

## Power and Collection Characteristics of Superimposed Pulse Electrostatic Precipitator

徐敬源\* · 李昶信\*\* · 李政錫\*\* · 蔡載宇\*\*\*  
(Kyung-Won Seo · Chang-Shin Lee · Jung-Suck Lee · Jae-Ou Chae)

**Abstract** - In this study, the characteristics of various electricity and high resistivity ash collection were measured at superimposed nanosecond pulse energization. The pulse was generated through the hydrogen thyatron. Superimposed pulse was nanosecond duration pulse that had fast pulse rising time 100[ns], short pulse width 500~850[ns] and pulse fall time 400~750[ns]. The results of this study are summarized as followings; First, compared with the DC ESP(electrostatic precipitator), superimposed pulse ESP could induce higher peak voltage, and had the about 30[%] reduction of ESP collection area and 50~80[%] reduction of power consumption, showing the same efficiency. Second, enhancement factor H had 1.9~3.6 with the increase of migration velocity.

**Key Words** : 전기집진기, 코로나 방전, 중첩펄스인가, 집진효율, 고저항분진

### 1. 서 론

산업용 보일러의 저유황탄 사용증가는 고저항분진 배출로 인한 낮은 집진효율을 향상시킬 수 있는 전기집진기의 필요성을 증대시켜 왔다. 이에 현재까지 개발된 집진판에서의 역전리 억제기술은 더욱 강화되는 미래의 환경규제에 대응하기에는 한계에 도달하였기 때문에 새로운 개념의 펄스하전방식을 모색하기에 이르렀다.

전기집진기 펄스인가의 기원은 1931년 R. Heinrich등이 전기집진기에 강력한 전기적 임펄스(impulse)를 도입할 수 있다는 특허를 제출하고부터 이다[1] 최초 전기집진기에 펄스를 인가한 것은 1941~1945년 M.I.T. Radiation 실험실에서 개발된 micron-second 레이다 펄스발생 기술을 개량하여 전기집진기에 적용하면서부터 이다[2][3].

중첩펄스 전기집진기에 사용되는 펄스는 1~300 [ $\mu$ s] 펄스폭과 30~300 [Hz] 주파수를 가진 펄스의 사용을 일컫으며, 펄스인가의 사용은 역전리 억제 및 집진기 크기를 축소시킬 수 있는 기술적·경제적 해결방안을 보여주고 있다.

본 전원장치에서 구현된 nanosecond 펄스는 현재 일부 상용화된 microsecond 펄스보다 높은 첨두전압을 인가할 수 있을 뿐만 아니라, 배기가스중의 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs, 다이옥신 등의 공해가스를 플라즈마 상태로 만들어 제거할 수 있는 특징을 가지고 있다. 집진기 본체는 실제 발전소에서 사

용되고 있는 전기집진기를 참고로 가스온도, 비집진면적, 집진기내에서의 처리가스 속도, 방전극과 집진극의 거리 및 형상비가 동일하도록 설계 제작하였다. 사용된 고저항분진도 직접 발전소에서 구하였으며, 함진가스농도 측정장치 및 분진저항 측정장치도 실제 산업용으로 사용되고 있는 것을 이용하였다.

본 연구에서는 펄스하전 방식의 전기집진기개발에 관련한 기본적인 사항부터 시작하여, hydrogen thyatron을 이용한 nanosecond 펄스의 구현, 직류하전과 펄스하전의 성능비교 및 다양한 펄스인자를 도출하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

그림 1에서 보는바와 같이 습도조절용 증기발생기, 온도조절용 가열기, 분진공급기, 분진비저항 측정용 사이클론 전기저항측정장치, 직류 및 펄스를 발생하는 고전압 전원장치, 고저항 분진 및 미세분진을 집진할 수 있는 집진기본체, 집진기를 거친 후 가스중의 분진 함진량을 측정하는 함진량 측정장치, 반응기에 부압이 걸리도록 반응기 입구에는 압인송풍기, 출구측에는 유인 송풍기를 설치하였다.

표 1에서 보는바와 같이 집진기는 wire-plate 형식으로 방전극 직경이  $\phi$ 1 [mm], 높이가 120 [mm], wire-wire 간격이 43 [mm]으로 총 7 줄(길이: 840 [mm])로 설치하였으며, 방전시 흔들림을 방지하도록 테프론 봉( $\phi$ 40 [mm])을 매달았다.

