

PM2.5, PM10, TSP의 시간대별 관측결과에 기초한 황사기간 중 분진의 분포특성에 대한 고찰: 서울시의 4대 관측점을 중심으로 한 2001년 봄철 황사 기간에 대한 사례연구

Insights into the Factors Determining the Aerosol Distribution Characteristics of the Asian Dust on the Basis of the Concurrent Analysis of PM2.5, PM10, and TSP During the Spring Season of 2001

김기현^{1),2),*} · 김민영³⁾ · 신재영³⁾ · 최규훈¹⁾ · 강창희⁴⁾

¹⁾세종대학교 지구정보과학과, ²⁾경희대학교 환경연구센터

³⁾서울시 보건환경연구원, ⁴⁾제주대학교 화학과

(2002년 2월 7일 접수, 2002년 8월 19일 채택)

Ki-Hyun Kim^{1),2),*}, Min-Young Kim³⁾, Jae-Young Shin³⁾,
Gyoo-Hoon Choi¹⁾ and Chang-Hee Kang⁴⁾

¹⁾Dept. of Earth Sciences, Sejong University, Kun Ja Dong 98, Seoul, 143-747 Korea

²⁾Center for Environmental Studies, Kyunghee University, Yong In, Kyunggi-do, 449-701 Korea

³⁾Seoul Metropolitan Research Institute of Public Health and Environment,
Yang Jae Dong, Seoul, 137-734 Korea

⁴⁾Dept. of Chemistry, Cheju National University, Cheju, 690-756 Korea

(Received 7 February 2002; accepted 19 August 2002)

Abstract

The concentrations of three different fractions of particulate matters including PM2.5, PM10, and TSP were compared between the Asian Dust (AD) and non-AD (NAD) periods during the spring season of 2001. For the purpose of this comparative analysis, the data sets were obtained from four different observatory sites located within the city boundary of Seoul that concurrently measure those three fractions of PM at hourly intervals. According to our study, several conclusions can be drawn to describe relationships between the AD event and PM distribution characteristics. First of all, it is apparent that the concentrations of PM are distinctively distinguished between AD and NAD. If the extent of contribution to the AD events are assessed on the quantitative basis, it appears that their magnitude increases on the order of PM2.5, PM10, and TSP. As a result, the increase of PM observed during AD event is dominated by the coarse rather than fine fraction of PM. Moreover, when their relationships were assessed in terms of fractional ratios, it was found that TSP/PM10 ratios were almost constant, regardless of the occurrences of AD. On the other hand, the coarse/fine or TSP/PM2.5 ratios changed dramatically between AD and NAD peri-

* Corresponding author

Tel : 02-3408-3233, E-mail : khkim@sejong.ac.kr

ods. The results of our analysis clearly distinguishes quantitative role of each PM fraction between AD and NAD period, while suggesting indirectly the possible control of source processes on such relationships.

Key words : aerosol, Asian Dust, PM2.5, PM10, TSP

1. 서 론

중국과 몽고의 사막지역이나 황하중류의 황토지역 등에서 저기압의 통과시에 발생하는 바람이나 난류 등의 영향으로 공중에 부유하고 이송되는 먼지를 황사현상(Asian Dust)으로 총칭하고 있다(e.g., Lin, 2001). 지난 십여년의 기간동안 대기환경을 연구하는 국내외의 많은 과학자들에 의해 황사의 발생과 관련된 여러 가지 의문점들이 규명되었다(Huang and Wang, 1998; Gao *et al.*, 1992; Okada *et al.*, 1990). 국내에서도 매년 봄철이면 거의 주기적으로 발생하며, 공기질 저하 또는 시정악화와 같은 결과를 초래하는데 일조하는 가시적인 현상으로 받아들여지고 있다(Chung and Yoon, 1996). 이처럼 황사는 분진과 관련된 가장 직접적인 자연현상을 대변하기 때문에, 결과적으로 aerosol의 발생 및 이송과 관련된 여러 가지 현상을 규명하는데 중요한 단서를 제공할 것으로 기대되고 있다.

