보이므로, 자료의 해석에서 이러한 부분에 유의할 필요가 있다.

우선적으로 TSP의 초과반도 경향성을 보면, 1990년도부터 1995년도까지 계속 감소추세를 보이나, 1998년 이후 차츰 증가하는 추세에 있다. 1995년 이후 약 3년 동안 환경기준 초과횟수가 거의 없는 것을 볼 수 있는데, 이것은 TSP가 매년 감소추세에 있다는 사실과 1995년 이후 새롭게 PM<sub>10</sub>의 중요성이 대두되면서, 측정항목이 TSP에서 PM<sub>10</sub>으로 변경된 영향을 동시에 감안하여야 할 것으로 보인다. TSP농도의 경우, 환경기준 초과농도가 거의 매년 약 350 µg m<sup>-3</sup> 수준으로 비슷한 상황을 유지하고 있다. PM<sub>10</sub>의 경우, 1995년 이후부터 측정되었으며 관측을 시작한 이후 초과농도의 발생횟수가 꾸준히 증가하다가 2000년에 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다.

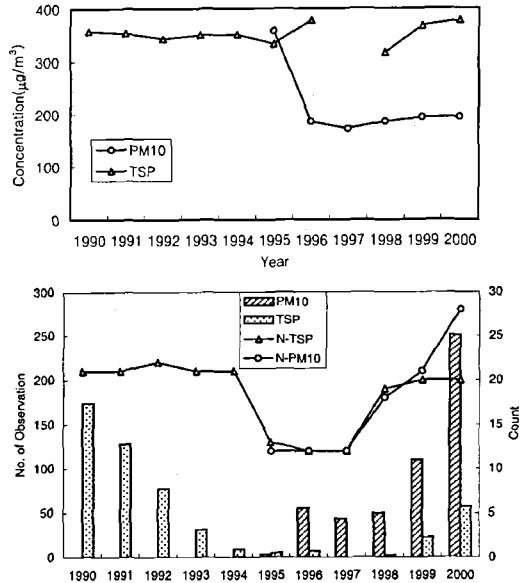


Fig. 6. Annual trend of PM10 and TSP concentration exceeding the guidance level between 1990 and 2000. Comparison is made for both concentration and frequency.

PM<sub>10</sub>의 평균농도를 보면, 관측을 시작한 1995년도에는 매우 높은 농도를 나타내다가, 1996년에 감소한 후 매년 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있다.

### 일반자료와 초과자료의 비교

부유분진의 일반적 농도분포와 초과농도자료간의 연계성을 확인하기 위하여, 모든 PM 성분의 오염이 비교적 현저한 반포지역과 성수지역을 택하여, 이들 지역에서 10년(1991년~2000년)간 측정된 모든 자료(초과이하 및 초과이상농도)와, 앞서 분석에 활용된 환경기준을 초과한 부분만을 선택하여 분석한 자료의 경향성을 동시에 비교해 보았다(Fig. 7: N=일반자료, E=초과자료). 또한 두 자료간의 농도를 표준화하여 상대적인 관점에서 비교해 보았다. 반포지역은 PM<sub>10</sub>과 TSP 모두 전체관측기간 중 초과횟수가 30회 이상이다. 성수지역의 경우, PM<sub>10</sub>은 2000년 1년 동안만 측정이 되었으나, PM<sub>10</sub>과 TSP 모두 발생율이 높았다.

우선 두 자료의 계절적인 분포경향을 확인해 본 결과, 초과농도만을 선택하여 분석한 그래프에선 일반적으로 예측되는 분진의 계절적 경향을 뚜렷이 확인해 볼 수 없었다. 특히 여름과 가을에 높은 초과농

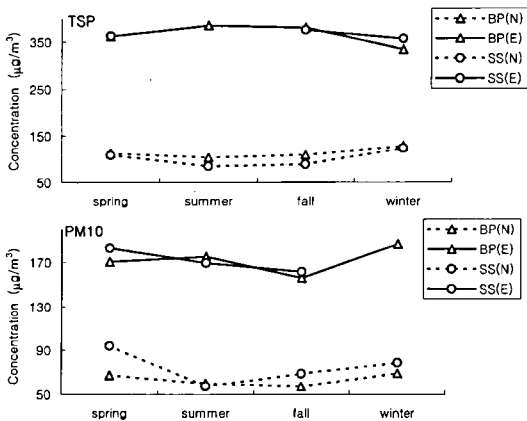


Fig. 7. Comparison of PM concentrations between exceedance (E) and normal (N) data sets. Comparison is made for two stations of BP and SS.

