

원심력 효과를 고려한 실린더형 전기집진기의 특성

이 준·조 용 수·여 석 준
부경대학교 환경공학과

(2001년 4월 10일 접수; 2001년 9월 27일 채택)

Characteristics of Cylindrical Electrostatic Precipitator with Centrifugal Effect

Joon Lee, Yong-Soo Cho and Seok-Jun Yoa

Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
(Manuscript received 4 October, 2001; accepted 27 September, 2001)

The main purpose of this study was to investigate the characteristics of cylindrical electrostatic precipitator with centrifugal effect in viewpoints of pressure drop and collection efficiency, experimentally. The experiment was carried out for the analysis of current-voltage, pressure drop and collection efficiency with various experimental parameters such as the applied voltage, inlet velocity, inlet size and inlet type(upper and bottom), etc. In the results, the pressure drops were estimated as 27~54, 34~63mmH₂O for inlet size 15mm×30mm and 30mm×60mm, respectively. The collection efficiencies were shown over 99% with the small inlet size(15mm×30mm) for the applied voltage 40kV, inlet velocity(15~21m/s), and 51~89% with the large inlet size(30mm×60mm). Moreover, in the applied voltage 0kV and inlet size 15mm×30mm, the collection efficiency induced by centrifugal force was represented as about 35% with inlet velocity 15~21m/s.

Key words : cylindrical electrostatic precipitator, centrifugal force, applied voltage, pressure drop, collection efficiency

1. 서 론

산업 발전에 따른 대기오염 문제의 심각성으로 인해 입자상 오염물질을 포함한 대기오염물질에 대한 배출 규제는 지속적으로 강화되고 있어¹⁾, 각 산업체에 설치되어 있는 대기오염 방지시설의 교체 및 보완을 위한 저비용 고효율 집진장치의 개발이 요구되고 있다. 현재 산업체에 설치되어 사용되고 있는 집진장치로는 여과집진장치, 전기집진장치 및 싸이클론 등이 있다. 이 중 여과집진장치는 높은 집진 효율로 인해 범용적으로 많이 사용되고 있지만, 압력손실이 다른 집진 장치에 비하여 상대적으로 크기 때문에 유지 관리비 등 경제적 비용이

많이 소요되고, 처리 유량(여과속도)의 한계로 인해 장치 규모가 큰 단점이 있다.^{2~5)} 싸이클론은 대 유량과 입경 5 μ m 이상의 집진에 적합하며 설치비가 적고, 부피가 작으며 유지가 간편하기 때문에 현재 많이 쓰이는 집진장치 중의 하나이지만, 입경이 5 μ m 이하로 감소될 때 집진 효율이 급격히 감소하는 단점이 있다.^{3,6)} 반면 전기집진장치는 압력의 현저한 손실 없이 대량의 배기를 처리할 수 있고 구조적으로 매우 단순하여 유지 및 보수가 용이한 장점이 있으며, 높은 효율과 유지보수가 간편한 장점을 지닌다.^{3,7)} 전기집진기는 기하학적 형상에 따라 평판형과 실린더형으로 분류할 수 있으며, 처리 유량이 많은 경우 전자가 사용되나 후자는 중·소형으로 서브마이크론의 미세 분진까지 제거할 수 있는 높은 효율이 요구되는 경우 주로 사용된다.^{7~9)} 그러나 실린더형 전기집진기에서 처리가스의 흐름은 수직 상방의 유동으로 그 집진 메커니즘은 오직 전

Corresponding Author, Seok-Jun Yoa, Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea
Phone : +82-51-620-6436
E-mail : sjyoa@pknu.ac.kr

기력에만 의존하므로 고효율을 유지하면서 대유량 처리가 필요한 경우 이에 적절히 대응하기 어려워 주로 중·소형으로 그 용도는 한정되어 있다.^{8,9)} 본 연구의 원심력 효과를 고려한 실린더형 전기집진기는 기존 실린더형 전기집진기의 고효율을 유지하면서 처리유량의 증대를 위해 가스 유출입구를 접선으로 변형시켜 시스템 내부에 강한 선회류를 유발시켜 전기력 및 원심력에 의한 집진이 1기의 시스템에서 동시에 이루어질 수 있게 한 것이다. 이는 동일 규모의 일반 실린더형 전기집진기에 비해 접선 유입에 의한 집진 벽면으로의 입자 이동거리의 감소와 원심력과 전기력 효과의 결합에 의한 입자 이동속도의 증가로 인해 보다 높은 집진효율을 기대할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 원심력 효과가 고려된 실린더형 전기집진기의 특성을 분석하기 위해 유입 유속, 인가전압, 유입구 면적 및 유입 방식(상부접선유입, 하부접선유입) 등의 실험적 변수에 따른 집진·전류 특성, 압력 손실 및 집진 효율 특성에 대한 실험적 해석을 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구는 일반 실린더형 전기집진기에 원심력 효과를 부과하여 집진 특성을 실험적으로 파악하기 위한 것으로, 실험장치는 분진 공급 장치(particle generator), 원심력 전기집진장치 본체, 내부 입자 하전장치, 하전장치에 고전압을 인가할 수 있는 고전압 공급장치(high voltage power supply) 그리고 전압·전류, 집진 효율 및 압력손실 등을 측정할 수 있는 계측 시스템 및 가스 유동 형성을 위한 흡입 송풍기로 구성되어 있다. 실험장치의 전체적인 구성도는 Fig. 1에 나타내었다.

