

부산지역 계절별 입자 특성에 관한 연구

환경조사과

조 정 구

A study on Seasonal Particle Characterization in Busan

Environmental research division

Jeong-Goo Cho

ABSTRACT

Many researches were focused on the data which obtained from chemical bulk analysis. It is difficult to evaluate source contribution by wet type chemical bulk analysis. In this study, we have reviewed the characterization of individual particle for source identification. We analyzed by SEM/EDX methods. We have obtained average geometric particle diameter measured by optical diameter which were resulted from SEM/EDX image scan, representative physical diameter of individual particle was 3.38 μm in A, 3.67 μm in B.

In the result of image analysis at each spots particles, both samples non-sphere shapes, C-rich particles. In consequence of chemical analysis of individual particle, each sampling sites some elements.

Key word : SEM/EDX methods, individual particle, image analysis, chemical analysis

서론

급격한 경제발전과 산업의 발달로 많은 사람들이 오염된 대기 환경 속에서 살고 있다. 이에 따라 최근 들어 일상생활에서 호흡하는 대기질에 대해 많은 관심을 가지게 되었다.

대기 중 에어로졸 입자에는 각종 유해 중금속이 자체적으로 부유하거나, 부유 먼지에 흡착되어 있는 중금속성분을 파악하는 것은 인체 보건학적으로 중요한 일이다. 대기 에어로졸 입자는 호흡과 함께 기관지, 폐에 침착되어 천식, 폐암 등을 일으키는 원인이 된다. 또, 태양 방사를 산란 흡수하고, 수분입자 등이 응축되어 구름 생성의 핵이 되어서 지구 대기계의 열수지에 영향을 주어 기후 변동의 요인이 된다. 이와 같이, 대기 에어로졸 입자는 인체영향과 지구규모의 기후영향 또는 대기 중에 있어서 광화학반응 등 물리, 화학적 반응과정을 일으키며 대기 중에 존재하는 가스상 물질과 더불어 중요한 성분으로 인식되고 있다.¹⁾ 대기 중에 존재하는 에어로졸 입자는 각종 미량의 화학성분으로 구성되어 있는 분산체이며, 그 성상은 공간적, 시간적으로 크게 변동하므로 입경별 화학적 조성의 공간적, 시간적 분포의 파악과 분석이 중요하다.

또한, 에어로졸 입자의 형상은 그 발생원에 따라 또는 존재 형태에 따라 매우 다양하고 불규칙적이며, 그 화학적 성분은 대부분 입자가 생성된 발생원의 성분과 같

은 화학적 특성을 나타낸다. 따라서, 대기 중 미세입자에 대한 발생원 추정 및 발생원 정보를 파악하기 위해서는 물리적인 특성과 화학적인 특성을 파악하는 것이 필수적이다. 현재 이루어지고 있는 대부분의 연구가 개별적 분진의 특성 파악에 대한 정보가 부족하며, 입자조성 자료의 분석이 습식 화학적 분석법으로 이루어져 왔으며, 개개의 입자가 지니는 고유의 화학적인 정보가 소실되어 입자가 지니는 특성을 파악하기가 어려운 단점을 지니고 있었다. 또한, 에어로졸 입자의 화학분석법은 일반적으로는 습식의 파괴적인 원소분석으로 하는 경우가 많으며, 필터 단위의 분석을 기본으로 하여 장시간 포집에 의한 단시간의 시간변동 자료 소실과 개개의 입자가 지니는 정보가 무시되고 평균화되어 버리는 단점을 가진다.

그러므로, 대기 및 발생원에 대한 개별 입자의 입자별 특성 파악에 관한 연구가 시급한 실정이다.

Post 등은 SEM/EDX 분석을 이용해서 입경이 0.1~30 μm 의 대기 에어로졸입자를 분석하여, S를 많이 포함한 입자, Pb를 많이 포함한 입자, 토양성 입자, 그 외 다른 입자도 분류해 각각의 입경분포를 구하였다.²⁾ Ma 등은 SEM/EDX와 Micro-PIXE를 이용하여 황사의 특성을 조사하기 위하여 개별 입자의 형상, 조성과 농도를 토코 등에서 측정하였다. 개별 입자들은 일반적으로 형태상 불규칙적이고 Si, Fe, Ca, Al과 같은 대부분 암석 기원 원소가 얻어지며,

Si성분이 개별입자 중에 50% 가까이 구성되어 있음을 보고하고 있다.³⁾ Paoletti 등은 1998년 10월과 2002년 2월 사이에 로마의 도시지역에서 11번 입자 샘플링을 통하여 개별입자의 계절 경향을 평가하였다. 각 시료는 SEM/EDX으로 분석하여 C-rich 입자, carbonates, silica, silicate, sulfates, Fe-rich 입자, 그리고 기타 금속들로 분류하였다. 또, carbonaceous와 silicate 입자들은 표면에 S가 부착되어 있는 것으로 관찰되었다. 이는 계절적 영향을 받는다고 보고하고 있다.⁴⁾

김혜진은 SEM/EDX를 이용하여 개별입자 분석에 순수 입자군 분류에 많이 이용하였으며⁵⁾, 강승우는 디젤입자의 분류, 순수 황사 입자를 분류하였다.⁶⁾ 한편, 대기 중 이온성분의 변화는 대기 내에서 화학적인 변화를 추적하는 실용적인 도구로서 사용되어지므로 이온성분의 분석이 오랫동안 대기화학연구에 사용되어 왔다. 그리고 전체 입자상 물질의 성분분석에 있어서 금속 성분과 더불어 가장 필수적인 항목이다.

