

서울 남산지역을 중심으로 입자상 오염물질의 입경 영역간 관계를 조절하는 요인들에 대한 연구

마영일* · 김기현** · 김민영*** · 선우영****

Factors Controlling Relationships between PM_{2.5} and PM₁₀ at Mt. Namsan Area in Seoul

Young-Il Ma* · Ki-Hyun Kim** · Min-Young Kim*** · Young Sunwoo****

요약 : 대기 중 입자상 오염물질인 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상호적인 농도분포를 조절하는 주요 인자를 이해하기 위하여, 서울 남산 측정점에서 2001년 봄철에 관측된 상시측정 PM 자료를 여러 관점에서 분석하였다. 이를 위해 동시에 측정된 풍향, 풍속, 습도, 기온과 같은 기상조건, 주요 오염인자(SO₂, NO, NO₂)들의 4분위수를 이용하여 구간영역별로 자료를 분리하였다. 그리고 개별 자료군 내부의 상관관계를 중심으로 이들의 상대적 농도분포를 조절하는 요인을 분석하였다. PM 성분과 연계된 주요 인자들로부터 양호한 상관성이 확인되었다. 기온, 풍속, C/F 비 및 일부 가스상 오염물질(NO, NO₂)과 같은 인자들의 경우, 각각의 절대값이 증가할수록 상관성이 감소하는 경향을 보였다. 반면, 습도, SO₂, PM_{2.5}의 농도에 대해서는 반대의 경향을 보였다. C/F 비와 풍속은 그 값이 증가할수록 PM성분들 중 조대입자 영역의 농도가 증가하였다. SO₂, NO, NO₂와 같은 인자들은 그 값이 커질수록 미세먼지 영역을 더욱 증가시키는 작용을 하였다. 전체적으로 PM 성분들 간의 농도분포는 다양한 환경인자들의 영향을 복합적으로 반영하였다. 현재까지 대부분 분진 관련 연구가 지상관측점을 중심으로 이루어졌기 때문에, 본 연구의 결과는 고지대의 분진발생에 대한 여러 가지 관리방안이 모색되어야 할 것을 시사한다.

주제어 : 입자상 물질, 기상학, 화학적 환경변수, 상관성

ABSTRACT : In this study, the PM concentration data were analyzed in terms of their relationship with various environmental parameters to explain important factors controlling the distribution characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀. For the purpose of our study, we used the PM data sets obtained from Mt. Namsan in Seoul during the spring in 2001. The influence of major environmental parameters was examined after grouping each data set (wind speed, humidity, temperature, SO₂, NO, NO₂, etc) into quartile scales. It was found that PM_{2.5} and PM₁₀ appeared to maintain fairly nice correlations in most cases. In the case of temperature, wind speed, C/F ratio, and some gaseous pollutant (NO, and NO₂), the strength of correlation between two PM fractions decreased with the increase of their magnitude. However, opposite trends were dominant in the case of humidity, SO₂, and PM_{2.5}. Based on our study, it is recommended that a proper management policy should be developed to control air pollution at high altitude locations.

Key Words : PM, meteorological, chemical environmental parameters, correlation

* 건국대 환경공학과 석사과정 학생(Master Program Student, Department of Environmental Engineering, Konkuk University)

** 세종대 지구환경과학과 부교수(Associate Professor, Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University).
교신저자임.

*** 서울시 보건환경연구원 환경부장(Chief Manager, Seoul Metropolitan Research Institute of Public Health and Environment)

**** 건국대 환경공학과 부교수(Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Konkuk University)

I. 서론

대기 중에서 발견되는 입자상 물질은 입자의 크기, 화학적 성분, 액적과의 친화력, 빛의 산란 및 흡수특성 등에서 다양하게 구별이 이루어진다(강병욱 외, 1997). 이들은 지구의 복사평형에 영향을 미치고, (간접적으로) 구름의 응결핵으로 작용하여 알비도와 구름의 수명에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 궁극적으로는, 기후 변화에까지 상당 수준 영향을 미치게 된다(Huebert and Bates, 1998). 또 이들의 성분, 조성, 입자 크기 등의 인자에 따라, 인간의 건강이나 식물의 생육에도 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(김원형 외, 2003). 따라서 이들 입자성분은 중요한 대기오염 물질 중의 하나로 분류되고 있다(김원형 외, 2003). 이 중 입자의 크기는 입자를 분류하는데 많이 이용되고 있으며, 일반적으로 그 입경이 $2.5\mu\text{m}$ 보다 큰 입자를 조대입자, 그 이하의 것을 미세입자라고 한다. 이들 입자의 발생원을 살펴보면 조대입자는 주로 기계적인 작업과정이나 지질기원의 물질 등이 중요한 배출원으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 반면, 미세입자의 경우는 연소과정에서 직접 배출되거나, 배출된 후 대기 중에서 응집, 휘발성물질의 응축, 가스에서 입자로의 전환 등과 같이 이차적인 변형을 통해 생성되는 것으로 나타나고 있다(강병욱 외, 1997).

