

## Electrostatic Precipitation Characteristics of Coal Combustion Boiler

李泰植\* · 文次錫\* · 金旻錫\*\* · 南昌祐\*\*\* · 李圭喆§

(Tae-Sik Lee · Cha-Seog Mun · Kyung-Suk Kim · Chang-Woo Nam · Kyu-Chul Lee)

**Abstract** - The electrostatic precipitation characteristics of two kinds of fly ashes, one derived from a fluidized bed combustor(FBC), the other from a pulverized coal(PC) fired furnace, have been studied on a pilot plant. Experiments have been carried out to enhance the collection efficiency while changing the operating conditions for two kinds of coal ashes, respectively. It has been shown that collection efficiency is affected by many factors such as shape of the ashes, dust contents, humidity, and temperature, etc. Experimental results showed that collection efficiency of the FBC ashes was higher than that of the PC fly ash in spite of the small size of the FBC ashes. The experimental results have been applied to the collection efficiency equations to show that the modified Deutsch equation was well agreed with experiment results if modification parameter k was set to 0.6 for the fluidized bed fly ashes and to 0.43 for the pulverized coal fly ashes.

**Key Words** : Electrostatic precipitation, fluidized bed combustor(FBC), Pulverized coal combustion(PC), modified Deutsch equation, Collection Efficiency

### 1. 서 론

산업의 발달과 더불어 대기오염은 현재 문명사회에 심각한 문제를 발생시키고 있다. 대기오염은 주로 산업의 공정 및 화학석연료의 사용증가로 인해 기인되며 특히 산업현장에서 사용되고 있는 석탄연소 보일러는 아주 중요한 오염원중의 하나이다. 석탄연소 보일러에서 배출되는 연소가스중에는 다량의 오염물질이 함유되어 있으며 이러한 오염물질의 배출량을 억제하기 위해 여러가지 장치가 사용되고 있다. 이러한 장치의 하나인 전기집진기는 기체 중의 고체 또는 액체의 미립자에 인위적으로 전하를 주어, 전기적 에너지장인 전계중을 통과시킴으로써 분진을 전기적으로 포집하는 장치로, 원심력 집진기 혹은 다른 여과식 집진 장치와 비교하여 매우 높은 집진효율을 얻을 수 있고, 극미립자의 집진이 가능하며, 장비의 유지보수가 용이한 장점이 있어 산업현장에서 널리 사용되고 있다[1-4]. 전기집진기의 집진효율은 집진판의 면적, 가스유량, 수분의 함량, 분진의 비저항, 가스온도, 인가전압, 집진판과 방전극 사이의 간격 등에 크게 영향을 받고 있으며 집진효율 개선 및 전기집진기의 최적운전을 위해서는 집진효율에 영향을 미치는 여러 변수들의 영향을 종합적으로 고찰하는

체계적인 연구가 진행되어야 한다[5-11].

본 연구에서는 석탄보일러용 전기집진기의 최적설계조건을 규명하기 위해 석탄연소 보일러의 연소방법에 따른 미분탄식 연소(PC, Pulverized coal combustion)와 유동상식 연소(FBC, Fluidized bed combustion)에서 발생된 분진을 실 플랜트에서 각각 채취하여 물성특성 및 집진특성을 각각 비교·분석하였다[1,7,8,10-11]. 분진의 물성특성을 규명하기 위해 분진의 전기비저항, 화학적 조성, 입도 및 그 형상을 비교·분석하였으며, 분진의 집진특성을 고찰하기 위해 가스의 수분함량, 온도, 분진농도, 인가전압 등 다양한 조건을 가변하여 방전전압-방전전류 특성 및 집진효율 특성을 비교·분석하였다. 이러한 결과를 Deutsch식과 수정된 Deutsch식에 각각 대입하여 연소방법에 따른 수정계수 k를 유도하였다[12,13].

### 2. 실험 장치 및 방법

실험에 사용된 전기집진기는 높이 4.3mm 길이 15m인 2단 평행판 전기집진기의 구조를 가지고 있으며 각 집진실내부의 집진판의 높이는 1.33m, 길이는 6.12m이고 집진판과 방전극 사이의 간격은 400mm이다. 가스의 통로수는 1개이며 실험에 사용된 전기집진기의 자세한 사양과 규격은 참고문헌 2에 명시하였다.

그림 1은 전기집진기의 전기적 회로를 개략적으로 나타낸

\* 正 會 員 : 現代重工業(株)

\*\* 正 會 員 : 蔚山大 電氣電子 및 自動化工學部 博士科程

\*\*\* 正 會 員 : 蔚山大 電氣電子 및 自動化工學部 助教授 · 工博

§ 正 會 員 : 蔚山大 電氣電子 및 自動化工學部 教授 · 工博

接受日字 : 1998年 10月 9日

最終完了 : 1999年 4月 29日

것으로, 고압정류 변압기와 제어반 및 전기집진기 내부의 방전극 및 집진판 등으로 구성되어 있다. 단상입력전원을 사용하였으며 전기집진기에 흐르는 전류를 전류제한용 리액터(current limiting reactor)로 제한하여 순간단락이나 아크방전 등으로 인한 방전전류의 급격한 흐름을 제어할 수 있도록 하였다. 정류변압기의 제어는 정전류방식으로 하였으며, 특히 마이크로 프로세스를 이용한 디지털 제어 방식을 채택하여 전기집진기 내부의 프로세스의 변화 등에 따라 전압인가방식을 직류정현파방식이나 펄스하전방식중 하나를 선택할 수 있도록 설계하였다. 펄스하전방식의 운전에서는 하전주기를 변화시킬 수 있어 집진효율을 향상시키고 전력소모를 최소화할 수 있도록 하여 경제적 운전이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

