

이동 전극형 전기집진기의 집진특성에 관한 연구

— II. 펄스 하전 파형 및 분진농도의 영향 —

김 용 진[†], 하 병 길, 정 상 현, 홍 원 석, 유 주 식*

한국기계연구원 환경기계기술연구부, *안동대학교 기계교육과

A Study on the Collection Characteristics of a Moving Electrode Electrostatic Precipitator

— II. Effect of Wave Form of Pulse Energization and Dust Concentration —

Yong-Jin Kim[†], Byung-Kil Ha, Sang-Hyun Jeong, Won-Seok Hong, Joo-Sik Yoo*

Korea Institute of Machinery & Materials, 171 Jangdong, Yusung, Daejeon 305-343, Korea

*Department of Mechanical Engineering Education, Andong National University, Andong 760-749, Korea

(Received March 19, 2004; revision received July 14, 2004)

ABSTRACT: This study investigates the effect of the wave form of pulse energization and dust concentration on the collection characteristics of a moving electrode electrostatic precipitator (MEEP). Under the same specific corona power, the collection efficiency of the MEEP for the lower dust concentration (2 g/m^3) becomes higher than that for the higher concentration (10 g/m^3). Both the collection efficiency and specific corona power increase with increasing pulse period for the same value of applied voltage. The collection efficiency of MEEP is higher than that of the conventional fixed plate electrode electrostatic precipitator.

Key words: Moving electrode electrostatic precipitator(이동 전극형 전기집진기), Pulse period (펄스주기), Dust concentration(분진농도), Collection efficiency(집진효율)

기 호 설 명

- I : 전류 [mA]
- P_p : 펄스의 주기 [sec]
- P_r : 펄스의 비
- T_g : 가스의 온도 [$^{\circ}\text{C}$]
- V : 전압 [kV]
- V_g : 가스의 속도 [m/s]
- V_p : 집진판의 이동속도 [m/min]

W_p : 집진판 간격 [mm]

그리스 문자

ρ_p : 입자 밀도 [g/m^3]

1. 서 론

본 연구에서는 “Part I. 집진판 이동 속도의 영향”에 이어서 이동전극형 전기집진기(MEEP)에서 인가된 펄스 하전의 파형과 분진농도가 집진기의 전류-전압 특성 및 집진효율에 미치는 영향을 조사한다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-868-7475; fax: +82-42-868-7284

E-mail address: yjkim@kimm.re.kr

펄스 하전이 인가된 전기집진기에서는 방전극이 펄스형의 고전압을 받게 된다. 이에 따라 일반적인 음(-)극의 직류 하전에 의한 코로나는 점다발(tuft) 형상의 특성을 가지나, 순간적인 초고전압을 일정 주기로 인가하면 방전극 전체면에 코로나를 형성시켜 전장 속의 코로나 전류 밀도 분포는 DC만에 의한 전류 밀도 분포보다 상대적으로 더 균일하게 되어 입자 하전 효과가 상승하게 되는 반면에 평균 전계 강도와 분진의 부착력이 낮아져서 탈진율이 높아지기 때문에 역전리를 감소시킬 수 있다. 또한 전기집진기에서 입자의 하전은 일반적으로 전기장 하전에 의한 포화전하에 빨리 도달되므로 궁극적으로 집진효율은 인가되는 전장의 세기를 좌우하는 최대 피크전압의 세기에 크게 영향을 받게 된다. 따라서 평균 인가전압이 같은 경우에도 펄스 하전의 주기와 피크전압의 변화로 인하여 집진효율을 상승시킬 수 있다.⁽¹⁻⁵⁾

펄스 하전은 세미 펄스(semi-pulse) 하전과 마이크로 펄스(micro-pulse) 하전으로 나눌 수 있다. 세미 펄스 하전은 코로나 개시 이상의 전압을 항상 유지하지 않고 일정 주기 동안은 코로나 개시 전압 이하의 전압을 인가하는 것이다. 이렇게 함으로써 순간적으로 강한 코로나 전류를 형성할 수 있으면서도 소비전력을 상대적으로 줄일 수 있기 때문에 DC와 동일한 소비전력에서 집진효율을 향상시킬 수 있다. 마이크로 펄스 하전은 스파크를 일으키지 않는 250 μ s 이하의 폭을 가지는 펄스를 말한다. 이것은 세미 펄스 하전보다 더 높은 피크 전압을 집진기에 부가할 수 있으므로, 순간적인 더욱 강력한 코로나 전장을 형성할 수 있으며 스파크를 억제할 수 있다. 그리고 직류전원 시스템과는 달리 시간에 따라 항상 높은 전계 강도와 코로나 전류를 유지하지 않고, 순간적으로 초고압 전원과 전류를 공급하여 전체적인 소비전력은 오히려 낮아지고, 고비저항분진이 집진된 분진층에서 형성되는 높은 전계 강도를 피할 수 있으므로 역코로나를 방지할 수 있다.^(1,2)

