

## Fly ash 分級機로서 火力發電所 電氣集塵機의 利用<sup>†</sup>

\*李 昇 憲

群山大學校

## Utilization of Electrostatic Precipitator as Fly ash Classifier<sup>†</sup>

\*Seung-Heun Lee

Kunsan National University

### 요 약

대부분의 화력발전소에서 전기집진기의 각각의 호파에서 포집된 fly ash는 하나의 라인으로 수송되어 fly ash 원분 사이로에 저장된다. 필요량은 분급장치에 공급되어 기류식 분급기에 의해 정제화와 조분으로 분리되어 각각의 사이로 등에 저장된다. 그러나 전기집진기의 호파에 포집된 fly ash는 전기집진기의 후단 호파일수록 비표면적이 커지는 등 fly ash의 성질이 다르므로 전기집진기 호파 위치 자체가 분급 효과가 있는 것으로 생각할 수 있다. 본 연구는 화력발전소의 전기집진기 각각의 호파에서 채취한 fly ash의 물리적, 화학적, 광물학적 성질을 조사하여 전기집진기가 분급기로서의 가능성을 검토하였다. 그 결과 새로운 fly ash 분급 프로세스로 전기집진기의 호파의 위치별 채취를 제안하고 분급능력이 있다는 것을 확인하였다. 그리고 기류식 분급기로는 얻을 수 없는 고품질 fly ash를 획득하는 것도 가능하였다.

주제어 : 플라이 애시, 전기집진기, 분급기, 호파

### Abstract

In most coal fired power plants, fly ashes collected from each of hoppers in the electrostatic precipitator are transported and stored in a silo. However the properties of the fly ashes collected from each of hoppers in electrostatic precipitator varies with the distance of the collection field from the boiler. The more distance hopper gets fly ash with larger specific surface area. Therefore, in electrostatic precipitator the hopper itself is expected to have the effect of classifying fly ashes. This study examines the physical, chemical and mineralogical properties of fly ash, collected from each of hoppers attached to an electrostatic precipitator in the coal fired power plant and looks into the possibility of the electrostatic precipitator being used as a classifier. Also, the study reviewed the possibility of acquiring high quality fly ash.

Key words : Fly ash, Electrostatic precipitator, Classifier, Hopper

### 1. 서 론

Fly ash는 화력발전소의 미분탄 연소 보일러에서 연소 후 전기집진기에서 포집된 미립자로서 현재 산업부산물로 분류되어 있다. 따라서 환경오염방지 및 산업부산물 재활용이라는 관점에서 fly ash의 이용방안에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 시멘트 분야에의 유효 이용

방안으로는 KS규격에 의거한 1종 시멘트에 첨가량 5 wt% 이하의 범위에서 첨가재료의 이용, fly ash 시멘트에의 이용, 점토질 원료로의 이용 등이 있다. 양질의 fly ash는 입자가 구형이고 포졸란 반응성을 가지고 있어서 시멘트와 혼합하여 사용할 때 수화열의 감소, 장기강도의 증진, 내구성의 향상 등에 뛰어난 효과를 가진다. 이러한 장점이 있으면서도 우리나라에서 fly ash의 이용률이 저조한 데에는 몇 가지 이유가 있다. 그 중에서 fly ash의 품질적인 측면에서 보면, 석탄의 종류 및 연소조건이 다양하기 때문에 fly ash 품질의 편차가 크고, 두 번째로는

<sup>†</sup> 2010년 3월 5일 접수, 2010년 3월 19일 1차수정

2010년 3월 31일 수리

\*E-mail: shlee@kunsan.ac.kr

NOx 저감을 위해 미분탄 보일러의 연소온도를 낮춤으로 미연탄소량과 이형의 입자가 많은 fly ash가 배출되기 때문이다.<sup>1,2)</sup> 이러한 문제를 해결하기 위해, 최근에 화력발전소에서는 fly ash를 정제하여 미연탄소량과 품질의 편차가 적은 KS 규격에 적합한 fly ash를 생산하고 있다.