이와 같은 특성을 보이는 대기 중의 입자상 물질은 (기준성 대기오염물질 중의 하나로서) 대기질을 평가하는데 있어서도 중요한 변수로 활용되고 있다. 우리나라에서는 1995년에 PM_{10}

에 대한 관리 기준이 제정되어있다. 그러나 미세입자에 대한 관리규제와 기초연구는 아직까지 충분하지 않으며, 대기질 개선의 기초자료로서의 활용이 미흡한 실정이다. 대기질 개선은 철저한 정도관리에 입각하여 장기간 측정을 수행하고, 연구목적에 부합된 자료분석법과 통계분석법을 개발하는 것처럼 다양한 방식의 연구노력을 기울이는 것이 무엇보다 요구된다(김병화·김동술, 2000).

본 연구에서는 대기 중 $\text{PM}_{2.5}$ 와 PM_{10} 농도 간 상관성의 변화경향을 주요 환경 인자들과의 관계로부터 설명하기 위해, 다양한 통계적 분석을 실시하였다. 이를 위하여 서울시 남산에 위치한 측정지점을 중심으로 2001년 봄철 3개월 기간 동안 PM 성분을 대표하는 $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} 을 관측한 결과를 분석하였다. 이들 자료에 대한 다양한 통계분석을 실시하고, 그 결과를 이용하여 입경크기가 다른 분진영역의 농도를 조절하는 환경인자들의 상대적 및 절대적 관계를 평가하고자 하였다. 본 연구의 주대상인 남산지역 외에도 여러 입경영역을 포괄하는 입자상 오염물질의 전반적인 농도관측은 구의동, 성수동, 궁동지역에서 이루어지고 있다. 이들 4대지역에서 관측되는 입자상 오염물질들의 전반적인 농도분포 특성에 대해서는 이미 본 연구진의 선행연구인 Kim and Kim (2003)에서 상세히 소개한 바 있다.

II. 연구방법

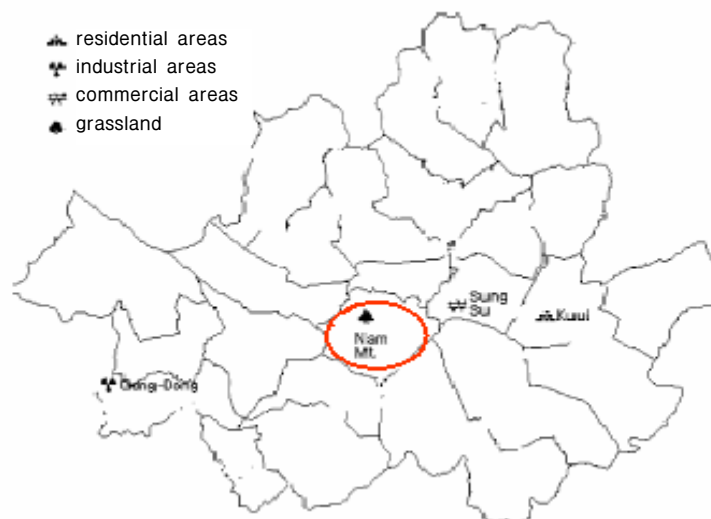
본 연구에서는 남산지역의 대기관측점을 중심으로 2001년 3월초부터 5월말까지 PM_{10} ,

PM_{2.5}, TSP를 매 시간별로 측정된 데이터를 이용하였다. <그림 1>에 제시된 바와 같이, 남산 측정점은 서울의 중심에 위치한다는 지역적 특성을 지닌다. 측정 지점의 높이 또한 평지지역에 위치한 다른 측정점들보다 높은 지점(해발 375m)에 위치해 있다. 따라서 남산지점에서 관측한 자료는 일반적으로 지표면에서 관측되는 PM의 경향과 또 다른 특성이 기대된다. 관측이 이루어진 남산 측정점의 주변에는 전방향으로 주거지역이 분포하고, 동쪽 및 남서쪽 부근의 일부 지역에 공업시설물이 위치해 있다. 그리고 북쪽 일부분의 지역에는 상업시설물들이 위치해 있다.