Hilary 등은 산성 가스와 PM2.5 입자의 중량농도 및 이온성분의 농도를 비교하여 보고하였다.⁷⁾

Wei 등은 중국의 4대도시 중 8개 초등학교지역에서 PM10과 PM2.5를 샘플링하여 PM2.5가 PM10의 52~75%를 차지함을 보고하였으며, XRF를 이용하여 원소분석을 통하여 조대입자보다 미세입자가 많음을 확인하였다.⁸⁾

이에 본 연구는 부산의 도심 지역에서

계절별로 입자의 특성을 SEM/EDX와 이온 분석을 통하여 계절별로 분석하여 발생원 및 물리/화학적 특성을 알아보고자 하였다.

실험방법

1. 시료채취

입자의 특성을 살펴보기 위해 시료채취 지점은 부산광역시 사하구 하단동에 위치한 사하소방서 옥상(북위: 36°06', 동경: 127°05')과 부산광역시 사하구 하단동 동아대학교에서 채취하였다. 소방서 옥상(지상 15 m)은 교통 통행량이 많으며, 주위에 신평공단과 장림공단 등이 위치하여 있어 이들의 영향을 받는 지역이라 사료된다. 동아대학교 옥상은 승학산에 위치하여 있으며, 교통량이 적은 지역이다.

시료의 포집기간은 2004년 1월부터 2004년 10월까지 행하였으며, 2주 간격으로 포집하였다. 샘플링 시간은 SEM/EDX 분석용은 4시간을 기준으로 하였으며, 이온 분석은 24시간을 기준으로 포집하였다. 시료 포집은 소방서(A지점)와 동아대학교 옥상(B지점)에서 동시에 포집하였다.

2. 시료의 포집방법

대기 입자 중 개별입자를 포집하기 위하여 PM10 cyclone sampler (3-stage filter pack, URG社)를 사용하였다.

시료 채취시 샘플링 유량은 16.7 L/min(1 m³/hr)으로 고정하였다. 개별 입자의 특성을 파악하기 위하여 포집여지는 SEM/EDX

분석시 영향이 적고, 직경이 47 mm, pore size 0.4 μm 인 미국 Costar사의 Nuclepore polycarbonate filter를 사용하였으며, 포집 전후 48시간 이상 항온, 항습상태(RH 50%)의 데시케이터에 보관하여 항량한 다음 분석 시료로 사용하였다. 이온 분석을 위하여 포집여지는 PTFE Zeflour (polytetrafluoroethylene, Φ 47 mm, pore size 2.0 μm)를 사용하였다.

3. SEM/DEX 사용 시료분석

3.1. 물리적 분석

개별입자 분석을 위해 SEM(Model JSM-6700F, Jeol社)을 사용 하였으며, 가속전압 20 keV, working distance 25 mm 이하이며, 배율은 입경분포를 5,000배로 하고, 입자의 형상 관찰은 10,000배로 고정하였다.

개별입자의 영상 분석을 하기 위해 각 여지 위에 동심원을 그리고 8개의 등면적

으로 구분하여 구분된 각 면적마다 측정점을 측정단면에서 서로 직교하는 직경선상의 각 채취점 배열 비율에 따라 측정선상에 동일하게 배열하였다. 이렇게 선정된 9개 측정점에서 입경분포를 구하기 위해서 물리적 직경이 1 μm 이상 모든 입자의 개수를 측정하여 물리적 자료를 구하였고, EDX 분석시 크기가 작은 3 μm 미만의 입자는 기기의 측정 오차문제로 분석이 불가능하여 물리적 직경이 3 μm 이상에서 10 μm 미만의 조대입자에 속하는 토양먼지만을 개별입자 분석하였다.

3.2. 화학적 분석

개별입자의 화학적 분석에 사용된 EDX(Model-7421, Oxford社)는 SEM의 보조장치로 사용하였다. EDX는 기기 성능상 3 μm 미만의 입자들을 분석할 수 없는 단점을 가지고 있으므로 각 분석 대상 시

Table 1. Analytical conditions for SEM/DEX analysis

working distance	>25 mm
Accelerating voltage	20 keV
SEM image magnification	$\times 10,000$
thickness of coating	$\times 3,000$
Detector	20 nm
Analysis species	Electro multiplier(Dual mode) Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Zn, Br, Pb

료에서 3 μm 이상의 입자에 대해서 SEM의 시야를 바꾸면서 각 시료의 측정을 반복 수행하였다. 시료의 코팅은 두께 20 nm로 Pt코팅으로 행하였고, working distance는 25 mm, 가속전압 20 keV, 배율은 입경분포를 관찰하기 위하여 SEM은 5,000배로 고정시키고, EDX 분석시는 3,000배로 고정하여 분석하였다. 시료를 분석하기 전에 대표적인 조성 자료를 얻을 수 있는지의 판단 여부를 위하여 입자의 균일성에 관한 검토를 수행하였다. 분석 대상 원소는 Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Zn, Br, Pb등 총 19개 원소에 대해 실시하였다. 분석 조건을 Table 1에 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 개별입자의 물리적 성상

1.1. 개별입자의 입경 분포

부산 사하구의 두 지점에서 샘플링된 시료를 분석대상으로 하였다. 각 여지마다 40개 분석점을 선정하여 포집된 입자들을 10,000배의 일정한 배율로 고정시키고, SEM 이미지상에서 자동으로 스캔된 개별 입자의 입경과 입자의 개수, 개수빈도를 구하였다. Fig. 1~Fig. 4에 공기역학적 직경을 나타내었다.