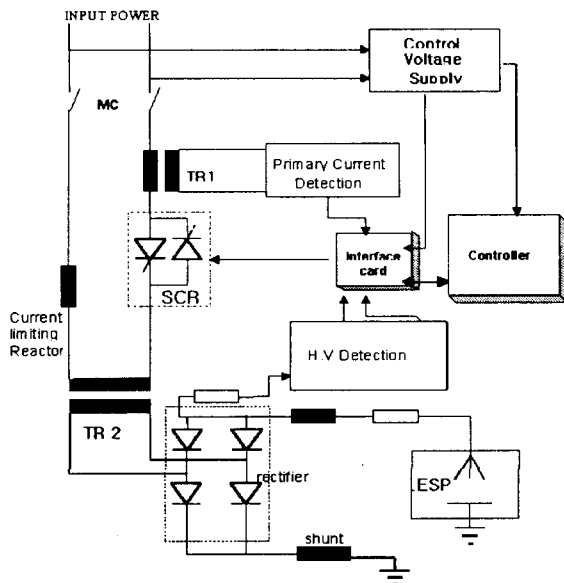


그림 1. 고압 정류기 및 전기 회로도  
 Fig. 1. Schematic diagram of the H.V Transformer-Rectifier and electrical circuits.

분진의 물성특성을 측정하기 위해서 실 플랜트에서 미분탄식 연소와 유동상식 연소를 거쳐 포집된 분진을 사용하였으며, 각각의 분진을 습식원소 분석법으로 분진의 화학적 조성을 분석하였고, COULTER사(미국)의 LS130을 사용하여 분진의 입도를 분석하였다. 온도변화에 따른 분진의 비저항특성은 비저항 측정기를 사용하여 측정하였다[14]. 방전특성 및 집진특성 실험을 위해 송풍기를 이용하여 전기집진기 내로 유입된 공기를 전기히터를 이용하여 계속적으로 가열하였으며, 온도 조절기를 사용하여 설정된 온도가 지속적으로 유지되도록 하였다. 공기의 유동속도는 주파수 변환기로 송풍기의 회전수를 조절하여 일정하게 유지하였다. 속도와 온도가

설정된 후, 자동 분진 투입 장치를 통하여 일정량의 분진을 연속적으로 투입하여 가열된 공기에 일정 농도의 분진이 포함되도록 하였다. 방전 및 집진을 위해 고압정류 변압기를 이용하였으며, 전기집진기의 출구쪽에 분진측정기(Opacitometer)를 설치하여 분진의 농도를 연속적으로 측정하도록 하였다. 전기집진기의 방전 특성 및 집진효율 특성에 미치는 변수들의 영향을 평가하기 위해 가스의 온도(Temp)를 상온~150℃, 가스의 평균 유동 속도(V)는 0.5~2 m/s, 분진의 농도(Dc)는 0~60 g/Nm<sup>3</sup>, 가스의 수분함량(Hu)은 0~20Vol.%의 범위내의 조건하에서 인가전압을 가변하여 실험을 행하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 분진의 물성 특성

미분탄식 연소와 유동상식 연소를 거쳐 포집된 두 가지 분진의 물성특성을 비교하기 위해 비산 분진의 화학적 조성, 입도분포, 분진의 형상 및 전기비저항 특성 등을 분석하였다. 표 1은 습식원소 분석법으로 분석한 분진의 화학적 조성을 나타내고 있다. 비산 분진의 화학적 조성을 살펴보면 비교적 전기비저항이 높은 SiO<sub>2</sub>가 유동상식 연소 보일러 분진의 경우 63.08%, 미분탄식 연소 보일러의 경우 45.21% 함유되어 있어 분진의 전기비저항이 높음을 알 수 있으며, 그 외의 주성분으로는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 연소되지 않은 탄소 등으로 구성되어 있다[1,10].

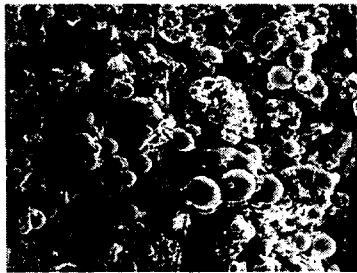
표 1. 분진의 화학적 조성(wt %)

Table 1. Chemical composition of each fly ash.

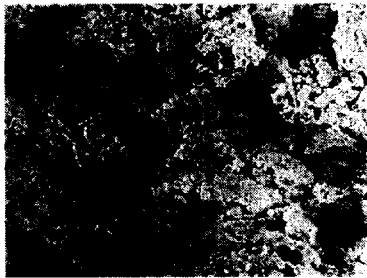
Species	Rate, Wt. %	유동상식 연소	미분탄식 연소
SiO <sub>2</sub>		63.08	45.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4.90	19.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		10.14	13.63
CaO		2.64	3.83
MgO		1.41	0.76
K <sub>2</sub> O		0.63	0.84
Na <sub>2</sub> O		0.79	0.67
TiO <sub>2</sub>		3.03	10.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.33	0.36
H <sub>2</sub> O, 115 °C		0.05	0.06
Unburned Carbon		13.01	4.74

그림 2는 각각의 연소 방법에 따른 발생 분진의 SEM으로 관찰한 형상을 나타내고 있다. 각각의 그림에서 배율은 300

배이며, 그림 2(a)는 미분탄식 연소 보일러에서 포집한 분진이고, 그림 2(b)는 유동상식 연소 보일러에서 포집한 분진의 형상이다. 미분탄식 연소 방법에 의해서 발생한 분진의 경우 그 형상이 거의 구형이며 다양한 입도 분포를 나타냈으며, 유동상식 연소 방법에 의해 발생한 분진은 각이 지고 불규칙적인 형상을 갖고 있었다. 이러한 분진의 형상은 전기집진기의 집진효율에 큰 영향을 미치는 것으로 실험결과 나타났으며, 전기집진기를 운용하는 경우에 분진의 형상을 고려해야 한다.



