

전국 주요 행정구역별 PM10 성분의 시·공간적 농도분포의 특성조사

안지원¹ · 김기현^{1,*} · 김성천²

¹세종대학교 지구환경과학과, 143-747 서울시 광진구 군자동 98

²군산대학교 보목환경공학부, 573-701 전라북도 군산시 비룡동 산68

The Spatial and Temporal Distribution Patterns of PM10 in Major Cities and Provinces in Korea

Ji-Won Ahn¹, Ki-Hyun Kim^{1,*} and Sung-Chun Kim²

¹Atmospheric Environment Laboratory, Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

²School of CMI and Environmental Engineering, Kunsan National University, Chonbuk 573-701, Korea

Abstract: The distribution of PM10 was investigated using its measurement data collected from a total of 152 AOM stations located across South Korea from 1998 to 2003. It was found that PM10 concentration reaches its peak in the springtime due to massive wind-blown dusts during the Asian Dust (AD) period. Then the concentration level decreases in the summertime, after the rain shower season. When the PM10 data sets were compared across different cities, their patterns contrasted sharply. The highest PM10 concentration was measured in Seoul ($68.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), while the lowest PM10 concentration was measured in Jeju ($39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The results of our analysis indicate that PM10 concentrations exhibit a strong proportional relationship with respect to the size of the city. With respect to the correlation analysis of our results, it was evident that PM10 concentrations of nearby cities were found to affect each other.

Keywords: PM10, correlation analysis, atmospheric, Asian dusts

요약: 본 연구에서는 전국에 산재한 총 152개 지점의 측정값으로부터, 6년 동안 원 단위로 요약 정리한 PM10 농도 자료를 이용하여 대한민국 주요 행정구역(7개시와 9개 도)에 대한 PM10 성분의 시공간적 분포 특성을 진단하였다. 16개 행정구역에 대한 PM10의 농도분포를 조사한 결과, PM10의 농도는 황사의 영향이 두드러지는 봄철에 가장 높은 농도를 나타내고 있었다. 그리고 강수의 양이 많은 여름철에 농도가 줄어드는 결과를 보이는데, 이는 배출원의 강수와 습식침적의 왕성하게 나타나는 기상환경 등의 영향을 반영한 결과라 할 수 있다. 지역적으로 PM10의 농도를 비교하면, 서울에서 $68.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고 농도를 보인 반면, 제주도가 $39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최저 농도를 나타내었다. 전체 지역별로 보면, PM10의 농도는 대도시 지역으로 갈수록, 높은 농도를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. 상관분석을 통하여 지역간 PM10 농도 분포의 공간적 상관성을 비교한 결과, 이를 통해 PM10 농도는 근접한 거리에서는 서로 영향을 주고 있다는 것도 확인하였다. 결과적으로 PM10 농도는 기상조건과 인위적인 배출원의 영향을 많이 받고 있다고 할 수가 있다.

주요어: PM10, 행정구역, 황사, 강수, 인위적 배출원, 상관분석

서론

산업혁명을 기점으로 급속하게 산업발전이 이루어지면서, 전지구적으로 여러 유형의 환경오염문제가

심각하게 진행되고 있다. 우리나라의 경우에도 1980년대 전후에 급속하게 산업발전의 영향으로, 인구의 증가, 공장의 증가, 교통량의 증가와 같은 오염 배출원들의 역할이 증대하였다(남재철 외, 1994). 대기 중에는 여러 종류의 입자상 물질들이 혼합된 채로 부유하고 있다. 이 부유물질의 농도는 보통 대기에 대한 단위부피당 질량으로 표기하며, 대기오염의 정도

*Corresponding author: khkim@sejong.ac.kr
Tel: 82-2-499-6151
Fax: 82-2-499-2354

를 판단하는 지표인자로 활용하고 있다(송은주 외, 2003). 그런데 오늘날 부유먼지와 같은 핵심적인 오염지표인자를 통해 판단할 수 있는 대기오염도는 상당히 악화되는 추이에 있다(최진수와 백성욱, 1998). 일반적으로 대기 중의 부유분진은 가장 큰 대기오염의 요인으로 작용한다. 따라서 입경별 농도 분포 등의 정보를 분석하면, 오염원의 특성을 파악하는데 유용한 정보를 확보할 수 있다(최재천 외, 1999). 특히 입자상 오염물질들은 여러 오염원에서 배출되는 여러 유형의 화학물질들로 구성된다. 따라서 이들 입자에 심각하게 노출될 경우의 인체 위해성에 대한 연구도 다양하게 시도된 바 있다(김상련 외, 2000). 예를 들어, 공기 역학성을 기준으로 10 μm 이하에 해당하는 PM10은 대기 중 아황산 가스와 복합적으로 작용하여, 호흡기 질환을 유발시키는 것으로 보고되고 있다(최재천 외, 1999). 그외에도 빛의 흡수 및 산란을 유발시켜 시정을 감소시키기도 일으키는 것으로도 잘 알려져 있다(김기현 외, 1999). 특히 PM10에 대비하여 보다 미세한 영역을 대표하는 PM2.5의 상대적인 관계를 해석하는 연구분야는 분진의 거동을 해석하는데 중요한 단서를 제공할 수 있다(Kim et al., 2003).