화력발전소에서 미분탄 연소보일러를 통과한 석탄회는 전기집진기에 들어가면 코로나 방전에 의해 음의 전하를 띄게 되며 집진극에 포집되어, 레퍼에 의해 호파에 떨어진다. 전기집진기는 가스의 이동방향으로 여러 개의 집진단이 있고 각각의 집진단에는 호파가 설치되어 있다. 대부분의 화력발전소는 전기집진기 각각의 호파에 포집된 fly ash는 한개의 라인으로 수송되어 사이로 등에 저장 혹은 매립되며, 저장된 fly ash는 분급장치에 의해 분급되어 콘크리트용 혼화재로 활용된다. 그러나 전기집진기의 각각의 호파에 포집된 fly ash는 집진단이 보일러로부터 떨어질수록 비표면적이 커지는 등 fly ash의 성질이 달라진다. 따라서 전기집진기내의 호파 위치 자체가 분급의 효과가 있는 것으로 생각되어 그 동안 연구를 진행하여 왔다.<sup>3,6)</sup> 그 결과, Fig. 1과 같은 새로운 분급 프로세스를 제안하였으며, 전기집진기 자체가 분급기능이 있는 것으로 나타나 그 결과의 일부를 소개하고자 한다.

2. 미분탄 화력발전소의 전기집진기

전기집진기는 코로나방전에 의하여 마이너스로 대전한 입자가 플러스 전극의 집진전극에 부착하는 원리를 이용하여 배기가스 중의 입자를 제거하는 장치로, 전극에 부착한 입자는 망치로 전극에 진동을 주어 격리 낙하되어 진다. 전기집진기는 집진효율을 높이기 위해 입자농도에 의한 전기적 특성을 고려하여 몇개의 단위집진실(Fig. 2)로 구획하여 가동되고 있다. 전기집진기의 입구와 출구의 처리가스 입자농도를 보면 입구의 입자농도가 높고, 출구의 입자 농도는 상대적으로 낮다. 전

기집진기 안에서 입자(fly ash)의 집진 극판에의 부착속도(V)는  $V=KE^2 \cdot d$ 로 표시되어, 전계의 강도(E)의 2승과 입자경(d)에 비례한다.<sup>4)</sup> 다시 말하면 입자경이 작을수록 입자의 집진 극판에 부착속도가 작아지기 때문에 입구부근의 제1단 호파에서 포집된 fly ash와 비교하여 출구에 가까운 제3단 호파에서 포집된 fly ash는 입경이 상대적으로 작다. 그 예를 Fig. 3에 나타냈다.<sup>5)</sup> 현재의

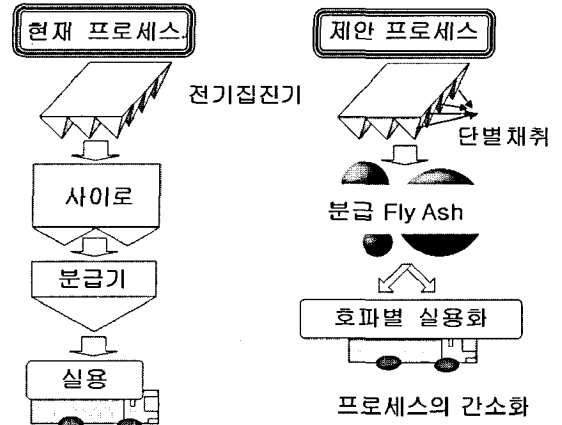


Fig. 1. The possibility of the electrostatic precipitator being used as a classifier.

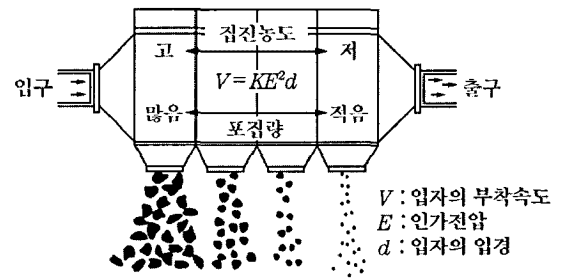


Fig. 2. Hoppers of the electrostatic precipitator in the coal-fired power plant.



(a)1st hopper(Blaine : 2760cm<sup>2</sup>/g)



(b)3rd hopper(Blaine : 7360cm<sup>2</sup>/g)

Fig. 3. SEM micrographs for (a)fly ash collected from 1st hopper, (b)fly ash collected from 3rd hopper.

