

# 시멘트 분쇄공정에서의 전기집진기 dust관리

백일환\* · 문영진      김기범 · 이정범 · 전 귀  
 <동양시멘트 북평공장>      <동양중앙연구소 공정연구실>

## 1. 서      론

시멘트 제조공정은 고체상의 물질흐름으로 이루어지므로 분진 발생은 불가피하다. 이러한 분진을 포집하기 위하여 여러가지 집진장치가 사용되고 있다. 그중에서 전기집진기는 고효율 집진장치로 1970년대 초 kiln preheater 및 원료 밀에 사용되다가 최근 들어 kiln cooler와 시멘트 분쇄공정에 많이 적용되고 있다. 그러나 전기집진기의 포집분은 고분말이며 흐름이 불연속적이므로 시멘트 품질관리에 상당한 어려움을 준다. 또한 전기집진기에 유입되는 분진의 양이 과부하 상태이면 대기로의 분진 분출 농도가 증가하여 분진 오염문제를 유발시킨다. 이러한 문제점들을 토대로 분쇄공정의 전기집진기를 검토하면 품질향상 및 생산성 증가에 기여하고 대기 오염방지대책 방안을 제시할 수 있으리라 판단된다.

본 연구는 분쇄공정의 조업조건 변화에 따른 전기집진기 포집분의 화학성분 및 분말도를 분석하여 포집분의 특성을 파악하고 이를 시멘트 품질관리에 적용하였다. 또한 settling chamber를 설치하여 전기집진기의 과부하를 줄이고 포집효율을 최대로 하는데 역점을 두었다.

## 2. 전기집진기의 특성

전기집진기내의 분진입자들은 양극과 음극 사이에서 하전되어 포집전극의 방향으로 움직이도록 전기장이 형성된다. 하전된 분진입자들은 정

전기력의 작용으로 인해 기체흐름으로부터 분리된다. 이러한 분진층은 rapping에 의해서 주기적으로 포집된다. 분진 분리공정의 전기집진기를 Fig.1에 나타내었다.

전기집진기의 특성은 다음과 같다.

- 1) 포집 입경:  $0.01 \mu\text{m}$  이상
- 2) 압력 손실:  $10 \sim 20 \text{ mm H}_2\text{O}$
- 3) 집진 효율: 99%
- 4) 공기 유속: 전식 ( $2 \sim 4 \text{ m/sec}$ ), 습식 ( $1 \sim 2 \text{ m/sec}$ )

전기집진기는 포집효율이 높고 압력손실이 적은 반면 전기적인 특성 때문에 특정 물질에 제한되고 위험이 뒤따르는 주요 결점을 갖고 있으며 대용량으로 인한 설치비의 부담이 크다.

## 3. 실      험

전기집진기의 포집분은 일정한 시간간격으로 sampling하여 시간경과에 따른 석고함유량( $\text{SO}_3$ ) 및 분말도의 변화를 관찰하고 비교 검토하였다. 또한 조업조건 즉 separator의 분산판 rpm 및

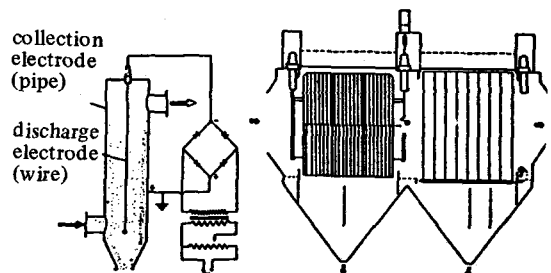


Fig. 1. Basic concept of E. P. (Electrostatic Precipitator).

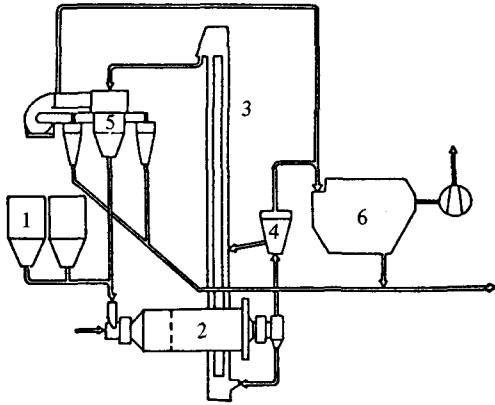


Fig. 2. Schematic flow diagram of cement grinding process.