본 연구에서는 전국의 광역 행정망에 속하는 16개 행정구역들(서울을 포함한 7개 광역시와 9개 도)을 대표하는 관측망으로부터, 1998년에서 2003년 기간까지 월 단위로 확보한 기준성 오염물질들의 농도 관측 자료들 중에서 PM10을 중심으로 시공간적 농도 분포 특성에 대한 비교 분석을 시도하였다. 이들 자료에 대한 세부적인 분석결과를 토대로, 주요 행정지역들에 대한 PM10의 오염도를 절대적 및 상대적 관점에서 동시에 비교 평가하고 진단하였다.

연구방법

대기오염에 대한 실태를 파악하고 대기질 개선 대책의 수립에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여, 환경부 및 지방자치단체에서는 총 8개 유형의 대기질 측정망(지역대기, 도로변, 산성강하물, 국가배경, 지역배경, 중급속 측정망 등)을 설치, 운영하고 있다(환경부, 2003). 전국적으로 산재한 대기질 관측망들은 설치목적에 따라 측정된 대기질 자료들을 관한 유역(지방) 환경청으로 전송한다. 이들 자료를 흡수한 유역(지방) 환경청은 이들 자료에 대한 1차 선색을 실시한다. 그리고 궁극적으로 국립환경연구원의 전산시

스템에서 데이터베이스의 형태로 이들 자료를 저장한다. 이들 자료는 매월 월보의 형태로 발간하며, 환경부 홈페이지등을 통해서도 추가적으로 공개하고 있다(환경부, 2003).

본 연구에서는 전국 지역대기 측정망으로부터 1998년 1월부터 2003년 12월 말까지 6년(72개월) 기간까지 월 단위로 요약 정리한 PM10 자료를 이용하여, 여러 유형의 비교분석을 실시하였다. 총 16개의 행정망(서울을 포함한 총 7개의 광역시와 경기도를 위시한 9개의 도 지역)에서 가동 중인 총 197개 측정시설의 월별 평균 자료를 기초자료로 이용하였다. 기본적으로 모든 자료는 환경부에서 자체적으로 정도관리를 거친 후에 제시한 것을 그대로 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 그런데 실제로 분석과정에서 전체 자료의 수가 12개월 치가 안되거나, 자료의 연속성이 결여된 45개 시설의 자료를 제외한 152개 시설을 중심으로, 16개 주요 행정지역을 대표할 수 있는 월 평균자료를 산출하였다. 모든 측정시설의 자세한 정보는 목록에 제시하였다. 이들 152개 측정망으로부터 확보한 기초 자료를 이용하여, 16개 행정망의 개별지역을 대표할 수 있는 월별 평균자료를 2차적인 통계 처리를 통해 확보하였다. 본 연구에서는 이렇게 2차적으로 산출한 각 개별 행정지역의 기초자료를 토대로 16개의 지역별 PM10 분포 특성을 비교하였다.

16개 행정구역의 PM10 농도에 대한 기본적인 통계량들은 다음과 같은 순서로 구분 작업을 한 후 산출하였다. 우선 각 행정구역들에 대해, 총 6년에 해당하는 최대 72개의 월 단위 개별 자료(1998, 1-2003, 12)를 모두 취합한 후, 각 행정구역별로 대표값을 산출하였다(Table 1). 이러한 기본적인 통계분석과 함께, 16개 지역에 대한 PM10 농도 분포의 특성을 월별, 연도별, 계절별로 세분화 된 기준을 적용하여 비교를 시도하였다. 그리고 각 지역에 대해 월별 기준으로 확보한 자료들을 이용하여, 각 행정구역들 간에 PM10 오염의 공간적 연계성을 분석하였다.

결과 및 토론

공간적 농도분포의 비교

Table 1에는 본 연구의 주 조사대상인 16개 행정지역들에 대한 지역별 기본적인 통계 값을 제시하였다. 이 표에는 각 광역시 및 도 지역에 대한 종합적인 통계량을 비교할 수 있다. 서울지역의 경우 전체

Table 1. A statistical summary of PM10 data collected from each district in Korea

Full name	Short name	Mean	SD	Min	Max	N
Seoul	SL	68.2	19.3	36.1	149.3	72
Busan	BS	63.0	14.6	41.0	124.0	72
Daegu	DG	66.5	17.1	35.7	119.0	72
Incheon	IC	56.4	13.9	29.7	93.0	72
Gwangju	GJ	50.5	15.4	22.8	98.8	72
Daejeon	DJ	51.8	17.1	25.0	100.0	69
Ulsan	US	42.4	18.5	16.5	103.7	72
Gyeonggi	GG	65.3	17.1	34.5	135.9	72
Gangwon	GW	51.5	21.1	15.0	115.3	51
Chungbuk	CB	59.4	19.0	27.0	110.7	59
Chungnam	CN	55.3	17.4	32.0	99.7	60
Jeonbuk	JB	51.1	19.6	22.0	119.3	70
Jeonnam	JN	47.0	14.0	24.0	95.0	72
Gyeongbuk	GB	52.8	15.5	24.0	108.9	59
Gyeongnam	GN	48.9	13.0	28.7	105.4	72
Jeju	JJ	39.2	16.4	19.0	103.0	71
Korea (total)	KOR	54.3	16.8	27.1	111.3	679