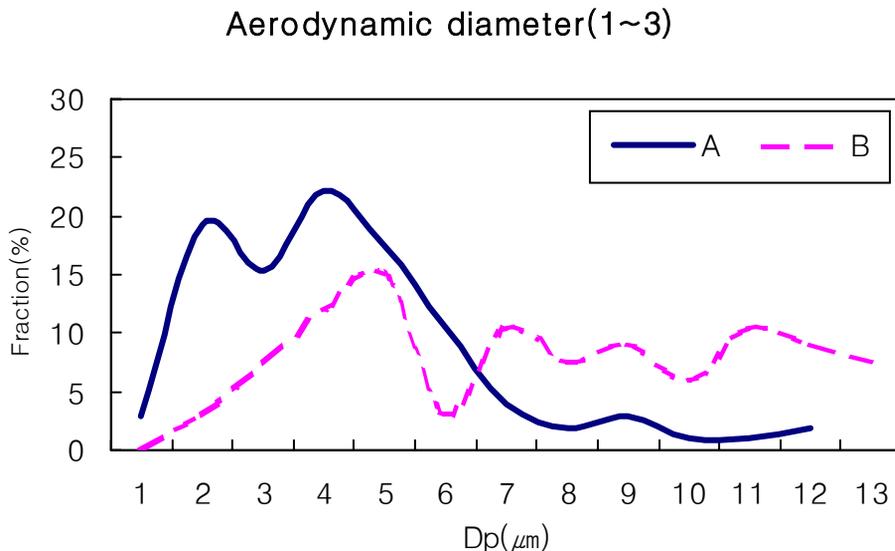


Fig. 1. Frequency distribution of aerodynamic diameter from samples (January~March)

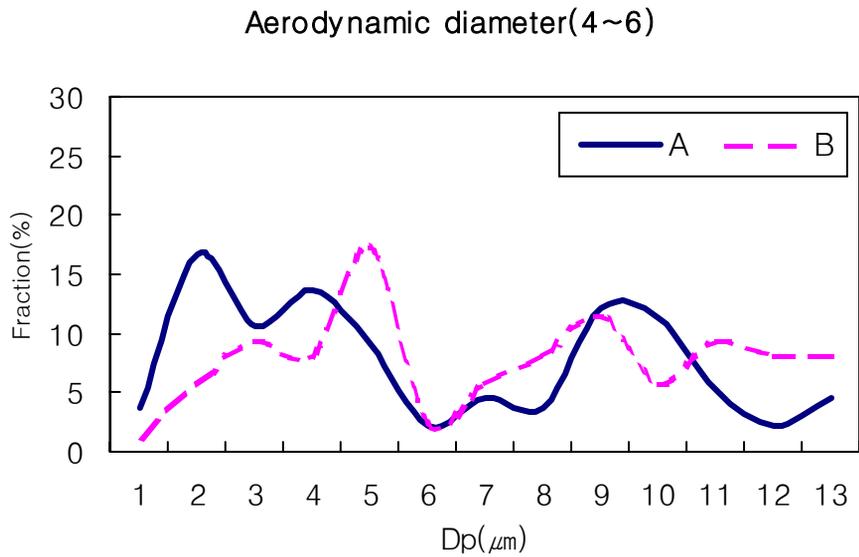


Fig. 2. Frequency distribution of aerodynamic diameter from samples (April~June)

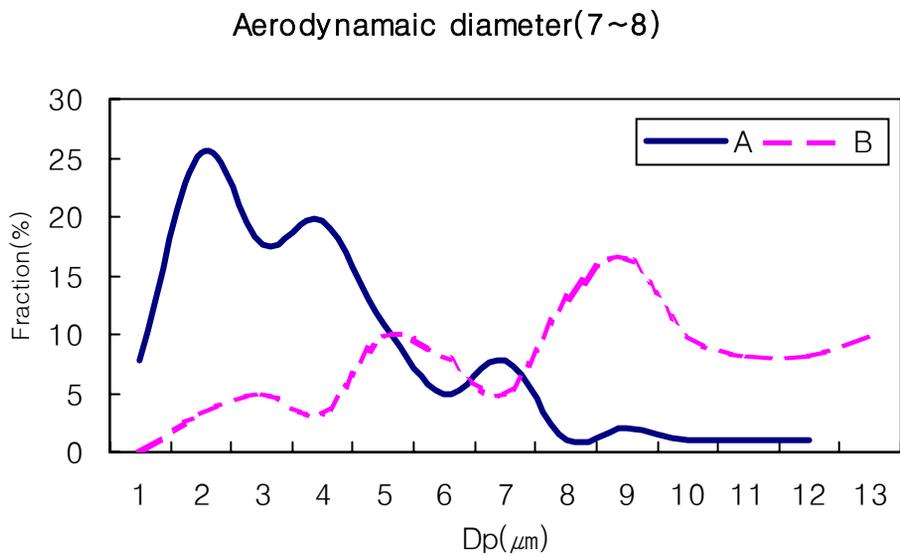


Fig. 3. Frequency distribution of aerodynamic diameter from samples(July~August)

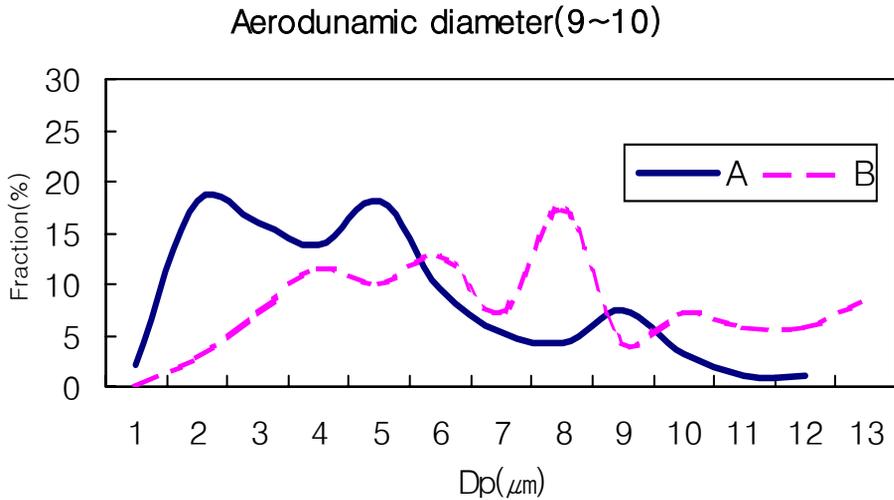


Fig. 4. Frequency distribution of aerodynamic diameter from samples (September~October)