\* 準 會 員 : 仁 荷 大 機 械 學 科 · 工 博

\*\* 準 會 員 : 仁 荷 大 機 械 學 科 碩 士

\*\*\* 正 會 員 : 仁 荷 大 機 械 學 科 教 授 · 工 博

接受日字 : 1999年 7月 6日

最終完了 : 2000年 2月 23日

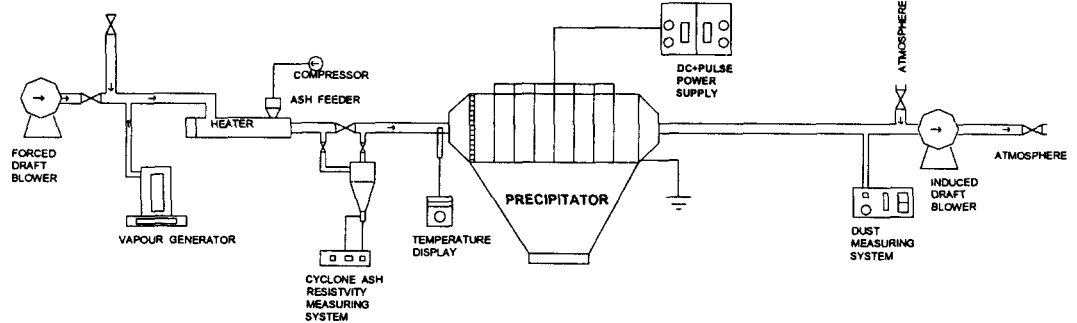


그림 1 실험장치의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

표 1 전기집진기의 사양

Table 1 Specification of Electrostatic Precipitator

ESP	
Size	60×300×120 [mm] (W×L×H), STS 316, 2t
Plate height	120 [mm]
Plate spacing	60 [mm]
Wire-plate distance	30 [mm]
Plate length	300 [mm]
Wire diameter	1 [mm]
Distance between wires	43 [mm]
Number of wire	7 EA
Number of fields	1
Nominal gas flow rate	0~0.65 [m <sup>3</sup> /min] (0~38.88 [m <sup>3</sup> /h])
Nominal gas velocity	0~1.5 [m/s]
SCA (Specific collection area)	0.25 [m <sup>2</sup> /(m <sup>3</sup> /min)]
L/H(Aspect ratio)	2.5
dust concentration	0~1500 [mg/Sm <sup>3</sup> ]
Gas temperature	0~270 [°C]
Capacitance	30.0 [pF]

또한 집진면적(SCA)은 0.25 [m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>/min)], 향상비(A.R)는 2.5로 산업용 전기집진기와 같은 배율이다. 집진극이 깨끗한 상태에서 방전극과 집진극 사이 전기용량은 30.0 [pF]이었다.

방전극의 재질은 부식에 강한 스테인레스강(STS 304, φ1 [mm])을 사용하였다. 집진극은 방전된 전자에 의해 하전된 분진을 집진하는 판으로 스테인레스강(STS 304, 2 [mm])을 사용하였다.

반응기 입구측에는 가스흐름을 균일하게 해주는 다공판을 설치하였고, 집진된 분진을 떨어뜨리기 위해 고무망치를 사용하였으며, 반응기 하부 호퍼(hopper)는 60° 경사지게 하여 분진이 쉽게 흘러내리도록 설계하였다. 가스 및 장치의 온도강하를 막기 위해 전체를 ceramic wool로 보온하였다.

그림 2는 전원장치의 회로도를 나타낸 것이다. 펄스 전원 공급을 위해 슬라이더스(가변변압기) SD1을 가변해 고전압 변압기(HVTR1)의 입력전압을 0~220 [V]로 가변함으로써 HVTR1로부터 0~25 [kV]까지의 출력전압을 얻었으며, 이를 브리지(bridge)정류회로를 통해 정류한 다음 유도기 LPS를 통해 Resonance charging에 의해 pulse generator의 콘덴서(Cc)에 축전한 후(내압: 0~50 [kV]), hydrogen thyratron을 통해 방전시킴으로써 고전압 고전류 펄스가 만들어지며 이 펄스를 1:3 pulse transformer를 통해 3배로 승압(0~45 [kV])하여 DC전압에 중첩하여 반응기에 인가하였다. 이때 펄스 주파수 조정은 Hydrogen thyratron내 그리드(grid)에 인가해주는 발진펄스 제어를 통해 가변하였다. 본 실험장치의 주파수 영역은 0~950 [Hz]이었다. 또한 직류(DC) bias 전압공급을 위해 슬라이더스 SD2을 가변해 고전압 변압기(HVTR2)의 입력전압을 0~220 [V]로 가변함으로써 HVTR2로부터 0~17.5 [kV]까지의 출력전압을 얻었으며, 이를 브리지(bridge)정류회로를 통해 정류한 다음 유도기 LDC를 통해 반응기에 직류전원을 공급하였다. 이때의 전압