1. Feeding hopper 2. Mill 3. Bucket elevator  
4. Grit separator 5. Cyclone air separator 6. E.P.

순환팬 damper, E. P. 팬 damper, separator suction damper와 분쇄조제의 변화에 따라서 전기 집진기 포집분의 특성을 파악함은 물론 이들이 시멘트 품질에 미치는 영향을 고려하였다. 본 실험은 당사의 No.1 시멘트 분쇄공정에서 실시되었고 대상 공정도를 Fig.2에 나타내었다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 전기집진기 포집분의 특성 고찰

공정실험에서 얻어진 전기집진기 포집분의 특성은 Fig.3에 나타낸 바와 같이 시간이 경과함에 따라 석고 함유량 및 분말도의 큰 품질 변동을 보였고 Fig.4의 관계에서도 석고 함유량( $SO_3$ )이 많을수록 분말도가 증가함이 관찰되었다. 분쇄성이 높은 석고는 고분말의 전기집진기 포집분에 상대적으로 많이 함유되며 이에 따라 포집분의 특성을 좌우하게 되고 품질관리의 주요 인자로 작용함을 알 수 있다.

##### 4.2 조업조건에 따른 전기집진기 포집분의 품질에 미치는 영향

각 조업조건에 따라서 전기집진기 포집분의 분말도(Blaine)와 Rosin-Rammler식의 균일계수(n) 및 대표입경( $X_0$ )을 측정하였다. 여기에서 조

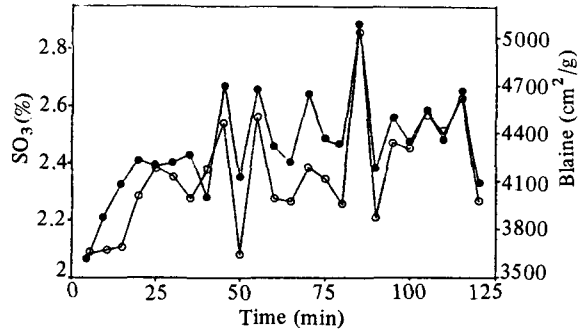


Fig. 3. Variation of gypsum content ( $SO_3$ ) and Blaine of E.P. dust with time.

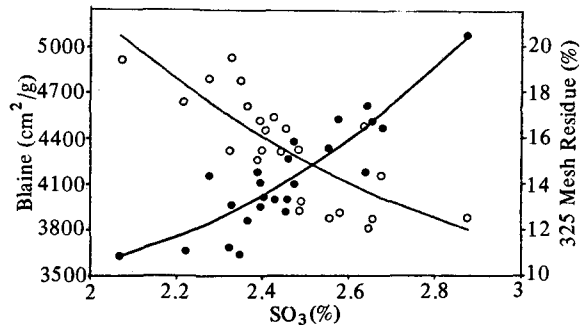


Fig. 4. Relation between gypsum content ( $SO_3$ ) and fineness (Blaine, 325 mesh residue) of E.P. dust.

업변수로 separator의 분산판 rpm 및 순환팬 damper 그리고 E. P. 팬 damper를 사용하였으며 이에 대한 실험 결과는 분말도(Blaine)에 대해서 Fig. 5, 6, 7에 나타내었고 균일계수(n) 및 대표입경( $X_0$ )에 대해서 Fig. 8, 9에 나타내었다. 전기집진기 포집분의 품질은 공정 조업조건에 크게 영향을 받으므로 포집분의 품질관리는 시멘트 품질 안정에 상당한 역할을 한다. 결국 조업조건의 변화에 의해서 전기집진기 포집분의 품질관리가 가능해진다. No.1 시멘트 분쇄공정에서는 특히 순환팬 damper에 의한 영향이 가장 크게 나타났다.

##### 4.3 Auto-sampler의 설치

이상의 실험 결과로부터 품질관리의 필요성이 대두되었으며 이를 보완하기 위하여 Fig.10에 나타난 것처럼 전기집진기의 출구에 auto-sam-

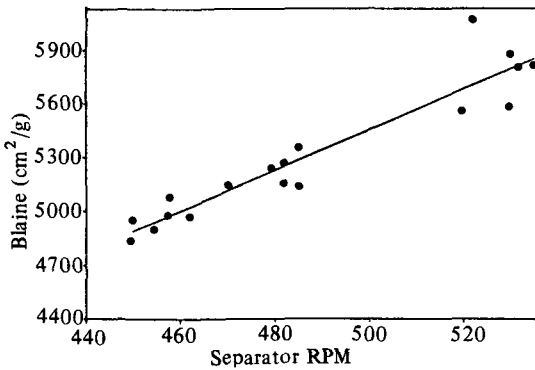


Fig. 5. The effect of separator RPM on Blaine of E.P. dust.