각 입자들에 대한 분석결과 1월에서 3월 사이의 A지점의 대표적인 기하 평균직경은 $3.42 \mu\text{m}$ 이고, B 지점의 대표적인 기하 평균은 $3.64 \mu\text{m}$ 이며, 4월에서 6월 사이의 A지점의 대표적인 기하 평균직경은 $3.53 \mu\text{m}$ 이고, B 지점의 대표적인 기하 평균은 $3.87 \mu\text{m}$ 이다. 또한, 7월에서 8월 사이의 A지점의 대표적인 기하 평균직경은 $3.29 \mu\text{m}$ 이고, B 지점의 대표적인 기하 평균은 $3.57 \mu\text{m}$ 이며, 9월에서 10월 사이의 A지점의 대표적인 기하 평균직경은 $3.38 \mu\text{m}$ 이고, B 지점의 대표적인 기하 평균은 $3.67 \mu\text{m}$ 이다.

A 지점의 기하 평균직경이 B지점보다 비교적 작은 것으로 나타난다. 이는 A 지점은 소방서 옥상은 교통량이 많은 지역으로서 자동차 매연 및 타이어 분진에서

나오는 영향과 주위의 제강공단, 염색공단, 도금공단 등 산업 발생원 영향에 의한 것이라 판단된다. B 지점에서는 토양입자의 영향에 의한 것이라 사료된다. 또한, 계절적 변화에서 보면 여름인 7~8월이 가장 입자가 미세하며, 봄철인 4~6월이 가장 입자가 크다. 이는 여름철에는 광화학적 반응에 의한 특성이 있으며, 봄철에는 황사의 영향이 미치는 것으로 판단된다.

1.2. 개별 입자의 형상

대기 중에 존재하는 입자들은 그 지역의 해당 발생원에 따라 여러 다른 형상이 결정되어지므로 대기 중의 입자의 형상을 관찰함으로써 그 발생원을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 SEM을 이용하여 개별입자

의 형상을 관찰 하였으며, EDX를 통하여 그 성분을 알아보고자 하였다.

Fig. 5는 A지점에 생성되는 대표적인 입자의 형상을 나타내었다. (a), (b)와 같은 형태는 매연 입자의 형태이며, 이는 교통량이 많은 지역의 특성이라 사료된다. 또한 (c), (d)는 fly ash와 토양 입자가 공존하는 형태이다. 가끔 (e)와 같은 바이오 입자들이 발견되었다. A지점 주위에 철강 공장 및 염색공단이 위치하고 있어 인위적 오염물질이라고 사료된다. 이들 입자는 전형적인 도시 에어로졸의 형상을 지니고 있음을 확인 할 수 있었다.

또한 B지점에서는 대부분의 입자가 토양입자가 나타났으며, 이는 EDX로 분석 결과 Si가 주성분임을 확인하였다. Fig. 6에 포집된 토양입자의 형상을 나타내었다.

1.3. SEM/EDX를 이용한 개별입자의 화학적 성상

현미경적 방법인 SEM/EDX는 짧은 시간 내에 입자의 크기와 화학 조성을 포함하는 수많은 개별입자의 정보를 제공한다. 개별 입자의 화학적 정보를 얻기 위해 19개의 원소를 변수로 두어 EDX에서 X선 분석을 수행하였다. 19개의 화학적 변수는 Na,

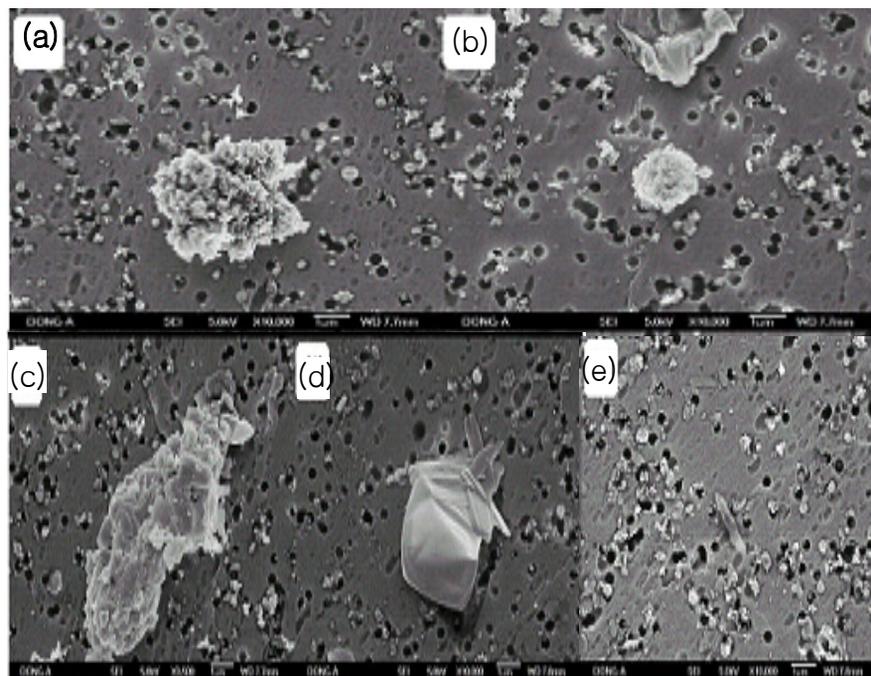


Fig. 5. SEM images of particles in fire office (a)wet soot (b) dry soot (c), (d) mixed fly ash and soil (e) biological particle

Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Pb 이다. EDX의 분석은 Noise제거 작업을 거친 후 실시하

였다. Table 2 ~ Table 5에는 A 지점에서 의 화학적 조성을 나타내었다.