(a) 미분탄식 연소 보일러의 분진(x300)



(b) 유동상식 연소 보일러의 분진(x300)

그림 2. 분진의 S.E.M. 사진 형상

Fig. 2. S.E.M. Photograph of each dust.

입도분석기로 측정된 각 분진의 입도분포를 그림 3에 나타내었다. 미분탄식 연소 방법과 유동상식 연소 방법에서 발생한 분진의 질량평균입경 (MMD, Mass Mean Diameter)은 각각  $34.2[\mu\text{m}]$ ,  $27.8[\mu\text{m}]$ 로 그림의 결과에서 알 수 있듯이 미분탄식 연소 보일러에서 발생한 분진이 유동상식 연소 보일러에서 발생한 분진보다 입자의 직경이 크게 나타났다.

그림 4는 분진의 수분함량이 0[%]와 10[%]인 경우 분진의 온도변화에 따른 분진의 비저항 특성을 나타낸 것이다. 분진의 비저항특성은 수분의 함량이 0[%]인 경우보다 10[%]인 경우 비저항 특성이 낮게 나타났으며, 온도가 약  $150\sim 200[\text{C}]$  부근에서 최대값을 보였다. 연소방식에 따른 분진의 비저항 특성은 미분탄식 연소에 의해 발생한 분진의 전기비저항이 유동상식 연소에 의해 발생한 분진의 전기비저항보다 낮게 나타났다. 이는 표 1의 화학적 조성에서 알 수 있듯이

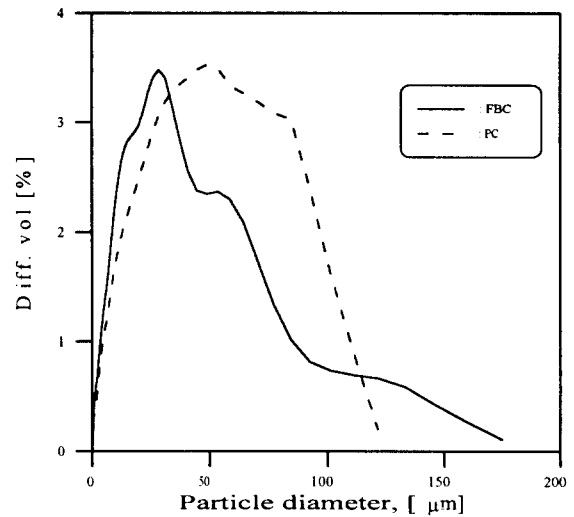


그림 3. 분진의 입도 분포

Fig. 3. Particle size distribution of dust.

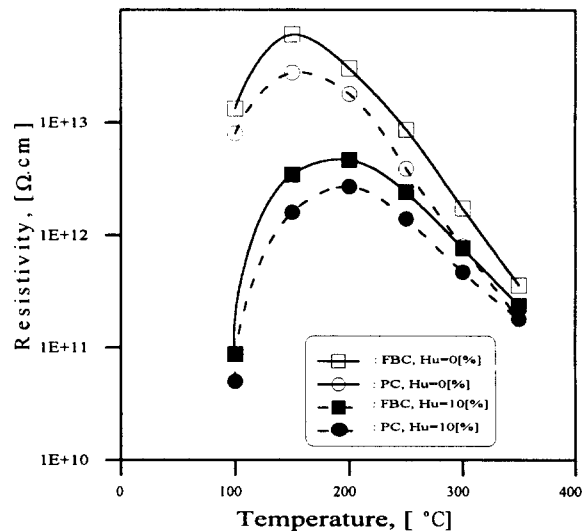


그림 4. 온도에 따른 분진의 비저항 특성

Fig. 4. Specific resistivity of dust at different temperatures.

$\text{SiO}_2$ 와 같은 고저항 성분이 유동상식 연소 분진에 더 많이 포함되어 있기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구에 사용된 분진은 비저항이 모두  $10 \times 10^{11}[\Omega \cdot \text{cm}]$  이상의 비저항 특성을 나타내고 있다. 이러한 높은 비저항 분진은 역전리현상(back corona)을 유발시킬 수 있기 때문에 수증기나  $\text{SO}_3$  등을 처리 가스 중에 투입하여 분진 입자의 전기 비저항을 낮추면 전기집진기의 집진효율을 개선할 수 있다[1,2,5].

### 3.2 방전특성 및 집진특성

그림 5는 가스의 온도가 100℃이고 분진함량이 10[g/Nm<sup>3</sup>]일 때 미분탄 연소 보일러 분진의 수분함량에 따른 인가전압-방전전류특성을 나타내고 있다. 방전특성은 수분함량이 0[%]인 경우, 인가전압이 약 27[KV]가 되면 방전전류가 급격히 증가하는 특성을 보이고 있으며, 수분의 함량이 증가할수록 안정된 방전특성을 보이고 있다. 이러한 현상은 그림 4에서 알 수 있듯이 수분의 함량이 증가하면 분진의 전기비저항이 감소할뿐만 아니라 분진층의 점성계수도 증가하여 포집된 분진이 집진판에 잘 부착되어 분진층을 형성하게 되며, 분진층에 의한 전압감소를 유발하게 된다. 따라서 동일한 전압하에서 수분의 함량이 증가할수록 유도전압의 감소로 인해 방전전류가 낮아지는 특성을 나타낸다[4,8,9].