6년의 연구기간 동안 PM10의 평균 농도가 $68.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서, 모든 비교대상 행정구역 중 가장 높은 값을 보였다. 이에 반해, 제주도는 $39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최소 값을 기록하였다. Fig. 1에는 전국 16개 주요 행정구역에 대해 매년 월 단위로 산출한 최대, 최소, 평균 값들을 재차 6년 기간 전체를 기준으로 평균을 취한 결과이다. 그래프를 보면, 최소값은 지역마다 큰 차이가 없으나, 평균값과 최대값의 경우 서울과 경기지방의 농도가 다른 지역보다 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 높게 나

타나고 있다. Table 1의 평균값 농도를 보면 서울 $68.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 경기도 $65.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나지만, 최대값은 서울 $94.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 경기도 $95.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 역전되는 것을 알 수 있다. 이러한 지역별 농도차이는 Fig. 2의 히스토그램에 제시한 지역별 최빈값의 비교를 통해서도 확인 할 수 있다. 이러한 경향은 인구통계 자료와 비교해 볼 때도 서울과 경기도 지역의 인구가 전체 인구수에서 40%정도를 차지한다는 점에서 어느 정도 연계점을 찾을 수 있다. 이에 반해 가장

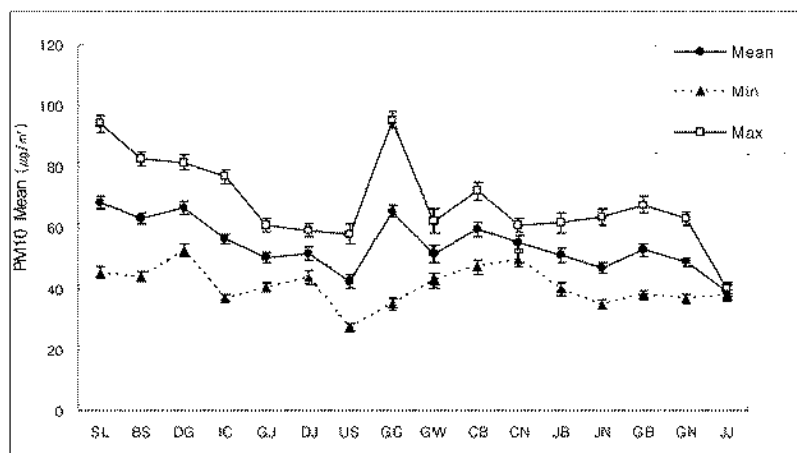


Fig. 1. Comparison of PM10 concentration levels among 16 major administrative districts in Korea. (Refer to Table 1 for the full name information of each district.) The mean values were derived using the monthly mean concentration data obtained for each district. The min and max data shown in the Fig were derived as the average of the monthly min and max concentrations for each city, respectively.

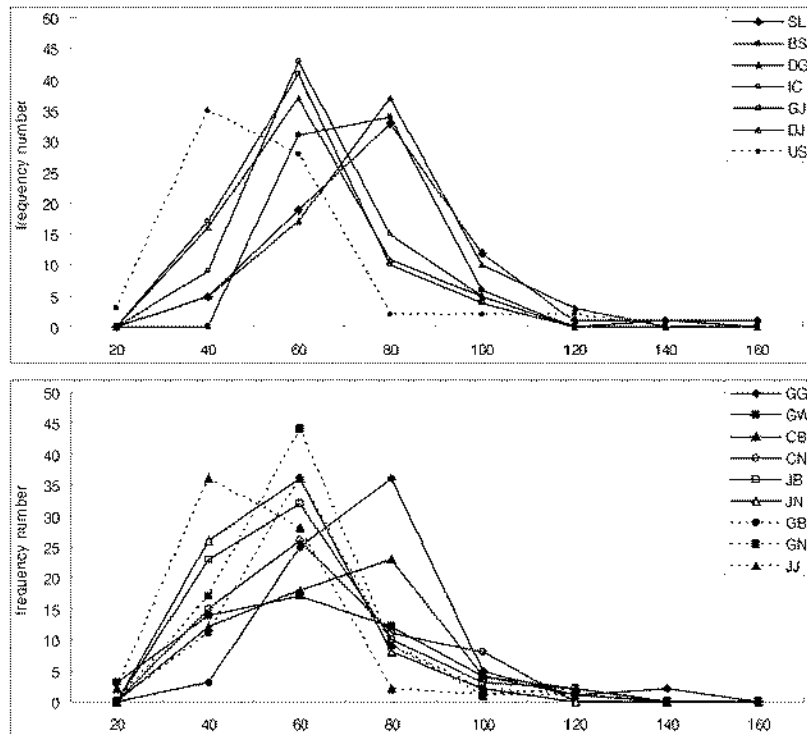


Fig. 2. Comparison of frequency distribution patterns of PM10 concentrations in 16 major districts of Korea. (A) PM10 results of seven major city areas. (B) PM10 results of nine province areas.