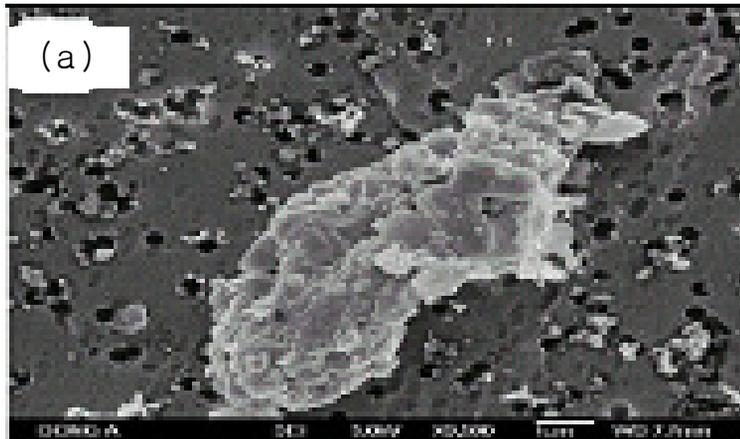


Fig. 6. SEM images of particles in Dong-A university (a) soil

Table 2. Chemical composition of individual particle for A (January~March) (%)

No.	Dp(μ m)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1	3	66.5	7.5	1.3	5.3	8.2	1.9		0.7	2.7		0.7				
2	1~2	20	65.8	0.3	0.5	6.2	14.8	1.8	0.1	0.6	0.9		4.2	0.1	0.7		0.6
3	2~3	16	62.4	0.4	0.6	3.1	16.5	0.3	0.3	0.5	4.1	0.3	8.3	0.4	0.4		1.3
4	3~4	23	60.2	1.6	1.3	6.5	15.7	0.2	0.1	1.2	2.1		5.1		0.5	0.1	
5	4~5	18	58.1	1.3	0.9	5.3	17.2	1.9	1.1	1.3	5.3	0.6	3.7	0.1		0.1	1.1
6	5~6	11	56.4	0.7	5.3	4.6	21.2	0.2		0.3	1.0		4.3				2.8
7	6~7	4	53.2	1.3	0.5	5.2	18.2	0.1	0.5	4.9	6.1		0.9	0.8	0.7		12.7
8	7~8	2	56.8	0.2	0.5	4.8	8.2		0.1			15.1	3.7		1.7		0.9
9	8~10	3	47.1		2.2	4.1	8.8	0.8	1.3	1.8	5.3	0.8	35.1				0.7
10	9~10	1	65.2	1.1	1.3		9.2	0.5	0.6	0.8			4.0		9.5		
11	10~11	1	62.3	0.8		1.1	13.8				3.9		1.3				
12	11~12	2	64.7			11.5	14.2	1.3			3.3		1.0				
13	13~																

Table 3. Chemical composition of individual particle for A (April~June)(%)

No.	Dp(μ m)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1	5	65.4	6.8	1.2	5.2	8.7	1.2	0.1	0.6	2.1		0.6				
2	1~2	22	63.9	0.7	0.6	6.1	15.3	1.9		0.5	0.7		4.1	0.2	0.6		0.5
3	2~3	14	63.2	0.6	0.3	3.8	16.8	1.2	0.1	0.5	4.2	0.2	7.9	0.4	0.3		1.1
4	3~4	18	61.4	0.9	1.1	6.5	17.6	0.2	0.2	1.3	1.9	0.1	6.1		0.5	0.1	
5	4~5	12	57.7	1.6	0.9	4.8	19.2	1.5	1.0	1.2	5.5	0.4	3.8	0.1		0.1	1.3
6	5~6	3	56.2	0.8	5.5	5.1	23.1	0.4	0.3	0.2	0.9		4.1			0.1	2.2
7	6~7	6	54.1	1.6	0.7	5.0	17.9	0.3	0.9	3.8	5.8		0.8	0.6			10.7
8	7~8	5	54.5	0.2	0.6	4.7	9.3	0.1	1.1	0.9		15.6	3.8	0.1	1.1		0.8
9	8~10	16	46.8	0.1	2.1	4.6	10.1	0.5	1.8	1.4	5.1	0.7	36.3				0.6
10	9~10	15	63.8	1.8	1.1	0.7	8.9		0.4				3.7		8.9		
11	10~11	7	64.7	1.1	0.5	1.0	12.4		0.1		4.1		1.2				
12	11~12	3	63.8			10.2	15.1	1.5			3.1		1.1				
13	13~	6	66.7			12.3	16.8				0.1		1.3				

Table 4. Chemical composition of individual particle for A (July~August)(%)

