

ORIGINAL ARTICLE

## FE-SEM/EDX 분석법을 이용한 석탄화력발전소에서 배출되는 입자상물질의 확인자 개발

박정호\*

경남과학기술대학교 환경공학과

### Identification Factor Development of Particulate Matters Emitted from Coal-fired Power Plant by FE-SEM/EDX Analysis

Jeong-Ho Park\*

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

#### Abstract

Coal-fired power plants emit various Particulate Matter(PM) at coal storage pile and ash landfill as well as the stack, and affect the surrounding environment. Field Emission Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray analyzer(FE-SEM/EDX) were used to develop identification factor and the physico-chemical analysis of PM emitted from a power plant. In this study, three samples of pulverized coal, bottom ash, and fly ash were analyzed. The pulverized coal was spherical particles in shape and the chemical composition of C-O-Si-Al and C/Si and C/Al ratios were 200~300 on average. The bottom ash was spherical or non-spherical particles in shape, chemical composition was O-C-Si-Al-Fe-Ca and C/Si and C/Al ratios were 4.3±4.6 and 8.8±10.0. The fly ash was spherical particles in shape, chemical composition was O-Si-Ai-C-Fe-Ca and C/Si and C/Al ratios were 0.5±0.2 and 0.8±0.5.

**Key words** : Coal-fired power plant, FE-SEM/EDX analysis, Identification factor

#### 1. 서론

석탄화력 발전소(이하 ‘발전소’라 함)는 국가산업 발전과 국민생활향상에 크게 기여해온 반면, 대기질과 국민 건강에 미치는 영향이 큰 주요 미세먼지 발생원으로 최근 정부의 미세먼지 저감대책의 일환으로 30년 이상 노후 발전소에 대해 봄철 섯다운(shut-down)의 정례화를 추진하기에 이르렀다(KEI, 2015; MoE, 2017). 또한, 발전소 주변지역에서는 발

전소 굴뚝에서 배출되는 일차적 오염물질 이외에도 2002년 서천발전소의 석탄재로 인한 재산적, 정신적 피해를 처음으로 인정한 중앙환경분쟁사건을 비롯하여, 저탄시설과 회처리장에서 바람에 의하여 날리는 석탄분진과 비산회 등 여러 종류의 입자상물질(Particulate Matter, PM)이 함께 부유하거나 침적되어 크고 작은 환경민원이 종종 발생되고 있는 실정이다(Chun et al., 2003; ECC, 2017).

한편, 발전소에서는 질량중양경(mass median diameter)

Received 14 October 2017; Revised 10 November, 2017;

Accepted 27 November, 2017

\*Corresponding author: Jeong-Ho Park, Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea  
Phone : +82-55-751-3345  
E-mail : jhpark@gntech.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 약 40~80  $\mu\text{m}$  범위인 미분탄은 500  $^{\circ}\text{C}$  이상의 보일러에서 연소시 열응력(thermal stress)에 의해 점차 작은 조각으로 분해되면서 0.1~50  $\mu\text{m}$  범위의 비산재 및 휘발성분은 열분해에 의해 기화되면서 0.1  $\mu\text{m}$  이하의 submicron 입자가 생성된다(Flagan and Seinfeld, 1988; Lee et al., 2014).

발전소 등 특정 대기 배출원에서 PM 배출로 인한 환경영향을 평가할 경우 대기모델링 혹은 부유분진 또는 강하분진에 대해 화학성분의 전량분석(bulk analysis) 기법이 주로 활용되고 있다. 그러나 전량분석의 경우 평균적 화학성분만을 주 대상으로 하기에 PM 정보가 평균화되어 정확한 오염배출원의 물리화학적 확인자를 구별하기가 어렵고 화학조성이 비슷하다고 해서 모두 같은 오염원에서 배출되는 것이 아니기 때문에, PM의 배출원 및 기여도를 분리 및 추정하는데 한계가 있을 수밖에 없다(Park and Suh, 2005).

