

# 미연탄소를 제거한 플라이애쉬의 특성

## Properties of Beneficated Fly Ashes

이 승 헌<sup>\*</sup>      板井悅郎<sup>\*\*</sup>      大門正機<sup>\*\*\*</sup>      박 정 수<sup>\*\*\*\*</sup>  
Lee, Seung Heun      Sakai, Etusuo      Daimon, Masaki      Park, Jung Soo

### ABSTRACT

This paper discuss the chemical, physical and mineral properties of classified fly ashes by electrostatic precipitator and calcinated fly ashes at 500°C. The electrostatic precipitator in coal fired power plant has a number of hopper in the direction of flue gases. The properties of fly ashes collected at each hopper in the electrostatic precipitator are different. Superfine, fine and ordinary fly ashes can be collected respectively at each hopper. The carbon content in fly ash is influenced on the viscosity of paste. By calcination, the carbon content in fly ash is decreased and the fluidity of paste is improved.

#### 1. 서론

최근 에너지 사정의 변화에 의해 석탄에의 연료전환 및 새로운 발전소의 건설이 추진되고 있어 플라이애쉬의 발생량은 계속적으로 증가할 것으로 예상된다<sup>1),2)</sup>. 따라서 플라이애쉬의 유효이용에 관한 기술개발이 더욱 더 요구되고 있다. 플라이애쉬의 유효이용에 관한 연구는 1950년 경부터 시작되어 그 성과를 기초로하여 플라이애쉬의 포졸란반응성, 저발열성이나 유동성 향상 등의 특성을 활용한 대형구조물, 수리구조물이나 알카리 골재반응제어 대책등에 이용되고 있다<sup>3)</sup>. 더우기 최근에는 플라이애쉬의 새로운 용도로서 고유동콘크리트의 혼화재로서 이용이 기대되고 있다<sup>4),5)</sup>. 그러나 고유동콘크리트의 혼화재로 이용하기 위해서는 플라이애쉬의 품질안정과 우수한 유동성을 확보할 수 있어야 한다.

플라이애쉬는 미분탄연소 보일러에 의해 배출된후 고온 flame 연소에 의해 용융된 유리질 구상 미립자로서 연도 gas와 더불어 운송되어 전기집진기에 의해 포집된다. 전기집진기는 gas가 배출되는 방향으로 여러개의 집진단이 있고 각단에는 호파가 부착되어 있다. 이렇게 호파에서 채집된 플라이애쉬는 한 개의 라인을 통해 사이로에 저장되어 필요에 의해 분급된다.

본 연구에서는 고품질의 플라이애쉬를 안정적으로 이용하기 위해서 각 전기집진장치에서 단별채취하는 것에 의해 품질의 안정성과 미연탄소를 감소시킨 플라이 애시를 시멘트에 첨가한 페이스트의 유동특성에 대해서 검토하였다. 또한 플라이애쉬의 용도 확대나 고유동콘크리트 등에의 이용을 목적으로 AE제나 고성능AE감수제 등의 영향을 적게하고 품질의 안정을 도모하기 위해 500°C 정도의 저온 열

\* 정회원. 군산대학교 재료공학과 부교수

\*\* 동경공업대학 무기재료공학과 조교수

\*\*\* 동경공업대학 무기재료공학과 교수

\*\*\*\* 군산대학교 토목공학부 석사과정

처리에 의해 플라이애쉬중의 미연탄소를 제거한 플라이애쉬에 대해서도 조사하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용재료

실험에 이용한 플라이애쉬는 A계열은 보일러의 부하가 600MW(정상부하)일 때 발생된 플라이 애쉬이고 A'계열은 A계열과 같은 석탄을 사용했을 때 보일러의 부하가 300MW에서 발생한 플라이 애쉬이다. B계열은 A계열과 동일한 부하(600MW)에서 다른 석탄(역청탄)을 사용했을 때 채취한 플라이 애쉬이다. 그림 1에서 보듯이 배기가스의 배출방향으로 전기집진장치는 몇 개의 호파를 가지고 있어, 입구에서 제일 가까운 호파에서 채취한 플라이 애쉬를 A-1, A'-1, B-1, 두 번째의 호파에서 채취한 플라이 애쉬를 A-2, A'-2, B-2, 출구쪽에 위치한 호파에서 채취한 플라이 애쉬를 A-3, A'-3, B-3라 하였다. 또한 같은 방법으로 다른 화력발전소에서 채취한 플라이애쉬(C-1, C-2)를 사용하였다. 시멘트는 혼합재가 첨가되지 않은 1종 포틀랜드 시멘트(Blaine : 3560cm<sup>2</sup>/g, 비중 : 3.15)를 사용하였으며 고성능AE감수제는 폴리카르본산계를 사용하였다.