화력발전소에서는 전기집진기에 따라 분급되고 있는 fly ash를 다시 혼합하여 이것을 기류식 분급장치에 의하여 다시 분급하는 방식이 채택되고 있다.

### 3. 전기집진기 호파 위치로부터 fly ash의 채취

실험에 사용한 fly ash는 동일한 화력발전소에서 배출한 것으로, 보일러의 발전부하 및 석탄의 종류를 변화시킨 다음 전기집진기에 부착된 3단으로 구성된 호파로부터 채취한 역청탄회이다. A계열은 보일러의 부하가 600MW(정상부하)일 때 발생된 fly ash이고 A'계열은 A계열과 같은 석탄을 사용했을 때 보일러의 부하가 300MW에서 발생한 fly ash이다. B계열은 A계열과 동일한 부하(600MW)에서 다른 석탄(역청탄)을 사용했을 때 채취한 fly ash이다. Fig. 2에서 보듯이 배기가스의 배출방향으로 전기집진장치는 몇 개의 호파(Fig. 2는 4개의 호파)를 가지고 있어, 입구에서 제일 가까운 호파(제1단)에서 채취한 fly ash를 A-1, A'-1, B-1, 두 번째의 호파(제2단)에서 채취한 fly ash를 A-2, A'-2, B-2, 출구쪽에 위치한 호파(제3단)에서 채취한 fly ash를 A-3, A'-3, B-3라 하였다.

### 4. 전기집진기의 호파로 부터 분급한 fly ash의 분말도

Table 1에 fly ash의 분말도를 나타냈다. Table 1을 보면 보일러의 부하 및 석탄의 종류에 관계없이 제1단에서 제3단으로 갈수록 fly ash의 Blaine은 증가하여 제3단에서는 7000 cm<sup>2</sup>/g이상의 값을 나타냈다. Fly ash의 평균입경은 제1단에서는 22-28 μm 이었으나 제3단에서는 6.9 μm 이하를 나타내어, 45 μm체를 대부분 통과하였다. B-3의 평균입경은 A-3 및 A'-3보다 작은 값을 나타냈다. Fig. 4에 fly ash의 입도분포를 나타냈다. 제1단에서 제3단으로 갈수록 fly ash의 평균입경은 감소하고, 입도분포의 범위는 작아지며, 빈도함수도 정규분포를 나타내고 있다. 보일러 부하 및 석탄의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만 동일한 호파에서 채취한 fly ash는 입도분포, 평균입경은 유사한 값을 나타냈다. 따라서 큰입자는 전기집진기의 입구쪽 호파 즉 제1단에서 포집되나, 미세한 입자는 입구로부터 먼 호파(제3단)에서 채집되기 때문에 보일러로부터 멀어질수록 분말도는 향상되었다. 또한 B-1과 B-2는 A계 및 A'계보다 입도분포가 넓어지고 있어, 전기집진기에서 입도분포까지 관리

Table 1. Fineness of fly ashes classified by electrostatic precipitator

Fly ash	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	Mean particle size(μm)
A-1	2760	27.33
A-2	4180	12.47
A-3	7360	5.39
A'-1	3580	22.85
A'-2	4980	11.00
A'-3	7920	5.38
B-1	2640	28.10
B-2	4490	12.46
B-3	7290	3.74

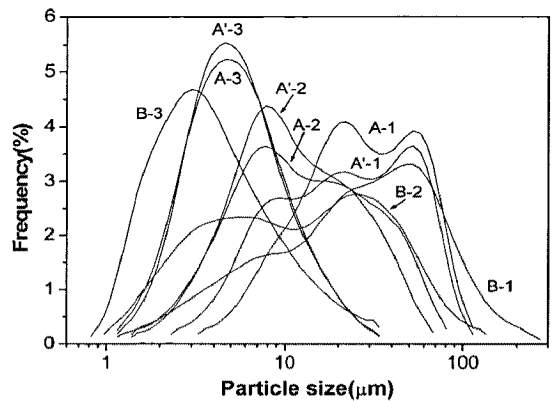


Fig. 4. Particle size distribution of fly ashes classified by electrostatic precipitator.