반면, 에너지 분산형X선분석장치(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDX)가 장착된 전자주사현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)을 이용한 SEM/EDX 분석법은 특정 배출원의 PM에 대한 형상, 입경, 화학조성 등 개별입자(individual particles)의 물리화학적 분석정보와 확인자(identification factor) 구축을 통해 짧은 시간내에 배출원 및 기여도 추정이 가능한 경제적인 분석법이다. 이에 국내에서는 지난 십수년간 대기환경보전 및 개선대책을 위해 SEM/EDX 분석법을 이용하여 황사의 오염원 분류표를 작성하거나 도시 및 산업폐기물 소각장 등 특정 배출원에 대한 해당 오염원의 확인자 구축의 연구가 이루어져 있다. 그러나 발전소의 경우 일부 비산재에 대해 물리화학적 특성을 분석하고 있으나, 미분탄, 바닥재 등 비산배출 가능한 PM에 대한 연구는 충분치 않다(Kang and Kim, 2000; Hwang et al., 2005; Park and Suh, 2005; Park et al., 2007).

따라서, 본 연구에서는 발전소에 대해 비산배출 가능한 PM에 대한 확인자 구축을 위하여, 시험적으로 A 발전소를 대상으로 미분탄(pulverized coal), 바닥재(bottom ash), 비산재(fly ash)의 시료를 채취하고 SEM/EDX 분석법을 이용하여 각 시료별 개별입자의 물리화학적 정보를 파악하였다. 향후 발전소 PM의 확인자 구축은 주변지역에 미치는 오염 발생원 및 부하

량의 파악 그리고 PM과 관련된 환경민원 해결 등을 위한 주요한 정보로 활용되길 기대한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 연구에서는 유연탄을 사용하는 A 발전소를 시험 대상으로 하였으며, 본 발전소는 설비용량 4,000 MW 규모의 대형 발전소로서 배출공정도는 미분탄을 연소시키고 발생하는 배출가스는 전기집진기, 탈황설비, 탈질설비 등을 거쳐 굴뚝으로 배출되고 있다. 또한, 바닥재는 회분처리장으로 이송되어 매립처리되고 집진된 비산재는 시멘트 원료로 재활용하기 위하여 수집되고 있다.

SEM/EDX의 분석시료는 미분탄 공급시설, 바닥재 배출시설, 전기집진기에서 미분탄, 바닥재, 비산재의 침착면지 시료를 각각 채취하였으며, 육안관찰시 미분탄은 검은색, 바닥재는 회색 그리고 비산재는 흑갈색으로 나타났다.

### 2.2. 분석방법

본 연구에서는 개별입자의 물리화학적 분석을 위하여, 에너지분산형X선분석장치(EDX, Oxford INCA Energy X-MAX)가 장착된 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM, Jeol JSM-6701F)을 사용하였다. SEM 분석조건은 가속전압 15 kV, 배율  $\times 2,000$ 배 및 Working Distance (WD)는 15 mm 전후로 조절하면서, EDX로 C, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn 등의 원소성분들을 분석대상으로 하였다. 분석시료는 전자빔에 의해 상이 찌그러지거나 연소되는 것을 방지하고 X-선 잡음을 제거하여 분석의 정확도를 높이기 위하여 스퍼터 코팅법(sputter coating procedure)으로 Pt을 이용하여 코팅하였다.

또한, EDX로 분석된 개별입자의 X-ray 스펙트럼은 INCA Suite Ver. 4.01 analyzer로 기록 및 정량 분석되며, 각 원소의 함량은 원소간 중량(weight %)%를 몰조성으로 나타내는 원자%(Atomic %)로 표시하였다. 이에, SEM으로는 개별입자의 형상 및 입경을 관찰함과 동시에 EDX으로는 화학조성을 분석하였다.