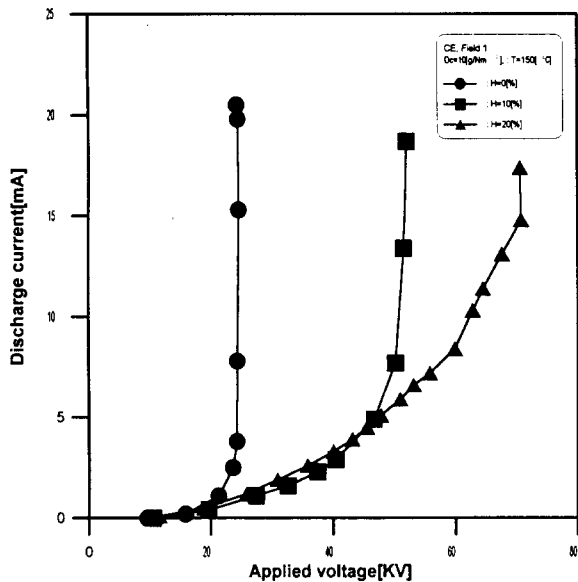


그림 5. 수분함량에 따른 인가전압-방전전류 특성  
Fig. 5. Applied voltage-Discharge current characteristics of different Moisture contents.

그림 6은 가스의 수분함량이 0[%]이고 분진함량이 0[g/Nm<sup>3</sup>]일 때 각각의 온도하에서의 인가전압에 따른 방전전류특성을 나타내고 있다. 그림에서 분진의 온도가 증가하면 방전전류는 증가하는 특성을 보이고 있는데 이는 분진의 온도에 따른 비저항의 변화에 기인한 것으로 사료된다. 즉, 분진의 온도가 50℃일 때 방전전류는 최대값을 가지며, 온도가 100[℃], 150[℃]로 변하면 방전전류가 급격히 증가하는 특성을 나타내고 있다. 일반적으로 가스의 온도는 분진의 전기비저항에 큰 영향을 미치게 되어 온도가 변함에 따라서 가스의 물성이 변하게 된다. 가스의 온도가 높을수록 이온의 이동도가 증가하여 방전전류가 증가하고 스파크 개시전압이 낮아진다[9].

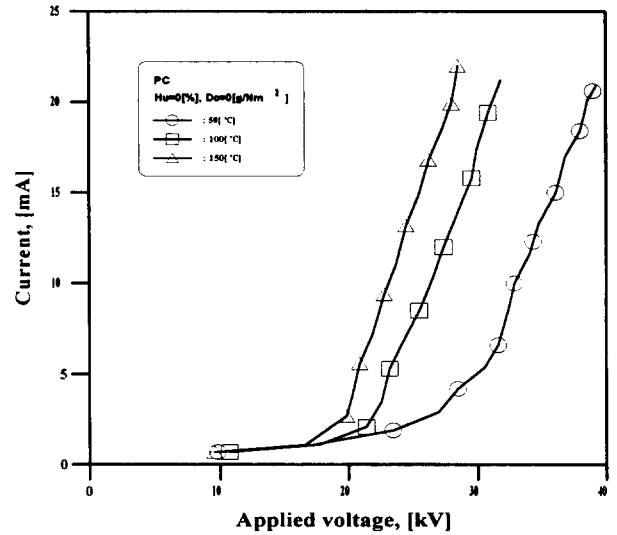


그림 6. 온도에 따른 인가전압-방전전류 특성  
Fig. 6. Applied voltage-Discharge current characteristics of different temperature.

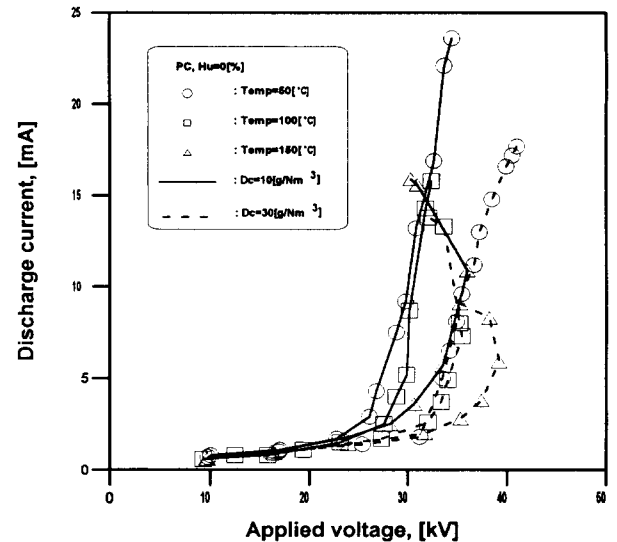


그림 7. 온도와 분진함량에 따른 인가전압-방전전류 특성  
Fig. 7. Applied voltage-Discharge current characteristics of different temperature and different dust contents.