한, 중, 일을 위시한 동아시아 권역을 주무대로 분진의 순환, 분진의 배출 및 침적규모, 분진이 대기환경 또는 기후환경에 미치는 영향 등을 위시하여 분진과 지구환경의 관계를 체계적으로 규명하기 위한 여러가지 연구가 Aerosol Characterization Experiment in ASIA (이하 ACE-ASIA)라는 연구사업으로 부각되었다. 이미 이러한 연구사업의 핵심적인 과제의 일부분으로 2001년 봄철기간동안 ACE-ASIA의 super site로 간주되는 제주의 고산지역을 위시한 다수의 관측점에서 국제적 규모의 연구팀들에 의해 분진과 관련된 다양한 계측이 집중적으로 시도되었다.

본 연구진은 이러한 사업의 한 부분으로 2001년 봄철의 집중관측기간 동안 다양한 연구사업에 참여하였다. 그 결과의 일부로 2001년 3월 기간동안 서해안의 강화도 하리지역을 중심으로 한 분진 및 수은의 농도와 플럭스 관측(Kim *et al.*, 2002), 서울시 근자동지역을 중심으로 미세 및 조대입자의 성분별 분석결과의 비교(김기현 등, in press) 등을 발표하였

거나 발표할 예정이다. 그 외에도 본 연구진은 ACE-ASIA와 관련된 연구사업의 일환으로, 황사와 연관된 분진의 분포특성을 세밀하게 진단하고 평가하기 위한 연구사업을 수행하였다. 본 연구에서는 서울시에 위치한 총 4개의 측정지점을 중심으로 2001년 봄철 3개월 기간 동안 PM 성분을 대표하는 PM2.5, PM10, TSP를 매시간대 간격으로 동시에 관측한 결과를 분석하였다. 이들 지역으로부터 관측된 자료를 이용하여 황사와 관련된 분진의 분포특성을 도출하기 위하여, 입경별 분진간의 상대적 또는 절대적인 관계에 대한 의미를 해석하였다. 이들 자료는 궁극적으로 황사가 진행되는 단계에서, 황사의 구성인자들이 지닌 특성을 규명할 수 있는 여러 가지 단서를 제공할 것으로 기대된다. 본 연구진은 이와 같은 연구목적에 부합하기 위하여, “황사의 유입과 분진의 크기별 분포는 실질적으로 어떠한 관계를 형성하는가?”라는 관점에서 여러 가지 수치적인 분석을 시도하였다. 그리고 또한 본 연구진은 본 연구의 후속사업으로서, “황사의 유입이 결과적으로 중금속 성분의 농도분포 등에 실질적으로 어떠한 영향을 주거나 받을 것인가?”라는 부분을 밝히기 위한 연구를 추진 중이다.

2. 연구방법

본 연구에서는 현재 전국에 설치된 대기오염 측정망 중 유일하게 PM2.5, PM10, TSP 성분을 동시에 시간대 간격으로 상시관측 중인 서울시내 4개의 측정지점 - 구의동(Station-K), 성수동(-S), 궁동(-G), 남산고층 관측점(-N)을 연구대상으로 선택하였다. 이들 지점은 서울시를 대표하는 주요 대기오염 관측점으로서 서울시 보건환경연구원에 의해 관리 운영되고 있다. 이들 자료에 대한 세밀한 분석을 위해, 연구의 대상시기는 2001년 봄철 기간 3개월-3, 4, 5월(3월 1일부터 5월 31일)의 92일 기간으로 설정하였다. 따라서 최대 2208개의 시간대별 자료의

Table 1. A statistical summary of meteorological conditions encountered during the whole study period. The data are compared for each of the four study sites.