한 분급은 어려울 것으로 생각된다. 보일러의 부하에 의한 분말도의 차이를 보면 300MW 부하시가 정격부하인 600MW보다 약간 분말도가 좋았다. 이러한 원인은 추측컨데, 300MW 부하시는 보일러에 투입되는 석탄의 양이 600MW일 때 보다 적기 때문에 연소시 미분탄끼리의 충돌에 의한 응집이 감소되었기 때문인 것으로 추측된다.

### 5. 전기집진기의 호파로 부터 분급한 fly ash의 미연탄소와 화학조성

탄소량, 강열감량은 fly ash중의 미연탄소량 평가에 이용되는 항목으로 Table 2에 나타냈다. 탄소량은 0.3-1.5 wt%, 강열감량은 0.5-2.1 wt%의 범위로 전반적으로 낮은 값을 가졌다. 호파 위치별로 채취한 fly ash의 탄소 변화를 보면 평균입경이 10 μm 이하를 나타낸 제3단

에서 채취한 fly ash는 제1단과 제2단의 fly ash보다 탄소량이 낮은 값을 나타내고 있어, 석탄의 종류 및 보일러의 부하에 관계없이 같은 경향을 나타냈다. 그러나 강열감량은 이러한 관계가 보여 지지 않았다. 정상부하인 600MW(A, B계)가 300MW(A계)보다 강열감량 및 탄소량이 적었다. 이것은 미분탄 연소 보일러의 용량에 적합하게 운전했을 때가 완전 연소시킬 수 있는 조건으로 생각된다. 탄소량이 제일 큰 A'-1과 A'-2는 강열감량도 컸지만, 전반적으로 탄소량과 강열감량과는 상관관계가 없었다. 이것은 실험에 사용한 fly ash의 미연탄소량이 매우 적은 양이어서 이러한 결과가 나타난 것으로 생각된다.

Table 3에 fly ash의 화학조성을 나타냈다. 전반적으로 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 양의 합계는 A 및 A'계는 80 wt%, B계는 75 wt% 이상을 나타내고 있어 전형적인 역청탄 회분의 조성을 나타내고 있다. 채취장소에 따른 fly ash의 화학조성을 보며는 제1단에서 제3단으로 갈수록 SiO<sub>2</sub>성

**Table 2.** Carbon content and loss on ignition of fly ashes classified by electrostatic precipitator(wt%)

Fly ash	Unburned carbon	Loss on ignition
A-1	0.7	1.1
A-2	0.8	1.2
A-3	0.3	1.7
A'-1	1.5	2.1
A'-2	1.3	2.1
A'-3	0.4	1.9
B-1	1.0	1.0
B-2	1.1	1.1
B-3	0.5	0.5

분은 감소하였다. 그러나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>성분의 양은 약간 증가하였다. 석탄회분의 용융온도를 저하시키는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 알칼리 및 알칼리토족 성분의 합계는 A계 및 A'계는 10 wt%전 후, B계는 13 wt% 전후로 제1단에서 제3단으로 갈수록 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 보일러의 부하변동에 의한 화학조성의 차이는 거의 없었다. 그러나 fly ash의 화학조성은 석탄의 종류에 영향을 받아 역청탄의 종류가 다른 B계는 CaO 양이 7.5-8.1 wt%로 A, A'계와 비교하여 약 3배 이상의 값을 나타냈으며 SO<sub>3</sub> 양도 많았다.

**6. 전기집진기의 호파로 부터 분급한 fly ash의 유리질량 및 광물조성**

Fig. 5는 분말X선회절법으로 정량한 광물조성이다. A계 및 A'계는 유리질의 양은 65.9-76.8%의 범위의 값을 가지고 있으며, 제1단에서 제3단으로 갈수록 유리질의 양은 증가하였다. 증가량은 600MW일때는 6.2%, 300MW시는 8.2%이었다. 즉 입자가 미세할수록 유리질의 양은 많았다. 반면 주결정인 α-quartz와 mullite의 총량은 감소하였다. B계도 유사한 경향을 나타냈으나, A계 및 A'계와 비교하여 mullite의 양은 반정도의 값을 나타내고, 유리질의 양은 증가하였다. 새로운 상인 lime은 1-2%정도 포함하고 있었다. 전반적으로 α-quartz의 양은 제3단으로 갈수록 적게되고 무수석고의 양은 증가하였다.