본 연구에서 활용된 모든 입자상 물질의 농도는 β 선 흡수방식을 이용하여 연속 관측되었다. 이 분석방식은 방사선의 일종인 β 선이 물질을 투과할 때, 물질내의 전자와 산란, 충돌을 일으켜 흡수된다. 그 흡수량은 β 선의 에너지가 일정할 경우 물질의 중량에 비례하며, 입자상

물질의 입경, 성분, 분산, 색깔 등의 영향을 받지 않는다(Kim and Kim, 2003).

본 연구에서는 PM에 대한 측정과 동시에 측정된 풍향, 풍속, 습도, 기온, PM_{2.5}, 가스상 오염물질(SO₂, NO, NO₂), C/F 비 등의 주요 환경변수들을 활용하여 PM₁₀과 PM_{2.5}사이의 상대적 관계의 경향성을 면밀하게 분석하고자 하였다. 보다 구체적으로 이들 주요 환경변수들 각각의 조건이 변화할 때, PM₁₀과 PM_{2.5}사이의 관계는 어떻게 영향을 받는지 살펴보고자 하였다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해, 모든 자료들과 각 인자들의 무게를 유사한 수준에서 4분위수(또는 그 이상)로 분할시켰다(<표 1>). 그리고 이들 개별 자료군들의 특성을 유기적인 관점에서 검토하고 해석하고자 하였다.



<그림 1> 서울시 남산 관측점의 지리적 위치(K.H. Kim and M.Y. Kim, 2003)

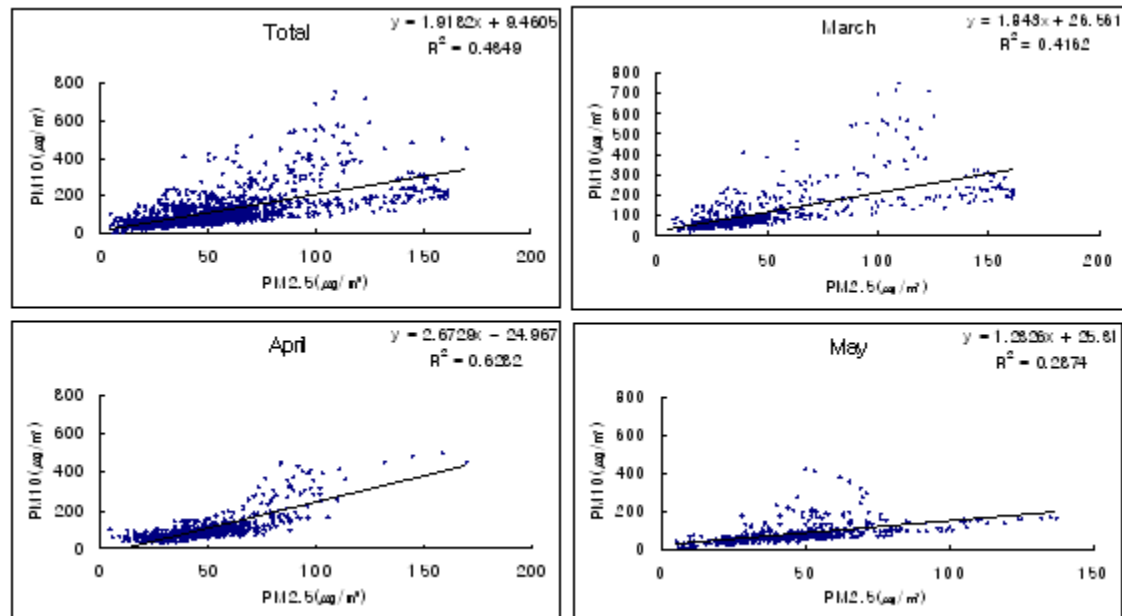
〈표 1〉 본 연구에서 사용한 전체 자료에 대한 임의 분류기준(I~IV 그룹의 구분된 자료의 단위는 변수와 동일함)