낮은 PM10 농도를 기록한 제주지역의 경우, 인구의 비율로 보았을 때, 전국의 1% 수준으로 낮다. 결과적으로, 바다로 둘러싸인 섬이라는 조건에서 타 지역과 현저히 차별화된다. 이러한 차이점들을 감안할 때, 여러 가지 인위적 배출원의 영향이 지역별 농도 분포를 설명하는데 가장 중요한 역할을 할 것이란 점을 유추할 수 있다. 예를 들어, 수도권 지방은 인구의 과밀화와 이에 따른 교통량의 증가로 PM10 농도의 상승을 유도할 배출원의 종류나 규모가 타 지역에 비해 크게 차별화 될 수 있을 것이다. 또 경기도 지역의 경우, 경기도 내에 산재한 개별 측정점들의 자료를 비교해 보면, 공단지역인 안산과 같은 지점(예를 들어, 안산시 원시동 관측 지점)의 평균 농도가 101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로서 경기도의 평균 농도를 상승시키는 데 일조한 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 유럽의 7개국 도시를 중심으로 PM10 형성 물질에 대한 연구결과에서도 확인 할 수 있다. 유럽의 7개 국가에서 측정된 농도를 지점에 따라 분류해 보면, 모든 국가에서 도로변 > 도시 배경농도 > 지방배경농도 순으

로 PM10 농도가 감소하는 경향을 확인 할 수 있다 (Querol et al., 2004).

본 연구에서 조사한 PM10의 농도분포 자료를 선행 연구에서 발표한 외국지역의 PM10 농도에 대해 비교를 시도해 보았다. 일본의 경우, 도쿄의 중심가인 신주쿠에서 1998년 12월에서 1999년 1월간 연속적으로 PM10 농도를 관측한 결과, 최저 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최고 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 농도를 나타냈다(Katsumi et al., 2002). 이는 저울질이란 계절적 요인도 작용하였지만, 수도권의 중심이라는 부분에서, 인위적인 배출원의 영향을 많이 받은 결과로 사료 된다. 유럽의 경우, 오스트리아, 독일, 스페인, 스웨덴, 네덜란드, 영국, 스위스 총 7개 국가에서 관측한 PM10의 농도를 보면, 지역별 차이를 뚜렷하게 구분할 수 있다. 평균적으로 지방도시는 8-24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내지만, 도시지역은 26-53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내는 결과를 확인 할 수 있었다(Querol et al., 2004). 지방의 PM10 농도보다 도시지역의 PM10의 농도가 높다는 사실을 감안할 때, PM10의 농도가 인위적인 배출원에 영향을 받