이동전극형 전기집진기는 집진판에 부착된 고비저항 분진의 분진층에서 발생하는 역전리를 억제하기 위하여 집진판을 회전하는 브러쉬로 탈진하는 것으로 분진의 제거효율이 매우 높기 때문에 역전리를 억제하는 데 적합하다. 이동전극형 전기집진기는 일본의 Hitachi에서 1979년 개발되

었으며 이에 대한 연구와 현장 적용이 지속적으로 진행되고 있다.⁽⁶⁾ 이동전극형 전기집진기가 전형적인 고정전극형의 집진기에 비하여 비저항이 높은 석탄 플라이 애쉬의 집진효율을 개선하는 연구결과가 나왔으며, 마이크로 펄스를 이동전극형 전기집진기의 전단에 설치된 고정전극형 전기집진기에 적용한 연구결과에서 분진의 비저항과 펄스 파형과 주기에 따라 집진효율의 향상효과가 있는 것으로 나타났다.⁽⁷⁾ 그러나 이동전극형 전기집진기에 펄스 하전을 직접적으로 가한 경우에 대한 연구는 없다. 본 연구에서는 파일럿(pilot) 규모의 전기집진기를 제작하여 이동전극형 전기집진기에서의 펄스 하전의 파형과 분진농도가 집진특성에 미치는 영향을 조사하고 그 결과를 고정전극형 전기집진기의 특성과 비교한다.

2. 실험방법

2.1 실험조건

이동전극형 전기집진기에 대한 제반 실험조건을 Table 1에 나타내었다. 표에서 집진판의 이동속도가 0인 경우는 고정형 460 mm 광폭전기집진기를 나타내며, 펄스주기가 1인 경우는 직류를 나타낸다. 위의 조건들을 실험에 적용하는 순서는 다음과 같다. 먼저 유속과 온도를 설정하여

Table 1 Experimental conditions

Description	Conditions	
Gas velocity (m/s)	0.9	1.1
Flow rate (CMM)	156	190
Specific collecting area (m ² /m ³ /min)	0.165	0.135
Gas temperature (°C)	110	
Fly ash mass load (g/m ³)	2, 5, 10	
Electrical resistivity of fly ash (Ω -cm)	8×10^{12}	
Plate spacing (mm)	460	
Applied voltage (kV)	40, 42, 45, 46	
Plate velocity (m/min)	0, 0.5, 1.0, 1.5	
Pulse period	1(DC), 4, 9	
Pulse width (ms)	8.3	
Pulse ratio (%)	50	
Pulse frequency (Hz)	120	

정상 상태에 도달하였을 때 분진농도를 설정하고 집진판 이동속도를 설정한다. 다음에는 인가전압을 설정하고, 최종적으로 펄스주기⁽⁸⁾를 설정하여 실험한다.

2.2 세미펄스 하전

세미펄스 하전은 동일한 인가전압에서 집진효율을 향상시키고 동일한 집진효율에서 소비전력을 감소시키기 위하여 사용될 수 있다. 본 실험에서는 집진판 고정식 전기집진기에서 효과적인 것으로 알려진 세미펄스 하전이 이동전극형의 전기집진기에서는 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 펄스비를 50로 설정하고 인가전압을 설정한 후, 펄스간격을 기존의 직류(주기 1)로부터 4, 9로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 실험을 수행할 때 실험조건이 변경될 때는 모든 조건을 정상상태로 두고 전압을 인가하고 펄스비와 펄스간격을 설정한 후 인가전압과 코로나 전류가 정상상태에 도달할 때(집진판 이동속도가 1.5 m/min 일 경우 약 10~20분 소요) 전·후단의 입경별 분진농도를 측정하였다. 집진효율을 측정할 때에는 최소한 3번을 반복하여 측정하여 평균값을 취하였다.