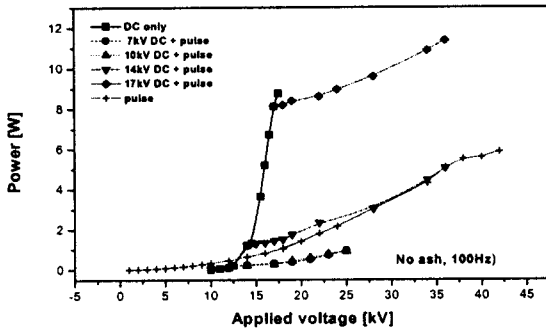


그림 6 직류 및 중첩펄스 인가시 전력-전압 특성  
 Fig. 6 Power-voltage characteristics with DC and superimposed pulse energization

그림 7은 분진 공급없이 7, 10, 14, 17 [kV] 직류 bias 전압에 각각 총 펄스전압이 22 [kV] 되도록 인가한 상태에서 주파수를 30~950 [Hz]까지 변화시켜 전력을 측정하였다. 총 전압이 22 [kV]가 되도록 한 것은 이 전압에서 최대의 집진율을 보였기 때문이며, 실험장치의 최대 주파수값인 950 [Hz]에서는 완전한 불꽃방전으로 이어졌다. 중첩펄스전압형태에서는 주파수 증가에 따라 선형적으로 비슷한 상승률을 보이면서 전력이 증가하였지만, 펄스전압만의 전력상승률은 중첩펄스 전압보다 높아 250 [Hz]이상에서는 14 [kV] 직류 bias 전압보다 높은 전력을 보였다. 하지만, 최적의 주파수 범위인 50~100 [Hz] 영역의 전류차는 그리 크지 않음을 알 수 있다.

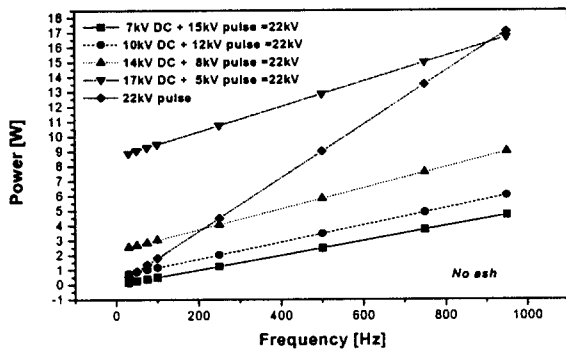


그림 7 인가형태에 따른 전력-전압 특성  
 Fig. 7 Power-voltage characteristics with different energization

본 실험을 통해 직류 bias 전압 및 총인가 전압, 주파수 등이 중첩펄스 전기집진기의 전력량에 큰 영향을 미치는 변수들을 확인할 수 있었다.

### 2.3 인가전압 변화에 따른 특성

#### 2.3.1 인가전압별 집진효율

인가전압을 증가시키는 것은 방전극과 집진극사이의 전기

강도를 증가시키는 결과를 가져오고 방전극주위의 이온화 증대 및 하전입자의 이동속도증가를 가져오는 중요한 변수이다. 하지만 인가전압도 완전한 불꽃방전으로 이어지기 전까지 인가할 수 있는 한계를 가지고 있다. 본 실험에서는 최적의 직류 bias 전압과 중첩펄스 전압을 찾고 인가형태별 집진효율을 비교하기 위해서 집진기에 직류전압만 인가하거나 직류 bias 전압 7, 10, 14, 17 [kV] 위에 각각 펄스전압을 중대시키면서 전압별 집진효율을 비교하였다. 전기집진기 집진효율(collection efficiency)은 수정 Deutsch-Anderson 또는 Matts-Ohnfeldt 공식으로 표현되어진다. 수정 Deutsch-Anderson 집진효율공식[4]은,

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \exp\left(-\frac{Lh}{vbh} w_e\right) \\ &= 1 - \exp\left(-\frac{A}{Q} w_e\right) \\ &= 1 - \exp(-SCA \cdot w_e) \\ &= 1 - \frac{C_i - C_o}{C_i} \end{aligned} \quad (1)$$

이고, 상수 k를 이용하여 보완한 Matts-Ohnfeldt 집진효율공식[5]은,

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \exp\left[-\left(\frac{A}{Q} w_k\right)^m\right] \\ &= 1 - \exp\left[-(SCA \cdot w_k)^m\right] \\ &= 1 - \frac{C_i - C_o}{C_i} \end{aligned} \quad (2)$$