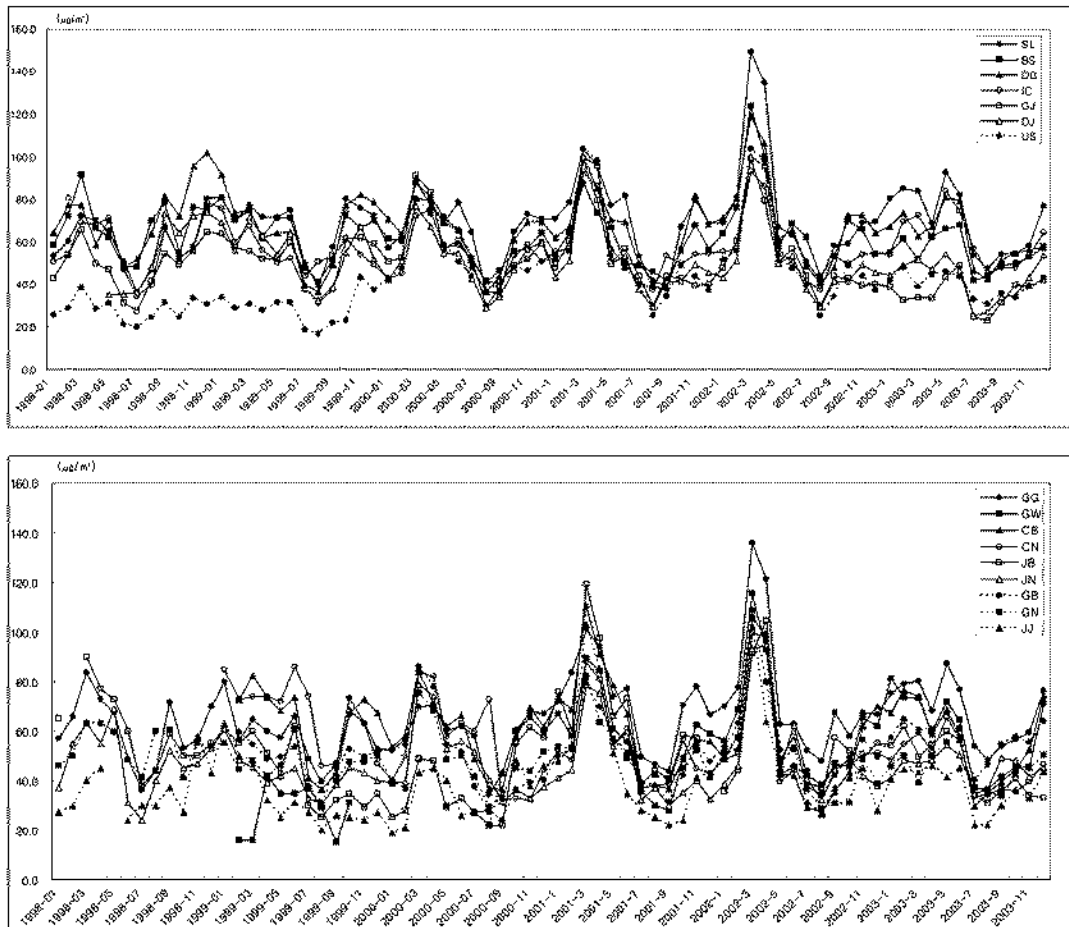


Fig. 3. Comparison of monthly distribution patterns of PM10 among all 16 major districts. (A) PM10 results for seven major city areas. (B) PM10 results for nine province areas.

이 받는다고 할 수 있다. 참고로 오염이 심한 남미 대륙에 위치한 멕시코의 수도, 멕시코 시티에서 1996-1998에 관측한 PM10 농도는 50-170 µg/m³의 농도를 나타내는 결과를 볼 수 있다(Violeta et al., 2002). 이에 반해, 공기질의 관리가 엄격하게 이루어지는 미국 로스앤젤레스 지역에서 관측한 PM10의 농도는 25-72 µg/m³의 수준인 것을 확인 할 수 있다(Qin et al., 2004).

시간적 농도분포의 비교

월변화: Fig 3에는 1998년 1월부터 2003년 12월까지 총 6년 기간동안 7개의 광역시와 9개의 도지역에서 관측한 PM10 농도를 월별 간격으로 직접 비교해 보았다. 전체 기간 동안 관측한 월별 PM10 자료를

보면, 대체적으로 3-5월경에 농도값이 최고치를 보이고, 7-9월에는 낮은 농도를 보이다가, 다시 겨울철을 향해 농도가 상승한다. 이는 편서풍 지대에 속해있는 우리나라가 특히 봄철인 3-5월경 양쯔강 기단의 영향을 받은 강한 시풍을 타고, 중국의 사막지역(타클라미칸 사막, 몽고 고비사막)에서 발생한 황사현상의 영향을 반영한 것이라고 볼 수 있다(김우규 외, 1995). 특히 서울의 경우, 2001년 3월은 104 µg/m³, 2002년 3월은 149 µg/m³으로 나타나 각각의 해에 월별로 기록된 농도 중 최고 값이 나타난 것을 확인할 수 있었다. 참고로 기상청의 강수량 정보를 보면, 2001년과 2002년의 3-5월에 평년의 봄철보다 강수가 작았다는 것을 확인할 수 있다. (이러한 부분도 해당 연도의 PM10 농도를 상승시키는데 일조하였을 것으