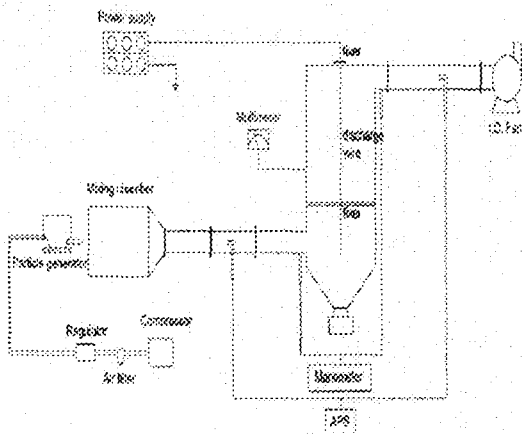


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

2.1.1. 고전압 공급장치 및 하전장치

고전압 공급장치는 전기집진기의 중심에 위치한 방전극과 몸체의 집진극 사이에 고전압을 발생, 공급하기 위한 장치로서 가변저항의 조절로써 정전압/정전류 제어를 하도록 제작되었으며, 실험시에 과전압 및 과전류가 흐를 경우 자동차단할 수 있는 보호장치가 부설되어있으며, 최소 0kV에서 최대 100kV, 0mA에서 10mA까지 연속적이고 단계적인 조작이 가능하게 제작되었다.

하전장치는 코로나 방전을 형성하는 방전극을 전기집진기 몸체의 중심에 설치하였으며, 방전극을 지지하기 위하여 방전극의 상부와 하부에 테프론 지지대를 설치하였다. 방전극은 구리재질로서 내부 선회류에 의한 흔들림이 적은 직경 3mm, 길이 880mm의 나선형을 사용하였다.

2.1.2. 실험용 분진 및 분진 공급장치

본 실험에서 사용된 분진은 화력발전소에서 채취한 fly ash로 집진기 전단부에서 입경별 수농도 및 질량농도의 측정이 가능한 입경계수기인 APS (Aerodynamic Particle Sizer)를 이용하여 입경분포를 측정하였다. 실험용 분진의 입경은 0.5~10 μ m의 범위를 나타내며, 평균입경은 2 μ m로 나타났다.

분진공급장치는 일정량의 분진을 기류 중으로 분산, 공급하기 위한 장치로서 장치의 전단부에는 압축 공기를 주입하고 후단부에는 screw feeding 방식으로 분진을 일정량의 압축 공기와 함께 분사시켜 전 후단의 압력 구배에 의해 분진 입자가 공급된다. 분진 농도의 변화는 screw의 회전 속도 조절에 따른 분진의 공급량과 압축공기의 유량에 의해 조절될 수 있도록 제작되었다.

2.1.3. 실린더형 전기집진기 본체

본 시스템은 선회류 형성에 의한 원심력 효과를 고려한 집진장치로 기존의 실린더형 전기집진장치(수직상방의 유동)에 원심력을 효과적으로 부가할 수 있게 상부와 하부로 접선유입이 가능하게 만든 장치로서, 직경 200mm, 몸통길이 1,000mm로 제작되었고, 상부와 하부의 유·출입구 면적은 가로와 세로의 비가 1:2(15mm×30mm와 30mm×60mm)인 직사각형의 2가지 유입구 면적을 채택하고 상부접선으로 유입되어 하부접선으로 유출되는 모델과 하부접선으로 유입되어 상부접선으로 유출되는 2가지 모델로 구성하여 원심력 효과 및 처리 유량의 증대 효과를 볼 수 있게 제작되었다.

Cone의 길이는 150mm로 제작함과 동시에 안식각을 55°로 하여 집진된 입자가 호퍼로 잘 흘러

내릴 수 있게 하였으며, 하부에 길이 200mm의 정사각형 호퍼를 설치하여 집진된 분진의 수거에 사용하고 집진된 분진의 재비산을 최소화하였다.

2.2. 실험 방법

본 연구는 원심력 효과가 고려된 실린더형 전기 집진장치의 유입유속, 인가전압, 유입면적 및 유입방식에 따른 집진 효율 및 압력 손실 등의 특성을 실험적으로 파악·해석하는데 그 목적이 있다. 본 실험에서는 집선유입의 원심력 및 전기력에 의한 집진 효과와 입구면적을 변화시켜 처리 유량의 증대에 따른 집진 특성을 보기 위해, 유·출입구면적을 15mm×30mm와 30mm×60mm로 구분하여 처리유량을 0.4~0.6m³/min, 1.6~2.3m³/min 범위에서 실험하였으며, 원심력 및 전기력 효과를 고려하기 위해서 본 체로의 유입유속을 15, 18, 21m/s, 인가전압 0, 30, 40kV로 각각 적용하였다. 처리 유량을 기준으로 본 체 실린더 축방향 이동속도에 의한 장치 내부의 가스체류시간을 산정하였으며, Table 1에 입구유속에 따른 유입구 면적별 처리유량 및 체류시간을 나타내었다. 분진의 입경별 농도는 APS(model 3310, TSI Inc.)를 사용하여 측정하였으며, 분진 채취 지점은 실험장치 유·출입구에서 대기오염 공정 시험법에 의해 덕트 단면의 14.6%와 85.4% 되는 지점을 선정하고, 각 분진 채취점에서 유·출입구 교대로 1분 간격으로 총 10회 측정함으로써 집진효율을 산정하였다. 유입되는 분진의 농도는 200mg/m³으로 실험을 수행하였고, 아울러 분진공급장치의 성능실험과 전압전류 측정 실험을 수행하였다.