도를 보이는데, 이는 양 계절 모두 초과횟수가 10회 미만이어서 대표성을 가질 수 없을 것이라 생각된다. 이에 반해 일반자료의 그래프에서는 하저동고의 뚜렷한 결과를 보여주었다. 이러한 점을 감안할 때 초과농도와 일반 농도간에 계절별 경향이 일정 수준 이상의 차이가 존재할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 특히 TSP에서 뚜렷하게 나타난다.

이들 비교자료를 이용하여 연도별 초과발생의 경향을 비교해 보았다. TSP의 경우, 반포동에서는 1995년 이후 TSP에 대한 측정을 멈추었기 때문에 10년간 계속적으로 측정이 되어온 성수동을 비교하였다. PM<sub>10</sub>의 경우, 성수동에서는 2000년부터 PM<sub>10</sub>에 대한 측정이 이루어졌기 때문에 1995년 이후 측정이 된 반포동을 비교하여 보았다. TSP의 경우, 초과농도 자료에서 1991년 이후 꾸준히 감소하는 경향을 보이다가 1996년에 갑자기 상승하는 것을 볼 수 있다. 그 이후 3년간 초과농도가 발생하지 않다가 2000년에 들어 기준농도를 초과하는 현상이 재현되는 것을 확인할 수 있었다. 일반농도자료에서도 초과농도자료와 비슷하게 1999년까지 꾸준히 감소하다가 2000년에 들어 갑자기 증가하였다. PM<sub>10</sub>의 경우 초과농도 자료는 1995년 이후 급격히 감소하여, 1998년까지 점차적으로 감소하다 그 이후 다시 조금씩 증가하는 경향을 보인다. 일반농도자료는 1995년 이후 꾸준히 감소하다, 1999년 잠시 증가하는 것을 보이나 2000년에 다시 감소하였다.

이와 같은 결과들을 취합해 보면 아직까지 전체적

으로 수년주기의 경향에서는 일반적인 농도자료와 초과자료의 차이가 명확하지 않은 반면, 계절적인 주기에서 상대적으로 그 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

### 부유분진의 농도를 조절하는 인자들

연구대상 물질인 TSP와 PM<sub>10</sub>의 초과농도자료와 다른 기준성 측정물질들(NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO)의 초과농도 자료간에 존재하는 상관성 유무를 확인하는 것 또한 도심지역에서의 분진의 초과농도자료의 발생경향을 해석하는데 큰 의미를 지닌다. 이를 확인하기 위해 8시간 기준으로 측정된 CO와 O<sub>3</sub>의 초과농도 자료를 PM<sub>10</sub>과 비교하기 위해 24시간 기준으로 환산하였고, NO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub>의 초과농도는 24시간 기준으로 측정된 자료만을 사용하였다(Table 6). 상관분석 결과 TSP의 경우 준공업지역인 구로동(GR1)과 상업지역인 성수동(SS7)에 SO<sub>2</sub>와의 상관성이 각각 0.766(P < 0.01)과 0.480(P < 0.05)으로 높게 나타났다. 또한 주거지역인 남가좌동(NGJ3), 오류동(OR30), 한남동(HN10)에서는 CO와의 상관계수가 각각 0.509(P < 0.05), 0.835(P < 0.05), 0.896(P < 0.05)으로 높게 나타났다. 이처럼 주거지역과 준공업, 상업지역에서 인자들간의 상관성이 다르게 나타나는 이유는 발생원의 차이와 같은 요인이 중요하게 작용한 것으로 사료된다. 준공업이나 상업지역에서는 화석연료의 사용이 많아 연소시 발생하는 SO<sub>2</sub>와 상관성이 높고, 주거지역의 경우 자동차에서 많이 배출되는 CO와의 상관성이 큰 것으로 사료된다. PM<sub>10</sub>의 경우, TSP과의 상관성이 높게 나타난 지역은 비교적 발생빈도가 많은 천호동(CH12), 신정동(SJ16), 상계동(SG17)이었다. 이들의 상관계수는 각각 0.804(P < 0.01), 0.881(P < 0.01), 0.796(P < 0.05)이며 모두 주거지역으로 나타났다. 이에 반해, PM<sub>10</sub>과 다른 성분들과는 뚜렷한 상관성을 찾기 어려웠다. 그러나 다른 연구 논문에서 PM<sub>10</sub>과 가스상 물질과의 높은 상관관계를 밝힌 바 있다(Querol *et al.*, 2001). 이와 같은 결과에 따르면 TSP와 PM<sub>10</sub>의 초과농도가 발생하는 현상은 발생과 소멸이 어느 정도 국지적 배출원의 영향을 받고 있음을 확인할 수 있다.