이다. 여기서 L은 가스방향의 집진기길이, h는 집진기 높이, v는 가스유속, b는 방전극과 집진극간의 거리, A는 전기 집진기 집진면적, Q는 유량,  $w_e$ 는 유효이동속도(effective migration velocity) 또는 Deutsch 입자이동속도, SCA는 비 집진면적,  $w_k$ 는 수정이동속도(modified migration velocity) 또는 Matts 입자이동속도, m은 상수,  $C_i$ 는 입구 분진농도 [ $mg/m^3$ ],  $C_o$ 는 출구먼지농도 [ $mg/m^3$ ]이다.  $w_k$ 는 가스입도분포 및 분진특성을 감안한 것으로, 상수 m은 보통 0.4~0.8이 사용되나, 이 공식을 사용하는 대부분의 경우 m값을 0.5로 하면 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다는 보고가 있다[6].

그림 8은 가스온도125 [°C], 가스속도 0.6~0.85 [m/s], 집진기 입구 분진농도 987.6 [ $mg/Sm^3$ ]에서 직류전압만 인가한 경우와 직류 bias 전압 7, 10, 14, 17 [kV]에 각각 펄스전압을 증가시키면서 측정된 집진효율을 나타낸 것이다.

직류전압만 인가한 경우 집진효율이 직류전압 증가에 따라 큰 영향을 받고 있다. 7 [kV]에서 집진효율은 10 [%] 이하의 낮은 값을 보이다가, 코로나 발생전압 10.5~12.5 [kV] 부근에서 60 [%]이상의 집진효율을 보였다. 분진이 고저항 인데도 집진효율이 높게 나온 것은 집진층 두께를 mm단위 이하로 유지하였기 때문이며, 실험실 장치와 달리 변수가 많은 산업체의 전기집진기에서는 집진효율이 이보다 더 낮게 나올 것으로 예상된다. 또한, 직류전압 17.5 [kV]에서 가끔

역전리가 나타났는데, 최대 인가할 수 있는 직류전압이 17.5 [kV]이다 보니 완전불꽃방전으로 이어지는 직류전압은 확인되지 못한 것이 아쉽다. 하지만, 17.5 [kV]에서 나타나는 방전현상으로 판단컨데 그리 높지 않은 18~20 [kV] 사이가 될 것으로 예상된다.

직류 bias전압 7, 10, 14, 17 [kV]위에 각각 펄스전압을 증가시켰을 경우, 코로나 발생전압 이하의 7, 10 [kV] 직류 bias전압에서는 낮은 집진효율에서 시작되었지만, 직류전압이 높아질수록 집진효율차는 감소하였고, 총 인가전압을 높일수록 집진효율은 계속 증가하다가 인가형태에 따라 좀 차이는 보이지만 20~25 [kV]에서 최대치를 보였다. 17 [kV] DC + pulse인가 형태인 경우 25 [kV]이상에서는 불꽃방전으로 인하여 집진효율이 급격히 감소하였고, DC bias전압이 높은 만큼 다른 인가형태보다 더 많은 영향을 받았다. 직류 bias전압이 낮을 수록 인가될 수 있는 펄스전압은 높았지만 최대 집진효율은 그 만큼 낮아졌다. 불꽃방전이 25 [kV]에서 나타나면서 28~30 [kV]에서는 완전한 불꽃방전으로 이어졌다. 최대 집진효율은 23~24 [kV]에서 각각 약 93, 98 [%]이었다.

코로나 발생전압보다 높은 14, 17 [kV] 직류 bias전압에서는 불꽃방전이 24~26 [kV]에서 나타나면서 26 [kV]이상에서는 완전한 불꽃방전으로 이어짐이 관찰되었다. 최대 집진효율은 20~22 [kV]사이에서 약 99 [%]이었다. 26 [kV] 이상에서는 집진효율이 급격히 떨어졌는데, 그 이유는 불꽃방전에 의한 과대전류가 집진층의 전계강도 증가 및 역전리를 일으켜 분진을 재비산시키기 때문이다.