Parameter unit	Temperature °C	Wind speed m s ⁻¹	RH %	UV MJ m ⁻²
(1) Station-K				
Mean	11.63	2.19	60.05	9.26
SE	0.16	0.03	0.42	0.27
Median	12.10	1.80	61.00	1.00
SD	7.63	1.26	19.62	12.65
Min	-6.40	0.20	1.00	1.00
Max	30.30	7.70	98.00	66.00
N	2205	2205	2208	2205
CI (90%)	0.27	0.04	0.69	0.44
(2) Station-S				
Mean	12.04	1.73	62.82	6.33
SE	0.16	0.02	0.42	0.21
Median	12.70	1.60	63.00	0.00
SD	7.48	0.82	19.56	9.98
Min	-6.00	0.00	1.00	0.00
Max	31.00	5.20	98.00	53.00
N	2,201	2,202	2,208	2,202
CI (90%)	0.26	0.03	0.68	0.35
(3) Station-G				
Mean	11.17	1.61	64.54	11.74
SE	0.17	0.02	0.49	0.38
Median	11.15	1.50	66.00	0.00
SD	7.86	0.97	23.08	18.01
Min	-6.80	0.00	9.00	0.00
Max	30.00	5.10	99.00	89.00
N	2208	2,208	2,199	2,208
CI (90%)	0.28	0.03	0.81	0.63
(4) Station-N				
Mean	16.63	3.15	65.04	22.93
SE	0.12	0.04	0.46	1.02
Median	16.40	2.70	65.00	1.00
SD	5.46	2.07	21.63	37.58
Min	4.40	0.00	1.00	0.00
Max	31.20	12.40	99.00	198.00
N	2,187	2,184	2,190	1,357
CI (90%)	0.19	0.07	0.76	1.68

*The capital letters designated for stations-K, S, G, and N-denote Koo-Eo Dong, Sung-Soo Dong, Goong Dong, and Nam Mountain Tower area, respectively.

확보가 이루어졌다. 해당 연구기간동안 기본적인 기상인자들의 통계량을 각각의 관측점을 중심으로 계산한 결과를 표 1에 제시하였다. 지상에 가까운 K, S, G 관측점에서는 전형적인 봄철기간을 대변하듯이 -6도에서 30도를 초과하는 가파른 기온의 변화

가 관측되었다. 반면 남산고층타워 (375 m 고도)에 위치한 N 측정점은 4.4에서 31.2도까지 상대적으로 변화가 작고 안정된 기온의 경향성을 보였다. 이러한 특성은 풍속의 변화경향에서도 어느 정도 유지된다. 지상점에서 대체로 2 m s⁻¹에 근접하는 평균값을 보인 반면, N 지점에서는 3 m s⁻¹을 초과하는 평균치를 보여 주었다. 이와 같은 지정학적 특성들은 PM 또는 기타 주요 오염성분들의 분포특성에도 상당 수준 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 PM 성분들의 분석을 위해, β선 흡수방식을 사용하였다. 본 분석방식의 기기적 및 분석학적 특성을 기술하면 다음과 같다. 방사선의 일종인 β선은 물질을 투과할 때 물질내의 전자와 산란, 충돌을 일으켜 흡수된다. 그 흡수량은 β선의 에너지가 일정할 경우 물질의 중량에 비례하며, 먼지의 입경·성분·분산·색깔 등의 영향을 받지 않는다. TSP, PM10, PM2.5의 측정은 각기 이러한 β선 흡수방식을 이용한다. 이를 위해, 여과지에 채취된 먼지의 중량을, β선흡수량으로부터 구하여 중량농도(μg/m³ 혹은 mg/m³)로 표시한다. 분립장치는 각기 TSP, PM10, PM2.5에 맞는 것을 채용하고 있다.

이러한 부분을 이론적으로 정리해 보면, 여과지상에 채취된 먼지에 β선을 조사하게 되면, 다음 식에 따라 표시된 양의 흡수가 일어난다.

$$I = I_0 \exp(-\mu m)$$

여기에서 I: 여과지 및 먼지를 통과한 β선의 강도 (cpm), I₀: 깨끗한 여과지를 통과한 β선의 강도 (cpm), μ: 질량흡수계수 (cm²/mg), m: 단위면적당 먼지중량 (mg/cm²)을 의미한다. 위의 식에 의하여 먼지채취면적 S (cm²), 시료공기채취유량을 Q (m³)으로 하면, 평균중량농도 C (mg/m³)는

$$C = \frac{S}{Q\mu} \ln \frac{I_0}{I}$$

에서 구할 수 있다. 검출기는 계수효율이 높은 Scintillation Probe가 이용되었다. β선원은 ¹⁴C 밀봉선원 (반감기 5730년) 100 μCi 이하의 강도에서 사용하므로 원자력법에서 정한 방사능 동위원소 취급자격이 없어도 무방하다. 기기의 측정 range는 0~10 mg/m³으로 6개의 range로 되어 있으며, 최소표시단위는 1 μg/m³이며, 반복 재현성 (3회)은 ±2% 이내, 제

로 및 스펀드리프트는 각 $\pm 2\%$ 이내, 직선성은 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하는 $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상은 $\pm 10\%$ 이다.

