

이온라이저 및 유전체 방식을 도입한 다층 다단 다공성 플레이트 시스템의 집진특성

Dust Collection Characteristics of Multi-layer Multi-stage Porous Plate System with Ionizer and Dielectric-substance

여 석 준*†
Seok-Jun Yoa*†

(접수일 : 2013년 04월 08일, 수정일 : 2013년 08월 26일, 채택확정 : 2013년 08월 27일)

Abstract: The main purpose of this study is to analyze the collection characteristics of multi-layer multi-stage porous plate system with ionizer and dielectric-substance experimentally. The experiment is carried out to analyze the characteristics of pressure drop and collection efficiency for the present system with experimental parameters such as applied voltage, inlet velocity, stage number and inlet particle concentration, etc. In results, for multi-layer multi-stage porous plate system of inflow type, at 5 stage and $v_{in}=2.58$ m/s, the pressure drop becomes lower 15 mmH₂O as 95 mmH₂O than that of non-inflow type system. It is estimated that for the present system with ionizer and dielectric-substance, the collection efficiency represents 98.5% showing higher 5.2% comparing to that of multi-layer multi-stage porous plate system without ionizer and dielectric-substance at 5 stage, $v_{in}=2.58$ m/s and inlet concentration 3 g/m³(fly ash).

Key Words : Ionizer, Dielectric-substance, Multi-layer Multi-stage Porous Plate, Pressure Drop, Collection Efficiency

— 기 호 설 명 —

P_1, P_2 : plate 전·후의 압력 [mmH₂O]
 m_{in}, m_{out} : 입·출구 중량농도 [g/m³]
 w : 튜브의 직경 [mm]
 Stk : Stokes 수
 C_c : Cunningham 보정계수
 F_c : 쿨롱힘 [N]
 q, Q : 각각의 전하 [C]

r : 두 전하 사이의 거리 [mm]

그리스 문자

ρ : 유체의 밀도 [g/cm³]
 ρ_p : 입자의 밀도 [g/cm³]
 η_t : 총괄집진효율 [%]
 μ : 점성계수(viscosity) [g/cm-s]
 ϵ : 유전율

*† 여석준(교신저자) : 부경대학교 환경공학과
E-mail : sjyoa@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6526

*† Seok-Jun Yoa(corresponding author) : Department of
Environment Engineering, Pukyong National University.
E-mail : sjyoa@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6526

1. 서 론

대기오염의 심각성으로 인해 대기오염물질 배출규제가 더욱 더 강화되어짐에 따라 각 산업체에 설치되어 있는 대기오염방지시설의 교체 및 보안을 위한 저비용·고효율 집진장치의 개발이 절실히 요구되고 있으며, 이에 따른 연구개발이 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 산업시설에서는 여과집진장치와 전기집진장치가 사용되고 있다. 그 중 여과집진장치는 기존 산업시설에서 가장 많이 쓰이고 있으며, 미세입자에 대한 집진효율이 높고 배기가스 내에 포함되어 있는 유해입자와 여러 형태의 입자를 집진할 수 있는 장점이 있으나 여과속도가 낮아 장치의 소요면적이 많이 요구되고 배출가스 온도에 따라 여재선택에 대한 제한성, 필터의 폐쇄로 인한 짧은 필터교체주기 및 과도제한 압력손실, 탈진에 소요되는 동력비용이 크다는 단점이 있다.

전기집진장치는 낮은 압력손실로 대용량의 배기가스 처리가 가능하고 단순한 구조로 유지 및 보수가 용이한 장점이 있지만 고효율을 얻기 위해서 많은 집진면적이 필요하고 이에 대해 장치의 대형화가 요구되는 단점이 있다. 따라서 이러한 문제점들을 개선하고 성능향상을 위한 연구가 필요하다.¹⁻³⁾ 이를 위해 본 연구실에서 이미 개발된 다층 다공성 플레이트 시스템은 임팩션 및 난류 확산 효과를 결합시켜 적정한 장치규모에 필터의 존도 없이 95% 내외의 포집효율을 유지할 수 있었지만 99% 정도의 고효율을 얻는 데는 한계가 있었다.