Table 1. Flow rates and residence time with inlet velocities

inlet velocity (m/s)	15mm×30mm		30mm×60mm	
	flow rate (m ³ /min)	residence time (sec)	flow rate (m ³ /min)	residence time (sec)
15	0.405	4.652	1.620	1.163
18	0.486	3.877	1.944	0.969
21	0.567	3.323	2.268	0.831

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 분진 공급 장치의 성능

분진발생장치의 안정적인 분진 발생여부를 검토하기 위하여 본 실험에서 수행되는 질량농도에 대하여 시간에 따른 수농도 변화를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 2에 도식하였다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 30분 동안 1분 간격으로 분진 발생량을 측정한 결과 질량농도에서 시간에 따른 변화량이 수농도 기준 10% 이내로 분진이 매우 안정적으로

공급되어짐을 알 수 있었다.

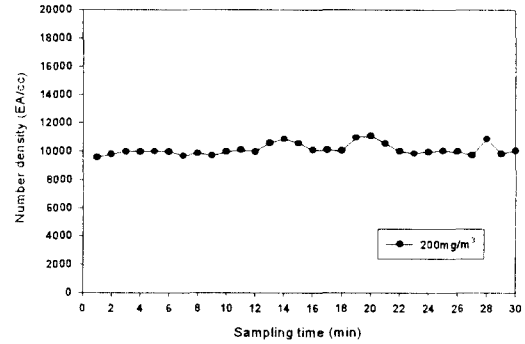


Fig. 2. Number density vs. sampling time.

3.2. 전압-전류 특성

실험조건변화에 따른 전계특성을 파악하기 위하여 인가전압과 유입유속에 따른 전압전류 특성 실험을 Multimeter(Fluke 27, LG DM-332)를 사용하여 수행하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 유입유속에 따른 전압전류 특성은 매우 미소한 차이를 보일 뿐 거의 모든 유속에서 일정함을 보이는데 이는 Jaworek와 Krupa¹⁰⁾에 의해 수행된 실험연구와 유사한 결과로서 음극방전극을 사용할 경우, 가스 흐름의 속도에 비해 집지극으로 흐르는 전자의 이동속도가 매우 빠르기 때문에 집지극으로 흐르는 전류의 방해요소로 큰 작용을 하지 못함을 알 수 있다. 그러므로 본 실험 범위에서 유입유속에 따른 전압 전류 특성의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다.

실험에 적용된 인가전압은 하전기능과 집진을 위한 전기장 형성을 고려하여 0, 30, 40kV로 결정하였으며, 충분한 하전 및 집진 기능이 있을 것으로 생각되는 최대인가전압으로 40kV 이상도 가능하나, 그 이상에서는 역전리 및 순간적 전계손실에 의해 분진 대전에 장애가 심해질 우려가 있어 최대인가전압은 40kV로 제한하였다.^{11,12)}

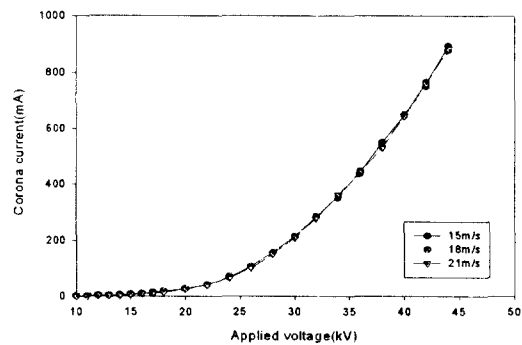


Fig. 3. Current vs. applied voltage with various inlet velocities.

3.3. 압력손실

본 집진 시스템의 상부 및 하부유입의 유입방식과 유·출입구 면적에 따른 압력손실을 알아보기 위해 유입부와 유출부에서 정압을 측정하여 압력손실을 산출하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 유입유속이 15m/s에서 21m/s로 증가함에 따라 압력손실은 거의 선형적으로 증가하며, 상부 및 하부유입의 유입방식에 따른 압력손실의 차이는 미미함을 알 수 있다. 반면, 유·출입구 면적에 따른 압력손실은 입구 면적 15mm×30mm인 경우가 30mm×60mm인 경우에 비해 6~10mmH₂O 정도 높게 나타났다. 이는 입·출구 면적이 작아짐에 따라 마찰저항이 다소 커지기 때문으로 생각된다.

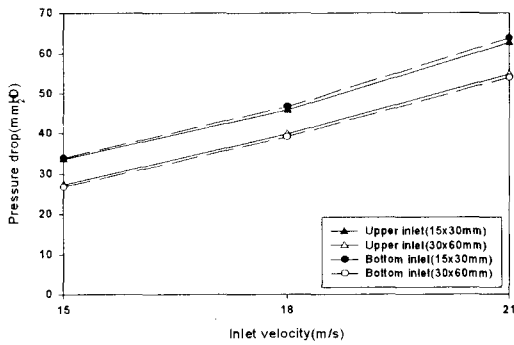


Fig. 4. Pressure drop vs. inlet velocities.