한편, 본 연구에서는 미분탄 및 미연소 회분이 포함된

바닥재의 경우 매우 큰 입자들이 혼재되어 있었으나, 분석 가능한 최소 입경과 발전소의 배출원으로 부터 주변지역으로 쉽게 비산배출이 가능한 PM에 초점을 맞추기 위하여 개별입자 분석시 입경 0.1~10  $\mu\text{m}$  크기를 분석 대상으로 하였다. 또한, 시료별 개별입자의 분석시료 수는 한계는 없지만 많을수록 전량분석의 경우처럼 분석정보가 평균화가 우려되기 때문에 시료별 전형적인 형태로 나타나는 개별입자 총 30개를 분석 대상으로 하였다.

### 2.3. 확인자의 주요 인자

본 연구에서는 각 시료별 입경 0.1~10  $\mu\text{m}$  이하의 개별입자를 대상으로 SEM/EDX로 분석하고 여기서 얻은 물리화학적 정보를 이용하여 입자 형태 및 화학 조성 등으로 오염원의 확인자를 작성하고자 하였다. 특히, 미분탄, 바닥재, 비산재는 연소 유무에 따라 구형 및 비구형의 입자 형태 그리고 C, Si 성분 등의 화학 조성비가 주요 인자로 구분될 수 있을 것이다. 또한, 화학조성은 Atomic %가 1% 이상이면서 검출빈도가 90% 이상인 성분만을 대상으로 하였다.

한편, 다양한 발생원의 영향을 동시에 받는 시료의 경우 EDX의 화학조성 분석 데이터는 군집분석법 등으로 각 발생원의 순수 입자군으로 분류하는 작업이 필요하나, 본 연구에서는 시료별로 분석한 순수 분석 정보이므로 별도의 분류작업은 하지 않았다(Park and Suh, 2005; Choi et al., 2007).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 시료별 개별입자의 물리화학적 특성

Fig. 1에는 SEM/EDX 분석법으로 (a) 미분탄(A-1), (b) 바닥재(A-2), (c) 비산재(A-3) 등 각 시료에 대한 개별입자의 형태, 입경, 화학조성의 분석결과를 나타냈다.

SEM 이미지에서 시료별 개별입자의 형상은 미분탄의 경우 비구형 그리고 비산재의 경우 대부분 입경 10  $\mu\text{m}$  이하의 구형입자가 관찰되었으며, 구형입자 형성은 미분탄이 고온의 연소과정에서 완전연소시 무기 성분은 용융 또는 증발하고 액적상에서 고화되거나 기체에서 응축되어 생성된다(Flagan and Seinfeld, 1988). 반면, 바닥재의 경우 구형 및 비구형 형태 등으

로 나타났으며, 이는 미분탄의 완전연소 및 미연소에 의한 결과로 판단된다. 한편, 발전소의 석탄재 발생량 비율은 비산재 80% 및 바닥재 20%를 차지하며, 특히 바닥재는 미연탄소 함유량이 10~20 wt%로 비산재에 비해 높고 불균일한 조성과 형태를 갖는다(Kim and Kang, 2007).

개별입자의 EDX 분석결과 전반적으로 미분탄 C-O-Si-Al-S, 바닥재 O-C-Si-Al-Ca, 비산재 O-Si-Ai-C-Fe-Ca-Mg 등으로 구성되어져 있었다. 특히, Fig. 1의 시료별 대표적인 Spectrum에서는 C 성분의 경우 미분탄 C 75.7%, 바닥재 C 40.5%, 비산재 7.7%로 각각 나타났으며, Si 성분의 경우 각각 2.2%, 7.3%, 13.4%으로 나타났다. 석탄은 주로 탄소로 구성된 가연성 유기체 마세랄(maceral)과 무기물이 일부 함유되어 있으며, 탄소는 중량기준으로 50%이상, 용량기준으로 70% 이상 그리고 황 0.1~3.5%이 포함되어져 있다(KIDC, 2017).

따라서 발전소의 PM 확인자 구축에서 미분탄과 미분탄의 미연소회가 포함된 바닥재 및 완전 연소된 비산재 등에서는 구형 및 비구형의 입자 형태 그리고 탄소 성분 등의 화학조성비가 주요 인자로 구분될 수 있을 것이다.