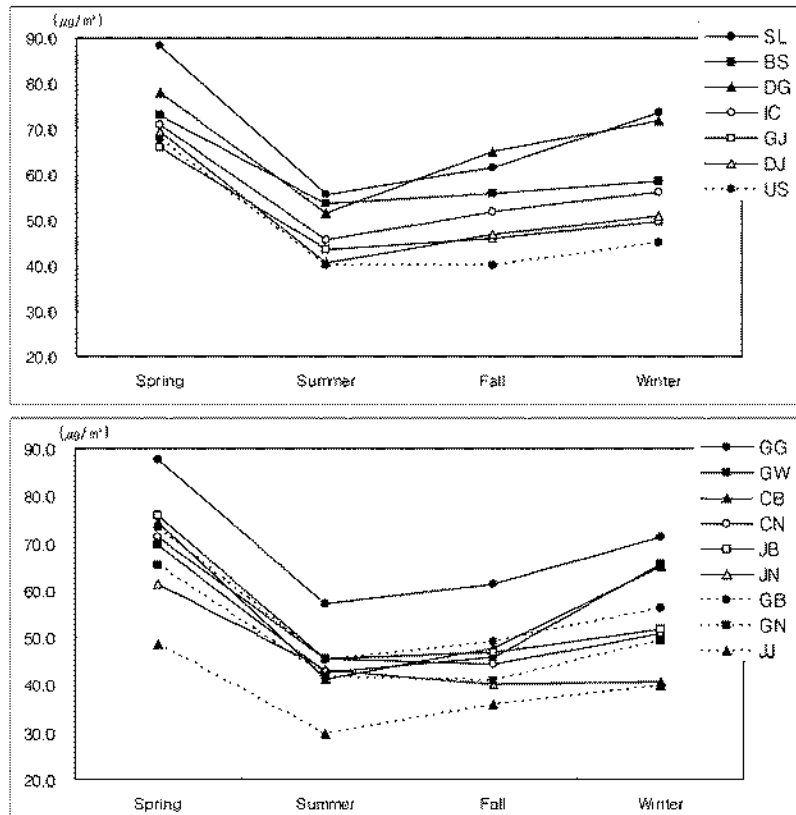


Fig. 4. Seasonal distribution patterns of PM10 were compared using all data sets for each district investigated. (A) PM10 results from seven major city areas. (B) PM10 results from nine province areas.

로 짐작할 수 있다.) 특히 2001년의 봄은 최근 들어 황사일수가 가장 많았고, 황사의 농도도 가장 높게 나타났다. 2002년도에도 황사의 빈도는 다소 줄었으나, 여전히 고농도가 빈번하게 기록된 해에 해당한다. 반면, 2003년에 들어서면, 3~5월 기간에도 PM10의 농도가 전년에 비해 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 동 기간대의 강수량이 평년치보다 높아, wash-out효과 등으로 인해 PM10의 세정 효율이 크게 나타난 것을 의미한다.

계절변화: Fig. 4에는 계절에 따른 PM10의 농도 값을 비교한 결과를 제시하였다. 이를 보면, 다음과 같은 특성을 추가적으로 판단할 수 있다. 서울을 중심으로 경향을 비교해보면 다음과 같다. 봄철에는 88.2 µg/m³로 농도가 높게 나타나다가, 여름에는 급격히 농도가 줄어 55.6 µg/m³를 기록하였다. 그러나 다시 가을과 겨울에 농도가 각각 61.4, 73.5 µg/m³ 수준

으로 높아지는 경향을 보인다. 관측이 이루어진 16개 지역 모두에서 이와 비슷한 양상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 앞서 월별 변화에서도 확인한 바와 같이, 봄철에는 황사의 영향을 받게 되므로 PM10의 농도가 상승하는 경향이 강하게 나타난다. 그러나 계절이 변해 여름철이 되면, 장마와 집중호우, 태풍에 의한 강수량의 증가 등으로 대기 중 부유 먼지들에 대한 세정효과가 최대로 증가한다. 따라서 여름철의 경우 모든 도시들에서 봄철에 비해 PM10의 농도가 급격히 감소하는 추이를 확인할 수 있다. 부산지역의 PM2.5와 PM10의 농도특성에 대한 연구 결과에서도 PM10의 월평균 농도가 강수량과 강우 빈도가 높은 7월과 8월에 가장 낮은 농도를 보이고 있다(김상렬 외, 2000). 가을이 되면 다시 공기가 건조해지고 강수량이 줄어들고 동시에, 여러 가지 배출원들에 의해 대기 중으로 배출되는 PM10의 농도는 다시 상승하게 된다. 그리고 겨울이 되면, 강수의 제거 작용이

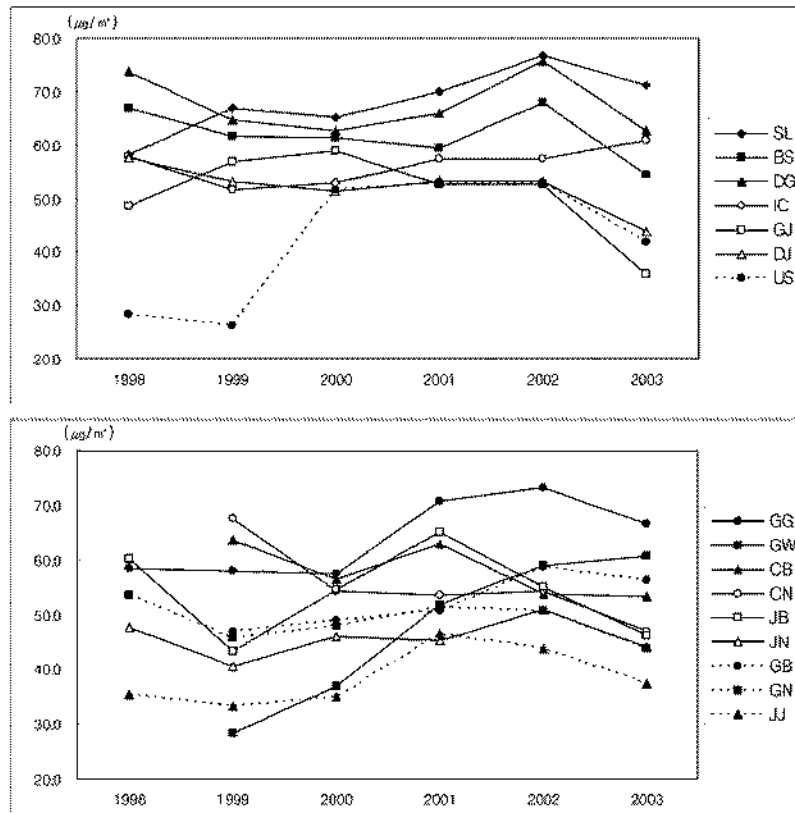


Fig. 5. Comparison of annual distribution patterns of PM10 is made using all data sets for each district. (A) Seven major city areas. (B) Nine province areas.