또한 집진효율이 측정되는 동안에 고전압 하전 장치의 feedback signal line에 scopemeter를 접속하여 인가전압 파형 및 코로나 전류 파형에 대한 데이터를 P/C에 저장하였다.⁽³⁾

2.3 유속 및 농도

이동전극형 전기집진기에 있어서 가스 유속의 효과를 알아보기 위하여 유속을 0.9 m/s와 1.1 m/s로 조절하였고, 분진농도의 영향을 알아보기 위하여 분진농도를 2 g/m³, 5 g/m³ 및 10 g/m³으로 변화시키면서 실험하였다.

2.4 고정전극형과 이동전극형 비교실험

고정전극형 전기집진기와 이동전극형 전기집진기의 집진효율을 비교하기 위하여 이동전극형 전기집진기의 집진효율이 1단에 의한 것이므로, 기존의 고정형 광폭전기집진기의 1단에 의한 집진효율을 측정하고자 하였으나, 기존 광폭전기집진

기의 상태 및 가스유속 그리고 판면적 등에서 이동전극형 전기집진기와 많은 차이가 있으므로, 여기서는 우선적으로 이동전극형 전기집진기의 집진판을 정지시킨 상태에서의 집진효율을 측정하여 비교하였다.

이를 위하여, 먼저 집진기 온도와 유속(0.9 m/s, 1.1 m/s)을 비교 실험조건에 일치시키고, 분진부하를 2 g/m³와 10 g/m³로 설정한 후 정상상태가 될 때까지 운전한다. 그리고 전압을 인가하지 않은 상태로 집진판을 가동시켜서 집진판에 부착된 분진을 털어내고 입구농도를 먼저 측정한다. 다음에 출구의 분진농도를 측정하기 직전에 집진판을 정지시키고 전압을 인가하여 출구의 분진농도를 측정하고, 집진판이 정지된 상태에서 계속적으로 입출구 분진농도를 3회 반복하여 측정한다.

3. 결과 및 논의

3.1 펄스 하전 파형 및 분진농도의 영향

먼저 인가전압과 펄스주기에 따른 집진효율의 변화를 알아보기 위하여 펄스주기와 인가전압별로 실험을 수행하여 그 결과들을 Fig. 1~3에 나타내었다. Fig. 1은 전압-전류 특성, Fig. 2는 각각의 조건들의 인가전압에 대한 총괄 집진효율,

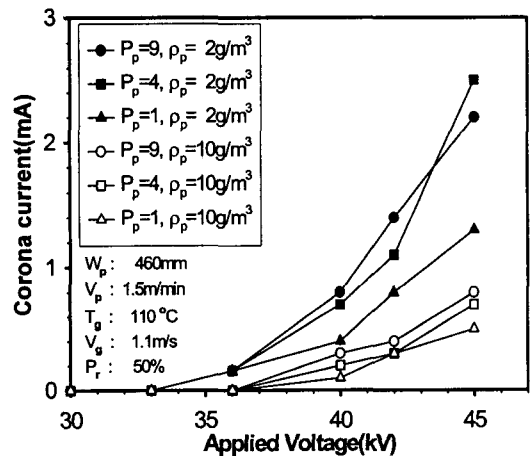


Fig. 1 Corona current as a function of applied voltage for the MEEP with pulse period $P_p=1$ sec, 4 sec, and 9 sec, and particle load.

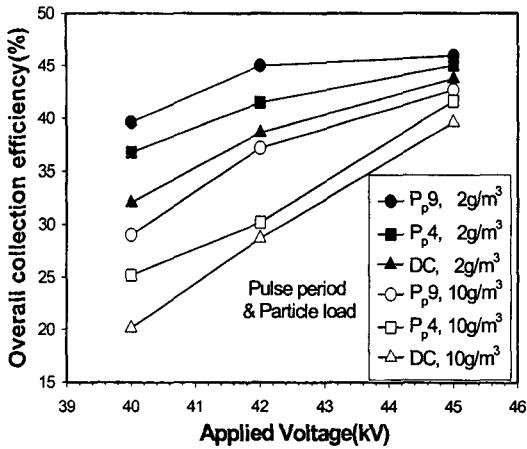


Fig. 2 Overall collection efficiency as a function of applied voltage for the MEEP with pulse period $P_p=4$ sec, and 9 sec, dust concentration $\rho_p=2$ g/m³, and 10 g/m³, and particle load.