3.4. 집진효율

3.4.1. 입경별 집진효율

상·하부 점선유입의 두 가지 모델의 특성을 기준으로 입구면적별 유입유속 및 인가전압에 대한 입경별 집진효율을 측정하였다. 입경별 집진효율은 APS를 사용하여 집진장치의 유입·출부에서 분진 입경별 수농도를 측정하였으며, 아래 식(1)에 의해 산정되었다.

$$\eta_j(\%) = \frac{N_{in,j} - N_{out,j}}{N_{in,j}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, η_j 는 입경별 부분 집진효율, $N_{in,j}$ 는 입경별 유입 입자수, $N_{out,j}$ 는 입경별 유출 입자수를 나타낸다

본 원심력이 고려된 전기집진기에서 입경별 집진 효율을 해석하기 위한 원심력 및 전기력에 의한 입자 이동에 대한 이론식은 Stokes' drag의 가정하에 다음과 같이 표현될 수 있다.⁷⁾

$$6\pi\mu r_p u_p = \frac{4\pi\rho_p r_p^3 u_g^2}{3R_c} + qE \quad (2)$$

여기서, r_p 는 입자 반경, u_p 는 입자의 반경방향 속도, u_g 는 가스의 접선유입속도, R_c 는 집진기 반경, q 는 입자 전하량, E 는 전계강도이다.

위의 식을 집진기 벽면으로의 반경방향 이동 속도에 대해 다시 정리하면,

$$u_p = \frac{2\rho_p r_p^2 u_g^2}{9\mu R_c} + bE$$

로 되며, 여기서 $b = q/6\pi\mu r_p$ 즉, 입자의 이동도(electrical mobility)로 정의된다.

Fig. 5-(a), (b)는 하부 유입, 유입구 면적 15mm×30mm, 유입유속 15m/s 및 21m/s에서 인가전압에 따른 입경별 집진효율을 나타낸 것이다. Fig. 5-(a)에서 보듯이 유속 15m/s에서는 원심력 효과가 상대적으로 작은 4 μ m 이하의 작은 입자에서 인가전압 0kV에 비해 30, 40kV인 경우 50~90% 이상의 높은 집진효율 증가를 보인다. 또한 4 μ m 이상으로 입경이 증가하면서 입경별 집진효율은 원심력의 증대에 의해 입경 8 μ m에서는 전압 인가전에도 원심력 효과에 의해 70% 이상의 효율을 보이며, 30, 40kV의 전압이 인가될 경우 식(2) 우변의 원심력 및 전기력의 결합에 의해 99% 이상의 매우 높은 집진효율을 보인다. 전체적인 입경별 집진 경향을 살펴보면, 동일 인가전압에서 효율의 전환점인 임계 입경 1 μ m 부근에서 집진효율이 가장 낮은 것을 볼 수 있으며, 1 μ m 이상인 경우 입경이 커질수록 원심력 및 전기력 효과에 의한 입자 이동속도의 증가에 의해 집진효율이 상승되는 것으로 추정된다. 입자 이동속도는 식(2)의 우변에서 보듯이 원심력 효과에 의해 입경의 제곱에 비례하여 변화되며, 하전량 및 전계강도에 직접적으로 의존됨을 알 수 있다. 또한, 전기력 효과의 중요변수인 하전량은 장대전(field charging)인 경우 입경의 제곱에 비례하여 변화된다. 0.7 μ m 부근 보다 작은 입경의 집진효율이 증가하는 원인은 미세입자의 경우 브라운 운동과 난류 확산에 의한 벽면부근에서의 입자 부착효율의 증가와¹³⁾ 입자대전에 있어 장대전보다는 브라운 운동에 의한 확산대전에 지배받기 때문으로 생각된다.¹⁴⁻¹⁶⁾ Fig. 5-(b)는 (a)에 비해 유입유속이 21m/s로 증가한 경우로서, 유입유속 증가에 의해 원심력 효과는 다소 증가하였지만, 처리 유량 증가에 의한 체류 시간의 감소와 이에 따른 전기력 효과 감소로 인해 전기력의 효과가 적은 1 μ m 부근 입경의 경우 인가전압 30, 40kV에서 유속 15m/s에 비해 각각 46, 18%의 집진효율 감소를 보였다. 그리고 유입유속 15, 21m/s 및 인가전압 0kV일 때 입경 3 μ m 이하에서 (-)효율을 나타내

고 있는데, 이는 큰 입자의 파쇄에 의한 미세입자 수의 증가와 재비산에 의해 집진 효과가 감소하기 때문으로 생각된다.