	I	II	III	IV
Meteorological parameters				
Wind speed (m/s)	<1.7	1.7 ≤ <2.7	2.7 ≤ <4.2	≥4.2
Humidity (%)	<49	49 ≤ <65	65 ≤ <83	83 ≤
Temperature (°C)	<12.3	12.3 ≤ <16.4	16.4 ≤ <20.9	20.9 ≤
Physical parameters				
PM _{2.5} conc. (μg/m ³)	31<	31 ≤ <42	42 ≤ <57	≥57
C/F ratio	<0.55	0.55 ≤ <0.878	0.878 ≤ <1.45	1.45 ≤
Chemical conditions				
SO ₂ conc. (ppb)	2<	2 ≤ <4	4 ≤ <6	6 ≤
NO conc. (ppb)	<6	6 ≤ <9	9 ≤ <21.3	21.3 ≤
NO ₂ conc. (ppb)	21<	21 ≤ <34	34 ≤ <51	51 ≤

III. 결과와 토론

1. 측정기간 동안의 PM 성분의 경향 및 시간에 따른 PM 성분들간의 관계

본 연구에서 관측된 남산측정지점의 데이터를 이용하여, PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상관성을 〈그림 2〉에 비교하였다. 측정기간 전체로 보면, PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상관성이 양호하게 나타났다($r = 0.659$, $P = 5.128E-23$). 그리고 비교적 황사의 영향이 강한 3, 4월 자료에 국한했을 경우 r 값이 각각 0.645($P = 3.721E-22$), 0.793($P = 3.994E-22$)로 나타나 양자간의 상관성이 양호하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 5월의 경우는 상대적으로 낮은 상관성을 보였다($r = 0.536$, $P = 6.320E-22$). 기온기를 살펴보면 3월과 5월의 경우 그 값이 각각 1.843, 1.233으로 나타나, 전체 PM성분 중 미세입자가 차지하는 비중이 크게 나타났다. 그러나 4월의 경우 2.673으로 나타나 PM 성분 중 조대입자가 차지하는 비중이 더 크게 나타났다.



〈그림 2〉 PM_{2.5}와 PM₁₀의 상관분석결과 : 전체 자료 및 월별로 분리된 자료에 대해 동시에 비교함

다음으로 시간의 변화에 따른 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 상관성을 확인하기 위하여, 측정된 data를 0시부터 3시간 간격으로 그룹화하여, 이변량 상관분석을 하였다(〈표 2〉). 이를 보면 시간적으로 상관성의 강도가 어느정도 변화하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로 미루어 입자성분들의 농도는 일주기적 기상조건(예를 들어, 풍속의 변화) 또는 교통량의 변화 등과 같은 요인들의 영향을 어느정도 받을 수 있음을 추론할 수 있다. 이러한 결과는 각 시간대 별 자료 그룹의 기울기를 비교하는 것으로도 추론할 수 있다.

〈표 2〉 시간의 함수로 비교한 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 의 상관분석 결과(8대 자료군의 결과)

Time(hr)	0~3	3~6	6~9	9~12
Slope	1.678	2.119	2.202	2.064
y-intercept	20.723	-2.192	-5.889	5.291
R	0.614	0.7	0.736	0.763
significance values (2-tailed)	1.41E-20	1.63E-20	1.80E-20	1.55E-20
Number	248	251	245	254
Time(hr)	12~15	15~18	18~21	21~24
Slope	1.93	1.751	2.049	2.043
y-intercept	16.112	20.797	7.257	-0.201
R	0.715	0.679	0.578	0.649
significance values (2-tailed)	1.97E-20	1.57E-20	1.57E-20	1.38E-20
Number	240	253	253	261

2. 기상인자의 변환에 따른 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 관계

$PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 관계에 영향을 주는 여러 인자들 중 우선적으로 기상인자의 영향을 검토할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에

서는 여타 기상 인자 중 풍향, 풍속, 습도, 온도를 우선적으로 비교하였다. 풍향의 경우 자료의 분류는 풍향이라는 변수의 특성을 살리기 위하여, 자료집단의 분류를 다른 변수들과는 다르게 접근하였다. 일단 이들의 경우, 자료수의 균일화에 대한 비중을 두는 대신, 단순히 8방위로 전체 자료를 넓게 분류하였다. 그에 따른 상관분석 결과를 〈표 3〉에 제시하였다. P값은 자료수가 부족한 북풍계열의 자료군을 제외하면, 매우 낮은 값이 일괄적으로 나타난다. 풍향별 상관성 결과를 살펴보면, 북동풍, 남동풍, 북서풍을 제외하면, 모두 비교적 높은 상관성이 나타났다. 〈표 3〉에 나타난 회귀분석의 기울기를 비교해보면, 풍향이 북동풍, 동풍, 남동풍이 불어올 때는 각각 2 미만의 값을 보였다. 반면, 나머지 자료군의 경우, (자료의 숫자가 부족한) 북풍 영역의 결과들을 제외하면 기울기가 모두 2 이상으로 나타났다. 따라서 이들 기타 풍향권역에서 상대적으로 조대입자 영역의 비중이 증가하는 것을 알 수 있다.

$PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 상관성에 영향을 미치는 또 다른 주요인자인 풍속의 영향을 평가하기 위하여, 다음과 같이 풍속(w)를 4분위수로 구분하였다. a그룹: $w < 1.7$, b그룹: $1.7 \leq w < 2.7$, c그룹: $2.7 \leq w < 4.2$, d그룹: $w \geq 4.2$ m/s. 풍속의 변화에 의한 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 상관분석 결과를 〈표 3〉에 제시하였다. 풍속에 대한 양 분진간의 상관관계는 대체로 양호한 것으로 나타났다. 그런데 풍속이 일정 수준 이상으로 증가할 경우, 양자간의 상관관계가 감소하는 경향을 보일 수 있다는 것도 유의할 필요가 있다.

〈표 3〉 주요 기상인자 (풍속, 습도, 기온 등)의 함수로서 PM_{2.5} 와 PM₁₀의 상관분석결과

(A) 풍향 (8방향을 기준으로)

Wind direction(degree)	0~45	45~90	90~135	135~180	180~225	225~270	270~315	315~360
Slope	1.388	1.653	1.718	2.251	2.4	2.742	4.441	0.402
y-intercept	35.924	21.019	20.414	0.093	-11.275	-47.384	-126.29	69.064
r*	0.539	0.859	0.624	0.665	0.768	0.723	0.89	0.358
significance values(2-tailed)	1.60E-22	2.46E-07	6.12E-19	2.28E-20	0.553	2.58E-21	4.41E-05	0.001
Number	80	113	232	1014	397	25	9	5

*r=상관계수 (correlation coefficient)

(B) 기타 기상변수

	Wind speed (m/s)				Humidity (%)				Temperature (°C)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Slope	1.525	2.053	2.186	1.903	3.275	1.706	2.231	1.632	2.177	2.243	1.581	1.872
y-intercept	18.547	4.463	-2.68	19.117	-30.696	16.143	-7.445	15.429	0.318	-0.713	16.301	18.426
r	0.723	0.71	0.667	0.624	0.71	0.595	0.703	0.731	0.727	0.692	0.772	0.573
significance values (2-tailed)	1.11E-21	1.50E-21	9.88E-22	1.01E-21	1.22E-21	1.09E-21	1.19E-21	1.02E-21	1.12E-21	1.20E-21	1.12E-21	1.07E-21
Number	461	521	517	503	506	493	516	490	492	502	509	502

〈표 3〉에 나타난 풍속에 따른 기온기를 살펴 보면, 풍속이 증가함에 따라 기온기가 점점 커 지다가, 일정해 지는 것을 볼 수 있다. 이를 미 루어 볼 때, 풍속에 의한 PM 성분들의 관계는 풍속이 낮을 때에는 미세입자영역의 비중이 크다가, 풍속의 증가에 따라 조대입자 영역의 비중이 커지고, 어느 정도 수준에 이르면 다시 일정하게 된다는 것을 알 수 있다.

다음으로 대기 중 에어로졸의 생성에 영향을 미치는 것으로 알려진 습도에 대해 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상관관계가 어떻게 변화하는지를 살펴 보았다. PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상관성은 습도의 증가에 따라 중간영역(49~65%)에서 감소하다가 다시 증가하는 경향이 나타났다.

기온기를 살펴보면 I, III 구간에서는 각각 그 값이 3.275, 2.231로 나타나, PM 성분들 중 조대입자 영역의 역할이 상대적으로 중요한 것으로 나타났다. 반면 II, IV 구간에서는 기온기 값이 각각 1.706, 1.632으로 나타났다. 또한 전체 영역에 대한 기온기의 변화경향을 살펴보면, 초기에 그 값이 낮아지다가 다시 일정해지는 경향을 보였다. 이처럼 고습도 상태에서 미세영역의 비중이 상대적으로 증가하는 현상은, 황화합물이 황산염으로 변환되어 2차 입자상 물질이 형성되는 현상 등의 영향을 어느 정도 반영한 결과로 추정할 수도 있을 것이다(김기현 외, 1999).