Experimental condition	
Plate pitch	: 460mm
Plate velocity	: 1.5m/min
Gas velocity	: 1.1m/s
Gas temperature	: 110 °C
Particle load	: 2, 10g/m ³
Pulse period	: 9, 4, 1
Pulse ratio	: 50%
Applied voltage	: 45, 42, 40kV

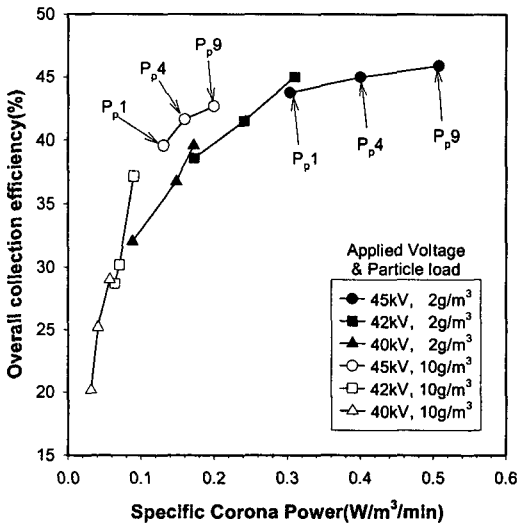


Fig. 3 Overall collection efficiency as a function of specific corona power for the moving electrode electrostatic precipitator (MEEP).

Fig. 3는 비코로나 전력(SCP)에 대한 집진효율을 나타낸다. 펄스 하전의 경우 주기와 폭 등은 수백 마이크로 내지 밀리초 이내이므로, 전류-전압 특성에서의 값들은 수초 이상의 평균값을 나타낸다.

펄스주기와 분진농도에 따른 전압-전류 특성은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 동일 인가전압에 대하여 분진농도가 낮은 경우와, 펄스주기가 긴 경우의 전류가 높은 것을 볼 수 있다. 전장 속의 분진은 전자와 충돌하여 하전되고, 그 정전기력에 의하여 전자의 속도보다 느린 속도로 이동하므로 결국 전자의 흐름을 방해하게 된다. 따라서 분진농도가 낮은 경우의 전류가 높게 나타난다. 펄스주기가 긴 경우의 전류가 높은 것은 펄스주기가 길어질수록 피크전압이 증가하고 이때의 전류가 상대적으로 증가하기 때문이다.

펄스주기와 분진농도에 따른 집진효율은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 분진농도가 낮은 경우의 집진효율이 전체적으로 높은 것을 볼 수 있으며, 펄스주기가 긴 경우가 짧은 경우보다 집진효율이 더 높다. 그러나 인가전압이 상승함에 따라 펄스주기와 분진농도의 영향은 감소되는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 집진판에 누적된 분진층의 두께가 같을 경우에 분진농도가 높은 경우의 집진효율이 높은 것으로 알려져 있다. 그런데 MEEP의 경우 집진판에 누적된 분진층이 없으며, 저농도인 경우 분진층의 두께가 얇음으로 인하여 전류가 높고 집진효율이 높게 나타난다.

Fig. 3에는 여러 가지의 인가전압과 분진농도에 대한 비코로나 전력(SCP)과 집진효율의 관계를 나타내었다. 전체적으로, 비코로나 전력이 증가함에 따라 집진효율도 함께 증가한다. 분진농도가 낮은 경우의 SCP가 높고 집진효율 또한 높게 나타나며, 동일한 소비전력인 경우에는 분진농도가 높은 경우의 집진효율이 더 높게 나타난다. 또한 평균 인가전압이 낮아도 SCP가 비슷할 경우 펄스주기가 긴 경우의 집진효율이 더 높게 나타난다.