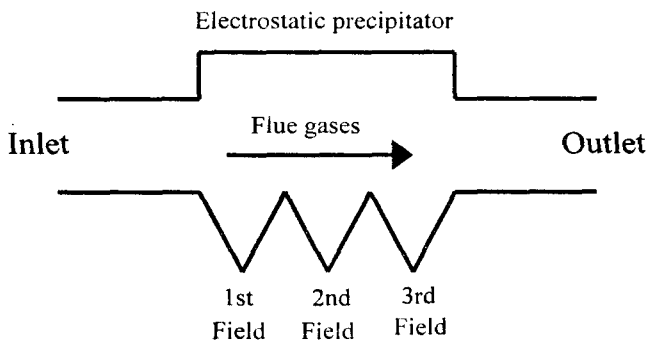


그림 1 미분탄연소 화력발전소의 전기집진장치

### 2.2 플라이애쉬의 성질

플라이 애쉬의 화학적성질로는 전탄소량(Hotiuti Co., Chromatic C), 강열감량을 측정하였으며, 물리적 성질로는 비중, Blaine 및 평균입경을 측정하였다.

### 2.3 탈탄소처리

미연탄소를 제거하기위해 500℃에서 3시간 유지하였고 프라즈마 처리장치(Kyoto Densi Co., Pa-500AT)를 사용하여 진공도는 1torr, 온도는 200℃

이하로 하여 중량 감소가 없을 때 까지 처리하였다.

### 2.4 점도측정

시멘트의 20%(체적비)를 플라이애쉬로 치환하고 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 분체중량에 대해 소정량 첨가하여 물분체비 0.9(체적비)로 3분간 혼련한 페이스트를 시료로 하였다. 이렇게 제조한 페이스트를 응력제어형 회전이중원통 점도계(Codix Co.)를 이용하여 전단응력 0Pa부터 200Pa 사이를 상승 및 하강시켜 200Pa에서의 겔보기점도를 구했고 겔보기점도의 역수를 유동성으로 평가하였다. 측정온도는 20℃로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

표 1 플라이애쉬의 성질

종류	비중	비표면적(cm <sup>2</sup> /m)	강열감량(wt%)	탄소량(wt%)
A-1	2.06	2760	1.1	0.7
A-2	2.22	4180	1.2	0.8
A-3	2.42	7360	1.7	0.3
A'-1	2.08	3580	2.1	1.5
A'-2	2.23	4980	2.1	1.3
A'-3	2.40	7920	1.9	0.4
B-1	2.24	2640	1.0	1.0
B-2	2.33	4490	1.1	1.1
B-3	2.48	7290	0.5	0.5
C-1	2.23	3470	5.6	5.4
C-2	2.34	6420	7.5	6.5

3.1 플라이애쉬의 성질

플라이애쉬의 물리화학적성질을 표 1에 나타냈다. Blaine은 석탄의 종류, 보일러의 부하에 관계없이 제1단에서 제3단으로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈으며 제 3단에서는 7,000cm<sup>2</sup>/g 이상의 값을 나타냈다. 그림 2에 플라이애쉬의 입도분포를 나타냈다. 제1단에서 3단으로 갈수록 플라이애쉬의 입경은