약해지는 동시에 연료의 사용량이 절대적으로 증가한다. 난방 사용 등을 통한 배출이 PM10의 농도를 상승시키는데 직접적으로 기여하는 것으로 나타난다(최진수와 백성욱, 1998). Fig 4에는 각 행정구역들에 대한 계절적 농도 변화를 계절별로 비교할 수 있게 제시 하였다. 이 그래프에도 같은 계절 중 사물과 경기도의 PM10 농도가 가장 높게 나타나는 현상을 확인할 수 있다. 봄철, 제주도의 PM10 농도가 여름철 경기도의 PM10 농도와 비슷하게 나타나는 현상은 주목할 필요가 있다. 이는 계절에 따라 PM10 농도의 변화가 추려되지만, 배출원이 많은 지역에서는 PM10의 농도가 기본적으로 높게 나타나는 사실을 시사한다.

연변화: 전체 관측 기간 동안, PM10의 농도를 넓은 범위에서 비교 분석하기 위해, 각 지역에 대한 PM10 농도를 연도별기준으로 비교해 보았다. Fig 5

에는 1998년부터 2002년까지 7개의 광역시와 9개의 도 지역 모두에서 PM10의 농도가 서서히 증가하는 추세를 확인할 수 있다. 특히 2001년과 2002년의 경우, 16개 행정구역 모두에서 농도의 증가 추이가 뚜렷하다. 2001~2002년에는 황사의 영향이 가장 크게 나타난 해이고, 이러한 여건에 대해서는 이미 앞서 언급한 바 있다. 하지만 2003년에는 그 전에 증가했던 추세의 달리 PM10 농도 값이 감소하였다. 2003년에는 그 전년도와 달리, 강수량이 평년보다 많았으며, 황사의 영향도 적게 받았기 때문에 상대적으로 대기 중 먼지가 줄어들었다. 이 결과에서 PM10의 농도는 강수량과 봄철 황사와 같은 광역적 현상에 얼마나 쉽게 영향을 받는지를 알 수가 있다. Fig 5를 보면 광역시에서는 울산, 도 단위에서는 강원도가 1999년까지 PM10의 농도가 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 낮게 나타나다가, 두 행정지역 모두 2000년부터 갑자기 농도가 가파르게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 울산

지역의 공간지역이 관측망으로 확장 포함된 것과 강원도 지역의 관광지역 확충 등과 같은 주요 배출원의 배출 경향에 대한 변화 요인이 작용한 결과로 추정해 볼 수 있다. 그러나 전반적인 인변화 추세를 진단하기 위해서는 보다 장기적으로 자료를 확충하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

PM10의 농도를 조절하는 인자들

각 측정 지점에서 관측한 PM10의 농도가 16개의 행정 구역들(7개의 광역시와 9개의 도 지역)간에 서로 얼마만큼의 상관성을 가지는지 여부를 평가하기 위해서 통계적인 비교분석을 시도해 보았다. 1998년부터 2003년까지 각 행정 구역 별로 확보한 월별 PM10 평균 통계 자료를 이용해서 상관분석을 시도한 결과를 비교하였다. 그 결과, 강원도와 충청남도의 상관계수 $0.299(p < 0.05)$ 를 제외한 다른 모든 지역간의 상관계수는 $0.4(p < 0.01)$ 이상으로 나타났다. 상관분석의 결과를 보면, 대부분의 광역 도시는 그 도시가 포함되어 있는 도시역과 큰 상관성을 띠는 것을 알 수 있다. 서울과 경기도는 $0.949(p < 0.01)$, 부산과 경상남도는 $0.856(p < 0.01)$, 대구와 경상북도는 $0.855(p < 0.01)$, 인천과 경기도는 $0.852(p < 0.01)$, 광주와 전라남도는 $0.763(p < 0.01)$, 울산과 경상북도는 $0.759(p < 0.01)$ 으로 다른 비교 짝들에 비해 뚜렷하게 높은 상관성을 가지고 있음을 볼 수 있다. 그러나 대전의 경우, 충청남도보다 충청북도와 더 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이는 지리적으로 대전이 충청북도와의 근접 해 있고, 편서풍 등의 영향으로 대전지역이 충청북도에 대해 풍상으로 작용하였을 것으로 판단되어진다. 광역도시와 그 도시가 포함된 도시역과의 상관성에서도 서울이나 부산과 같이 인위적으로 오염물질을 배출하는 오염원이 다발적으로 산재한 곳에서 더 높은 상관성을 나타내고 있음을 알 수 있다(최재천 외, 1999). 서울과 인천은 상관계수가 $0.836(p < 0.01)$ 으로, 부산은 대구와 상관계수가 $0.883(p < 0.01)$ 으로 높게 나타났다. 이는 광역시끼리도 근접거리에 있으면, 상관성이 뚜렷하다는 사실을 확인시켜 준다. 이 결과를 볼 때, PM10의 농도는 공간적 분포 특성에서 대단히 강한 균질성을 보인다는 사실을 확인할 수 있었다. 그리고 제주 지역에서도 양호한 상관성이 나타나는 것을 볼 때, 이러한 PM 농도자료에 대한 해석결과는 광역적인 현상이 빈감하게 영향을 미친다는 것을 시사한다.