용융물에서의 유리화 정도는 냉각속도에 의존한다.<sup>7)</sup> 냉각속도가 빠르면 결정질의 석출이 억제되어 유리질이 많아진다. 보일러에서의 미분탄연소 과정을 보면 200 mesh 이하로 관리된 미분탄은 연소온도가 1600°C 이상으로 되며, 비연소물질은 일부의 결정을 제외하고 용융되어 표면장력에 의해 구형의 입자가 된다. 이러한 입

**Table 3.** Chemical composition of fly ashes classified by electrostatic precipitator(wt%)

fly ash	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
A-1	63.0	4.6	24.8	2.3	0.9	0.3	1.0	1.2	0.7
A-2	62.0	4.3	25.5	2.2	1.2	0.4	1.1	1.3	0.8
A-3	59.5	4.8	26.4	2.3	1.2	1.0	1.1	1.3	0.8
A'-1	62.1	4.2	24.9	2.0	1.1	0.5	1.1	1.2	0.8
A'-2	60.9	4.5	25.4	2.3	0.9	0.6	1.1	1.2	0.8
A'-3	59.6	4.3	26.4	2.3	1.1	1.0	1.1	1.4	0.8
B-1	61.9	5.5	18.2	7.5	2.2	0.6	0.8	1.6	0.6
B-2	58.5	5.1	20.3	8.1	2.4	0.8	0.9	1.9	0.7
B-3	55.7	5.7	22.0	7.9	2.2	1.4	1.0	2.1	0.7

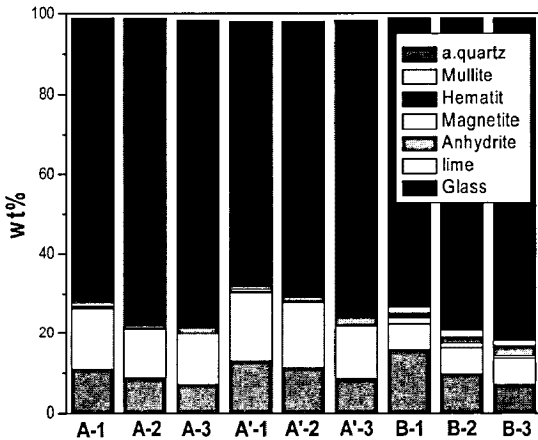


Fig. 5. Mineral composition of fly ashes classified by electrostatic precipitator.

자는 연소시 발생한  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  등의 가스에 의해 이동되어 냉각되면서 보일러로부터 빠져나온다. 입자의 최소 유동화속도 및 이동속도는 밀도보다는 입경에 크게 의존하므로, 작은 입자는 최소 유동화속도 및 이동속도가 커서 냉각속도가 빠르게 된다.<sup>5)</sup> 따라서 미세한 입자로 구성된 제3단의 fly ash가 유리질의 양이 많다. Fly ash 중의  $\alpha$ -quartz는 원래 석탄에 함유된  $\alpha$ -quartz이 연소에 의해 점토층의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  성분과 반응하여 mullite를 형성하고 잔량이 회분에 존재하는 것으로, 연소과정에서 열이력등을 받아 표면이 연마된 각진 형태를 갖는다. 이것은 구형입자에 비해 입자크기가 크다. 따라서 큰 입자로 구성된 제1단의 fly ash가  $\alpha$ -quartz의 양이 많다. 부하 600MW와 300MW를 비교하면 600MW 운전시가 유리질의 양이 많다. 이것은 보일러의 부하 감소에 따른 연소상태의 불안정에 기인되는 것으로 생각된다.