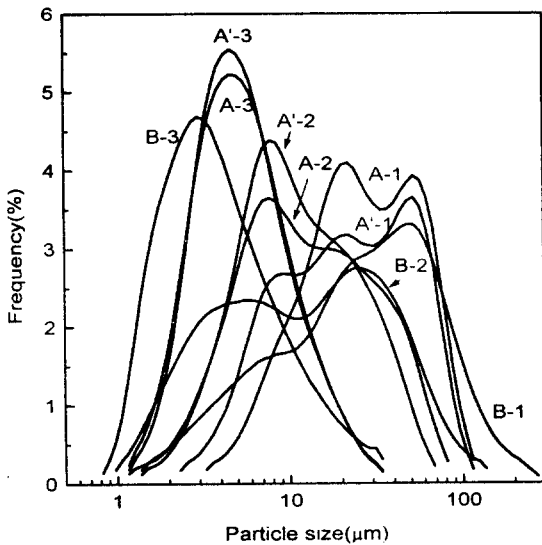


그림 2 플라이 애쉬의 입도분포

평균입경은 감소하고 입도분포의 범위는 작아지며, 빈도함수는 정규분포를 나타낸다. 보일러의 부하 및 석탄의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만 동일한 효과에서 채취한 플라이애쉬는 입도분포 및 평균입경은 유사한 분포를 나타냈다. 이것은 전기집진기내에서의 입자거동은 입자크기에 의존하기 때문이다<sup>6)</sup>. 비중은 2.06-2.48의 값으로 구성광물의 이론적인 값보다 낮은 값을 가지고 있어 속이 빈 형태를 취하는 것으로 생각된다. 동일한 화력발전소에서 배출한 플라이애쉬는 위치가 같을 경우 유사한 비중을 나타내고 있어, 제1단에서 제3단으로 갈수록 즉 분말도가 클수록 비중은 증가하였다. 탄소량, 강열감량은 플라이애쉬 중의 미연탄소량의 평가에 이용되는 항목으로 A, A' 및 B계는 탄소량은 0.3-1.5%, 강열감량은 0.5-2.1%의 범위로 전반적으로 낮은 값을 가졌다. 호파 위치별로 채취한 플라이애쉬의 탄소변화를 보면 평균입경이 10μm 이하를 나타낸 제3단에서 채취한 플라이애쉬는 제1단과 제2단의 플라이애쉬보다 탄소량이 낮은 값을 가지고 있어, 석탄의 종류 및 보일러의 부하에 관계없이 같은 경향을 나타냈다. 그러나 강열감량은 이러한 관계가 보여지지 않았고 강열감량과 탄소량과는 상관관계가 보여지지않았다. 이것은 A, A' 및 B계의 플라이애쉬는 미연탄소량이 매우 적어서 이러한 결과가 나타난 것으로 생각된다. 다른 화력발전소에서 배출한 C

계 플라이애쉬는 강열감량이 KS, JIS 규격을 초과하는 플라이애쉬로서 강열감량, 탄소량이 5%이상을 나타냈고, 후단에서 채취한 플라이애쉬는 분말도가 증가하였다. 그러나 A, A' 및 B계와는 다르게 강열감량 및 탄소량은 상당량 증가하였다.

### 3.2 탈탄소 처리한 플라이애쉬의 성질

그림 3에 500℃ 3시간 열처리한 플라이애쉬의 강열감량의 변화를 나타냈다. 열처리에 의해 강열감량은 A'계는 1%이하로 감소하였고 미연탄소량이 많은 C계 플라이애쉬는 1/3 정도로 강열감량이 감소하여, 2%이내의 값을 나타냈다. A'계인 경우 플라즈마 처리에서도 유사한 결과를 나타냈다. 탄소량을 조사한 결과 A'계는 1단에서 0.07%, 3단에서 0.01%로 거의 제거가 되었으며 플라즈마 처리시에는 검지 되지 않았다. 그림 4는 BET로 측정된 결과로서, 열처리에 따른 비표면적의 변화를 보면 열처리에 의해 비표면적이 상당량 감소하였고 강열감량의 값이 5%이상인 C계 플라이애쉬는 3.45-5.83m<sup>2</sup>/g 정도 비표면적이 감소하였다. 따라서 미연탄소가 플라이애쉬의 비표면적에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 생각된다.