마지막으로 기온의 영향을 알아보기 위해

다음과 같이 4개의 자료군으로 전체 자료를 분할하였다. a그룹: $t < 12.3^{\circ}\text{C}$, b그룹: $12.3 \leq t < 16.4^{\circ}\text{C}$, c그룹: $16.4 \leq t < 20.9^{\circ}\text{C}$, d그룹: $20.9^{\circ}\text{C} \leq t$ (<표 3> 참조). 그 결과 상관성의 강도는 I, III 구간에서는 강하고, II, IV 구간에서는 비교적 약하게 나타났다. 기울기를 살펴보면 I, II 영역에서는 그 값이 2 이상을, III, IV 영역에서는 2 미만의 값을 보였다. 또한 전체적으로 기울기는 기온의 증가에 반하여 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 기온도 습도의 역할과 유사한 방식으로 분진의 농도를 조절한다는 것을 유추할 수 있다.

3. 입경조성에 따른 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 관계

PM 성분들 간의 관계를 이해하기 위한 또 다른 방편으로, PM_{2.5} 농도 자체를 하나의 기준으로 활용해 보았다. PM_{2.5} 농도 자료의 분할은 4분위수를 이용해 전체 자료수를 균일하게 4그룹으로 나누어 주었다. a그룹: $\text{PM}_{2.5} < 31$, b그룹: $31 \leq \text{PM}_{2.5} < 42$, c그룹: $42 \leq \text{PM}_{2.5} < 57$, d그룹: $57 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{PM}_{2.5}$. PM_{2.5} 농도를 기준으로 비교한 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상관성은 <표 4>에 제시하였다. PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 상관성은 전체적으로 매우 낮은 값을 보였다($r < 0.5$). 그러나 r값을 살펴보면, 그 값이 PM_{2.5}의 농도가 증가할수록, r값(즉, 상관성)의 강도는 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 기울기를 살펴보면, III 영역에서 최대치를 기록하는 것을 볼 수 있다. 전체적으로 PM_{2.5}의 농도는 그 자체의 크기가 증가할수록, PM₁₀의 농도에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 알

수 있다.

미세입자와 조대입자의 구성비를 나타내는 C/F 비의 변화가 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이에 어떠한 영향을 미치는 가도 비교해 보았다. 이를 위해, C/F 비를 기준으로 상관분석을 수행하였다. C/F 비 자료는 다음과 같은 기준비 값으로 전체 자료를 4등분하였다. a그룹: $\text{C/F} < 0.55$, b그룹: $0.55 \leq \text{C/F} < 0.878$, c그룹: $0.878 \leq \text{C/F} < 1.45$, d그룹: $1.45 \leq \text{C/F}$ (<표 4> 참조). 상관관계는 C/F 비가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 그럼에도 불구하고, 예상과 같이 모든 그룹에서 매우 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. <표 4>에 나타난 C/F 비에 대한 기울기를 살펴보면, I, II 영역에서는 (III, IV 영역에 비해) 미세입자의 비중이 상대적으로 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 C/F 비의 일반적인 특성을 반영한 것으로 볼 수 있을 것이다.

<표 4> PM_{2.5}와 C/F 비의 함수로 본 PM_{2.5}와 PM₁₀의 상관분석결과

	I	II	III	IV
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	a	b	c	d
Slope	0.952	1.179	2.538	1.839
y-intercept	37.441	33.286	-29.038	25.32
r	0.216	0.102	0.255	0.452
significance values (2-tailed)	1.05E-06	0.023	1.12E-08	9.63E-22
Number	497	496	487	525
C/F ratio	a	b	c	d
Slope	1.336	1.655	2.088	3.947
y-intercept	0.201	2.296	1.236	-8.108
r	0.974	0.992	0.987	0.882
significance values (2-tailed)	1.14E-21	1.12E-21	1.11E-21	1.13E-21
Number	499	502	503	501