Fig. 6-(a), (b)는 Fig. 5에 비해 동일 유입유속 조건에서 처리유량을 높이기 위해 유입구 면적을 30mm×60mm로 증가시킨 경우로, 집진 경향은 Fig. 5의 경우와 유사하나 유입구 면적의 확대에 따른 집진면까지의 입자 이동거리의 증가와 처리유량의 증대로 인한 체류시간의 감소로 인해 유입구 면적 15mm×30mm에 비해 매우 낮은 집진 효율을 보인다. 그림 (a), (b)에서 보듯이 인가전압 0kV, 즉 원심력만이 고려되는 경우 4μm 이하의 입경에서 원심력 효과에 의한 집진은 거의 무시됨을 알 수 있다. 특히, 유입유속 15m/s, 인가전압 40kV에서 Fig. 5-(a)에 비해 최고 60%(1μm 부근) 이하의 집진효율 감소를 나타낸다. 이런 현상은 유입유속 21m/s인 경우 전압이 인가될 때 더욱 뚜렷하게 나타나며, 이는 유입구 폭 증가에 따른 집진 벽면까지의 입자 이동거리의 증가와 유속 증가에 의한 장치내의 체류시간이 짧아짐에 따라 입자 하전량이 감소하기 때문이다.^{9,17,18)} 따라서, 본 시스템에서 유입구 면적 30mm×60mm의 경우에도 높은 집진 효율을 얻기 위해서는 장치 내 체류시간 확보를 위한 장치 길이의 연장이 필요할 것으로 생각된다.

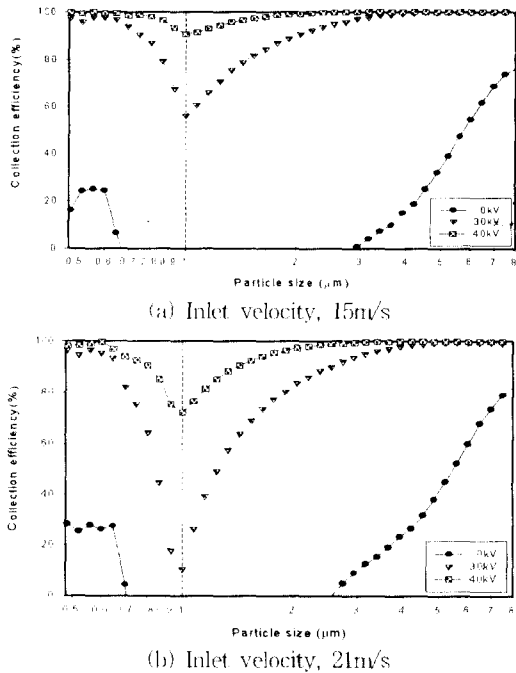


Fig. 5. Collection efficiency for various applied voltages (Bottom inlet, Inlet size : 15mm×30mm).

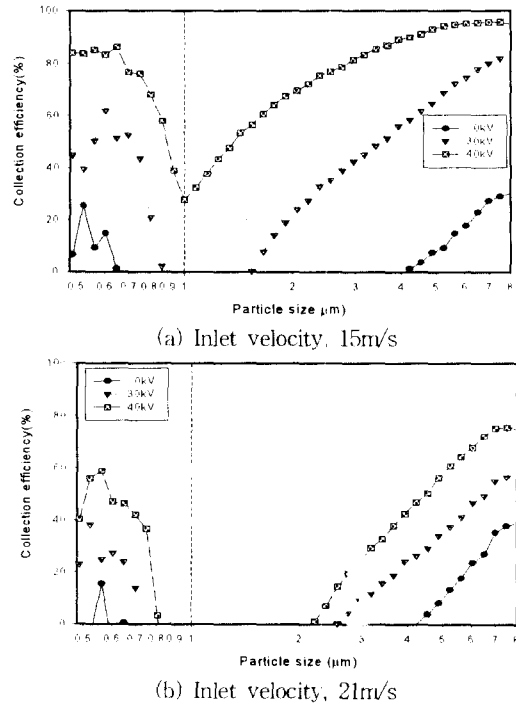
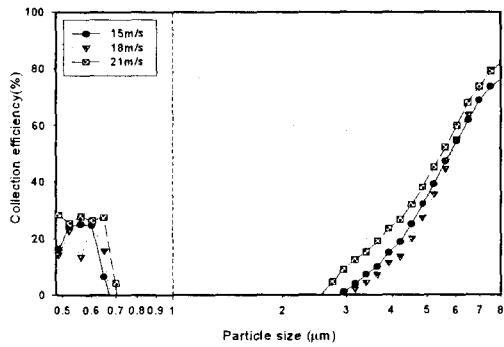


Fig. 6. Collection efficiency for various applied voltages (Bottom inlet, Inlet size : 30mm×60mm).