3.2 고정전극형과 이동전극형 비교

Fig. 4에는 플라이 애쉬 농도가 2 g/m³이고 유속이 1.1 m/s와 0.9 m/s인 경우에 대해 고정전극형과 이동전극형 전기집진기의 전압-전류 특성곡선을 나타내었다. 인가전압 45 kV인 경우는 역전

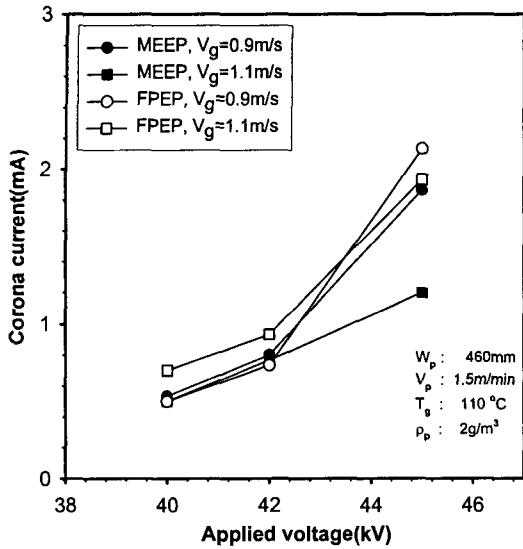


Fig. 4 Corona current as a function of applied voltage for the MEEP and FPEP (Fixed Plate Electrostatic Precipitator) with gas velocities $V_g=0.9$ m/s and 1.1 m/s.

리가 발생한다. 고정전극형인 경우 40 kV와 42 kV의 인가전압에서는 유량이 증가함에 따라 전류가 증가한다. 유량이 큰 경우는 유량이 작은 경우에 비하여 집진판에 부착된 분진층의 두께가 더 얇게 된다. 따라서 분진층에 의한 저항효과가 감소

하여 전류가 높게 나타난다. 그러나 인가전압이 45 kV인 경우는 인가전압이 낮은 경우와는 반대로 유량이 작은 경우의 전류가 더 높다. 이것은 유속이 느려짐으로 인하여 집진판에 부착된 분진층에서 일어나는 역전리에 의한 무효전류 때문인 것으로 생각된다.

이동전극형 전기집진기에 있어서 인가전압이 낮은 경우는 고정전극형의 유속이 낮은 경우와 함께 전류의 차이가 미미함을 볼 수 있다. 이 영역은 고정전극형과 이동전극형 모두에 있어서 역전리가 발생하지 않은 안정된 영역이기 때문이다. 그러나 인가전압이 45 kV일 때, 유속이 빠른 경우는 고정전극형과 유속이 느린 경우와는 달리 전류가 매우 낮은 것을 볼 수 있다. 이것은 유속이 1.1 m/s인 경우에 있어서는 이동전극형 전기집진기의 집진효율이 낮아서 집진판에 형성된 분진층의 두께가 얇기 때문에 역전리에 의한 무효전류가 낮아지기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 상대적으로 낮은 유속(0.9 m/s)인 경우에는 집진판에 부착된 분진층에 의한 역전리에 의하여 무효전류가 발생하기 때문에 고정전극형과 함께 높은 전류가 흐르게 된다.

Fig. 5와 Fig. 6에는 플라이 애쉬 농도가 2 g/m^3 일 때, 유속이 1.1 m/s와 0.9 m/s인 경우에 있어서의 이동전극형과 고정전극형의 집진효율을 인가전압과 비코로나 전력의 함수로 나타내었다. 인

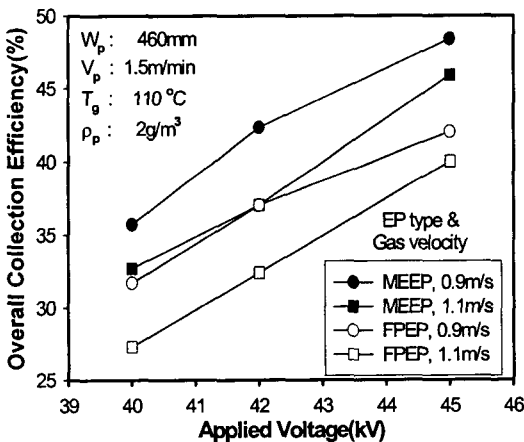


Fig. 5 Overall collection efficiency as a function of applied voltage for the MEEP and FPEP with gas velocities $V_g=0.9$ m/s and 1.1 m/s.