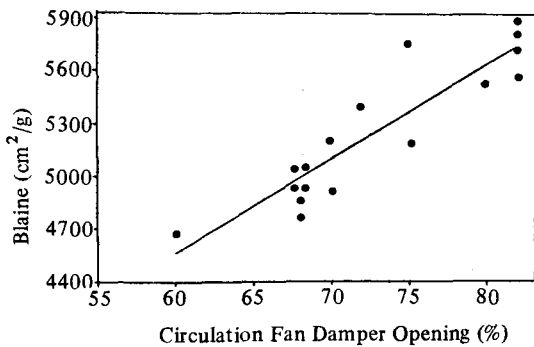


Fig. 6. The effect of circulation fan damper opening on Blaine of E.P. dust.

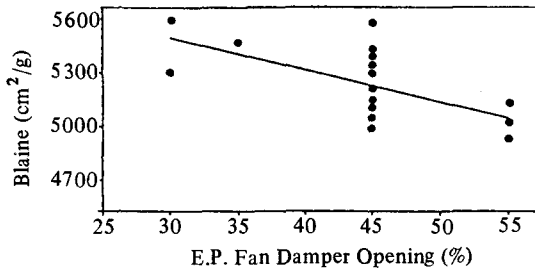


Fig. 7. The effect of E.P. fan damper opening on Blaine of E.P. dust.

pler를 설치하였다. 이러한 auto-sampler의 사양은 Table 1.에 나타내었다. Auto-sampler의 설치 전과 설치 후 sampling 결과를 분말도(Blaine, 170 mesh residue)에 대해서 Fig. 11, 12에 나타내었다. Auto-sampler 설치에 의한 결과로 설치 전에 비하여 대표 sampling이 가능해졌고 조업변수의 조정으로 원하는 품질의 시멘트를 균일하게 생산할 수 있었다.

Table 1. Specification of auto-sampler

| Auto-sampler      |                      |
|-------------------|----------------------|
| Sampling Interval | 17 times/hr          |
| Sampling Amount   | 40 g/time            |
| Pressure Drop     | 0 mmH <sub>2</sub> O |

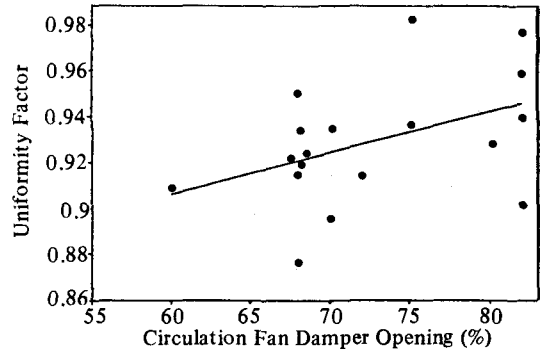


Fig. 8. The effect of circulation fan damper opening on uniformity factor of E.P. dust.

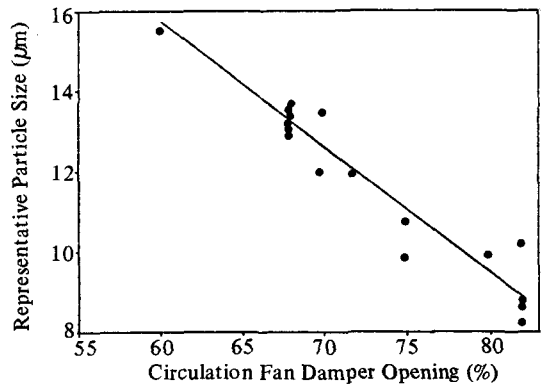


Fig. 9. The effect of circulation fan damper opening on representative particle size of E.P. dust.

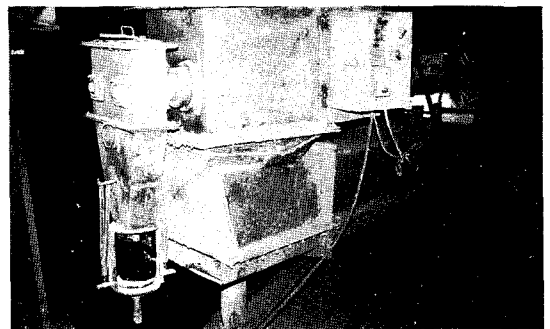


Fig. 10. Photograph of auto-sampler.