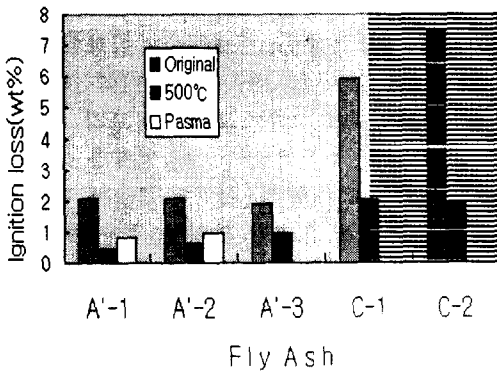


그림 3 탈탄소 전후의 강열감량 변화

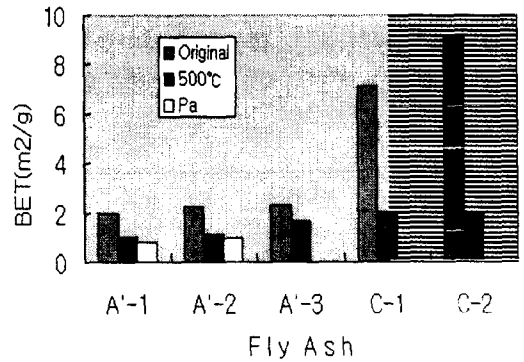


그림 4 탈탄소 전후의 비표면적 변화

### 3.3 플라이애쉬의 유동특성

그림 5에 A 및 A'계 플라이애쉬 혼화량 20%, 물/분체 체적비 0.9에서 폴리카르본산계 고성능AE감수제 첨가량과 시멘트 페이스트의 걸보기점도와의 관계를 나타냈다. 혼화제 첨가량 1.6%까지는 시멘트 페이스트의 걸보기점도는 감소하는 경향을 나타냈고, 그이상의 첨가량에서는 변화가 없었다. 이것은 혼화제의 첨가량 1.6% 부근에서 입자에의 혼화제 흡착량이 포화에 도달된 것으로 생각된다. 플라이애쉬중의 미연탄소는 다른 입자에 비해 많은 양의 유기혼화제를 흡착하므로 미연탄소량이 많은 플라이애쉬를 혼합한 페이스트는 포화에 도달하기 위한 유기혼화제의 첨가량이 많아지게 된다. 따라서 탄소량이 많은 플라이애쉬를 혼합한 시멘트 페이스트는 걸보기점도가 일정하게 되는 혼화제의 첨가량이 많아질 것으로 예상된다. 걸보기점도는  $\eta = \tau / \gamma$  ( $\tau$ :shear stress,  $\gamma$ :shear velocity)로 나타내고, 어떤 shear stress하에서 발생한 shear velocity의 역수에 대응된다. 유동성이라는 관점에서 보면 shear velocity의 역수에 대응되는  $\eta$ 보다 shear velocity 그자체인  $1/\eta$ 에 의한 평가도 중요하다. 혼화제의 첨가량이 포화되는 1.6%에서의 걸보기점도의 역수와 탄소량과의 관계를 그림 6에 나타냈다.  $1/\eta$ , 값은 탄소량의 증가량에 따라 감소하고 있다. 즉 플라이애쉬중의 미연탄소량이 적을수록 유동성은 향상

되는 경향을 나타냈다. 이것은 미연탄소가 다공질이고 물을 흡수하는 성질이 있고 플라이애쉬에 비해 형상이 매우 복잡하기 때문이라고 생각되어 진다. A 및 A'계보다 B계 플라이애쉬가 우수한 유동성을 나타냈다. 이것은 입도분포에서 보듯이 A계와 비교하여 B계는 동일단에서 채취한 B계가 입도분포가 넓은 형태를 취하고 있어 충전성이 향상되었기 때문이라고 생각된다. 진한 현탁액에서 시멘트, 플라이애쉬는 응집되어 집합체를 이루고 있기 때문에 입자의 충전성이 향상되면 입자 집합체의 내부에 구속되는 수량이 적게되어 유동성에 관여하는 수량이 많아지기 때문일 것으로 생각된다.