결정이 화학양론적인 조성을 가지고 있다고 가정하여 fly ash의 화학조성으로 부터 결정질의 조성을 뺀것을 유리질의 화학조성으로 하였다. 유리질의 화학조성을 Table 4에 나타냈다. 유리질의 화학조성은 주로 망목구조를 형성할 수 있는  $\text{SiO}_2$  성분(57.8-67.6 wt%)과 중간산화물인  $\text{Al}_2\text{O}_3$  성분(18.4-22.6 wt%)으로 구성되어 있었다.<sup>8)</sup> 수식산화물의 양을 보면 A계 및 A'계는 10wt% 미만이었으나 B계는  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ 나  $\text{K}_2\text{O}$ 의 함유량이 많아 약 14% 정도를 나타냈다. 또한 석탄의 종류, 운전조건에 관계없이 제1단에서 제3단으로 갈수록 유리질의  $\text{Al}/(\text{Si}+\text{Al})$  몰비는 0.26에서 0.30으로 증가하고 있다. 즉 입자가 미세할수록 유리질의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  성분의 양은 증가하나  $\text{SiO}_2$  성분의 양은 감소하였다. 이것은 유리형성산화물인  $\text{SiO}_2$ 에 중간산화물인  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가되면  $\text{Si}_2\text{O}_4$  망목구조의  $\text{Si}^{4+}$  자리에  $\text{Al}^{3+}$ 이 치환되므로 전기적 중성을 유지하기 위해 수식산화물인 1족 혹은 2족 산화물이 개재되어야 한다. 이렇게 수식산화물이 존재하게 되면 결합이 끊어진 비가교 산소가 형성된다. 또한 B계는 A 및 A'계보다 유리질 성분에서 수식산화물인  $\text{CaO}$ 의 양이 많으므로  $\text{SiO}_4$  망목구조는 더욱더 해중합(depolymerization) 되어 비가교산소의 수는 증가하게 된다. 따라서 B계 및 3단에서 채취한 fly ash가 반응활성이 클 것으로 예상된다.

## 7. 전기집진기의 호파로 부터 분급한 fly ash의 입자형상 및 페이스트 유동성 평가

Fly ash 입자형상은 구형의 형태를 지니고 있다. Fly ash 입자의 구형정도를 측정하는 것은 품질평가의 한 가지 방법이다. 구형의 정도는 구형률로 정의되지만, 2차

Table 4. Chemical composition of glassy phase in fly ashes classified by electrostatic precipitator (wt%)

Fly ash	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
A-1	67.6	19.5	4.5	3.0	1.3	1.7	1.0	1.4
A-2	65.0	21.7	5.1	2.5	1.6	1.7	1.0	1.4
A-3	63.3	22.5	6.2	2.1	1.6	1.7	1.0	1.4
A'-1	66.7	18.9	5.3	2.6	1.7	1.8	1.2	1.7
A'-2	65.1	20.1	6.1	2.8	1.3	1.8	1.2	1.6
A'-3	64.0	22.6	5.3	2.2	1.5	1.9	1.1	1.5
B-1	61.2	18.4	5.5	8.7	3.0	2.2	0.8	1.1
B-2	60.1	20.0	5.2	8.2	3.1	2.4	0.9	1.2
B-3	57.8	21.4	6.3	7.6	2.7	2.6	0.9	1.2

원의 식 (1)과 같은 원형도로 평가하여도 간접적으로 구형률을 평가할 수 있다.

$$\text{원형도} = \frac{4\pi(\text{입자의 투영면적})}{(\text{입자의 투영윤곽 주변길이})^2} \quad (1)$$

원형도는 입자의 면적과 같은 원의 주위 길이와 입자의 주위 길이와의 비로써 완전한 원의 원형도는 1이며 형상이 나쁘게 되면 될수록 작은 값을 갖는다. Fig. 6은 이미지 분석과정에 의해 정의된 입자들을 대상으로 fly ash A-3의 원형도를 나타낸 것이다. Fly ash A-3는 화력발전소의 전기집진장치의 마지막 호퍼에서 채취한 것으로 평균입경이 5.39 μm로 매우 작은 입자들로 구성되어 있고, 미연탄소량도 0.3%로 매우 낮은 값을 갖는 것으로, 원형도는 0.40부터 0.98까지 이지만 평균 0.81로 구형에 가까운 입자들이 많이 존재하였다. 단 픽셀수가 작은 경우에는 기하학적인 값에서 크게 벗어나므로 픽셀이 8-10이하로 구성된 경우에는 고려의 대상에서 제외하였다. Table 5에 평균 원형도와 평균 형상을 표기하였다. 측정된 입자수는 400-700개의 범위에서 측정하였으며, 평균 원형도는 0.78-0.81의 값을 나타냈다. Blaine 값이 2760 cm<sup>2</sup>/g에서 7920 cm<sup>2</sup>/g 정도의 차이가 난 것에 비하여 원형도는 0.05 정도 밖에 차이가 나지 않았다. 채취장소가 유사한 fly ash는 유사한 평균 원형도를 나타냈으며, Blaine 값이 클수록 평균 원형도도 증가하였다. 이러한 관계를 Fig. 7에 나타냈다.