#### 4.4 Settling chamber의 설치 검토

전기집진기에 과부하가 발생하면 집진효율이 떨어지고 이에 따라 대기로 분출되는 분진의 양이 많아지게 된다. Table 2는 분쇄공정의 최적화 실험 및 고찰로부터 얻어진 결과로서 정상적으로 처리할 수 있는 전기집진기 용량 5.6 ton/hr 이상의 과부하가 걸리는 것을 알 수 있다.

이러한 과부하를 줄이기 위하여 settling chamber의 설치를 검토하였다. 과부하를 줄일 수 있는 settling chamber의 용량은 개략도 Fig. 13을 기초로 하여 아래 식에서 계산되었다. Settling chamber는 설치비가 저렴하고 설치 작업 및 보수 유지가 쉬운 장점을 지닌 반면 낮은 분리 효율과 넓은 설치 면적을 필요로 하는 단점이 있다.

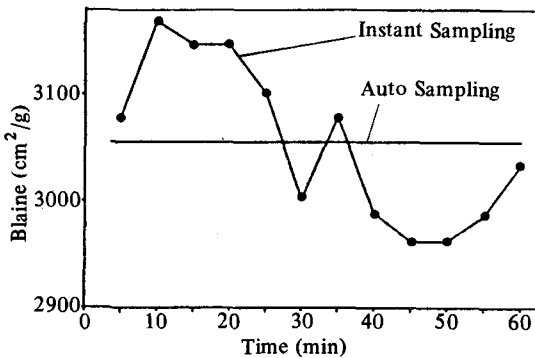


Fig. 11. Comparison of Blaine by instant and auto sampling with time.

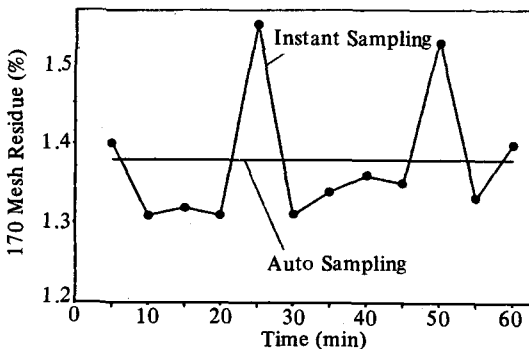


Fig. 12. Comparison of 170 mesh residue by instant and auto sampling with time.

$$\frac{V_s}{h} = \frac{U}{L} \dots\dots\dots (1)$$

By Stokes' law,  $Re < 1$

$$V_s = \frac{2}{9} \left[ \frac{(\rho_{part} - \rho) g R^2}{\mu} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$D = \left[ \frac{18 U h \mu}{L g (\rho_{part} - \rho)} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Efficiency : } \eta = 100 \frac{V_s L}{h U} \dots\dots\dots (4)$$

계산 결과는 Fig. 14와 Table 3에 나타내었고 이에 따라 개조될 settling chamber의 설계 방향이 제시될 수 있다.

Settling chamber 입구에 다공판(porous distribution plate)을 설치하여 유속에 관계없이 높이를 줄이는 효과를 얻는다. 이때의 효과로 인한 상대높이를 유효높이라고 한다.  $L = 5.1 \text{ m}$ ,  $h = 3.0 \text{ m}$  용량의 settling chamber는 유효높이  $h_{eff} = 1.275 \text{ m}$ 가 되는 즉, 42.5%의 효과를

Table 2. Result of Optimization Experiment

| Throughput<br>(ton/hr) | E.P. Fineness |      |        | E.P. Flow Rate<br>(ton/hr) |
|------------------------|---------------|------|--------|----------------------------|
|                        | N             | Xo   | Blaine |                            |
| 150                    | 0.995         | 10.5 | 5321   | 5.0                        |
| 160                    | 0.923         | 11.6 | 5272   | 6.0                        |
| 170                    | 0.896         | 12.1 | 5085   | 6.5                        |
| 180                    | 0.880         | 14.0 | 4996   | 7.0                        |
| 185                    | 0.875         | 14.4 | 4904   | 7.5                        |

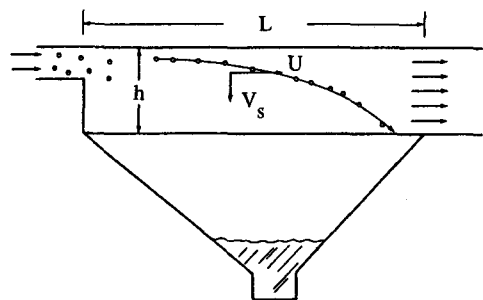


Fig. 13. A settling chamber.