### 요약 및 결론

1990년부터 2000년의 기간동안 서울시에 위치한 대기오염 측정망으로부터 관측된 TSP와 PM<sub>10</sub>자료를

**Table 6.** Results of correlation analysis between the criteria pollutant data sets that were exceeding the environmental guidance level for the period between 1990 and 2000.

	PM <sub>10</sub>	TSP	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
(1) All stations						
PM10	1					
TSP	0.306	1				
NO <sub>2</sub>	0.148	-0.235	1			
O <sub>3</sub>	-0.306	-0.112	-0.073	1		
SO <sub>2</sub>	-	0.220 <sup>I</sup>	-0.251	-	1	
CO	-	0.532 <sup>III</sup>	-0.043	-	-0.06	1
(2) GR						
PM10	1					
TSP	0.986	1				
NO <sub>2</sub>	-	-	1			
O <sub>3</sub>	-	-	-	1		
SO <sub>2</sub>	-	0.766 <sup>III</sup>	-	-	1	
CO	-	0.858	-	-	0.356	1
(3) NGJ						
PM10	1					
TSP	0.516	1				
NO <sub>2</sub>	-	1	1			
O <sub>3</sub>	-	-	-	1		
SO <sub>2</sub>	-	0.049	-	-	1	
CO	-	0.509 <sup>II</sup>	-	-	0.066	1
(4) SS						
PM10	1					
TSP	0.794	1				
NO <sub>2</sub>	-	-0.763 <sup>I</sup>	1			
O <sub>3</sub>	-	-	-	1		
SO <sub>2</sub>	-	0.480 <sup>II</sup>	0.947	-	1	
CO	-	-	-	-	-	1
(5) SM						
PM10	1					
TSP	-	1				
NO <sub>2</sub>	-0.271	-	1			
O <sub>3</sub>	-	-	-	1		
SO <sub>2</sub>	-	0.191	-	-	1	
CO	-	0.315	-	-	0.456	1
(6) HN						
PM10	1					
TSP	-	1				
NO <sub>2</sub>	0.969	-	1			
O <sub>3</sub>	1	-	-	1		
SO <sub>2</sub>	-	0.138	-	-	1	
CO	-	0.896 <sup>II</sup>	-	-	-	1

이용하여, 대기환경기준을 초과한 농도자료들에 대한 여러 가지 경향성 유무를 확인하기 위한 분석을 실

시하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 확인 (또는 유추)하였다.

Table 6. Continued.

	PM10	TSP	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
(7) BH				
PM10	1			
TSP	-	1		
NO <sub>2</sub>	0.242	-	1	
O <sub>3</sub>	-0.581	-	-	1
(8) BD				
PM10	1			
TSP	0.501	1		
NO <sub>2</sub>	1	-	1	
O <sub>3</sub>	0.100	-	-	1
(9) SG				
PM10	1			
TSP	0.796 <sup>II</sup>	1		
NO <sub>2</sub>	-0.451	-	1	
O <sub>3</sub>	-1	-	-	1
(10) SJ				
PM10	1			
TSP	0.881 <sup>III</sup>	1		
NO <sub>2</sub>	-	-	1	
O <sub>3</sub>	1	-	-	1
(11) EH				
PM10	1			
TSP	0.096	1		
NO <sub>2</sub>	0.213	-1	1	
O <sub>3</sub>	-0.343	-	-	
	TSP	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
(12) OR				
TSP	1			
O <sub>3</sub>	-	1		
SO <sub>2</sub>	-0.123	-	1	
CO	0.835 <sup>III</sup>	-	0.150	1
	PM10	TSP	O <sub>3</sub>	
(13) CH				
PM10	1			
TSP	0.804 <sup>III</sup>	1		
O <sub>3</sub>	-	-	1	

\*III Correlation is significant at the 0.01 level

II Correlation is significant at the 0.05 level

I Correlation is significant at the 0.1 level

전체 초과농도 자료에서 TSP의 초과발생빈도를 보면, 1990년도부터 1995년도까지 계속 감소추세를 보이나 1998년 이후 차츰 증가하는 추세에 있다. 1995

년 이후 약 3년 동안 환경기준 현상이 거의 발생하지 않은 것이 확인되는데 이것은 TSP가 그 기간동안 실질적으로 감소추세에 있었다는 것을 추정하게 한

다.  $PM_{10}$  초과농도의 경우 1995년 이후에 급격히 감소하였으나, 이후로는 비슷한 농도양상으로 저감되고 있지 않은 실정이다. 이러한 현상은 상대적으로 위대한  $PM_{10}$ 의 잠재적 영향력이 지속적으로 확대될 가능성을 시사하는 것으로 보인다.