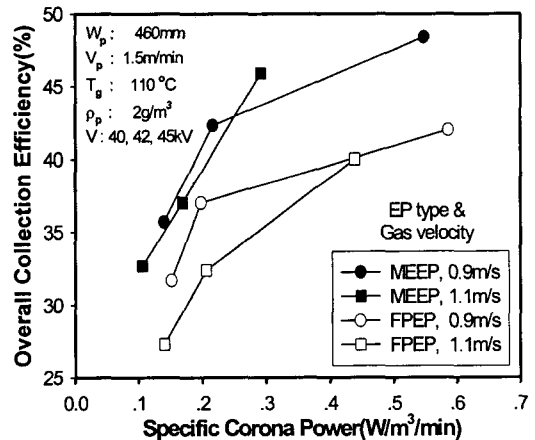


Fig. 6 Overall collection efficiency as a function of specific corona power for the MEEP and FPEP with gas velocities $V_g=0.9$ m/s and 1.1 m/s.

가전압이 증가할수록 유속에 따른 집진효율의 차이는 감소한다. 유속이 같을 때, 이동전극형의 집진효율이 고정전극형 전기집진기에 비하여 모두 4% 이상 높게 나타난다. 그리고 과소비전력이 증가할수록 집진효율의 차이도 커진다.

4. 결 론

이동전극형 전기집진기에서 펄스 하전의 파형과 분진농도가 집진특성에 미치는 영향을 조사하고 아울러 고정전극형 전기집진기의 특성과 비교하였다. 분진농도가 이동전극형 전기집진기의 성능에 미치는 영향은, 동일한 인가전압일 때 분진농도 2g/m^3 인 경우가 10g/m^3 인 경우에 비하여 코로나 전류가 높고 집진효율이 5~12% 높게 나타났으며, 인가전압이 증가할수록 집진효율의 차이는 감소한다. 비코로나 전력이 같은 경우에 있어서는 분진농도가 높은 경우의 집진효율이 낮은 경우보다 더 높게 나타났다. 이동전극형 전기집진기에 대한 세미펄스 하전은 평균 인가전압이 같은 직류하전에 비하여 집진효율이 3~9% 높게 나타났으며, 인가전압이 하락할수록 집진효율의 차이는 증가하였다. 이동전극형 전기집진기의 효율은 고정전극형 전기집진기보다 높다.

참고문헌

1. Fitch, R. A. and Drummond, J. E., 1986, Enhanced charging of fine particles by electrons in pulse-energized electrical precipitator, IEE Proceedings, Vol 134, Part A, No. 1, pp. 37-44.
2. Tachibana, N. and Matsumoto, Y., 1990, Intermittent energization on electrostatic precipitators, J. of Electrostatics, Vol. 25, pp. 55-73.
3. Ha, B. K., 1999, A Study of Collection Efficiency Improvement for High Resistivity Coal Fly Ash Particles Using Pilot Electrostatic Precipitator, Ph.D. Thesis, Pukyong University.
4. Kim, Y. J., Jeong, S. H., Hong, W. S., Ha, B. K., Hwang, T. K., Ok, Y. W., Ryu, J. I. and Ham, B. H., 1999, A study of micro pulse energization on the collection electrode spacing of electrostatic precipitator, Proceeding of The 1st Korean Aerosol and Particle Conference, Yong-Pyoung Resort, Korea, pp. 149-150.
5. Kim, Y. J., Jeong, S. H., Hong, W. S., Ha, B. K., Hwang, T. K., Ok, Y. W. and Ham, B. H., 1999, Collection characteristics of electrostatic precipitator using micro pulse energization, Proceeding of Spring Conference of Korean Air and Environmental Association, Korea Foreign Language University, Yong-In, Korea, pp. 157-158.
6. Asano, H., Ootsuka, M. and Yano, T., 1984, Recent result of applications of the moving electrode electrostatic precipitator for coal fired utility boilers, Proc. 2nd Int. Electrostatic Precipitator Conf., Kyoto, Japan, Vol. 2, pp. 800-804.
7. Toshiaki, M., Akio, A., Tadasi, O., Mitsugu, H. and Hiroshi, A., 1996, Electrostatic precipitator combined pulse charging section with moving electrode section for high resistivity dust, Proc. 6th Int. Electrostatic Precipitator Conf., Hungary, pp. 51-56.
8. Kim, Y.-J., Ha, B.-K., Jeong, S.-H., Hong, W.-S., Ha, D.-H. and Yoo, J.-S., 2001, A study on the collection characteristics of a wide plate-spacing electrostatic precipitator -II. Effect of wave form of pulse energization, J. of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 13, No. 11, pp. 1059-1064.