결론

1998년 1월부터 2003년 12월까지 전국 지역대기 측정망을 통해 측정된 PM10 농도 자료를 이용하여, 여러 유형의 통계분석을 시도하였다. 이를 통해, PM10의 공간적 및 시간적 분포 특성을 여러 측면에서 비교 분석 하였다. 이 연구로부터 다음과 같은 결론을 유추하는 것이 가능하다.

PM10의 농도는 계절적인 측면에서 강수량이 대체로 작고 황사 현상에 직접적인 영향을 받는 봄철에 가장 높은 농도를 나타낸다. 반면 강수량이 많아지면 PM10의 농도도 감소하게 되게 된다. 그리고 이러한 계절적인 요인은 연도별 농도에도 크게 영향을 미쳐서, 3-5월인 봄철에 PM10의 농도가 얼마나 변화하였는지에 따라 그 해 PM10 농도의 증감 유무를 추정할 수 있다. 따라서 시간적으로 PM10의 농도분포는 기상현상과 밀접한 관계를 유지하며, 변화하는 것을 알 수 있다. 또한 PM10의 농도는 인위적 배출원의 크기나 규모를 직간접적으로 반영하는 인구 규모와도 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 서울이나 경기도 같이 인구의 비율이 높은 지역은 PM10의 농도가 상대적으로 높게 나타났지만, 인구의 비율이 작은 제주도의 경우 현저히 떨어지기 때문이다. 사람들의 생활에서 발생하는 먼지들이 PM10의 공간적 농도 분포에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 극지연구소(Korea Polar Research Institute)의 '남극 세종기지 주변 인간활동으로 인한 환경변화모니터링' 연구사업(PE05005)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- 김상렬, 정장표, 이승욱, 2000, 부산지역 PM2.5와 PM10의 농도 특성. 대한환경공학회지, 22(6), 1159-1170.
- 김우규, 권영신, 이원환, 김현미, 1995, 서울 부위분진 농도와 황사 특성에 관한 사례 연구. 한국대기보전학회지, 11(2), 199-209.
- 남제철, B.C. Panther, L.Y. Zou, 정순화, 조하만, M.A. Hooper, 1994, 서울의 대기부유분진, 납 및 다환방향족 탄화수소의 농도 특성. 한국대기환경학회 학술대회 논문집 제 2권, 125-126.
- 송은주, 이유진, 최지예, 이지이, 김홍진, 2003, 서울지역에

- 서 대기 중 분진 및 입자상 PAHs 농도의 시간적 분포 특성. 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 341-342.
- 최재현, 조하만, 김지영, 김산, 박기준, 1999, 1998년 봄철 서울지역 에어로졸 중 TSP와 PM10의 화학적 특성 비교. 한국기상학회지, 35, 1, 1999.
- 최진수, 백성욱, 1998, 대기 중 TSP와 PM10 농도의 관련성. 한국대기환경학회 한국대기보존학회지, 14(1), 1-10.
- 김기현 외, 1999, 신세대기오염개론. 향문사, 서울, 75-81p.
- 환경부, 2003, 환경백서. 환경부, 서울, 314p.
- Kim, K.-H., Choi, G.-H., Kang, C.-H., Lee, J.-H., Kim, J.-Y., Youn, Y.-H. and Lee, S.-R.(2003) The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events. *Atmospheric Environment* 37(6), 753-765.
- Mugica, V., Maubert, M., Torres, M., Munoz, J. and Riquo, E., 2002, Temporal and spatial variation of metal content in TSP and PM10 in Mexico City during 1996-1998. *Aerosol Science*, 33, 91-102.
- Saitoh, K., Sera, K., Hirano, K. and Shirai, T., 2002, Chemical characterization of particles in winter-night smog in Tokyo. *Atmospheric Environment*, 36, 435-440.
- Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C.R., Artinano, B., Hansson, H.C., Harrison, R.M., Buringh, E., Brink, H.M., Lutz, M., Brüchmann, P., Straehl, P. and Schneider, J., 2004, Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities. *Atmospheric Environment*, 38, 6547-6555.
- Qin, Y., Tonnesen, G.S. and Wang, Z., 2004, Weekend/weekday differences of ozone, NOx, CO, VOCs, PM10 and the light scatter during ozone season in southern California. *Atmospheric Environment*, 38, 3069-3087.

2005년 5월 9일 원고 접수
2005년 8월 12일 수정원고 접수
2005년 8월 12일 원고 채택