이처럼, 집진효율은 직류 bias 전압에 따라 많은 영향을 받고 있다. 코로나 발생전압보다 훨씬 낮은 7 [kV]에서 집진효율이 다른 인가형태 보다 뚜렷하게 낮았고 펄스사이 하전입자가 중화될 여지를 제공하는 것으로 판단되며, 직류 bias 전압이 17 [kV]인 경우에는 집진층에서 높은 전계강도로 역전리가 일어날 소지를 제공한다고 보여진다. 최대 집진효율을 비교하면, 직류 bias 전압이 10 [kV], 14 [kV], 17 [kV] DC 순으로 높았다. 하지만 그 차이가 그리 크지 않고 전력량 절감등 경제적인 이점까지 고려해보면, 직류 bias 전압은 코로나 발생전압 전후가 적당하다고 사료된다. 그리고, 분진저항까지 고려할 경우 낮은 분진저항에서는 직류 bias 전압을 좀 높게, 높은 분진저항에서는 직류 bias 전압을 낮게 유지하는 것이 타당하다고 본다.

인가전압 증가에 따라 집진효율이 증가하는 이유는 인가전압을 올릴 경우 전류 및 코로나 증배영역 내에서의 이온화 증대에 의해 하전입자수 및 입자전하전량을 증가시키기 때문이다. 인가전압은 불꽃방전이 일어나기 전까지, 또는 허용하는 불꽃방전횟수 만큼 인가될 수 있는데, 이러한 불꽃방전전압은 직류 bias전압, 방전극과 집진극 거리, 분진성상에 따른 분진비저항 및 입구분진농도에 따라 달라진다. 본 실험을 통해 최적의 전압은 인가형태에 따라 조금씩 차이는 있지만 대략 20 [kV]~25 [kV]사이로 나타났다.

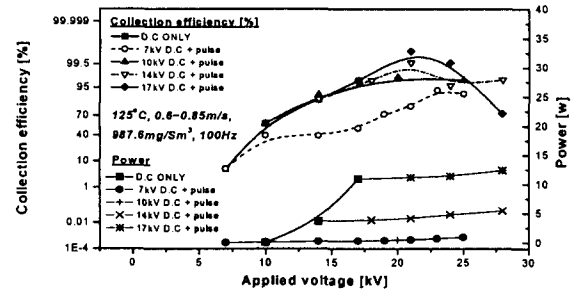


그림 8 인가형태에 따른 집진효율 및 전력-인가전압 특성  
Fig. 8 Collection efficiency and power-applied voltage characteristics for different energization

그림 9는 그림 8을 전력별 집진효율로 나타낸 것이다. 중첩펄스하전이 기존 직류하전에 의한 집진방식보다 적은 소비전력으로 높은 집진효율을 보임을 알 수 있다. 97 [%] 집진효율을 내기위해서, 10 [kV] DC + pulse에서는 직류인가 시 소비전력의 20 [%], 14 [kV] DC + pulse에서는 50 [%] 정도밖에 소요되지 않았다. 즉, 펄스인가는 직류만 인가한 경우보다 전력을 50~80 [%] 절감할 수 있었다.

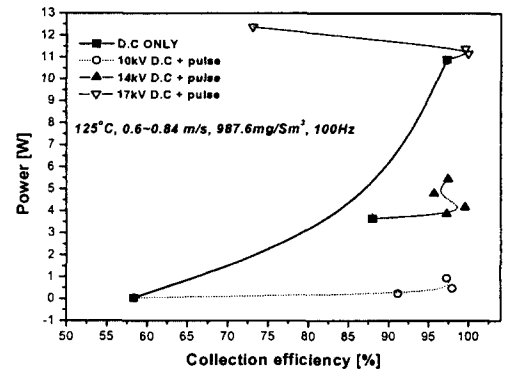


그림 9 인가형태에 따른 전력-집진효율 특성  
Fig. 9 Power-collection efficiency characteristics for different energization

그림 10는 주파수변화(30~950 [Hz])에 따른 전력별 집진효율과 그림 8에서 17 [kV] DC + pulse 인가전압변화에 따른 전력별 집진효율을 나타낸 것이다. 주파수 50 [Hz]에서 이미 집진효율이 포화상태에 이르고, 그 이상에서는 증가폭이 미미하였다. 이는 방전극에서 나온 전자가 공간상의 입자에 하전될 수 있는 확률이 상대적으로 적어지기 때문이다. 500 [Hz] 이상에서는 불꽃방전으로 인하여 집진효율이 불안전해졌다.

최대 집진효율을 보이는 주파수 영역은 전압영역 보다 넓은 것을 알 수 있다. 즉, 500 [Hz]까지의 넓은 주파수 영역을 가지고 있는 반면, 전압영역은 22 [kV](11.4 [W])에서 최고의 집진효율을 보인 후 바로 불꽃전압으로 이어지는 것을 감안할 때 전압변화에 의한 운전 폭은 21~23 [kV]정도가

다. 따라서 중첩펄스 전기집진기에서는 먼저 낮은 주파수(본 실험장치에서는 50 [Hz]이하)에서 최적전압을 인가한 후 주파수의 미세조정으로 요구하는 집진효율치에 맞추는 운전방식이 요구된다고 판단된다.