이러한 장비의 특징은 먼지농도가 자동 연산되어 바로 출력되기 때문에 중량농도를 직접 구할 수 있다는 점, 여과지 1 roll로서 약 2개월간 연속측정이 가능하다는 점을 들 수 있다. 그리고 기기의 계측과 관련된 교정은 측정기기에 내장되어 있는 등가막(Standard Film)에 의하여 자동 교정된다. 분석된 결과는 프린터로 출력됨과 동시에 TMS를 통하여 서울시보건환경연구원의 환경관리전산센터에 전송되어 데이터베이스에 자동저장된다.

3. 결과 및 토론

3.1 분진의 발생빈도 및 비교구간의 설정

기상청에서 황사의 발생에 대한 빈도분포를 전국적 규모로 세밀하게 연구하기 시작한 것은 대략 1988년 이후의 상황이다. 지역적으로 황사의 발생은 조금씩 편차를 보이므로, 본 연구에서는 연구의 대상지역인 서울을 중심으로 80년대 말 이후 시점에서 연구기간 이전인 2000년 시점까지의 황사발생 경향을 비교하면 다음과 같다. 비교대상기간인 13년 동안 황사가 관측되지 않은 경우는 1989, 1994년을 포함하는 두 해 밖에 없다. 이에 반해, 서울지역을 중심으로 황사가 발견된 경우는 매년 최소 1회(1990, 1996, 1997년)에서 최대 5회(1993년)에 걸쳐 발견되었다. 황사의 발생이 장기간 지속될 수 있으므로 단순히 횟수의 개념을 떠나 일수를 기준으로 발생경향을 비교할 경우, 최소 1일(1996, 1997년)에서 최대 14일(1993년), 그 다음으로 13일(1995, 1998년)의 기간에 걸쳐 황사가 진행된 것으로 기록되고 있다. 본 연구의 대상기간인 2001년 봄철기간은 총 7회와 20일만에 걸쳐 발견된 것으로 나타난다. 이와 같이 전반적인 서울지점의 황사발생 경향과 비교해 볼 때, 2001년 봄 시점은 지난 10여년의 기간 중에서(최소한 발생빈도에서) 가장 극심하게 황사가 발현한 기간으로 간주할 수 있다. 참고로 이러한 내역을 보다 자세히 보면, 3월 기간 중 4회 11일, 4월 기간 중 3회 9일, 5월 기간 중 전무한 것으로 나타났다(따라서 5월은 3, 4월에 대한 비교대상

기간으로서 연구기간에 포함 함). 이와 같이 황사의 발생과 관련된 세부적인 구분은 황사의 발현강도 및 시간대별 발생현황을 조사한 기상청의 DB를 활용하였다. 이 기간 중 황사의 발생이 워낙 현저하게 이루어졌다는 점을 감안하면, 본 연구가 진행된 시점은 황사와 관련된 여러 가지 조건을 상세하게 규명할 수 있는 가장 좋은 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 기간대별 분진의 농도분포 비교

일반적으로 고온다습한 여름철에 비해 건조하고 바람이 강한 겨울철에 고농도의 분진이 나타나는 것은 자연스런 현상이다. 우리 나라의 경우, 봄철 기간 중 황사현상이 강하게 일어나기 때문에, 분진의 계절별 발생경향은 겨울-봄 기간이 여름-가을 기간에 비해 고농도의 분진이 유지되는 원인으로 알려지고 있다. 따라서 봄철 황사기간 중에 분진의 농도가 상승한다는 것은 너무나 확연한 사실이다. 그러면 황사의 영향이 분진의 농도분포에는 얼마만큼의 영향을 미칠 것인가? 이러한 질문에 구체적으로 답하기 위해서 다음과 같은 3가지의 질문을 제시할 수 있다. (1) 황사가 시작하고 종료되는 시점의 중간에 발견되는 휴식기간, 즉 간기와 황사가 강하게 발견되는 기간간에 분진의 농도는 얼마만큼의 차이를 보이는 것일까? (2) 또는 동일한 봄철 기간 중 황사가 발견되는 시점과 황사가 발견되지 않는 시점간에는 얼마만큼의 차이가 나타날까? (3) 마지막으로 황사가 진행중인 기간과 황사가 완전히 종료된 기간간에는 얼마만큼의 차이를 보일까?