No.	Dp(μ m)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1	8	65.7	6.8	1.4	5.2	7.1	1.7		0.6	2.5		0.4				
2	1~2	26	64.3	0.5	0.6	5.8	13.8	1.5	0.2	0.5	0.8	0.1	4.0		0.5	0.2	0.3
3	2~3	18	65.1	0.7	0.3	3.0	14.5	0.2	0.1	0.3	3.8	0.2	8.1	0.3	0.6	0.4	1.2
4	3~4	20	60.1	1.5	1.1	6.2	13.7	0.2	0.1	0.9	1.9		4.9	0.1	0.7		
5	4~5	11	59.1	1.4	0.9	5.1	15.2	1.7	0.9	1.1	4.6	0.6	3.2	0.1		0.1	0.9
6	5~6	5	56.3	0.6	5.1	4.7	20.2	0.1		0.1	0.9		3.9				2.3
7	6~7	8	55.1	1.2	0.6	5.0	16.2	0.3	0.4	5.1	4.2		1.2	0.6	1.1	0.1	11.5
8	7~8	1	54.1	0.3	0.3	3.9	10.0	0.1	0.5		0.3	13.1	2.8		1.3		0.5
9	8~10	2	49.1		2.1	3.7	9.8	0.9	1.5	1.2	4.7	0.6	29.7				0.1
10	9~10	1	64.2	1.0	1.7		9.4	0.4	0.7	0.7			6.1		8.7		
11	10~11	1	63.1	0.9		1.0	12.8				0.9						
12	11~12	1	62.5	0.2		10.2	13.2	1.2			2.2		1.5				
13	13~																

Table 5. Chemical composition of individual particle for A (September~October) (%)

No.	Dp(μm)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1	2	63.5	6.9	1.1	4.9	9.0	1.7		0.4	3.1		0.9				
2	1~2	17	64.3	0.6		6.5	12.9	1.9		0.5	1.2		5.1	0.2	0.5		0.7
3	2~3	15	61.8	1.1	0.7	3.4	15.1	0.5	0.2	0.8	4.3	0.2	9.5	0.6	0.3	0.1	1.5
4	3~4	13	59.9	1.8	1.5	6.2	15.0	0.6	0.3	1.0	2.3		4.2		0.2	0.2	
5	4~5	17	56.1	1.4	1.1	4.9	16.9	1.8	0.8	1.5	5.8		3.1	0.5		0.1	1.1
6	5~6	9	57.8	0.9	4.8	5.1	22.2	0.3	0.3	0.6	0.9	0.9	5.1				2.8
7	6~7	5	52.7	2.1	1.3	5.4	17.8	0.2	0.6	4.3	7.3		0.6	0.6		0.1	14.1
8	7~8	4	51.9	1.1	0.3	4.3	9.1				0.9	13.9	2.9		2.1		0.8
9	8~10	7	43.7	0.2	2.1	3.9	8.9	0.9	1.5	1.8	6.1	0.6	32.8	0.1			0.6
10	9~10	3	61.2		1.2	0.1	10.1		0.5			0.1	4.3		6.9		
11	10~11	1	60.3	0.9	0.1	1.3	14.3	0.1			4.2		1.8				
12	11~12	1	62.6	0.1		13.2	12.2	1.2			4.8		1.6				
13	13~																

Table 2 ~ Table 5에 나타난 A지점의 SEM/EDX 분석 결과, 조대 입자 중 Si와 Al은 계절에 관계없이 10~20 % 정도로 높게 나타난다. 이는 A지점 주위의 신축 공사 및 빈번한 교통량으로 인한 도로의 마모가 원인으로 사료된다. Fe, Mn 등의 금속 원소도 높게 나타나는데 이는 주위의 공단 지역으로부터의 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 S와 Zn 등의 원소들도 미량으로 나타나는데, S는 자동차 등의 연소로 인한 입자의 배출로 발생하였고, Zn은 자동차 타이어의 가스제로서 차량 운행에 의한 마모로 발생된 것으로 사료된다. Pb와 Br 성분은 자동차와 같은 이동 배출원에서

배출되는 것으로 알려져 있다. 측정 결과 많은 양이 나오지 않음을 알 수 있는데, 이는 연료 개선에 의한 영향으로 추정된다.

Table 3에 보면 Si가 다른 계절보다 높는데 이는 황사의 영향인 것으로 판단된다. 또한 Fe의 분율도 높는데 이는 황사에 의한 이동으로 추정된다. 겨울철에는 비교적 S의 성분이 연료의 연소가 많아 높은 것으로 판단된다. 여름인 7월과 8월에 보면 미세 입자의 비율이 높다. 광화학 반응에 의한 미세 입자의 생성량이 많은 것으로 판단된다.

Table 6 ~ Table 9는 B지점에서의 화학적 성분을 나타내었다.

Table 6. Chemical composition of individual particle for B (January~March)(%)

No.	Dp(μ m)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1																
2	1~2	2	69.2	7.8		2.8	16.3	0.1	4.8	0.7	3.9		2.8				
3	2~3	5	68.3	3.2	0.1	4.2	17.5	0.1	5.5	0.2	5.8	0.1	2.3			0.1	0.6
4	3~4	8	66.8	2.5	0.4	7.1	17.3		1.3	0.3	3.8		2.1				
5	4~5	10	63.5	3.5	0.3	5.8	20.1	0.3	0.9	0.8	6.2	0.1	3.1				
6	5~6	2	59.2	1.3	0.8	4.5	23.7		0.8	0.1	2.1		3.8				0.3
7	6~7	7	60.2	2.4	0.3	4.9	18.8	0.1	0.7	0.9	3.0		2.9				
8	7~8	5	59.3	1.1		3.9	13.7		0.1	0.1	0.2	0.8	1.7				0.5
9	8~10	6	57.6	2.3	0.5	4.0	14.1	0.2	0.3		2.1	0.1	1.9				0.3
10	9~10	4	67.2	1.2	0.6	2.1	15.1	0.2	0.3	0.3	1.1		2.1				
11	10~11	7	65.4	1.0		1.5	18.1		0.1		8.3		2.3				
12	11~12	6	66.9	1.4		3.5	17.2	0.1	0.2		3.5		2.0				
13	13~	5	65.4	0.7		5.8	21.0		0.1		1.5		3.0				