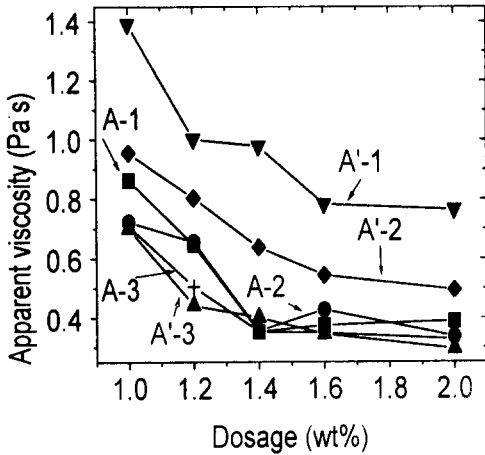


그림 5 고성능 AE감수제 첨가량에 따른 결보기점도의 변화

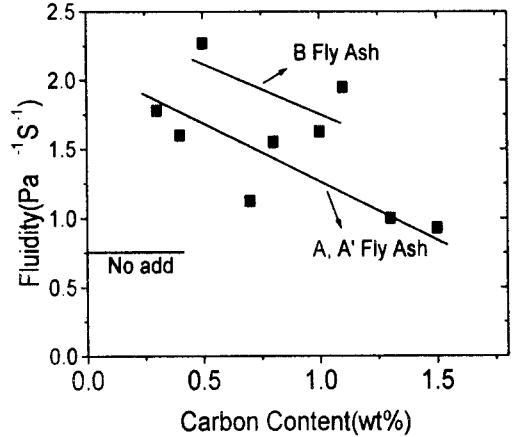


그림 6 플라이애쉬중의 탄소함유량과 유동성과의 관계

### 3.4 미연탄소 제거 플라이애쉬의 유동특성

그림 7에 미연탄소를 제거한 플라이애쉬를 혼합한 시멘트 페이스트의 유동성을 나타냈다. A'-3을 제외하고 미연탄소를 제거하는 것에 의해 유동성은 향상되었다. 플라즈마처리와 500℃ 열처리는 거의 유사한 값을 나타냈다. 그러나 후단에서 채취한 A'-3 플라이애쉬는 페이스트의 유동성은 현저하게 저하되었다. 이러한 이유로는 열처리에 의해 석탄회의 응착이 생겨 입경이 커져서 그러한 현상이 나타난 것으로 생각된다. 제3단에서 채취한 플라이애쉬는 원래 유동성이 좋고 미연탄소량이 적으므로 개질할 필요성이 없다고 생각되어 진다.

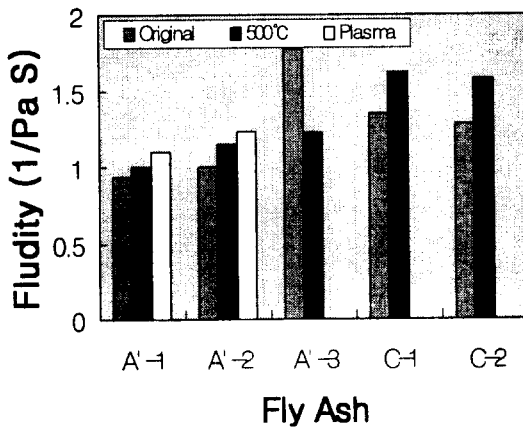


그림 7 탈탄소 처리한 플라이애쉬의 유동성

미연탄소량이 많은 C계 플라이애쉬의 500℃ 열처리에 의해 플라이애쉬의 유동성은 향상되었으므로 열처리가 플라이애쉬의 품질의 안정성을 도모하는데 유효한 수단으로 생각되어진다. C계 플라이애쉬는 미연탄소량이 많았음에도 불구하고 비교적 높은 유동성을 나타내고

있다. 이것은 입도분포가 넓고 큰 입자와 작은 입자가 공존하는 다형모드를 취하고 있기 때문에 충전성이 커서 유동성이 큰 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

플라이 애시중의 미연탄소를 전기집진기에서의 분별채취법, 500℃ 가열법, 플라즈마처리법에 의해 제거하였다. 이렇게 미연탄소를 제거한 플라이애쉬의 특성과 시멘트페이스트의 유동성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 단별 채취한 플라이애쉬는 후단으로 갈수록 비표면적이 증가하고 탄소량이 감소하는 경향을 나타냈으며 시멘트 페이스트의 유동성도 향상되었다. 500℃ 및 플라즈마처리한 플라이애쉬는 비표면적이 상당량 감소하였으므로 비표면적에 미치는 미연탄소의 영향은 컸다.
- 2) 500℃ 정도의 열처리에 의해 플라이 애시중의 미연탄소를 어느정도 제거가 가능하며, 미연탄소의 제거에 의해 시멘트 페이스트의 유동성은 향상되었다. 그러나 단별채취시 후단에서 채취한 미세한 플라이애쉬는 응착이 발생하여 미연탄소가 감소되었음에도 불구하고 유동성은 저하되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 오성원, 「석탄회 처리현황과 대책, 석탄회 활용 국제 워크숍, 한국전력공사」, pp.1-16(1996).
2. 한국전력공사, 「석탄회 -이용가치와 재활용 기술-」, pp.295-408(1994)
3. K. Wesche, 「Fly Ash in Concrete」, RILEM, pp.160-170(1990)
4. 石炭灰ハンドブック編輯委員會編, 「石炭灰ハンドブック」, pp.I-2(1995)
5. T. Tanosaki and K. Nosaki, 「Characterization of Japanese Coal Ash in Recent Years」, J. of Res. of Chichibu Onoda Cement, Vol. 46, pp.101-105(1995)
6. D. Kuni and O. Levenspi, 「Fludization Engineering, Butterworth Heineman Series in Chemical Engineering」, Academic Press, pp.6(1944)