이러한 질문들에 구체적인 답변을 가하기 위해 다음과 같이 봄철기간을 4대 구간으로 구분해 보았다. 이와 같이 자료집단간의 특성을 비교하기 위한 기준으로, 우선 황사가 일어난 기간만을 추출하여 AD라고 명명하였다. 황사가 일어나지 않은 기간은 다음과 같이 3대 구간으로 구분하였다. 최초로 황사가 목도된 시점에서 종료된 시점의 중간 중간에 황사가 발견되지 않은 기간만을 선별하여 추출한 후, N-1기간으로 명명하였다. 봄철 전체 3개월 기간 중 황사가 발견되지 않은 모든 기간을 N-2로 설정하였다. 4월말을 기점으로 황사가 완전하게 종료되었다는 점을 감안하여, 황사가 더 이상 발견되지 않는 5월을 N-3기간으로 설정하였다. 총 92일의 기간동

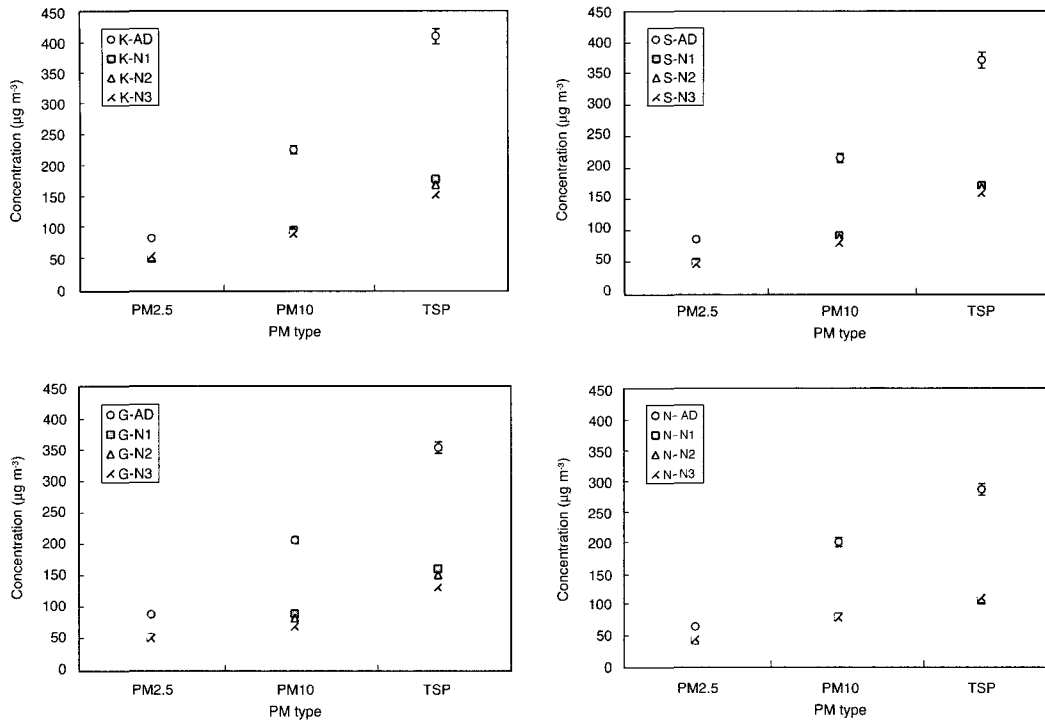


Fig. 1. Comparison of aerosol concentrations measured as PM2.5, PM10, and TSP during the months of March, April, and May of 2001. The mean concentrations of each particulate fraction were derived using hourly measurement data collected from four different measurement sites located within Seoul metropolitan city: (a) top: Station-K (Koo-E Dong), (b) the second: Station-S (Sung-Soo Dong), (c) the third: Station-G (Goong Dong), and (d) the bottom: Station-N (Nam Mountain tower). The abbreviated letters assigned for symbols denote: (a) AD for the period exposed to the Asian Dust; (b) N-1: Non-AD days observed during intermediate period between the beginning and end of AD events; (c) N-2: all days with Non-AD during the months of March through May; and (d) N-3: all days of May when AD-events are completely finished.