Table 7. Chemical composition of individual particle for B (April~June) (%)

No.	Dp(μ m)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1	1	63.1	6.1		5.5	10.6		0.1	0.3	2.0		0.9				
2	1~2	5	62.1	1.7	0.1	6.2	17.2	0.8		0.2	1.2		2.4				
3	2~3	8	65.3	1.2	0.2	3.9	18.3	0.2		0.1	3.8		2.2				0.1
4	3~4	7	60.9	0.9	0.7	5.5	20.2	0.1	0.1	0.3	1.1		2.8			0.1	
5	4~5	15	60.3	1.1	0.3	4.2	21.8	0.7	0.1	0.7	1.5		3.8				
6	5~6	2	58.1	0.9	5.1	4.8	24.1			0.1	0.7		4.4				0.3
7	6~7	5	55.1	1.3	0.2	5.0	22.2	0.1	0.2	1.2	3.1		4.0	0.1			0.5
8	7~8	7	58.5	0.1	0.1	4.3	15.1					2.5	2.7	0.1	0.2		
9	8~10	10	52.3		1.2	4.1	13.7	0.2		1.1	2.3		16.1				0.1
10	9~10	5	64.2	1.4	0.3	0.1	10.7		0.1				2.1		0.2		
11	10~11	8	65.1	0.7	0.1	0.5	15.2				5.2		1.8				
12	11~12	7	66.2			7.7	18.1	0.2			2.3		2.7				
13	13~	7	67.1			8.6	19.2		0.1		0.2		1.6				

Table 8. Chemical composition of individual particle for B (July~August) (%)

No.	Dp(μm)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1																
2	1~2	2	62.3	0.6	0.8	5.1	9.8			0.1	0.2		0.8				
3	2~3	3	66.4	0.2	0.1	3.5	10.1				1.6		1.0		0.1		0.1
4	3~4	2	62.7	0.3		4.3	10.0			0.1	0.3		0.9				
5	4~5	6	61.3	0.8	0.3	4.8	13.1	0.2	0.1	0.7	2.1	0.1	1.0				0.2
6	5~6	5	58.9	0.3	2.2	3.7	15.3				0.2		1.2				0.8
7	6~7	3	57.5	0.8	0.2	3.8	13.4	0.1	0.1	3.1	3.5		0.9	0.1	0.2		2.5
8	7~8	8	56.8	0.1		2.0	7.9		0.1	0.1	0.1	1.8	0.2		0.1		
9	8~10	10	52.7		0.1	2.2	7.5	0.2	0.1	0.3	2.8	0.1	2.9				
10	9~10	6	63.8	0.7	0.2		8.2		0.1	0.1			0.9		1.1		
11	10~11	5	65.1	0.8		0.7	10.9				0.1	1.3					
12	11~12	5	64.2			8.3	12.8	0.8			1.3		1.0				
13	13~	6	66.6														

Table 9. Chemical composition of individual particle for B (September~October)(%)

No.	Dp(μm)	fq.	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Br	Pb	Zn
1	0~1																
2	1~2	2	65.7			5.8	14.2				0.9		2.1				
3	2~3	5	63.4	0.1	0.3	2.9	16.1		0.1	0.3	3.8		1.2	0.1			0.2
4	3~4	8	62.8	0.3	1.1	5.6	17.2	0.1		0.7	2.0		2.0			0.1	
5	4~5	7	61.4	0.2	0.5	5.1	18.3	0.2		0.3	4.9		2.2	0.1		0.1	0.1
6	5~6	9	63.2	0.1	2.6	5.3	20.1		0.1	0.1	0.7	0.1	3.5				1.0
7	6~7	5	58.6	1.0	0.7	4.9	17.4	0.1		3.0	5.6		1.8	0.2			3.8
8	7~8	12	57.4	0.2		4.7	12.3			0.1	0.2	3.8	1.0		0.5		0.1
9	8~10	3	53.8		1.6	4.2	10.0	0.3	0.1	0.6	6.3		13.5				0.1
10	9~10	5	65.3		0.8		9.7	0.2					0.8		0.7		
11	10~11	4	63.7	0.3		2.3	13.1	0.3		0.1	3.9		0.9				0.1
12	11~12	4	64.3			11.2	10.3	0.1			3.3		1.1				
13	13~	6	65.5	0.1		12.7	13.8				4.2		1.2				

B지점을 SEM/EDX로 분석한 결과 토양 성분을 이루는 Si, Al 비율이 높게 나타났다. 또한 인위적 오염원인 Pb, Br, Zn 및 Ti의 성분은 낮게 나타났다. 4월~6월 사이에는 황사의 영향을 Si 성분이 높게 나타났다. A지점에 비해 조대 입자 성분이 많다.

일반적으로 순수 토양의 Fe/S비는 0.17로 알려져 있으며,⁹⁾ 이 값이 높게 나타나는 것은 Fe의 다른 인위적인 배출원이 있음을 의미한다. A지점에서 Fe/Si 비는 0.310으로, 순수 토양에 비해 1.8배 정도 높게 나타났다. 주변에 철강공단에 의하여 Fe/S비가 높게 나타난 것으로 판단된다. B지점에서 Fe/Si비는 0.182로서 순수 토양에 가깝게 나타난다. 그러나 황사 기간에서는 Fe/Si비가 0.196으로서 높게 나타나는데 이는 황사성분에 인위적인 Fe 성분이 함유되어있는 것으로 사료된다. 또한, Mn/Si 비도 순수 토양에서의 구성비는 0.0034로 나타나 있으며,⁹⁾ 이 값이 높다는 것은 Mn의 인위적 배출이 있다는 것으로 의미한다. A지점에서 Mn/Si비는 0.0241로서 순수 토양에 비해 7배정도 높게 나타나, Mn의 인위적인 배출원의 영향을 크게 받음을 나타낸다. B지점에서 Mn/Si비는 0.0058정도로서 순수 토양보다 약간 높게 나타난다.