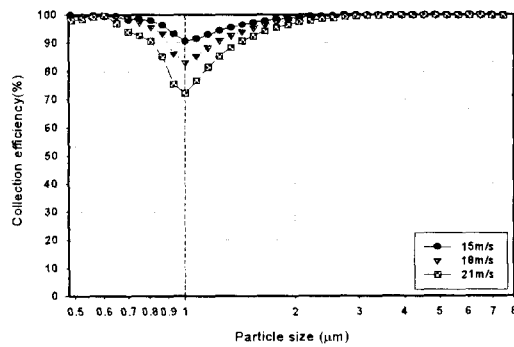
Fig. 7-(a), (b)는 유입구 면적 15mm×30mm에서 유입유속(15, 18, 21m/s)에 따른 입경별 집진효율 경향을 파악하기 위해 인가전압 0 및 40kV인 경우에 대하여 나타낸 것이다. Fig. 7-(a)의 전압이 인가되지 않은 경우, 즉 집진 메커니즘이 원심력에만 의존하는 경우 15~21m/s의 유입유속 범위에서 유속에 따른 집진효율의 변화는 크지 않다. 유입유속 15, 18m/s에서는 비교적 약한 원심력 효과에 의해 집진효율의 차이는 뚜렷하지 않지만, 원심력 효과가 강한 유입유속 21m/s에서 상대적으로 높은 효율을 보이며, 특히 입경 3μm 이상에서는 유속 15, 18m/s에 비해 5% 이상의 효율 증가를 보인다. Fig. 7-(b)는 40kV의 전압이 인가된 경우로, 전기력이 부가됨에 따라 앞서의 원심력에만 의존하는 경우에 비해 매우 높은 집진 효율의 상승을 보이며, 유입유속에 따른 집진효율의 차이는 Fig. 7-(a)의 원심력에만 의존할 때와는 반대로 집진기내 체류 시간이 가장 긴 유입유속 15m/s의 경우가 가장 높은 집진효율을 보이며, 유입유속이 높아질수록 즉, 체류시간이 짧아질수록 집진효율은 점차 낮아지고 있다. 이는 강한 전기력이 부가될 경우 전기력 효과가 원심력 보다 상대적으로 매우 효과적으로 작용하므로 집진기내부로 유입된 입자가 충분히 하전될 수 있는 체류시

간의 확보가 집진효율에 중요한 영향을 미치는 것으로 보인다.

Fig. 8-(a), (b)는 유입구 면적이 30mm×60mm로 증가한 경우로, 앞서 언급한 유량 증대로 인한 체류 시간의 감소와 이로 인한 하전량의 부족, 그리고 집진면까지의 입자 이동 거리 증대로 인해 집진 효율의 상당한 저하가 보인다. Fig. 8-(a)의 인가전압 0kV인 경우 위 Fig. 7-(a)의 경우와 달리 유입유속 18m/s에서 가장 높은 집진효율을 보이며, 유입유속 21m/s, 입경 6μm 이하에서는 유속 18m/s에 비해 다소 낮은 집진효율을 보인다. 이는 21m/s의 높은 유입유속에서는 원심력 효과가 가장 크지만, 증가된 유량으로 인해 입경이 작아질수록 채비산되는 비율이 많아져 이에 의한 집진 효율의 저하가 있기 때문으로 생각된다. Fig. 8-(b)는 인가전압 40kV의 경우로서, (a)에서와 같이 전기력이 주 집진메커니즘으로 작용하게 됨에 따라 원심력 효과는 다소 약하지만, 체류시간이 길어 하전량이 가장 많을 것으로 예상되는 유입유속 15m/s의 경우가 가장 높은 집진 효율을 보이나, Fig. 7-(b)에 비해 매우 낮은 집진효율을 나타낸다.

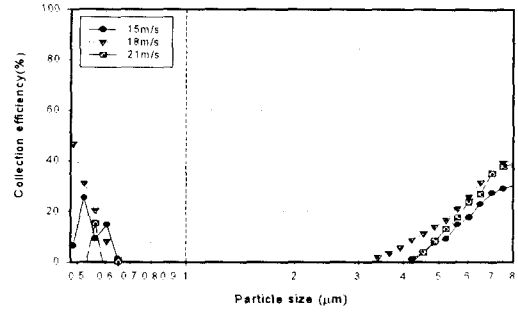


(a) Applied voltage, 0kV

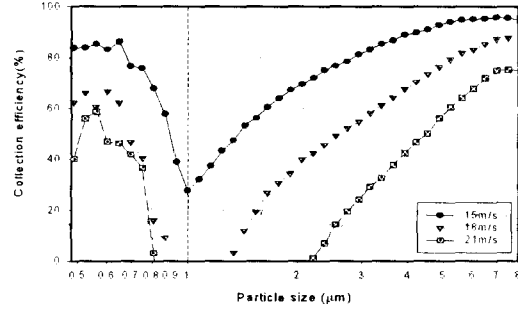


(b) Applied voltage, 40kV

Fig. 7. Collection efficiency for various inlet velocities (Bottom inlet, Inlet size: 15mm×30mm).



(a) Applied voltage, 0kV



(b) Applied voltage, 40kV

Fig. 8. Collection efficiency for various inlet velocities (Bottom inlet, Inlet size : 30mm×60mm).

3.4.2. 총괄 집진효율

유입유속 및 유입구 면적의 변화와 인가전압의 변화에 따른 전체적인 집진 효율의 경향을 살펴보기 위하여 다음과 같이 입경별 집진효율로부터 총괄 집진효율을 계산하였다(단, 입자는 구형으로 가정하여 계산함).

$$\eta_t(\%) = \frac{\sum(V_j N_{in,j} - V_j N_{out,j})}{\sum(V_j N_{in,i})} \times 100 \quad (3)$$