안 최대 2,208개의 시간대별 자료가 산출될 수 있다는 점을 감안하면, AD는 349 시간 (15.8%), N-2는 1,859시간 (84.2%)로 구분된다. 다시 N-2의 일부분 이랄 수 있는 N-1은 944시간 (42.8%), N-3는 744 시간 (33.7%)에 해당한다 (참고로 아무래도 간기기간의 농도가 전체 비황사기간 보다는 고농도의 분진이 기록될 것으로 예상되므로, N-이하의 번호순서가 높은 1번으로 책정하였다).

그림 1에는 3가지 분진의 농도를 위에서 정의한 4가지 기간대별로 비교한 결과를 각 측정점별로 제시하였다. 그림 1의 비교결과에 의하면, 여러 가지 사실을 구체적으로 확인할 수 있다. (1) 우선 황사와 비황사기간에 각 PM의 농도변화는 총량이 큰 성분일수록 크게 나타난다는 점이다. 즉 PM2.5의 변화

는 미미한데 반해, PM10에서 TSP로 갈수록 그 변화의 규모가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 변화는 모든 관측점에서 일관성있게 확인이 된다. 따라서 황사기간에는 정상시보다 미세분진의 유입은 미미한데 반해, 조대입자의 유입량이 현저하게 늘어난다고 결론지을 수 있겠다. (2) 황사가 직접적으로 관측된 AD기간과 3개의 비 AD기간에 관측된 PM 성분의 농도간에는 현격한 차이가 존재한다는 점을 간과할 수 없다. 특히 N-1으로 명명된 간기는 나머지 두 개의 N-자료군보다 미미할 정도로 큰 반면, 이들 3개의 N-집단의 농도는 AD기간의 농도와는 명료하게 구분이 된다. 따라서 황사가 실질적으로 나타나는 기간과 그 틈새기간 사이에도 분진의 농도차이가 실질적으로 존재한다는 결론을 도출