무기분체를 구상화하는 것에 의해 페이스트의 유동성은 향상된다. 구상화에 의한 유동성 향상은 충전율향상에 의한 효과와 블레아링작용에 의한 효과로 볼 수 있다.<sup>9)</sup>

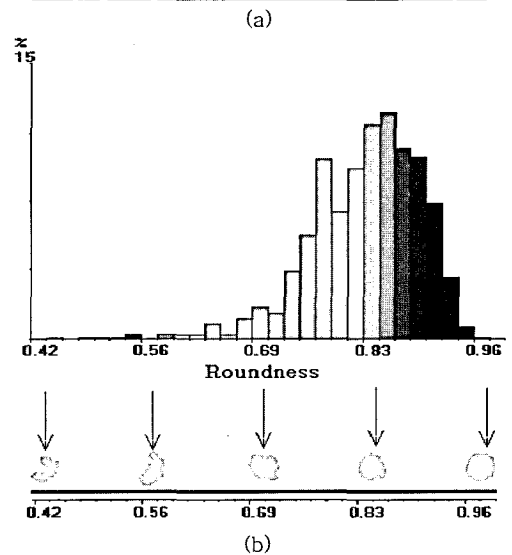
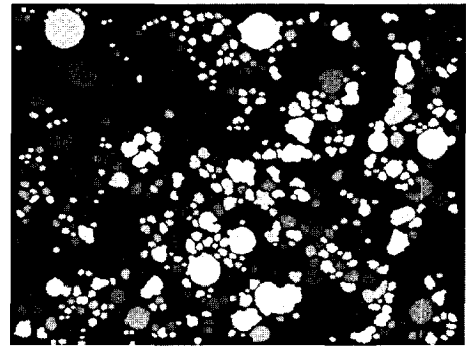


Fig. 6. Circularity results : (a) feature measurements result of digital image analysis, (b) distribution of circularity of fly ash A-3.

Table 5. Mean circularity of fly ashes classified by electrostatic precipitator

Fly Ash	Circularity	Average Particle Shape	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	Unburned Carbon content(mass%)
A-1	0.76		2760	0.7
A-2	0.78		4180	0.8
A-3	0.82		7360	0.3
A'-1	0.78		3580	1.5
A'-2	0.79		4980	1.3
A'-3	0.80		7920	0.4
B-1	0.77		2640	1.0
B-2	0.80		4490	1.1
B-3	0.81		7290	0.5

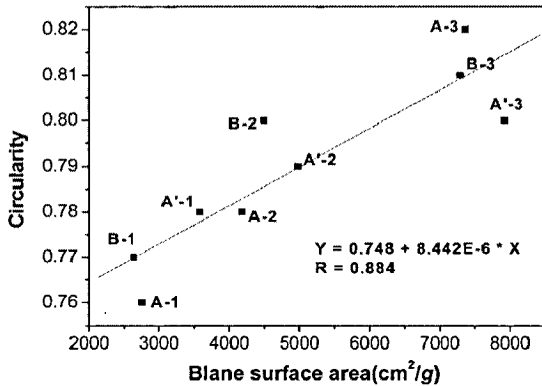


Fig. 7. The relationship between circularity and Blaine surface area of fly ashes classified by electrostatic precipitator.