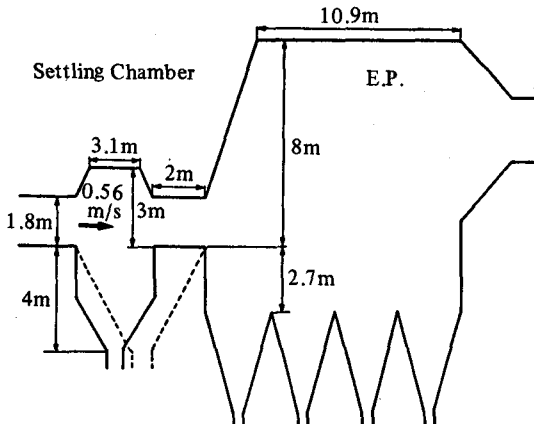


Fig. 14. Drawing of settling chamber and E.P.

낼 수 있는 다공판을 설치하여 20%의 집진효율을 갖도록 하였다. 이때 settling chamber에서 1.2 ton/hr를 미리 포집하므로 전기집진기의 부하가 감소한다. 따라서 전기집진기가 처리할 수 있는 용량의 증가는 과부하의 영향없이 생산량을 약 20 ton/hr 증가시킬 수 있다.

## 5. 결 론

1) 전기집진기 포집분은 조업조건에 큰 영향을 받았다. 이에 조업조건에 따른 포집분의 특성을 파악하여 포집분의 품질관리를 가능하게 하였다.

2) 전기집진기 포집분의 품질편차는 시멘트 품질관리에 막대한 영향을 주었다. Auto-sampler의 설치는 이러한 품질편차를 없애줌으로써 시멘트 품질관리에 기여하였고 조업개선을 가능하게 하였다.

3) 전기집진기의 과부하로부터 발생하는 집진효율의 감소 및 대기오염의 증가는 전기집진기 입구에 settling chamber를 설치하여 이를 보완할 수 있다. Settling chamber는 전기집진기 유입량의 20%를 미리 포집함으로써 전기집진기의 수명연장은 물론 약 20 ton/hr의 생산량 증가 및 공정의 안정화에 큰 역할을 할 수 있다.

Table 3. Operating condition and calculation result

|           |  |
|-----------|--|
| Condition | $\rho_{\text{part}} = 3.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$<br>$\mu = 2.101 \times 10^{-5} \text{ kg/m-sec}$<br>$g = 9.8 \text{ m/sec}$<br>$\rho = 1 \text{ kg/m}^3$<br>$U = 0.56 \text{ m/sec}$  |
| Result    | 1. $L/h = 4.0$ 20% collection efficiency<br>$L/h = 8.0$ 30% collection efficiency<br>2. $L = 3.1\text{m}, h = 3.0\text{m}$ 6.5%<br>$L = 3.1\text{m}, h = 1.275\text{m}$ 13.5%<br>$L = 5.1\text{m}, h = 1.275\text{m}$ 20.0%<br>3. For 20% dust collection at $L = 5.1\text{m}$ ,<br>$h = 3.0\text{m}$<br>Effect of porous distribution plate<br>$= 42.5\%$ |

## Nomenclature

$D$  = Particle Diameter [m]  
 $g$  = Gravitational Acceleration [ $\text{m/sec}^2$ ]  
 $\eta$  = Efficiency [%]  
 $\mu$  = Gas Viscosity [ $\text{kg/m-sec}$ ]  
 $R$  = Particle Radius [m]  
 $\rho$  = Gas Density [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $\rho_{\text{part}}$  = Particle Density [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $U$  = Bulk-free Stream Velocity [ $\text{m/sec}$ ]  
 $V_s$  = Settling Velocity [ $\text{m/sec}$ ]

## <참 고 문 헌>

1. 임경택, "대기오염 방지공학", 동화기술, pp.189~214 (1989).
2. Perkins, H. C.: "Air Pollution", McGraw-Hill, p. 234-237 (1974).
3. Bethea, R. M.: "Air Pollution Control Technology", Litton Educational, p 106-112 (1978).
4. Denn, M. M.: "Process Fluid Mechanics", Prentice Hall, p. 52-61 (1980).
5. Perry, R. H., Green, D. W. and Maloney, J. O.: "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, p. 5:63-5.68 (1984).