여기서, η_t 는 총괄집진효율, V_j 는 입경별 부피, $N_{in,i}$ 는 입경별 유입 입자수, $N_{out,i}$ 는 입경별 유출 입자수를 나타낸다. Fig. 9와 10은 하부 유입에서 유입구 면적 15mm×30mm 및 30mm×60mm인 경우의 유입유속 및 인가전압에 따른 총괄 집진효율을 비교한 것이다. Fig. 9의 유입구 면적 15mm×30mm의 경우, 유입유속 변화에 따른 집진효율의 변화는 크지 않으나, 인가전압 0kV에서 유입유속 15, 21m/s 일 때 총괄 집진효율은 33.0, 35.6%로 유입유속이 높아짐에 따라 원심력 효과의 증대로 인해 집진효율은 다소 상승하는 경향을 보인다. 기존의 실린더형 전기집진기는 선회류가 고려되지 않은 축방향의 수직 상방의 유동으로 집진특성은 전기력에만 의존되므로 인가전압 0kV에서는 집진 효과가 거의 무시될 수 있으나,

본 시스템의 경우는 위에서 언급한 집진 효과의 이점을 지닐 수 있다. 여기에 30, 40kV의 전압이 인가될 경우 총괄 집진효율은 앞서 임경별 집진효율 결과로부터 예측되듯이 낮은 유입유속인 15 m/s에서 98.6, 99.8%로 21m/s에서의 96.8, 99.5%에 비해 높게 다소 높게 나타나며, 전기력이 적용될 경우 본 시스템의 실험범위에서는 입자 체류시간이 집진 효율에 중요한 영향을 주는 것으로 생각된다. Fig. 10은 유입구 면적이 30mm×60mm인 경우로서, 유입구 면적의 증대와 이에 따른 처리유량의 증대(동일 유입유속 조건에서 4배)로 인해 총괄 집진효율은 앞서의 유입구 면적 15mm×30mm인 경우에 비해 낮은 효율을 보인다. 또한 인가전압 0kV에서는 유입 유속 18m/s의 경우가 15.8%로 가장 높은 효율을 보였으며, 유입유속 15, 21m/s에서 효율이 다소 감소하는 것은 원심력 효과의 감소 및 재비산의 증가에 의한 것으로 예측된다. 또한 30 및 40kV의 고전압이 인가되어질 경우 전기력이 주된 집진 메커니즘으로 작용하게 되어 따라, 체류시간이 긴 낮은 유입유속(15m/s)에서 가장 높은 효율을 보이며, 유입 유속이 18, 21m/s로 높아질수록 고전압 인가에 따른 집진효율의 상승 구배는 다소 둔화되는 경향을 보였다.

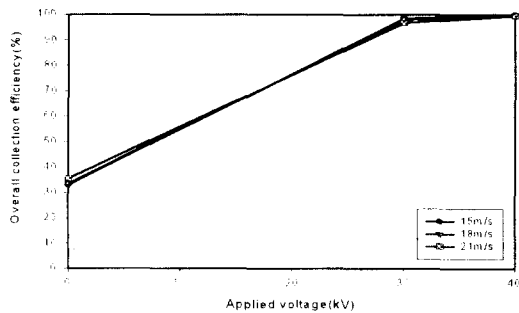


Fig. 9. Overall collection efficiency for various inlet velocities (Bottom inlet, Inlet size : 15mm×30mm).

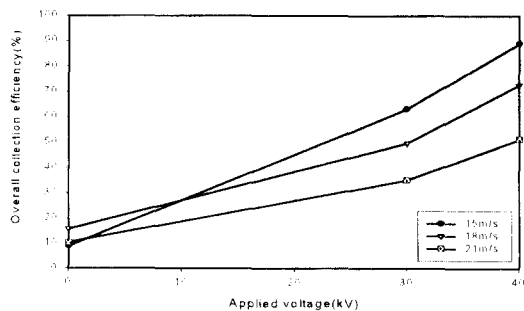
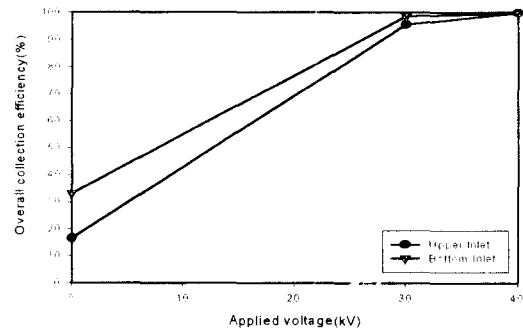
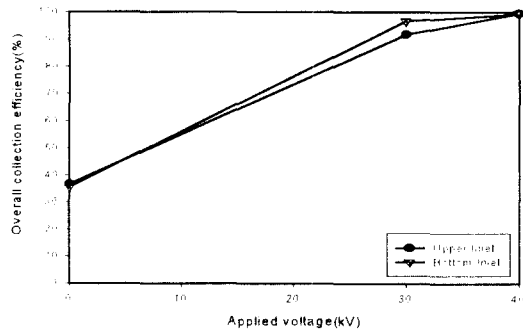


Fig. 10. Overall collection efficiency for various inlet velocities (Bottom inlet, Inlet size : 30mm×60mm).

Fig. 11-(a), (b)는 유입구 면적 15mm×30mm, 유입유속 15, 21m/s에서 유입방식(상부 및 하부 접선유입)에 따른 총괄 집진효율을 비교한 것으로, 하부 유입방식이 상부 유입방식보다 총괄 집진효율이 다소 높게 나타났다. 이는 상부 유입식의 경우 유출부가 하부의 분진 효과와 인접해 있어, 집진된 분진 중 일부가 유출부로 향하는 기류에 의해 재비산되어 출구쪽으로 빠져나가는 현상이 생기기 때문으로 생각된다.