그림 7은 분진의 수분함량을 0[%]로 한 후 분진함량을 각각 10[g/Nm<sup>3</sup>]와 30[g/Nm<sup>3</sup>]로 고정하고 가스의 온도를 50[℃], 100[℃] 및 150[℃]로 변화시켰을 때, 각각의 조건하에서의 인가전압에 따른 방전전류 특성을 나타내고 있다. 그림 6과 비교해 보면 분진함량이 0[g/Nm<sup>3</sup>]일 때는 가스의 온도가 높을수록 방전전류가 증가하는 반면 그림 7의 경우처럼 분진함량이 10[g/Nm<sup>3</sup>]와 30[g/Nm<sup>3</sup>]인 경우 방전전류는 가스의 온도보다는 분진의 비저항에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 분진함량이 10[g/Nm<sup>3</sup>]인 경우 비교적 안정된 방전특성을

보이고 있으나 온도가 150[°C]인 경우 인가전압이 약 34[KV]가 되면 역전리(Back corona)현상이 발생하였다. 이러한 특성은 온도가 증가하면 분진의 전기비저항이 높아지고, 이러한 고저항 분진이 집진판에 부착되어 분진층과 집진판사이에서 역전리가 발생하는 것으로 사료된다. 이러한 역전리 현상은 분진함량이 30[g/Nm<sup>3</sup>]인 경우에서도 찾아 볼 수 있으며 분진의 온도가 100[°C]인 경우, 인가전압이 34[KV]일때 역전리가 발생하였으며 온도가 150[°C]인 경우, 39[KV]에서 역전리 현상이 각각 발생되었다. 이러한 현상은 분진층에 의한 유효전계의 감소로 인해 실제 방전전류가 적게 흐르는 현상에 기인하는 것으로 사료된다[6].

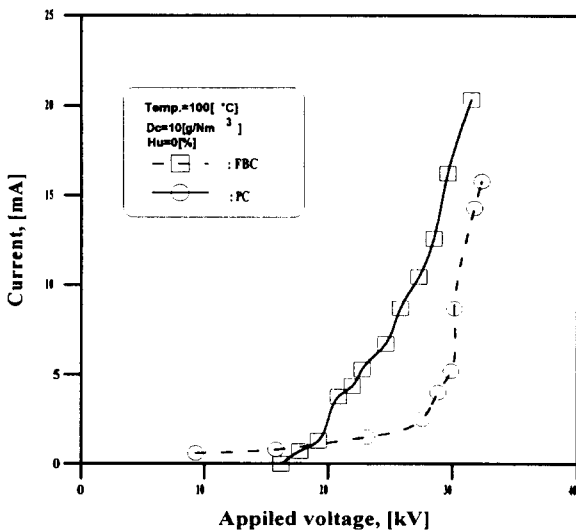


그림 8. 분진의 종류에 따른 인가전압-방전전류 비교 특성  
Fig. 8. Voltage-discharge current characteristics of two kinds of dust.

그림 8은 가스온도 100[°C], 수분의 함량이 0[%], 분진함량이 10[g/Nm<sup>3</sup>]일 때 두 종류의 분진에 대한 방전특성을 보이고 있다. 미분탄식 연소방식에서 발생된 분진의 경우 인가전압이 증가함에 따라 전류값이 서서히 증가하다가 인가전압이 약 30[kV]가 되면 방전전류가 급격히 증가하였다. 유동상식 연소방법에서 발생한 분진은 인가전압이 증가함에 따라 전류가 선형적으로 증가하는 특성을 나타내고 있다. 이러한 차이는 두 분진의 전기비저항의 차이에 따른 현상인 것으로 보여진다.

가스의 온도가 100[°C], 수분의 함량 0[%], 가스의 유동속도 0.5[m/s]인 경우 전기집진기에 유입되는 가스의 분진 함량에 따른 집진효율특성을 그림 9에 나타내었다. 집진효율은 분진함량이 30[g/Nm<sup>3</sup>]일 때 약 98%의 최대집진효율특성을

나타냈으며 분진함량이 30[g/Nm<sup>3</sup>]보다 작은 경우 집진효율이 낮아지며, 분진함량이 30[g/Nm<sup>3</sup>]보다 많은 경우에도 집진효율이 낮아지는 특성을 보이고 있다. 이러한 결과에서 전기집진기의 최대효율은 분진함량에도 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

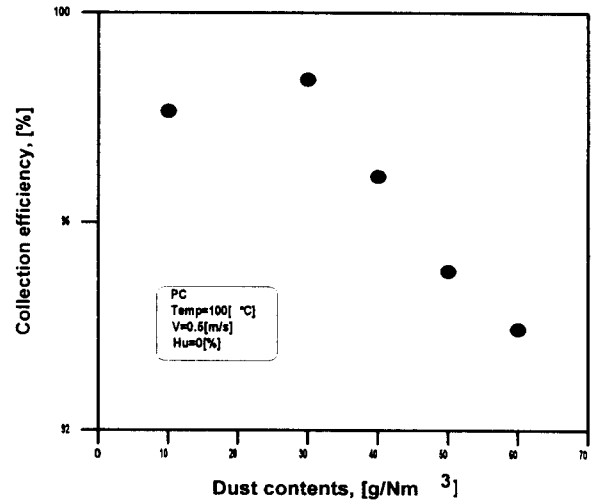


그림 9. 분진함량에 따른 집진효율 특성  
Fig. 9. Collection efficiency characteristics at different dust contents.