## 8. 결 론

전기집진기는 가스의 이동방향으로 여러 개의 집진단이 있고 각각의 집진단에는 호파가 설치되어 있다. 대부분의 화력발전소는 전기집진기 각각의 호파에 포집된 fly ash는 한개의 라인으로 수송되어 사이로 등에 저장 혹은 매립되며, 저장된 fly ash는 분급장치에 의해 분급되어 콘크리트용 혼화재로 활용된다. 그러나 전기집진기의 각각의 호파에 포집된 fly ash는 집진단이 보일러로부터 멀어질수록 비표면적이 커지는 등 fly ash의 성질이 달라져, 이를 검토한 결과 전기집진기내의 호파 위치 자체가 분급의 효과가 있는 것을 확인하였다. 따라서 새로운 분급 프로세스로서 가능성이 있으며, 또한 기류식 분급기로 얻기 어려운 고품질 fly ash도 획득이 가능한 것으로 나타났다. 전기집진기의 호파 위치를 분급기로 활용하여 얻은 fly ash의 품질적인 측면에서 언급하면 다음과 같은 특징이 있다.

1. 전기집진기의 후단 호파에서 fly ash를 채취할수록, fly ash의 분말도는 커지며, 제1단은 Blaine 비표면적 2500-4000 cm<sup>2</sup>/g, 제2단은 Blaine 비표면적 4000-5000 cm<sup>2</sup>/g, 제3단은 Blaine 비표면적 6000-8000 cm<sup>2</sup>/g의 것이 얻어졌다.

2. 전기집진기의 호파에 위치에 따라 fly ash의 미연탄소량 및 화학조성은 달라져 후단 호파에서 채취한 fly ash일수록 미연탄소량과 SiO<sub>2</sub> 성분은 감소하나 SO<sub>3</sub> 성분의 양은 증가하는 경향을 나타냈다.

3. 전기집진기 호파의 위치가 뒤쪽으로 갈수록 채취된 fly ash는 유리질의 함유량이 증가하나 결정질인 α-quartz와 mullite는 감소하였다. 또한 후단에서 채취한

fly ash의 유리질 조성은 수산화물의 양이 많으므로 유리질의 구조는 불규칙하게 되어 포졸란 반응성이 증가할 것으로 예상된다.

4. 후단에서 채취한 fly ash일수록 구형율은 증가하여 제3단에서 채취한 fly ash는 구에 가까운 형상을 나타냈다. 따라서 제3단에서 채취한 fly ash는 불베어링작용에 의해 굳지 않은 콘크리트의 유동성을 향상시킬 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 笠井芳父, 坂井悦郎編著, 2007: 新セメントコンクリト用混和材料, pp. 49-51, 技術書院.
2. 日本材料編, 2004: 콘크리트混和材料ハンドブック, NTS, pp. 287-289.
3. 坂井悦郎, 渡賢三, 李昇憲, 大門正機, 1997: 電氣集塵裝置から採集した石炭灰の特性, 콘크리트工年次論文集, 19(1), pp. 235-240.
4. 李昇憲, 星野清一, 坂井悦郎, 大門正機, 1996: 電氣集塵裝置から採集した石炭灰の特性, 콘크리트工年次論文集, 18(1), pp. 327-332.
5. 李昇憲, 2008: 電氣集塵機から段別採集した分級フライアッシュの特性, 東京工業大 學位論文.
6. S. H. Lee, E. Sakai, M. Daimon and W. K. Bang, 1999: Characterization of fly ash directly collected from electrostatic precipitator, Cement and Concrete Research, 29(11), pp. 1791-1797.
7. R. T. Hemmings and E. E. Berry, 1988: On the coal fly ashes-recent advances, Materials Research Society Symposium Proceedings, 113, pp. 3-37.
8. G. G. McCarthy, 1988: X-ray powder diffraction for studying the mineralogy of fly ash, Materials Research Society Symposium Proceedings, 113, pp. 75-87.
9. S. H. Lee, H. J. Kim, E. Sakai and M. Daimon, 2003: Effect of particle size distribution of fly ash cement system on the fluidity of cement pastes, Cement and Concrete Research, 33(5), pp. 763-768.

## 李 昇 憲

- 연세대학교 세라믹공학과 학사
- 연세대학교 세라믹공학과 석사
- 연세대학교 세라믹공학과 박사
- 일본 동경공업대학 이공학연구과 박사
- 현재 군산대학교 신소재공학과 교수