따라서, 본 연구에서는 다층 다단 다공성 플레이트 시스템에 이오나이저 및 유전체(저전압 탄소섬유방전극을 이용하여 가스를 이온화 시키는 장치) 방식을 도입하여 미세입자의 포집효율을 향상시켜 99% 이상의 고효율을 유지하기 위한 집진 시스템을 개발하는 것이 본 연구의 중요목적이다. 이오나이저 및 유전체 방식을 도입한 다층 다단 다공성 플레이트 시스템은 다층(복층) 및 다단(5 stage)으로 구성되며, 이웃하는 플레이트 및 stage에 직류전압을 인가해서 단 수를 증가시킬 때 마

다 절연체를 지그재그로 설치하여 서로 다른 극성에 의해 편극현상을 부가하였다.⁴⁾ 이오나이저에 의해 음이온으로 대전된 미세입자들은 유전체 방식에 의한 시스템의 정전기적 인력, 즉 쿨롱힘 및 black box 내의 전기장 효과에 의해 플레이트에 포집되고 이에 의해 집진효율을 증가시킬 수 있었다. 본 시스템의 특성분석을 위해 단 수, 유입유속(튜브통과유속), 유입분진농도, 분진종류, 이오나이저 및 유전체 인가전압에 따른 압력손실 및 집진효율의 특성변화에 대한 실험적 해석을 수행하였다.⁵⁻⁶⁾

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치로는 분진공급장치, D.C.전원공급장치 및 이오나이저(음이온발생부: 저전압 탄소섬유 방전극), 다층 다단 다공성 플레이트 시스템 본체, 유입유속, 압력손실 및 집진효율을 측정할 수 있는 계측시스템으로 구성되며 유입유속과 압력손실은 각각 Anemometer (model 6162, Kanomax LTD.), Differential Pressure Transmitter (midi LOGGER GL800, GRAPHTEC.)을 사용하여 계측하였으며, 집진효율은 중량법으로 측정하였다. Fig. 1은 본 실험장치의 전체 시스템에 대한 모식도이다.

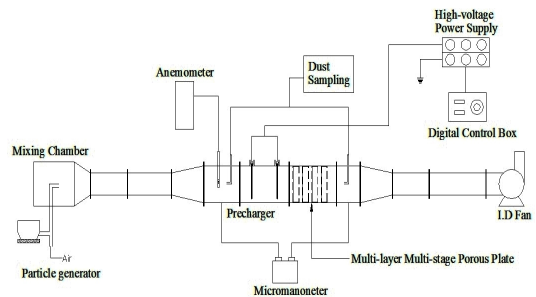


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 2는 다층(복층) 다공성 플레이트 시스템에서 분진이 포집되는 메커니즘을 나타내는 것으로서 분진을 포함한 기류가 유입될 때 충분한 관성을 가진 분진은 기류를 이탈하여 블랙홀을 통하여

블랙박스 내로 유입되어 포집된다.⁷⁾ 포집되지 않은 미세분진은 기류를 따라 다음 stage로 이동하는데 블랙박스 내로 기류유입을 의도적으로 유도하여 다음 stage로 이동하는 미세분진의 일부를 강제적으로 블랙박스 내로 유입되게 함으로써 미세먼지의 포집효과를 증대시킬 수 있다.⁸⁻⁹⁾

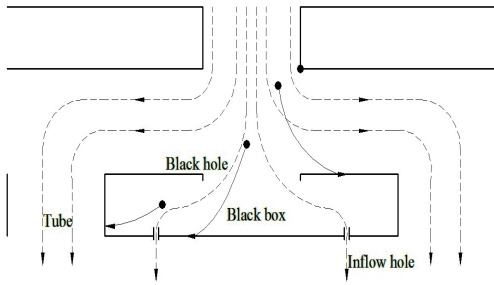


Fig. 2 Multi-layer porous plate system

Fig. 3은 Fig. 1의 다층(복층)의 다공성 플레이트가 다단(5 stage)으로 연결되어 있는 시스템에 이온라이저 및 유전체 방식이 도입된 집진시스템을 나타낸 것이다. 다층 다단 다공성 플레이트는 두께 1.2 mm의 steel plate에 내경 12 mm인 절연 튜브와 plate 상하에 지그재그 상으로 설치된 절연체로 구성하였다. 다층 다단의 플레이트는 튜브 위치가 교차되도록 구성하여 임팩션(impaction) 효과가 증대되게 하였으며, 분진을 함유한 기류가 튜브를 통과할 때 고속의 분사류를 형성하여 분진에 강한 관성력을 갖게 하여 black hole로 향하게 되어 기류 중의 분진이 포집공간(black box)으로 들

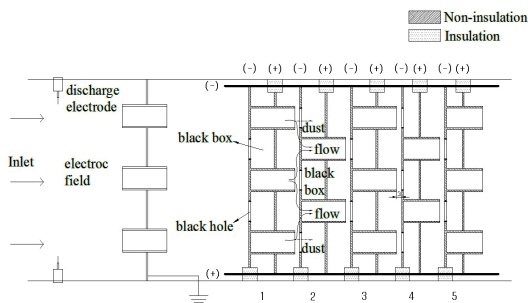


Fig. 3 Multi-layer multi-stage porous plate with ionizer and dielectric-substance

어와 퇴적될 수 있도록 하였다.¹⁰⁻¹²⁾

편극 전하 현상을 유도하기 위해 플레이트 각각에 상호 다른 전극이 인가되도록 하였으며, 기류 중 분진을 대전시키기 위해 이온라이저를 설치하여 정전기력 효과를 증대시키도록 구성하였다.¹³⁾

이온라이저는 3.5 kV의 저전압 탄소섬유 방전극을 사용했으며, 플레이트에는 2.5 kV의 전압을 인가하였다.