일반농도자료와 초과농도자료를 비교해 보았을 때, 초과자료에서 발견되지 않던 하저동고의 계절적 경향을 일반자료의 그래프에서는 뚜렷하게 확인하는 것이 가능하였다. 이러한 점을 감안할 때 초과농도와 일반적인 농도의 계절별 경향간에는 일정수준이상의 차이가 존재한다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 특히 TSP에서 더 강하게 나타난다. 이러한 차이는 또 다른 관점에서 다음과 같이 설명이 가능하다. 일반적인 분진의 농도의 시간적 경향에서 벗어나는 초과농도의 경향성은 기상 또는 환경요인과 같은 일반적인 조절인자와의 관계가 독립된 양상을 띠는 것으로 사료된다.

TSP와  $PM_{10}$ 과 다른 측정물질들의 초과농도자료를 이용하여 상관관계를 분석해 본 결과, 오염원별 특성을 확인할 수 있는 사례가 확인되었다. 준공업이나 상업지역에서는 화석연료의 사용 등이 이루어진다는 점을 반영하듯이  $SO_2$ 와 상관성이 크게 나타났다. 반면 주거지역의 경우 자동차에서 많이 배출되는 CO와의 상관성이 큰 것으로 드러났다. 이상에서 살펴 본 바와 같이 환경대기 중 TSP와  $PM_{10}$ 의 농도는 여러 가지 요인에 의해, 직간접적으로 영향받고 있다는 것을 확인할 수 있는데, 이들의 농도분포 및 발생경향을 초과자료에 국한하여 비교할 때는 일반자료에서 발견되지 않은 여러 가지 특이한 특성들을 확인하는 것이 가능하였다. 그러나 일반적인 농도분포와 같이 초과농도의 발생도 먼지발생원과 연계된 측정지점의 지역적 특성과 지리적 특수성, 먼지농도 자체의 계절적 변동 등이 중요한 조절요인으로 간주된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단이 지원하는 세계적선도과학자 연구사업의 지원으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

- 김기현, 김민영, 신재영, 최규훈, 강창희, 2002,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP의 시간대별 관측결과에 기초한 황사기간 분진의 분포특성에 대한 고찰: 서울시의 4대 관측점을 중심으로 한 2001년 봄철 황사 기간에 대한 사례연구, 한국대기보전학회지, 18(5), 419-426.
- 김우규, 전영신, 이원환, 1995, 서울 부유분진 농도와 황사 특성에 관한 사례 연구, 한국대기보전학회지, 11(2), 199-209.
- 김종석, 1991, 대기환경 기준설정 배경에 관하여, 한국대기보전학회지, 7(1), 67-71.
- 민달기, 성일화, 1999, 국가 환경기준 설정의 타당성 평가에 관한 연구,
- 이동석, 임영욱, 1997, 대기 부유분진 오염도 및 위해성 평가, 한국환경관리학회, 3(0), 142-154.
- 오현선, 윤순창, 1996, 서울지역의 시정악화에 영향을 미치는 대기오염 및 기상장의 특성, 한국기상학회지, 32(1) 131-138.
- 정용, 장재연, 주의조, 1987, 도시 대기 중 중금속에 관한 연구 서울시 신촌지역을 중심으로, 한국대기보전학회지, 3(2), 18-26.
- 최성우, 송형도, 2000, 다변량 통계분석법을 이용한 대구지역 부유분진의 오염원 기여도 측정, 한국환경위생학회지, 26(4), 1-8.
- 최진수, 백성욱, 1998, 대기 중 TSP와  $PM_{10}$  농도의 관련성, 한국대기보전학회지, 14(1), 1-10.
- 최진수, 전찬준, 백성욱, 1998, 구미지역 대기 중 부유분진 농도측정 및 발생원별 기여도 추정, 한국환경공학학회지, 20(4), 519-532.
- 환경부, 2000a, 환경백서, 255 p.
- 환경부, 2000b, 환경백서, 263 p.
- 환경부, 2000c, 환경백서, 266 p.
- Tomatis, L. Ed., 1990, Air pollution and human cancer, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 9-34.
- Hsin-Chung Lu, 2001, The statical characters of  $PM_{10}$  concentration in Taiwan area, Atmospheric Environment, 36, 491-502.
- Xavier Querol, Andres Alastuey, and Sergio Rodriguez, 2002,  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain, Atmospheric Environment, 35, 6407-6419.

2002년 3월 5일 원고 접수  
2002년 11월 27일 수정원고 접수  
2003년 3월 22일 원고 채택