

**PA29) 인위적 대형 배출원에서 SEM-EDS법을 이용한  
 개별 입자상 물질의 형태와 화학적 조성 분석**  
**Morphology and Chemical Composition Analysis  
 of Individual Particles at Large Anthropogenic  
 Emissions by SEM-EDS**

양수명 · 박정호 · 정재우 · 서정민<sup>1)</sup> · 최금찬<sup>2)</sup>

진주산업대학교환경공학과, <sup>1)</sup>밀양대학교환경공학과, <sup>2)</sup>동아대학교환경공학과

**1. 서 론**

각종 배출원에서 배출된 입자상 물질은 대기 중 황산, 이동, 침착 등을 통해 국지적 도시오염 뿐만 아니라 장거리까지도 이동함으로써 광역적 대기오염의 원인이 되고 있는 등 입자상 물질의 발생원 추적에 관한 연구가 필요한 실정이다. 지금까지 입자상 물질의 발생원 추적은 대부분 배출원의 발생량 조사나 필터에 포집된 시료의 전체적인 화학적 분석의 개념으로 단시간의 시간변동과 개개의 입자가 가지는 정보가 무시되고 평균화되고 있다.

한편, 입자상 물질의 화학분석법은 발생원 동정을 위한 자료로 많이 이용되고 있으며, 이때 ICP-MS 법과 같은 습식 분석법이 일반적으로 이용되고 있으나 이는 개별적인 입자가 담고 있는 물리화학적인 정보 등을 고려하지 않은 것이었다. 그러나 대부분 입자상 물질의 배출원은 입자 하나 하나의 형태를 비롯한 화학 조성, 입경 분포 등이 배출공정의 종류, 공정에 사용된 연료 및 발생조건에 따라서 다양하게 나타나며, 개개의 입자의 해석은 입경, 화학조성과 그 분포상태에 관계되는 분석법이 필요하다.

본 연구는 이러한 개별 입자에 대한 정보분석이 가능한 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)과 에너지 분산형 X선 분석장치(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDS)를 이용하여 유연탄을 쓰는 S발전소, B-C유를 주연료로 사용하는 A사(요업회사), 코크스를 쓰는 P제철소 등 대형 배출업에서 배출되는 입자상 물질에 대해 입경별의 형상 및 화학적 조성을 분석하였다. 향후 대기 중 입자상 물질의 개별입자 분석과 병행 실시하여 발생원 추정에 관한 기초자료로서 활용하고자 한다.

**2. 실험 방법**

본 연구에서 입자상 물질의 시료채취 및 분석은 유연탄을 연료로 사용하는 S화력발전소, B-C유를 주연료로 사용하는 A사, 코크스를 연료로 사용하는 P제철소 등 대형 배출업소의 배출구 직전의 집진장치에서 집진된 Fly ash를 대상으로 SEM-EDS법을 이용하여 형상 및 화학조성에 대한 분석을 실시하였다. 우선 시료 고정 및 안정화를 위해 Au 코팅한 입자상 시료는 SEM(Jeol사 JSM-5600LV)에서 가속전압은 20keV, working distance는 20mm 그리고 배율은 개별 입자의 크기와 해상도를 고려하여 관찰하였다. SEM과 연결되어 있는 EDS(Oxford사, INCA Energy) 분석은 live time 120sec에서 실시하였다. 그림 1은 S화력발전소의 약 15 $\mu$ m의 구형 fly ash를 SEM 촬영한 모습과 EDS분석을 통한 원소별 counts수의 peak를 나타낸 것이다.

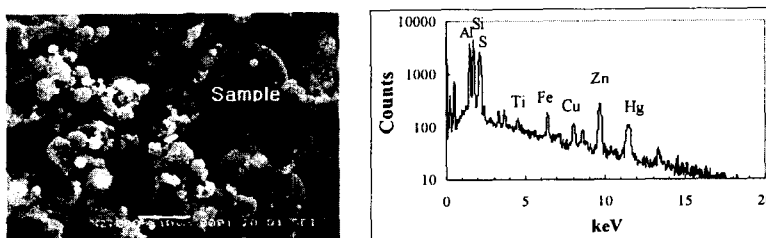


Fig. 1. The SEM-EDS picture of fly ash samples ( $d_p$  15 $\mu$ m).