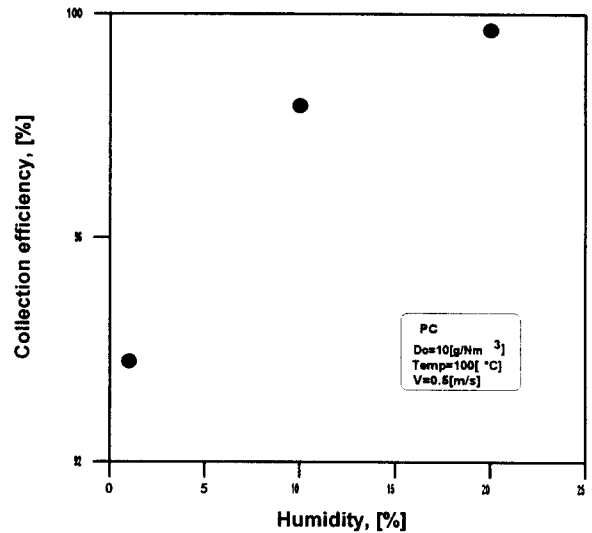


그림 10. 수분함량에 따른 집진효율 특성  
Fig. 10. Collection efficiency characteristics at different moisture contents.

그림 10은 분진함량이 10[g/Nm<sup>3</sup>], 가스의 온도가 100[°C]이고 가스의 유동속도가 0.5[m/s]일 때 분진의 수분함량에 따른 집진효율특성을 나타내고 있다. 수분함량이 증가하면 집

집진효율은 급격히 증가하다가 포화되는 특성을 보이고 있다. 이러한 특성은 분진의 수분함량이 증가하면 분진의 전기비저항이 감소하고 또한 분진의 점성이 증가하여 집진효율이 증가되는 것으로 사료된다. 그림 4와 그림 10의 결과를 통해 분진의 가스조질(Gas conditioning)을 통해 집진효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다[5].

그림 11은 분진함량을 10[g/Nm<sup>3</sup>], 수분함량을 0[%], 가스의 온도를 50[°C]와 150[°C]로 하고 인가전압의 형태를 직류정현파(Full wave) 하전방식과 간헐하전(Intermittant pulse wave) 방식으로 하였을 때 가스의 유동속도에 따른 각각의 조건하에서의 집진효율 변화특성을 나타내고 있다. 그림에서 집진효율은 가스의 유동속도가 증가하면 감소하는 특성을 나타내고 있는데, 이러한 특성은 가스의 유동 속도가 증가하면 분진입자가 집진기내부에 체류하는 시간이 줄어들어서 입자가 충분히 하전되지 못하고, 또한 유속이 증가하면 포집분진이 재비산되기가 쉽기 때문인 것으로 사료된다. 분진의 온도가 높은 경우에 집진효율은 낮아지는데 그 이유는 온도변화에 따라 비저항특성이 변화하기 때문인 것으로 사료되며, 하전방식에 따른 집진효율의 변화특성은 직류정현파 하전방식보다 간헐하전방식일 때가 집진효율이 양호한 것으로 나타났다.

그림 12는 가스중의 분진함량을 10[g/Nm<sup>3</sup>]으로 일정하게 한 후 100[°C]와 150[°C]의 가스온도에서 가스의 유동속도 변화에 따른 집진효율특성을 나타내고 있다. 집진효율은 분진의 온도가 낮은 경우 집진효율특성이 양호하며, 유동상식 연소 보일러용 분진이 미분탄 연소 보일러용 분진보다 집진효율특성이 더 좋은 것으로 나타났다. 이러한 특성은 단순히 입자의 크기만을 고려하면, 미분탄식 연소 방법에 의해 발생한 분진의 집진효율보다 높아야 하지만 분진의 비저항 및 분진의 재비산 등으로 인해 유동상식 연소분진의 집진효율이 양호한 것으로 사료된다. 일반적으로 분진의 재비산량은 입자의 형상과 관계가 있다. 분진의 형상 사진에서(그림 2) 보듯이 미분탄식 연소 방법에 의해 발생한 분진들은 주로 구형으로 입자 상호간의 힘에 의해 분진층을 이루고 있으나 결합력이 약해서 입자들간의 충돌이나 유동 가스에 의해 쉽게 떨어져 나가거나 재비산된다. 그러나 유동상식 연소 방법에 의해 발생한 분진들은 입자 상호간의 힘과 불규칙적인 형상으로 인해서 미분탄식 연소 방법에 의해 발생한 분진들보다 더 강한 결속력으로 분진층을 이루고 있다. 따라서 집진기 내부에 부착된 분진을 집진기벽으로부터 제거하기 위해서는 미분탄식 연소 방법에 의해 발생한 분진들보다 더 큰 힘이 요구되며, 재비산된 유동상식 연소입자들도 덩어리를 잘 형성하기 때문에 재집진이 잘 이루어진다. 이러한 이유로 입자 크기가 작

은 유동상식 연소 방법에 의해 발생한 분진의 집진효율이 입자가 큰 미분탄식 연소 방법에 의해 발생한 분진의 집진효율보다 높다.

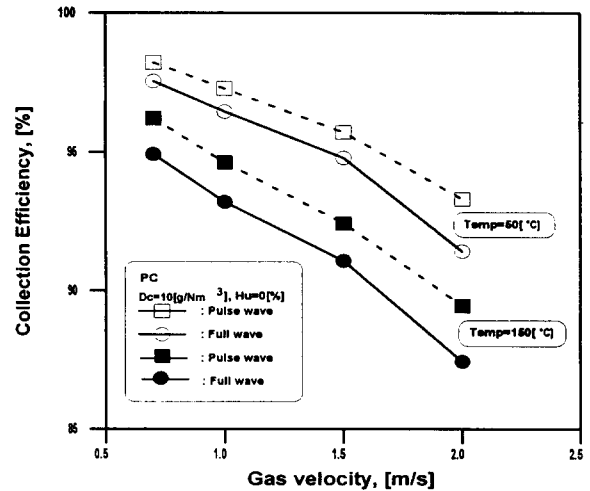


그림 11. 가스의 유동속도에 따른 다른 집진효율 특성  
Fig. 11. Collection efficiency characteristics at different gas velocity.