4. 화학적 인자의 영향에 따른 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 관계

PM_{2.5}와 PM₁₀사이의 관계에 영향을 미치는 요인들을 이해하기 위해, 여러 가지 가스상 오염물질에 대한 경향성도 비교하였다. 먼저 SO₂ 농도에 대해 4분위수를 이용하여 a그룹: SO₂ < 2ppb, b그룹: 2 ≤ SO₂ < 4ppb, c그룹: 4 ≤ SO₂ < 6ppb, d그룹: 6ppb ≤ SO₂ 로 구분한 후, 상관분석을 수행하였다(〈표 5〉 참조). 전반적으로 SO₂의 농도가 높아질수록, 양자의 상관성이 커지는 경향이 나타났다. 〈표 5〉에서 나타난 SO₂농도와 연계된 기울기를 살펴보면, I 영역에서는 2에 근접한 값으로 나타났다. II, III 영역에서는 조대입자 영역의 비중이 증가하고, IV 영역에서는 반대로 미세입자영역의 비중이 다시 증가하는 것으로 나타났다. 전 영역에 대한 기울기를 살펴보면, 대체로 감소하는 경향을 보였다. 따라서 SO₂의 농도가 증가하면 미세입자영역의 비중이 상대적으로 증가한다는 것을 알 수 있었다.

NO 및 NO₂에 대한 PM_{2.5}와 PM₁₀ 사이의 관

계를 분석하기 위해, NO 자료를 a그룹: NO < 6ppb, b그룹: 6 ≤ NO < 9ppb, c그룹: 9 ≤ NO < 21.3ppb, d그룹: 21.3ppb ≤ NO로, NO₂ data를 a그룹: NO₂ < 21ppb, b그룹: 21 ≤ NO₂ < 34ppb, c그룹: 34 ≤ NO₂ < 51ppb, d그룹: 51ppb ≤ NO₂로 분할하였다. 그리고 이들 자료군 각각에 대해 PM_{2.5}와 PM₁₀에 대한 상관분석을 수행하였다(〈표 5〉 참조). 두 물질(NO, NO₂)에 대한 PM 성분들의 상관성은 전체적으로 양호한 수준으로 나타났다. 그러나 두 물질의 농도가 증가할수록, 상관성이 감소하는 경향을 보였다. 이 두 물질에 대한 PM 성분들의 관계를 나타내는 식의 기울기를 살펴보면, NO의 경우 I, II 영역에서 2이상으로서, PM 성분들 중 조대입자의 비중이 상대적으로 우세함을 알 수 있었다. III 영역에서는 조대입자 영역과 미세입자영역의 비중이 대등함을 보여주고 있고, IV 영역에서는 미세입자 영역의 비중이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. NO₂의 경우, I, II 영역에서 조대입자 영역이 III, IV 영역에서는 미세입자영역의 비중이 상대적으로 크게 나타났다. 또한 두 물질

〈표 5〉 주요 대기오염 물질(SO₂, NO, NO₂ 등)의 함수로 본 PM_{2.5}와 PM₁₀의 상관분석결과

	SO ₂ (ppb)				NO(ppb)				NO ₂ (ppb)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
r	0.691	0.688	0.648	0.707	0.621	0.714	0.648	0.624	0.712	0.727	0.662	0.617
significance values (2-tailed)	4.78E-20	5.27E-22	1.02E-21	4.88E-22	2.24E-20	5.24E-20	8.87E-21	1.47E-20	2.16E-20	1.77E-20	1.93E-20	1.65E-20
Slope	1.955	2.767	2.265	1.511	2.134	2.614	2.057	1.283	3.217	2.926	1.619	1.206
y-intercept	-1.138	-23.748	-2.219	31.312	0.113	-6.29	16.06	46.661	-24.918	-18.518	24.229	50.325
Number	196	636	516	653	233	192	290	257	235	246	241	250

모두, 농도가 증가할수록 기울기의 크기가 작아지는 경향을 보였다. 즉, 두 물질의 농도가 높아질수록 미세입자영역이 우세한 경향을 보였다. 이것은 질소산화물의 농도가 상승하면, 광화학반응 등을 통해 미세입자인 2차 오염물질의 생성이 촉진되는 결과를 반영하는 것으로 추정된다.

IV. 결론

본 연구에서는 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 관계를 조절하는 환경인자들의 특성을 설명하기 위하여, 양자간의 관계를 여러 가지 변수를 계급구간별로 분할한 조건에서 비교 분석하였다. 이를 위해, 기상요인(풍향, 풍속, 기온, 습도, 기온), 오염인자들(SO_2 , NO_x 등), $PM_{2.5}$ 의 농도와 C/F 비와 같은 내부 인자들을 기준으로 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 사이의 상관성을 비교하였다.