결 론

1. 개별입자의 물리적 특성 분석에서 각 입자들에 대한 분석결과 A지점의 대표적인 기하 평균직경은 3.43 μm 이고,

B 지점의 대표적인 기하 평균은 3.69 μm 로서, A지점의 기하 평균직경이 B지점보다 비교적은 작은 것으로 나타났다. 이는 A지점은 소방서 옥상은 교통량이 많은 지역으로서 자동차 매연 및 타이어 분진에서 나오는 영향과 주위의 기계공단, 염색공단, 도금공단 등 산업 발생원 영향에 의한 것이라 판단된다. B지점에서는 토양입자의 영향에 의한 것이라 사료된다. 또한, 계절적 변화에서 보면 여름인 7~8월이 가장 입자가 미세하며, 봄철인 4~6월이 가장 입자가 크다. 이는 여름철에는 광화학적 반응에 의한 특성이 있으며, 봄철에는 황사의 영향이 미치는 것으로 판단된다.

2. A지점에 생성되는 대표적인 입자의 형상은 매연 입자의 형태이며, 이는 교통량이 많은 지역의 특성이라 사료된다. 또한 fly ash와 토양 입자가 공존하는 형태가 나타나기도 한다. A지점 주위에 철강, 재련 공장 및 염색공단이 위치하고 있어 인위적 오염 물질이라고 사료된다. 이들 입자는 전형적인 도시 에어로졸의 형상을 지니고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, B지점에서는 대부분의 입자가 토양입자로 나타났으며, 이는 EDX로 분석 결과 Si가 주성분임을 확인하였다.

3. A지점의 SEM/EDX 분석 결과 조대입자 중 Si와 Al은 계절에 관계없이

10~20 % 정도로 높게 나타난다. 이는 A지점 주위의 신축 공사와 빈번한 교통량으로 인한 도로의 마모가 원인으로 사료된다. Fe, Mn 등의 금속 원소도 높게 나타나는데 이는 주위의 공단지역으로부터의 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 S와 Zn 등의 원소들도 미량으로 나타나는데, S는 자동차 등의 연소로 인한 입자의 배출로 발생하였고, Zn은 자동차 타이어의 가소제로서 차량 운행에 의한 마모로 발생된 것으로 사료된다.

봄철에 Si가 다른 계절보다 높는데 이는 황사의 영향인 것으로 판단된다. 또한 Fe의 분율도 높는데 이는 황사에 의한 이동으로 추정된다. 겨울철에는 비교적 S의 성분이 연료의 연소가 많아 높은 것으로 판단된다. 여름인 7월과 8월에 보면 미세입자의 비율이 높다. 광화학반응에 의한 미세입자의 생성량이 많은 것으로 판단된다.

B지점을 SEM/EDX로 분석한 결과 토양성분을 이루는 Si, Al 비율이 높게 나타났다. 또한 인위적 오염원인 Pb, Br, Zn 및 Ti의 성분은 낮게 나타났다. 4월~6월 사이에는 황사의 영향을 Si 성분이 높게 나타났다. A지점에 비해 조대 입자 성분이 많다.

4. A지점에서 Fe/Si 비는 0.310으로, 순수 토양에 비해 1.8배 정도 높게 나타났다. 주변에 철강공단에 의하여 Fe/S비가 높

게 나타난 것으로 판단된다. B지점에서 Fe/Si비는 0.182로서 순수 토양에 가깝게 나타났다. 그러나 황사 기간에서는 Fe/Si비가 0.196으로서 높게 나타나는데 이는 황사성분에 인위적인 Fe 성분이 함유되어있는 것으로 사료된다. 또한, A 지점에서 Mn/Si비는 0.0241로서 순수 토양에 비해 7배정도 높게 나타나, Mn의 인위적인 배출원의 영향을 크게 받음을 나타낸다. B지점에서 Mn/Si비는 0.0058정도로서 순수 토양보다 약간 높게 나타났다.

참고문헌

1. 대기환경연구회, 2003, 대기환경개론, 동화기술
2. J. E. Post and P.R. Buseck, 1984, Environ. Sci. Tech., 18(35)
3. Chang-Jin Ma, 2001, Characteristics of single particles sampled in Japan during the Asian dust-storm period, Atmos. Environ. 35, 2707-2714
4. Luigi Paoletti, Barbara De Berardis, Macro Diociaiuti, 2002, Physico-chemical characterisation of the inhalable particulate matter (PM10) in an urban area;an analysis of the seasonal trend, the science of the Total Environment, 292, 265-275
5. 김혜진, 1999, SEM/EDX를 이용한 디젤분진의 입자별 분석, 경희대학교 석사학

위 논문

6. 강승우, 2000, SEM/EDX를 이용한 순수 황사입자군의 분류법칙 개발, 경희대학교 석사학위 논문
7. Hilary H. Main, Paul T. Roberts, Frederick W. Lurmann, David B. Wright, Richard Reiss and Susanne V. Hering, 1995, Measurement of Acid Gases and $PM_{2.5}$ in 12 Southern California Communities for use in an Epidemiologic Study
8. F. Wei, E. Teng, G. Wu, W. Hu, W. E. Wilson, R. S. Chapman, J. C. Pau, and J. Zhang, 1999, Ambient Concentrations and Elemental Compositions of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Four Chinese Cities, Environ. Sci. Technol. 33, 4188-4193
9. Spengler, J. D. and G.D. Thurston, 2000, Mass and elemental composition of fine and coarse particles in six U. S. cities, JAPAC, 33(12), 1162-1171