### 3.2. 시료별 화학조성에 따른 오염원 분류

Table 1에는 미분탄(A-1), 바닥재(A-2), 비산재(A-3)의 시료별 EDX 분석결과 다양한 원소성분의 몰 조성 %(Atomic %) 그리고 검출율(detection rate)을 나타냈다.

각 원소 성분의 평균값은 미분탄의 경우 C 74.1% > O 19.5% > Si 3.1% > Al 1.2%의 순으로 그리고 검출율도 100%로 나타났으며, 그 외에 S 0.4%, Ca 및 Fe 0.1% 등으로 일부 검출되었다. 바닥재의 경우 O 45.2% > C 26.2% > Si 9.2% > Al 5.7% > Fe 4.2% > Ca 2.9%의 순으로 검출율 90% 이상으로 나타났으며, 그 외에 Ti 2.3%, Mg 1.2% 등으로 일부 검출되었다. 비산재의 경우 O 61.2% > Si 15.5% > Al 9.6% > C 7.1% > Fe 2.0% > Ca 1.3%의 순으로 검출율 90% 이상으로 나타났으며, 그 외에 Mg 0.9%은 미량 검출, Na 및 Ti 0.5% 등으로 일부 검출되었다.

미분탄 : 바닥재 : 비산재의 주요 화학조성의 평균

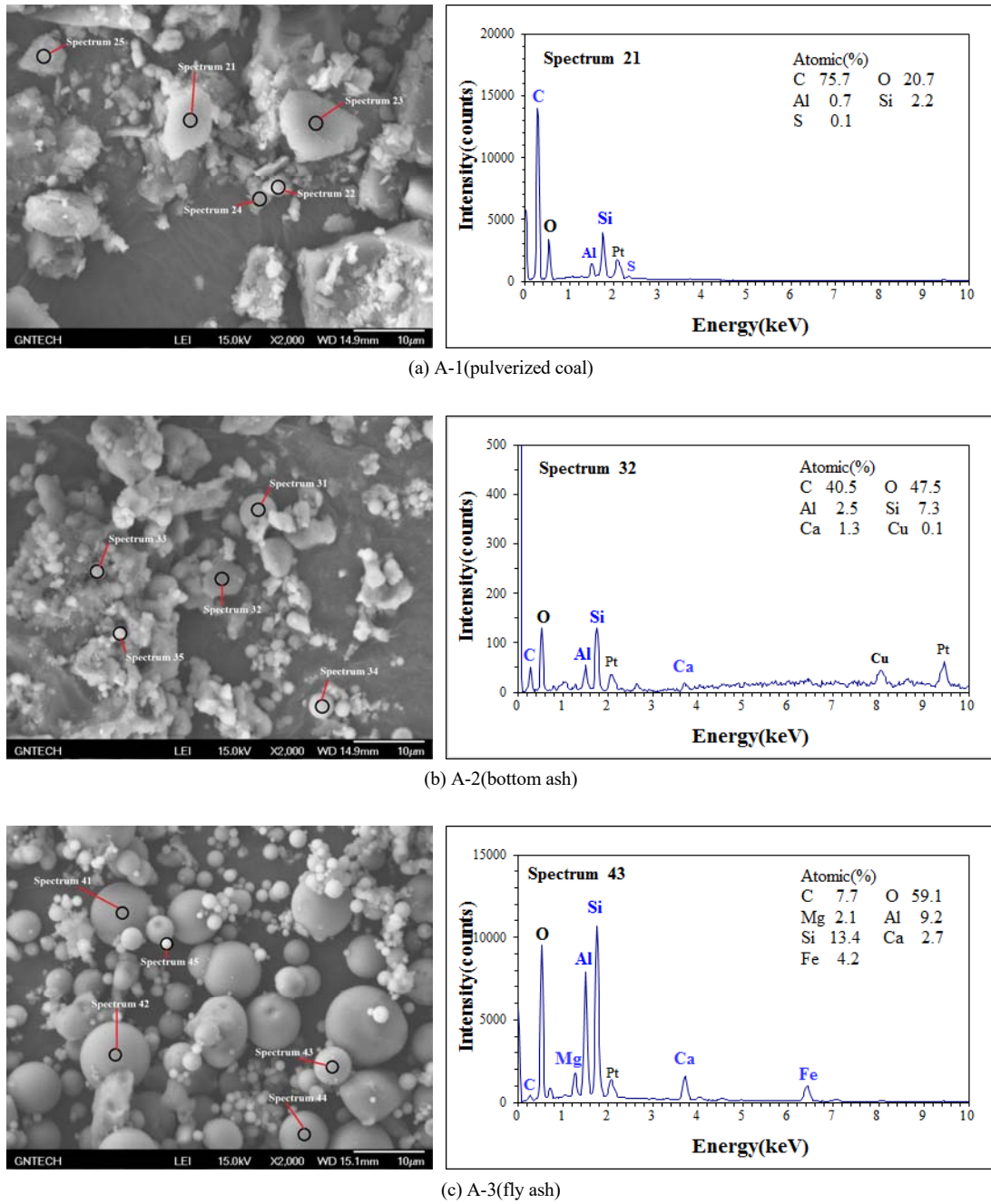


Fig. 1. SEM images and EDX spectra of individual particle by sample.

함량은 C의 경우 74.1% : 26.2% : 7.1%, Si의 경우 3.1% : 9.2% : 15.5% 그리고 Al의 경우 1.2% : 5.7% : 9.6% 등으로 C, Si, Al 성분은 검출율 100%과 더불어

시료별 확실한 농도차를 보이고 있어 확인자의 주요 인자로 나타낼 수 있을 것이다.

한편, 석탄에는 여러 종류의 광물질이 함유되어

**Table 1.** Fractions of inorganic metal constituents by sample

Sample	Atomic(%)													
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	
A-1 <sup>1)</sup>	Ave.	74.1	19.5	0.5	0.1	1.2	3.1	0.4	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	
	SD	17.8	10.3	1.4	0.4	1.6	5.1	0.5	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	