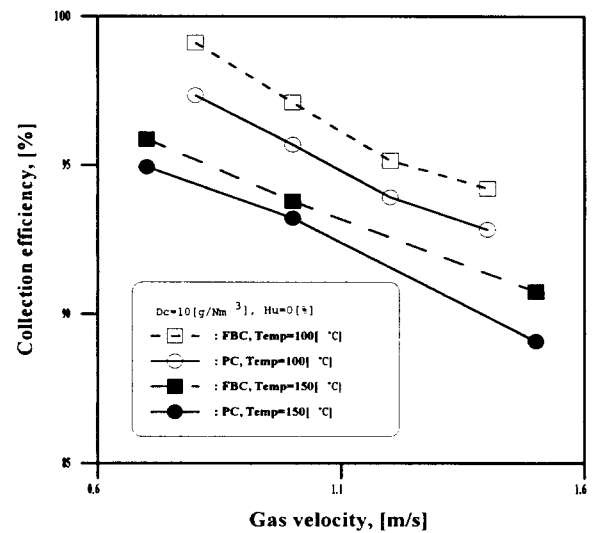


그림 12. 분진의 종류에 따른 집진효율 비교 특성  
Fig. 12. A comparison of collection efficiency characteristics at different dusts

집진효율특성을 종합적으로 고찰하면, 집진효율은 가스의 속도가 증가할수록 낮아지며, 온도가 낮을수록 집진효율은 증가함을 알 수 있다. 또한 수분의 함량이 증가할수록 집진효율은 양호하며, 분진함량에 따른 집진효율특성은 일정한 함량까지는 집진효율특성이 높아지지만 분진함량이 일정량이상으로 증가하면 집진효율은 감소하는 특성을 나타내고 있음을

알 수 있다. 또한 하전방식을 비교해보면 두 종류의 분진 모드에서 간헐하전방식이 양호한 집진특성을 보였다.

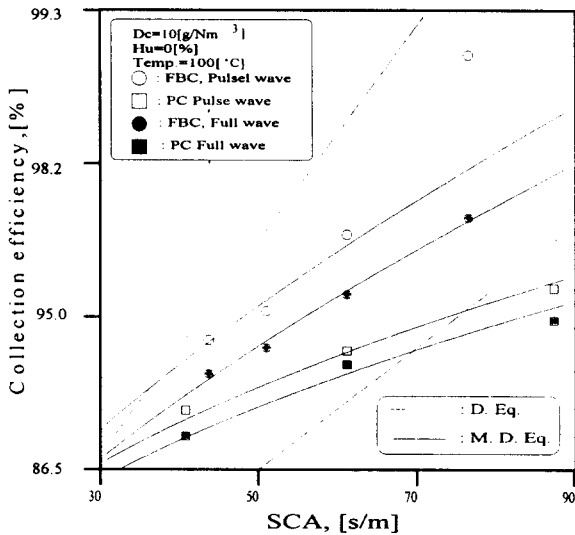


그림 13. 비집진 면적의 변화에 따른 집진효율 특성  
 Fig. 13. Collection efficiency characteristics at different specific collecting area.

그림 13는 집진효율에 미치는 비집진면적 (Specific Collecting Area) 의 영향을 이론식과 비교하였다. 집진식에 관한 연구로 Anderson 은 1919년에 집진효율 ( $\eta$ ) 이 집진판 면적 ( $A_{CE}$ ) 과 체적 유량 (Q) 그리고 입자 이동 속도 ( $\omega$ ) 와 지수 함수적인 관계가 있음을 실험을 통하여 보였으며, Deutsch 가 1922년에 전기집진기의 집진효율을 다음과 같이 이론적으로 유도하였다[12].

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A_{CE}}{Q} \omega\right) \quad (1)$$

식 (1)은 분진 입자의 직경이 균일하고 분진농도는 일정하며 부식, 재비산, 불균일 가스 유동 분포 또는 역전리현상과 같은 교란요소는 전혀 없다는 아주 이상적인 가정을 전제로 하였기 때문에 실 플랜트 적용시 많은 오차를 가지고 있다. 이 오차를 줄이기 위해서 많은 수정식이 제시되었으며 본 연구에서는 그 중 Matt 와 Öhnfeldt 가 제시한 수정된 Deutsch 집진효율식을 이용하여 실험 결과와 비교하였다[13].

$$\eta = 1 - \exp\left(-\left(\frac{A_{CE}}{Q} \omega_k\right)^k\right) \quad (2)$$

이 식은 전기집진기의 실험 데이터와의 비교에서 가장 많이 쓰이는 것으로 집진효율에 영향을 미치는 변수들의 개별적인

영향보다는 각 변수들의 상호작용에 의한 총괄적인 영향을 고려하였다. 그림에서 보듯이 Deutsch 집진효율식은 이상적인 가정으로 인해서 실험치와 많은 오차를 가지지만 집진효율에 미치는 각 변수들의 상호작용에 의한 총괄적인 영향을 고려한 수정된 Deutsch 집진효율식은 실험치와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 때의 수정 계수 k의 값은 미분탄식 연소 방법에서 발생한 분진의 경우가 0.43 이고 유동상식 연소 방법에서 발생한 분진의 k 값은 0.6으로 나타났다.