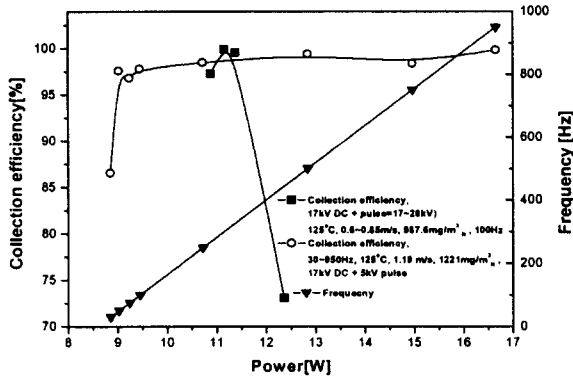


그림 10 전압 또는 주파수에 따른 집진효율-전력 특성  
Fig. 10 Collection efficiency-power characteristics for voltage or frequency variation

### 2.3.2 인가전압별 분진 이동속도

하전분진의 이동속도를 비교하는데 있어서 보통 유효이동속도(Deutsch 이동속도)공식 또는 수정이동속도(Matts 이동속도)공식이 사용된다. 이들 속도는 식 (1) 및 (2)에 실험에서 구한 집진효율을 대입하여 구하였다.

그림 11은 인가전압별 유효이동속도, 그림 12는 인가전압별 수정이동속도를 나타낸 것이다. 인가전압 증가는 집진층에서 원할한 방전을 도울뿐만 아니라 공간전하상에서 집진층으로 하전분진의 이동속도를 증가시켜 집진효율을 높인다. 인가전압이 증가하면서 이동속도는 증가하다가, 20~25 [kV]에서 최대값을 보이고 있다.

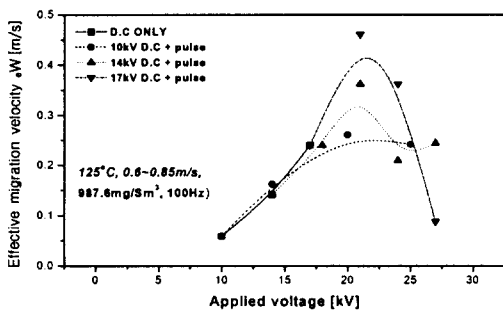


그림 11 인가전압에 따른 유효 이동속도-인가전압 특성  
Fig. 11 Effective migration velocity-applied voltage characteristics for different energization

집진판으로 하전분진의 이동속도가 빨라질수록 집진효율을 증가하게 되고, 집진기의 길이를 단축할 수 있어 부피의 효율화를 꾀할 수 있다.

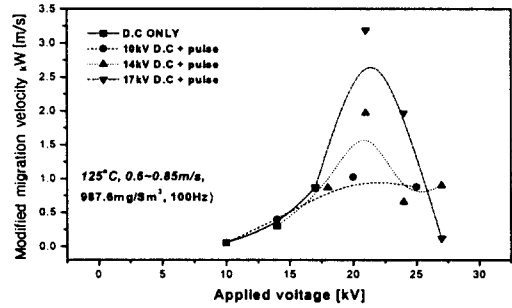


그림 12 인가전압에 따른 수정이동속도-인가전압 특성  
Fig. 12 Modified migration velocity-applied voltage characteristics for different energization

그림 13은 기존 직류 전기집진기 비집진 면적 대비 중첩펄스 전기집진기 비집진 면적을 나타낸 것이다. 중첩펄스를 적용할 경우 높은 전압으로 인해 유효이동속도가 증가하며 전기집진기 크기를 감소시킬 수 있다. 같은 집진효율을 얻는데 10 [kV] DC+pulse에서 기존 전기집진기 집진면적의 92 [%], 14 [kV] DC+pulse에서 66 [%], 17 [kV] DC+pulse 인가에서는 52 [%]로 가능하다. 평균 기존 직류전기집진기 집진면적의 70 [%]로 축소가 가능하다고 판단된다.