(a) Inlet velocity, 15m/s



(b) Inlet velocity, 21m/s

Fig. 11. Comparison of overall collection efficiency between upper and bottom inlet (Inlet size : 15mm×30mm).

4. 결론

원심력 효과가 고려된 실린더형 전기 집진기의 유입유속, 인가전압, 유입구 면적 및 유입 방식 등의 실험적 변수에 의한 전압·전류, 압력 손실 및 집진 효율 특성에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 장치의 압력손실은 상부유입과 하부유입의 유입·출구 위치에 따른 차이는 미미하였으며, 입·출구 면적이 작을수록 높게 나타났으며, 최대 유입 속도인 21m/s에서 장치 압력손실은 63mmH₂O로 타고 효율 집진장치에 비해 매우 낮은 압력손실을 보였다.

2) 입구 면적 15mm×30mm, 유입유속 15~21m/s, 인가전압 0kV인 경우, 원심력 효과에 의해 유입유속이 증가할수록 집진효율도 상승하여 5 μ m 이상의 입자에서 30% 이상의 집진 효율을 보였다. 또한 40kV의 전압이 인가될 경우 입경 1 μ m 부근의 미세 입자에서도 70% 이상의 집진 효율 향상을 보였으며, 2.5 μ m 이상의 입경에서는 99% 이상의 높은 집진 효율을 보였다.

3) 총괄 집진효율은 입구면적 15mm×30mm 및 30mm×60mm에서 인가전압 0kV 인 경우 33~35%, 9~16%, 인가전압 40kV에서는 99%이상, 51~89%로 입구 면적 15mm×30mm가 30mm×60mm인 경우에 비해 높은 효율을 보였으며, 이는 동일 유입유속에서 입구 면적이 작은 경우 장치 내 체류시간의 증가로 인한 하전량 증대 및 유입 위치로부터 집진벽면까지의 이동 거리 감소로 인한 것으로 추정된다.

4) 하부유입 방식이 상부유입 방식에 비해 집진 효율이 다소 높게 나타났다. 이는 상부 유입 방식의 경우 분진 호퍼와 가스 출구가 인접해 있어 집진된 분진의 일부 재비산 효과가 있는 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 2000년도 전력기술 기초연구사업 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- 1) 대기 환경 보전법 시행규칙, 1993, 환경처.
- 2) Jaime Beitez, 1993, Process engineering and design for air pollution control, PTR Prentice Hall, 331~369, 414~449.
- 3) C. David Cooper, F. C. Alley, 1986, Air pollution control: A design approach, Waveland Press, Inc.
- 4) 田森行男, 1993, 여과집진 기술의 최근의 동향, 첨단환경기술, 1(2), 2~9.
- 5) 집진장치 핸드북, 1994, 대강서림 편집부.
- 6) Leith, D. and W. Licht, 1972, The collection efficiency of cyclone type particle collectors. A new theoretical approach, AIChE Symposium Series, 126(68).
- 7) 임경택, 1989, 대기오염방지공학, 동화기술.
- 8) Robert M. Bethea, 1978, Air pollution control technology : An engineering analysis point of view, Van Nostrand Reinhold Company.
- 9) 조용수, 여석준, 1996, 원통형 전기집진기의 전기유체역학적 해석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(3), 243-254.
- 10) Jaworek, A. and A. Krupa, 1996, Corona discharge from a multipoint electrode in flowing air, Journal of Electrostatics, 38, 187-197.
- 11) Oglesby, S. Jr. and G. B. Nichols, 1978, Electrostatic Precipitation, Marcel Dekkor Inc.
- 12) Watanabe, T., H. Fujinami, T. Takuma and Y. Sunaga, 1986, DC Corona discharge characteristics and ionflow distribution for several types of rods under low pressure, IEEE Transactions on Industry Applications, 1A-22(3), 547-553.
- 13) Haifeng Zhang, Goodarz Ahmadi, Fa-Gung Fan, John B. McLaughlin, 2001, Ellipsoidal particles transport and deposition in turbulent channel flows, Int. J. of Multiphase Flow, 27, 971-1009.
- 14) Plucinski, J., L. Gradon and J. Nowwicki, 1989, Collection of aerosol particle in a cyclone with an external electric field, Inst. of Chem. Eng., Warsaw Univ. of Tech., Poland, 695-700.
- 15) Cristina, S., G. Dinelli and M. Feliziani, 1991, Numerical computation of corona space charge and V-I characteristic in DC electrostatic precipitators, IEEE Transactions on Industry Applications, 1A-27(1), 147-153.
- 16) Borwardt V., Petroll J. and Scholtz J., The effect of particle size on the efficiency of separation by an electrostatic precipitator, Int. Chem. Eng. 29(2), 212~220.
- 17) Dietz, P.W., 1981, Electrically enhanced cyclone separators, Powder Technology, 31, 221-226.
- 18) Elmoursi, A. A. and P. Castle, 1986, The analysis of corona quenching in cylindrical precipitators using charge simulation, IEEE Transactions on Industry Applications, 1A-22(1).