### 3. 결과 및 고찰

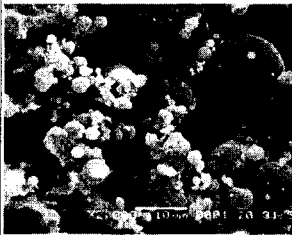
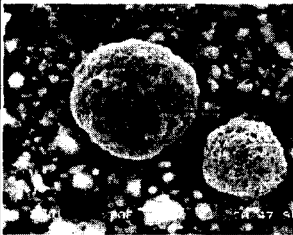
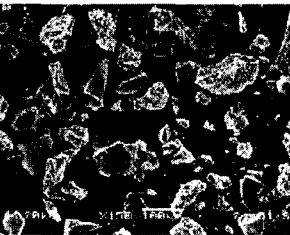
Table 1에는 석탄을 사용하는 S화력발전소, B-C유를 사용하는 A사, 코크스를 사용하는 P제철소에서 배출되는 Fly ash를 대상으로 SEM-EDS법을 이용하여 형상 및 화학조성에 대한 결과를 나타냈다.

S화력발전소의 석탄연소 fly ash는 0.1-100 $\mu$ m(평균 10-30 $\mu$ m)의 입경 범위가 나타났고, 입자형태는 주로 구형입자, 원소조성은 Si, Al 가 주성분 그리고 Fe, Ca등이 나타났다. 석탄의 종류에 따라서 성상의 차이가 있지만 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 70~80%정도 차지하는 것으로 알려져 있고, 나머지 Fe, Ca등 미량 원소 성분으로 이루어져 있는게 일반적이다. 이들은 고온 열분해의 산물로 대부분 구형으로 나타나며 입경에 따른 성상의 차이가 있음을 확인하였다.

A사의 B-C유 연소 fly ash는 보통 1-100 $\mu$ m(평균 10-20 $\mu$ m)의 입경 범위가 나타났고, 구형입자로서 원소조성은 C, S가 주성분이며 Cu, Zn등이 나타났다. 그림 2는 Oil(B-C유)을 연료로 하는 대형 요업공장에서 채취한 시료로 구형에 가까운 다공질 형태의 입자이며, 탄소를 주성분으로 하고 있다

P제철소의 고로공정의 연소 입자는 보통 1-150 $\mu$ m의 입경범위를 가지며, 연소형태의 차이에 따른 불규칙 입자로 나타났다.

Table 1. Morphology and chemical composition of the large source emissions particles by SEM-EDS.

Source	S Power Plant		A Ceratec Co.		P Steel Industry	
Fuel Type	Bituminous Coal		4.0% Sulfur B-C Oil		Coking Coal	
SEM picture						
Morphology	Spherical particles		Porous particles		Irregular particles	
EDS analysis	10 $\mu$ m	Si, Al, Cu, Ca, Zn, Fe	50 $\mu$ m	C, S, V, Zn, Cu, Ni	30 $\mu$ m	C, Na, Fe
	5 $\mu$ m	Si, Al, Fe, Ca, Cu, Zn, Mn	30 $\mu$ m	C, S, Cu	10 $\mu$ m	C, Fe, Si, Al, Na
	1 $\mu$ m	Si, Al, Cu, Fe, Zn, Ca, Ti	10 $\mu$ m	C, S, Cu, Zn, Ni, V	5 $\mu$ m	C, Fe, Si, Na, Al

### 참고 문헌

- 윤정환 외 (1995) 삼천포와 서천 화력발전소에서 발생하는 석탄회중의 중금속 함량에 관한 연구, 한국자원환경지질학회지, 28, 212~226.
- Fragen R.C. (1988) Fundamental of air pollution engineering, 358~359.
- Liisa Jalkanen 외 (2000) The effect of large anthropogenic particulate emissions on atmospheric aerosols, deposition and bioindicators in the eastern Gulf of Finland region, Atmospheric Environmental, 262, 123~136.
- A. Arago Pina 외(2000) Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosi, Mexico, Atmospheric Environment, 34, 4103~4112.