	Max	88.6	45.6	4.3	1.1	5.5	17.1	1.3	0.0	0.4	0.7	0.1	0.5	
	Min	26.8	10.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	DR <sup>4)</sup>	100	100	30	10	100	100	80	0	20	40	10	0	40
A-2 <sup>2)</sup>	Ave.	26.2	45.2	0.5	1.2	5.7	9.2	0.0	0.3	0.2	2.9	2.3	0.0	4.2
	SD	16.0	13.0	0.8	1.6	3.6	3.8	0.1	0.6	0.4	2.6	6.0	0.0	5.1
	Max	49.7	59.3	2.5	3.7	13.4	14.2	0.2	1.7	1.0	7.1	19.3	0.0	14.2
	Min	9.4	24.1	0.0	0.0	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	DR <sup>4)</sup>	100	100	40	50	100	100	10	40	30	90	60	0	90
A-3 <sup>3)</sup>	Ave.	7.1	61.2	0.5	0.9	9.6	15.5	0.1	0.0	0.5	1.3	0.5	0.0	2.0
	SD	2.3	3.3	0.3	0.6	3.0	2.9	0.1	0.0	0.4	1.1	1.2	0.0	1.3
	Max	9.9	66.4	0.9	2.1	14.9	19.6	0.3	0.0	0.9	2.9	4.0	0.1	4.5
	Min	2.8	56.7	0.0	0.2	5.5	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
	DR <sup>4)</sup>	100	100	90	100	100	100	30	0	80	90	70	10	100

A-1<sup>1)</sup>: pulverized coal, A-2<sup>2)</sup>: bottom ash, A-3<sup>3)</sup>: fly ash, DR<sup>4)</sup>: detection rate(%)

있으며, 광물질의 약 95%가 Kaolinite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Pyrites ( $\text{FeS}_2$ ), Calcite ( $\text{CaCO}_3$ )로 구성되어 있고 이들 광물질은 연소되지 않고 석탄회나 비산재로 배출된다(Park et al., 2006).