### 5. 결 론

석탄의 연소방법에 따라 채집한 두 가지 분진의 물성특성을 분석한 후 여러 가지 방전조건에 따라 전기집진기의 방전 특성 및 전기집진특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유동상식 연소 방법에서 발생한 분진은 각이 지고 불규칙한 형상을 이루고 있으며 분진의 질량평균입도는 27.8[ $\mu\text{m}$ ]이다. 반면에 미분탄식 연소 과정에서 생성된 분진은 거의 구형이고 분진의 질량평균입도는 34.2[ $\mu\text{m}$ ]으로 나타났다.
2. 분진의 전기 비저항값은  $10^{11} \sim 10^{14}[\Omega \cdot \text{cm}]$  범위의 고저항 분진으로 유동상식 연소 보일러에서 발생한 분진의 비저항값이 더 크게 나타났다. 특히 분진의 전기 비저항이 클수록 역전리 현상이 발생하는 것으로 보인다.
3. 동일한 운전조건에서 집진효율을 비교·분석한 결과 유동상식 연소과정에서 배출된 분진의 전기집진효율이 미분탄식 연소 과정에서 나온 분진보다 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 분진입자의 형상에 영향을 받고 있으며 유동상식 연소과정에서 배출된 분진의 재비산이 낮기 때문인 것으로 판단된다.
5. Deutsch 집진효율식보다는 수정된 Deutsch 집진효율식이 실험 결과와 잘 일치하였으며, 이 때의 수정 계수, k는 유동상식 연소 과정의 분진은 0.6 이고 미분탄 연소 과정의 분진은 0.43이다.

### 참 고 문 헌

[1] 김봉한, 문차석, 강동구, "유동층보일러 석탄 분진의 전기 집진특성에 관한 연구", 대한환경학회지, Vol. 17, No. 7, pp. 691~699, 1995  
 [2] 이태식, 문차석, 남창우, 이규철, "시멘트 분진의 전기집진 특성에 관한 연구", Trans. KIEE. Vol. 47. No. 6. Jun. 1998  
 [3] 松本俊次, "電氣集塵裝置", 中央技能開發研究社, 1997

- [4] 이봉훈, "流動床式 쓰레기 燒却爐 設計의 實務" 圖書出版 東和技術, 1992
- [5] Shigeyuki Noso, "Electrostatic Precipitation of Fly Ash", Sumitomo Heavy Ind., Ltd, 1978
- [6] W. Egli and U. Kogelschatz, "Space charge formation around a high voltage corona electrode in electrostatic precipitators" *Hilv. Phys. Acta*, Vol. 68, pp. 203~204, 1995
- [7] C. A. J. Paulson and J. S. Vale, "Electrostatic precipitation fo both fluidized-bed and pulverized-coal flyash from the same coal", *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Eletrostatic Precipitation*, 1984
- [8] S. K. Loyalka, P. Tekasakul, R. V. Tompson and R. C. Warder, Jr, "Computation of electric fields and particle motion in electrodynamic balances", *J. Aerosol Sci.*, Vol. 26, No. 3, pp. 445~458, 1995
- [9] Gene Looperman, "A new current-voltage relation for dust precipitators valid for low and high current densities", *IEEE Tran. on Industry Appl.*, IA 17(2), 1981
- [10] A. N. Lamb, "Variations in the Performance of electrostatic precipitators collecting fly ash from large boilers", *Proceedings of International Clean Air Conference*, pp. 176~198, 1975
- [11] Rugg, D. M. Durham, G. Rinaid, L. E. Sparks, "Electrostatic Precipitator Performance with Pulse Excitation", 3rd Symposium on the Transfer and Utilization of Particulate Control Technology, 1981
- [12] Deutsch, W., "Bewegung un ladung der elektrizita stranger im zylinderkondensator", *Annln. Phys.* 68, 33 5~344, 1922
- [13] S. A. Matt and P. O. Ohnfeldt, "Efficient gaes cleanning with SF electrostatic precipitators", AB Svencka Flaktfabriken, Stockholm, Sweden, 1963
- [14] Japanese Industrial Standards, "Measuring methods for dust resistivity(with parallel electrodes)", JIS B 9915.

지 자 소 개



**이 태 식(李泰植)**

1965년 12월 15일생. 1992년 울산대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 박사과정 수료. 1994년~1998년 현재 현대중공업(주) 근무

Tel : 052-230-3986



**문 차 식(文次錫)**

1962년 6월 2일생. 1959년 부산대 공대 기계공학과 졸업. 1989년 현대중공업(주) 입사. 1968년 현재 현대중공업(주) 산업기술연구소 선임연구원

Tel : 052-230-3986



**김 경 식(金炅錫)**

1969년 10월 9일생. 1994년 울산대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 박사과정 수료

Tel : 052-259-1625

E-mail : t9600302@munsu.ulsan.ac.kr



**남 창 우(南昌祐)**

1958년 2월 19일생. 1984년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 Univ. of Florida 전기공학과 졸업(석사). 1994년 Penn. State Univ. 전기공학과 졸업(공학). 현재 울산대 공대 전기공학과 조교수

Tel : 052-259-1625

E-mail : cwnam@uou.ulsan.ac.kr



**이 규 철(李圭喆)**

1947년 11월 21일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1983년~1984년 Virginia State Univ. 객원연구원. 1994년~1995년 Pennsylvania State Univ. 교환교수. 1996년~1998년 울산대 지역공동 연구소장. 현재 울산대 산경대학 학장. 현재 울산대 공대 전기공학과 정교수, 현재 대학전기학회 울산지부 부회장

Tel : 052-259-1625

E-mail : chlee@uou.ulsan.ac.kr