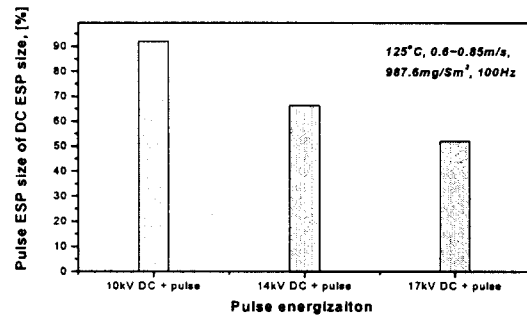


그림 13 직류전기집진기 비집진면적 대비 중첩펄스전기집진기 비집진면적  
Fig. 13 Pulse ESP specific collection area over DC ESP specific collection area

그림 14은 수정이동속도의 향상비(H)를 나타낸 것이다. 펄스인가로 인한 성능향상정도를 평가하는데 있어서, 가장 일반적으로 사용되는 것이 수정이동속도를 이용한 향상비(H)이다. 향상비 공식은 다음과 같다.

$$H = \frac{W_{k, \text{pulsed}}}{W_{k, \text{unpulsed}}} \quad (3)$$

향상비 H는 기존 직류원인가에 의한 수정이동속도( $W_{k, \text{unpulsed}}$ ) 대비 펄스인가의 수정이동속도( $W_{k, \text{pulsed}}$ )비이다. 펄스인가의 장점은 집진기의 크기(SCA)를 줄이고서도 직류하전과 동등한 성능을 얻을 수 있다는 것이다. 향상비 H는 10 [kV] DC+pulse에서 1.9, 14 [kV] DC+pulse에서 2.2

및 17 [kV] DC+pulse에서는 3.6이었다. 향상비는 펄스하전 방식의 성능을 나타내는 값으로 사용되고 있으며, H값이 높을수록 집진기 크기를 더 많이 축소할 수 있다.

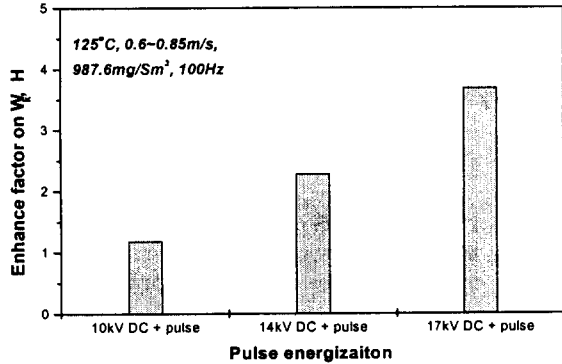
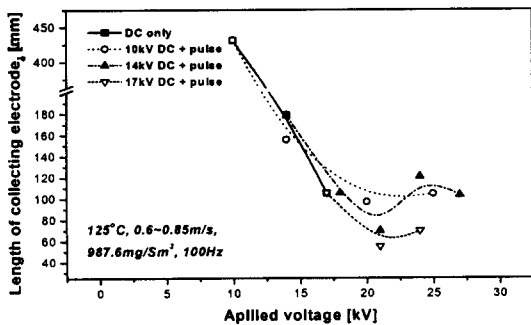


그림 14 중첩펄스인가시 향상비(H)  
Fig. 14 Enhancement factor(H) for superimposed pulse energization

그림 15은 각 전압별 유효이동속도  $W_e$ 로 100 [%]의 집진 효율을 내기 위한 최적의 집진기 길이를 나타낸 것이다. 이러한 집진기 길이 산출 공식은 다음과 같다.

그림 15 인가전압에 따른 소요 집진기 길이  
Fig. 15 Length of collecting plate in the direction of gas flow according to applied voltage



$$L = \frac{b \cdot v}{w_e} \quad (4)$$

여기서 L는 가스흐름방향의 집진극길이, v는 가스유속, b는 방전극과 집진극의 거리,  $w_e$ 는 하전입자의 유효이동속도이다. 인가전압이 높을수록 집진기길이는 짧아지고 있다. 즉, 인가전압을 높여 하전분진의 이동속도를 증가시키므로써 집진기길이를 보다 짧게 만들 수 있다는 것을 보여주고 있다.

### 3. 결론

공해방지용 저유황탄 보일러에서 발생하는 고저항분진을 효과적으로 집진하기 위해, 전기집진기에 새로운 nanosecond 펄스하전방식을 적용하였다. 중첩 펄스 파형의 특성, 인가형태에 따른 전력 및 집진효율을 비교 분석하였다. 또한 기존 직류하전과 비교하여 중첩펄스하전의 전력 절감정도 및 집진면적 축소정도를 산출하였다. 본 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 중첩펄스하전방식에 있어서 불꽃방전이 일어나기까지 인가전압의 증가에 따라 하전입자의 이동속도는 증가하였고, 직류하전과의 이동속도비(H, 향상비)가 1.9~3.6값을 보였다. 이 향상비는 펄스하전방식의 성능 향상정도를 의미하며, 기존 전기집진기의 크기의 70 [%]로 축소가 가능한 수치이다.
2. 고저항분진의 집진에서 중첩펄스하전방식을 사용할 경우 기존 직류하전 보다 훨씬 적은 소비전력으로 높은 집진 효율을 보였다. 10, 14 [kV] 직류 bias 전압에 펄스전압을 중첩할 경우 전력량에서 직류하전방식에 비해 50~80 [%] 절감할 수 있었다.