### 3.3. 발전소의 확인자 개발

Table 2에는 A 발전소의 미분탄(A-1), 바닥재(A-2), 비산재(A-3)에 대한 형상 및 화학조성 등의 정보를 통해 시료별 PM의 확인자를 나타냈다. 여기서, 시료별 주요 화학조성은 Atomic %가 1% 이상 그리고 검출빈도가 90% 이상인 성분만을 대상으로 하였고 이에 발전소의 주요 화학조성인 C, Si, Al에 대해서는 C/Si, C/Al의 비로서 나타냈다.

미분탄의 주요 확인자는 비구형 입자이면서, 주요 화학조성은 C-O-Si-Al 그리고 C/Si 및 C/Al의 조성비는 평균 200~300 전후로 구분되었다. 바닥재의 확인자는 비구형 또는 구형입자, 주요 화학조성은 O-C-Si-Al-Fe-Ca 등으로 구성되어 있으며, C/Si의 조성비는  $4.3 \pm 4.6$  및 C/Al의 조성비는  $8.8 \pm 10.0$ 로 나

타났다. 비산재의 확인자는 구형입자, 주요 화학조성 O-Si-Ai-C-Fe-Ca 등으로 구성되어 있으며, C/Si의 조성비는  $0.5 \pm 0.2$  및 C/Al의 조성비는  $0.8 \pm 0.5$ 로 나타났다.

한편, 확인자 구분에서 미분탄 및 바닥재의 경우 C/Si 및 C/Al의 조성비의 편차가 평균보다 높아 미분탄은 바닥재로 바닥재는 비산재로도 분류될 수도 있을 것이다. 따라서 개별입자 분석시 한두개의 개별입자 분석결과를 통해 특정 발생원을 판별하는 것보다 최소 십수개 정도의 분석정보를 통해 최소 평균의 개연성을 파악하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

한편, Si 및 Al의 경우 PMF (Positive Matrix Factorization)의 수용모델 등에서 토양 및 도로비산과 관련된 오염원으로 분류하고 있어 전량분석을 통해서 는 발전소의 발생원과 구별되기 어려우나, SEM/EDX 분석법에 의한 개별입자의 물리화학적 확인자 분석정보를 이용한다면 특정 발생원의 구별이 가능할 것으로 판단된다(Park and Suh, 2005; Lee et al., 2008).

Table 2. Major identification factors by sample

Sample	Particle shape	Major chemical components	C/Si	C/Ai
A-1 <sup>1)</sup>	non-sphericity	C-O-Si-Al	207.8±322.8	318.6±430.4
A-2 <sup>2)</sup>	non-sphericity or sphericity	O-C-Si-Al-Fe-Ca	4.3±4.6	8.8±10.0
A-3 <sup>3)</sup>	sphericity	O-Si-Ai-C-Fe-Ca	0.5±0.2	0.8±0.5

A-1<sup>1)</sup> : pulverized coal, A-2<sup>2)</sup> : bottom ash, A-3<sup>3)</sup> : fly ash

#### 4. 결론

본 연구에서는 발전소로부터 주변지역으로 비산 배출 가능한 입경 0.1~10 µm 정도의 PM에 대한 확인자 구축을 위해 A 발전소를 대상으로 미분탄, 바닥재, 비산재의 시료에 대해 FE-SEM/EDX 분석법으로 개별입자의 물리화학적 정보를 파악하였다.

우선 개별 입자의 전형적인 형태는 미분탄의 경우 비구형, 비산재의 경우 구형입자로 나타난 반면, 바닥재는 미분탄의 완전연소 및 미연소에 따라 구형 또는 비구형 형태로 나타났다. 또한, 시료별 주요 화학조성은 미분탄 C-O-Si-Al, 바닥재 O-C-Si-Al-Fe-Ca, 비산재 O-Si-Ai-C-Fe-Ca 등으로 나타났다. 특히, 미분탄 : 바닥재 : 비산재의 화학조성 평균함량은 C의 경우 74.1% : 26.2% : 7.1%, Si의 경우 3.1% : 9.2% : 15.5% 그리고 Al의 경우 1.2% : 5.7% : 9.6% 등으로 시료별 뚜렷한 농도차를 보이고 있었다.