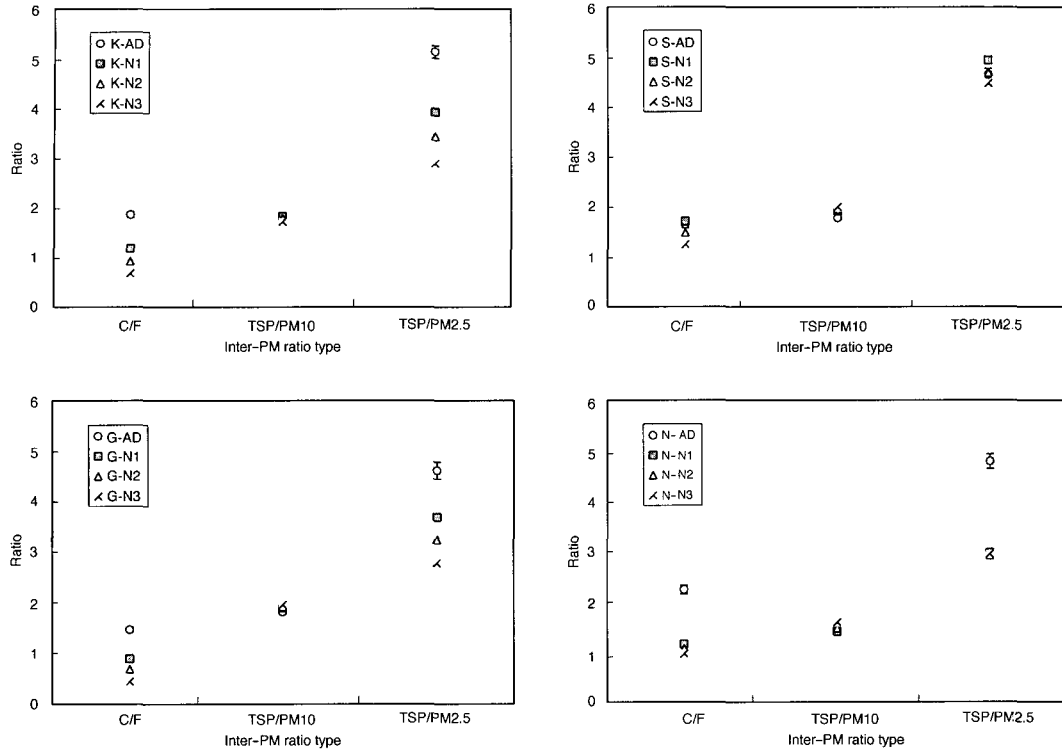


Fig. 2. Comparison of three different ratios of PM: (a) coarse-to-fine (C/F); (b) TSP/PM10; and (c) TSP/PM2.5. All conditions for the comparison are comparable to those employed in Fig. 1.

할 수 있다. (3) 그리고 비록 미미한 차이기는 하지만, 간기(N-1), 전체 연구기간 중 모든 비황사기간(N-2), 황사가 완전히 종료된 시점(N-3)간에는 미미하나마 서열이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 서열은 TSP에서 뚜렷한 반면, PM2.5에서는 상대적으로 불명확하다. K, S, G 지점에서 위와 같은 규칙이 나타나지만, 보다 높은 관측점인 N에서는 이들 N-자료군간의 차이를 거의 발견할 수 없다. 이와 같은 차이는 높은 고도에서 입경이 큰 성분들의 제거가 더욱 원활하게 이루어지는 점이 어느 정도 반영된 것이 아닌가 유추해 볼 수 있다. 즉 낮은 고도에서는 큰 입자들이 어느 정도 부유하기 쉬우므로 N-1 기간에 상대적으로 높지만, 높은 고도에서까지 이러한 특성을 유지할 수 없으므로 더 이상 이러한 선점효과가 나타나지 않는 것으로 유추해 볼 수 있겠다.

황사와 비황사기간의 차이와 입경의 크기에 따른

차이를 또 다른 관점에서 해석하기 위하여, 그림 2에는 Coarse-to-Fine (C/F), TSP/PM10, TSP/PM2.5의 비값을 위의 그림 1에 준하는 방식으로 제시하였다(참고로 여기서 조대입자의 영역(즉, coarse fraction)은 PM10과 PM2.5의 차이로 계산하였다). 이러한 비교결과는 그림 1에서 확연하게 구분이 되지 않는 여러 가지 부분들에 대해서도 추가적인 설명을 가능하게 해 준다. 예를 들어서, 이러한 경우들은 다음과 같이 열거할 수 있다. (1) 비록 S측정점에서 예외적인 경향성이 나타나지만, 이를 제외하면 모든 관측점에서 거의 유사하게 C/F 비 또는 TSP/PM2.5의 비의 차이가 나타난다. 즉 비황사기간에 비해 황사기간에는 이들 비값이 거의 두 배 이상 또는 그에 가까운 수준으로 증가하는 것을 알 수 있다. (2) TSP/PM10의 비값은 일관성있게 모든 측정점에서 황사와 비황사로 설정한 여러 가지 기간 대들과의 차이를 전혀 반영할 수 없는 상황으로 나

타난다. (3) 가장 높은 관측점에 해당하는 N지점은 여전히 N-그룹군간의 비값에서 차이를 발견하기가 어렵다. 전반적으로 대부분의 관측점에서 유사한 경향성을 보이는데 반해, S측정점에서 특이한 경향이 나타나는 현상을 정확하게 설명하기는 어렵다. 그러나 이러한 결과는 S측정점에 분진의 유입원이 타지역과는 다른 특성을 유지하고 있을 가능성을 시사한다. 이 지역에는 상당수의 공장을 위시한 인위적 배출원이 산재하다는 점을 감안하면, 배출원의 차이가 이와 같은 경향의 차이를 유도하는 것으로 추정해 볼 수 있을 듯 하다. 이러한 결과들을 종합적으로 취합해 보면, 다음과 같은 결론을 추가적으로 유추할 수 있다. 먼저 황사는 조대입자 영역의 기여도가 절대적이라는 것을 알 수 있다. 그렇지만 같은 조대군에 속하는 입경들간의 관계는 미세입자들에 비해 상당히 일관된 관계를 유지한다. 예를 들어, TSP/PM10의 비값에서 확인할 수 있는 것과 같이, 입경 2.5와 10사이의 입자군과 10을 초과하는 입자군간에는 황사의 영향을 구분하기가 사실상 불가능하다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 차이는 입경별 분진의 발생원의 차이를 간접적으로 반영한데 따른 결과라고 해석할 수도 있겠다. 조대입자군들은 대체로 자연적으로 발생하므로 황사와 같은 자연적인 현상의 발생유무에 상관없이 입경간의 분포가 일정한 관계를 유지한다. 반면 주로 인위적인 발생원으로부터 배출되는 미세입자의 경우, 황사와 같이 자연적으로 발생한 분진의 유입량이 절대적으로 크게 증가하는 시점에서 조대입자와 평상시에 유지하던 관계가 지속되지 않는 것으로 나타난다.