이러한 중첩펄스하전방식은 기존전기집진기 전원장치에 펄스발생장치를 추가하여 사용할 수 있으며, 앞으로 새로운 전기집진기 설계에 응용될 경우 많은 경제적 및 기술적 이득을 얻을 수 있다고 본다.

### 기 호 설 명

- A : Collecting electrode area, [cm<sup>2</sup>]
- A.R : Aspect ratio
- C<sub>c</sub> : Discharge capacitor
- C<sub>i</sub> : Inlet dust concentration, [mg/m<sup>3</sup>]
- C<sub>o</sub> : Outlet dust concentration, [mg/m<sup>3</sup>]
- ESP : Electrostatic precipitator
- H : Enhancement factor on  $w_k$  for pulse energization
- HVTR : High voltage transformer
- i : Current density, [A/m<sup>2</sup>]
- I : Current(A)
- L : Length of collecting plate, [cm]
- LDC : Inductance in DC power supply circuit
- L<sub>ps</sub> : Inductance in pulse generator circuit
- m : Exponent < 1.0 in Matts-Ohnfeltdt ESP equation
- Q : Gas flow rate, [m<sup>3</sup>N/min]
- R : Resistance of dust [Ω]
- SCA : Specific Collecting Area - unit ESP area per unit gas flow rate
- SCR : Silicon-Controlled-Rectifier (thyristor)
- SD<sub>1</sub>, SD<sub>2</sub> : Variable transformer
- T : Thickness of dust in resistivity probe, [cm]
- TR : Transformer Rectifier
- V : Applied voltage, [kV]
- V<sub>P</sub> : Pulse voltage, [kV]
- VDC : Direct current voltage, [kV]
- V<sub>peak</sub> : Peak voltage, [kV]
- v : Gas velocity, [m/s]

$V_c$  : Corona onset voltage, [kV]  
 $w$  : Theoretical velocity of the particle in Deutsch equation, [m/s]  
 $w_e$  : Effective migration velocity,  
 Net effective Deutsch equation migration velocity including non-ideal losses  $We=(1-\beta)W$ , [m/s]  
 $w_k$  : Modified migration velocity,  
 Particle migration velocity in Matts-Ohnfeldt ESP equation (empirical), [m/s]

[2] G. N. Glason and J. V. Lebacqz(Eds.), Pulse Generators, M.I.T. Radiation Laboratory Series, vol. 5, McGraw-Hill, New York, NY, 1948.  
 [3] H. E. Guerlac, Radar in World War II, History of Modern Physics 1800~1950, Tomash Publishers/American Institute of Physics, 1987.  
 [4] Deutsch, W. "Bewegung und Leitung der Elektrizitatstrager in Zylinder Kondensator". Ann. Physick, vol. 68, p. 335, 1922.  
 [5] Matts, S. and Ohnfeldt, P. O. "efficient gas cleaning with SF electrostatic precipitators," Flakten, 1-12, pp. 93~110, 1963~1964.  
 [6] K. R. Parker, "Applied Electrostatic Precipitation," Blackie Academic & Professional, 1997.

참 고 문 헌

[1] R. Heinrich, W. Feldmann, "Electrical Cleaning of Fluids," U.S. Patent 2,000,017, Applied April 4, 1931, granted May 7, 1935.

저 자 소 개



서 경 원 (徐 敬 源)  
 1968년 5월 19일 생. 1999년 인하대 대학원 기계공학과 졸업(공학). 1987년~현재 한국전력근무  
 Tel : 032-570-2364.  
 E-mail : westwind @DAVA.kepco.co.kr



이 정 석 (李 政 錫)  
 1970년 9월 25일 생. 1998년 인하대 물리학과 졸업. 2000년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사).  
 Tel : 032-874-8528  
 E-mail : JPHITEC@chollian.net



이 창 신 (李 昶 信)  
 1971년 2월 17일 생. 1998년 인천대 기계공학과 졸업. 2000년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사).  
 Tel : 032-874-8528



채 재 우 (蔡 載 宇)  
 1946년 4월 7일 생. 1969년 서울대 기계공학과 졸업. 1978년 독일 Stuttgart 대학 졸업(공학). 1982년~현재 인하대 기계공학과 교수