따라서 시료별 주요 확인자는 미분탄의 경우 비구형 입자이면서, 화학조성은 C-O-Si-Al 그리고 C/Si 및 C/Al의 조성비는 평균 200~300 전후로 구분되었다. 바닥재의 경우 비구형 또는 구형입자, O-C-Si-Al-Fe-Ca의 화학조성과 C/Si의 조성비는 4.3±4.6 및 C/Al의 조성비는 8.8±10.0로 나타났다. 비산재의 경우 구형입자, O-Si-Ai-C-Fe-Ca의 화학조성 그리고 C/Si의 조성비는 0.5±0.2 및 C/Al의 조성비는 0.8±0.5로 구축할 수 있었다.

향후 다양한 PM 배출시설에 대한 특정 발생원의 영향 확인과 정량적으로 기여도를 추정할 수 확인자 개발의 지속적인 연구가 필요할 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2017년도 경남과학기술대학교 연구비지

원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- Choi, Y. A., Lee, T. J., Kim, D. S., 2007, Development of source profiles for asbestos and non-asbestos fibers by SEM/EDX, J. KOSAE, 23(6), 718-726.
- Chun, S. K., Yi, S. C., Park, K., 2003, The study on the comparison of the ISCST3 model and receptor model by dispersion tracing of particulate matter from large scale pollution sources, J. KOSAE, 19(6), 789-803.
- Flagan, R. C., Seinfeld, J. H., 1988, Chap. 6 Particle formation in combustion. in fundamentals of air pollution engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, US.
- Hwang, H. J., Kim, H. K., Ro, C. U., 2005, Single-particle characterization of Municipal Solid Waste(MSW) ash particles using low-Z particle electron probe X-ray microanalysis, J. KOSAE, 21(3), 367-375.
- Kang, S. W., Kim, D. S., 2000, Individual particle analysis for developing a source profile of yellow sands, J. KOSAE, 16(6), 565-572.
- Kim, K. D., Kang, S. G., 2007, Manufacturing artificial lightweight aggregates using coal bottom ash and clay, J. of Korean Crystal Growth and Crystal Technology, 17(6), 277-282.
- Korea Environment Institute(KEI), 2015, Analysis System for Regional Environmental Status to Support Environmental Assessment, Report 2015-10.
- Korea Institute for Development of Coal Industry(KIDC), 2017, <http://www.kidc.re.kr/>.
- Lee, H. W., Lee, T. J., Yang, S. S., Kim, D. S., 2008, Identification of atmospheric PM<sub>10</sub> sources and estimating their contributions to the Yongin-Suwon bordering area by using PMF, J. KOSAE, 24(4), 439-454.

- Lee, S., Cho, S., Lee, Y. S., An, E. M., Cho, S. B., 2014, Application of unburned carbon produced from Seochun power plant, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 23(1), 40-47.
- Ministry of Environment(MoE), 2017, <http://www.me.go.kr>.
- National Environmental Conflict Resolution Commission (ECC), 2017, <http://ecc.me.go.kr>.
- Park, H. Y., Kim, Y. J., Yu, G. S., Kim, C. K., Kim, D. H., 2006, Characteristics of carbonaceous particles derived from coal-fired power plan and their reduction, J. of KSEE, 28(10), 1065-1073.
- Park, J. H., Suh, J. M., 2005, Physico-chemical characterization of individual particles emitted from the air pollution point sources, J. Env. Sci. Intern., 14(8), 761-770.
- Park, J. H., Suh, J. M., Jo, J. G., Ryu, J. Y., Han, S. J., 2007, Emission characterization of particulate matters according to the types of wastes from industrial waste incinerator, J. Env. Sci. Intern., 16(11), 1225-1230.