입자상물질은 물리화학적 성상이 지극히 복잡하고 지역적, 시간적, 공간적으로 분포양상의 변화가 크다. 따라서 건강이나 대기환경에 미치는 영향에 대하여 정성적으로나 정량적으로도 밝혀지지 않은 부분이 많은 것이 사실이다. 특히 PM_{10} 보다도 $PM_{2.5}$ 는 표면적이 크기 때문에, 유해화학성분이나 중금속류의 함유가 많고 호흡기 깊숙이 즉 기관지나 폐포에까지 도달이 가능하므로 이에 대한 관리의 필요성이 크다. 특히 입자상물질의 인체영향이나 대기환경에 미치는 영향은 큰입자에 비하여 작은 입자가 현저히 중요하다. 따라서 보건학적 관점에서 정해진 기존의 $10\mu m$ 이하의 부유입자상 물질에 대한 환경기준에 더하여 미세입자

만을 대상으로 하는 $PM_{2.5}$ 에 관한 기준을 신설하는 고려가 발생원의 특성이나 물리화학적 성상으로 보아 적절하다고 사료된다. 미국은 이미 환경 대기중 $PM_{2.5}$ 에 대하여 환경기준을 갖고 있고, EU도 2005년부터 $PM_{2.5}$ 에 대한 환경기준을 도입할 예정이다. 그 외의 많은 국가에서도 $PM_{2.5}$ 의 환경기준도입을 검토하고 있는 실정이다. 우리 나라도 이들의 건강영향과 환경영향을 고려할 때 이러한 기준의 채용을 검토할 단계라고 사료된다.

$PM_{2.5}$ 의 질량농도는 PM_{10} 의 45~95%를 차지하며, 서울지방의 평균치가 $38\mu g/m^3$ 수준이고, 본 연구의 대상지역인 남산에서도 본 연구 기간동안 $50\mu g/m^3$ 수준의 농도로 관측되고 있는데, 이는 미국에서 제정한 $PM_{2.5}$ 의 신기준인 $15\mu g/m^3$ 을 두 배 이상 초과하는 수준이다. 이들 $PM_{2.5}$ 의 공간적분포와 시간적 및 지역적 분포의 특성파악과 이차입자의 생성기작(production mechanism)과 분율 등에 대한 상세한 정보가 필요하다. 이를 위하여 우리나라에서도 특히 서울은 미국과 같은 슈퍼 사이트(Super Site)를 중심으로 한 입자상물질의 측정이 필요한 시점이라 생각된다. 입자상물질의 발생원과 환경농도와의 관련성, 입경별 입자수 카운트, 입자상물질의 환경농도와 건강영향과의 관계를 정확히 이해하는 것은 매우 중요한 연구과제로 취급되어야 할 것이다.

사사

본 연구를 수행할 수 있게 지원해 준 산학협동재단에 감사드립니다.

참고문헌

- 강병욱 · 이학성 · 김희강, 1997, “청주지역 산성 가스상물질과 미세입자의 계절 변동 특성”, 『한국대기보전학회지』, 13: 333~343.
- 김기현 · 김조천 · 이강웅 · 이병규, 1999, 『신제 대기오염개론』, 향문사.
- 김병화 · 김동술, 2000, “수원지역 대기 중 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 의 환경거동에 관한 연구”, 『한국대기보전학회지』, 16: 89~101.
- 김원형 · 강창희 · 신찬성 · 고선영 · 홍민선, 2003, “제주도 한라산 1100고지 대기 에어로졸의 조성 및 특성”, 『한국대기보전학회지』, 19: 145~156.
- 이종범 · 김용국 · 김태우 · 방소영 · 정유정, 1997, “광화학 확산모델 적용을 위한 수도권지역의 대기오염물질 배출량 산출”, 『한국대기보전학회지』, 13: 123~135.
- Huebert, B. and Bates, T., 1998, *ACE Asia(Aerosol Characterization Experiment in Asian Pacific Region): Project prospectus*, The 2nd ACE-Asia planning meeting, November 10~13, 1998, Cheju.
- Kim, K. H. and Kim, M. Y., 2003, “The effect of Asian Dust on particulate matter fractionation in Seoul, Korea during spring”, 2001, *Chemosphere*, 51: 707~721.

원 고 접 수 일 : 2004년 2월 18일

최종원고채택일 : 2004년 8월 16일