4. 결 론

2001년 3, 4, 5월을 포함하는 봄철기간 ACE-ASIA의 연구와 궤를 같이하여 서울의 4대 측정점을 중심으로 분진의 분포특성을 분석하고, 그 결과를 황사의 영향과 연계하여 해석해 보았다. 본 연구의 결과에 따르면, 입경별 분진의 분포특성은 황사의 발생에 따라 상당한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 가장 현저한 차이는 시간대별로 황사와 비황사를 구분한 자료에서, 황사시와 비황사시에는 분진의 농도차가 구조적으로 크게 나타나는 것을 확인

할 수 있었다. 이를 보다 세부적으로 보면, 주로 황사기간에는 조대입자 영역의 농도가 현격하게 증가하는 반면, 미세입자 영역의 증가는 절대적인 관점에서 미미한 수준이라는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 황사와 비황사기간의 농도차이가 PM2.5, PM10, TSP의 순으로 결정된다는 점에서 뚜렷하게 확인이 된다.

입경별 영역간의 농도변화를 보다 체계적으로 비교하기 위하여, 이들간의 비값을 이용한 비교분석을 추가하였다. 그 결과에 따르면, 입경이 2.5에서 10에 이르는 조대영역과 10을 초과하는 조대영역간에는 황사와 비황사기간을 식별하는 것이 불가능할 정도로 뚜렷하게 그 비값에서 일관성이 유지되는 것으로 나타났다. 반면 조대입자에 대비한 미세입자의 관계는 황사의 발생유무에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 발생원의 차이에 따른 영향을 어느 정도 간접적으로 반영한 것으로 예상되는데, 기간대별로 분진성분간에 나타나는 여러 가지 경향성의 차이를 확인하는데도 유용한 자료로 활용되었다. 예를 들어, 대부분의 관측지점에서 동일한 비황사기간을 황사와 황사의 간기 또는 황사가 완전히 종료된 시점 등의 방식으로 구분하였을 때, 기간간의 차이에 따른 입경별 농도분포의 차이를 어느 정도 설명하는 것이 가능하였다.

사 사

본 연구는 2000년 학술진흥재단의 기초과학연구과제(KRF-2000-015-DP0453)의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- 김기현, 최규훈, 강창희 (in prep.) 2001년 황사기간 중 서울시 북동부지점에서 관측한 중금속성분의 농도 분포.
- Chung, Y.S. and M.B. Yoon (1996) On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings. *Atmospheric Environment*, 30, 2387-2397.
- Gao, Y., R. Arimoto, J.T. Merrill, and R.A. Duce (1992) Relationships between the dust concentration over eastern Asia and the remote North Pacific. *J. Geophys.*

- Res., 97, 9867-9872.
- Huang, M. and Z. Wang (1998) A model for long-range transport of yellow-sand in East Asia. *Scientia Atmospherica Sinica*, 22, 625-637.
- Kim, K.H., M.Y. Kim, J. Kim, and G. Lee (submitted) The concentrations and fluxes of total gaseous mercury in a western coastal area of Korea during the intense Asian Dust period, 2001 *Atmospheric Environment*.
- Lin, T.H. (2001) Long-range transport of yellow sand to Taiwan in spring 2000: observed evidence and simulation. *Atmospheric Environment*, 35, 5873-5882.
- Okada, K., H. Naruse, and T. Tanaka (1990) X-ray spectrometry of individual Asia dust-storm particles over the Japanese islands and the North Pacific ocean. *Atmospheric Environment*, 24A, 1369-1378.