Fig. 4는 시스템 내부 stage의 블랙박스의 후면 플레이트 및 측면 단면도이다. inflow hole은 내경 4 mm로 제작되었으며 각 stage의 튜브 사이에 설치하였다. inflow hole을 설치하여 블랙박스 내로 기류유입을 유도하게 되면 블랙박스에 유입된 분진을 정전기력에 의해 포집효과를 증가시키고 시스템에 걸리게 되는 압력손실을 유량 분산에 의해 감소시킬 수 있으나 미세입자의 경우 black box에서 재비산 문제가 발생 할 수 있으므로 적절한 압력손실과 재비산 문제를 줄이기 위해 inflow hole을 조절 할 필요가 있다고 판단되어 실험은 기류유입을 유도하지 않았을 때(non-inflow), 기류유입을 유도하였을 때(inflow), 기류유입을 4, 5 단에만 유도하였을 때(mixed inflow)로 구분하여 진행하였다.¹⁴⁻¹⁵⁾

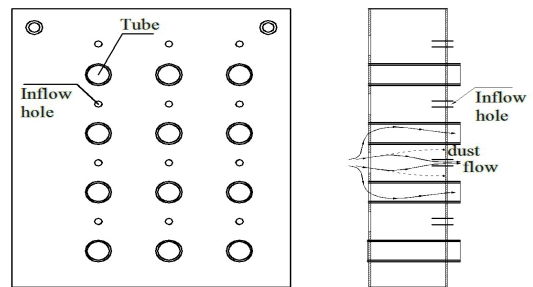


Fig. 4 Multi-layer multi-stage porous plate system with inflow current

따라서 본 장치의 다층 다단 다공성 플레이트 시스템은 구조적으로 단순하면서도 대용량을 처리할 수 있도록 하였으며, 재비산 문제를 방지하면서 입자에 전기력을 부가하여 미세입자에 대한 집진효율을 높이고자 하였다. 시스템 유입유속을

1.55, 2.07, 2.58 m/s (튜브통과유속 9, 12, 15 m/s)로 적용하여 처리유량이 0.73, 0.98, 1.22 m³/min이 되도록 설계하였으며 본 시스템의 특성을 해석하기 위한 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Description	Condition
Particle	fly ash, steel dust
Inlet velocity (m/s)	1.55, 2.07, 2.58
Tube velocity (m/s)	9, 12, 15
Tube diameter (mm)	12
Inflow hole (stage)	0, 1~5 stage, 4,5 stage
Stage number	1, 2, 3, 4, 5
Applied voltage (kV)	0, 2.5, 3.5(Ionizer)
Inlet concentration (g/m ³)	1.5, 3, 5

2.2. 실험용 분진

실험에 사용한 분진은 태안 석탄 화력발전소에서 채취한 fly ash와 steel dust를 사용하였다. 평균 입경은 Laser Diffraction Particle Size Analyzer를 사용하여 분진의 입경분포를 측정하였다. 분진의 입경범위는 0.3에서 300 μm의 범위를 가지며 부피기준으로 fly ash는 평균 입경이 각각 35, 45 μm이고 steel dust는 55 μm이다. 주 실험 분진은 부피 평균 입경 35 μm의 fly ash를 사용하였다. Fig. 5는 연구에서 주로 사용된 평균입경 35 μm의 분진을 Laser Diffraction particle Size Analyzer를 사용하여 먼지의 입경분포를 측정한 것이다.

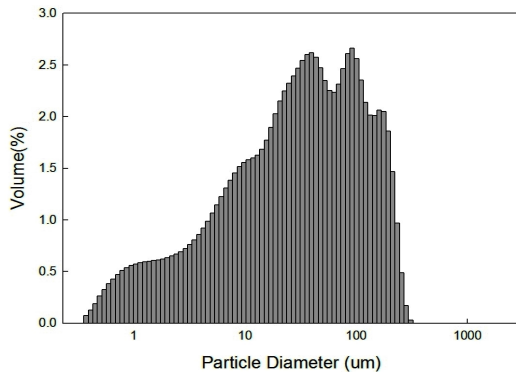


Fig. 5 Size distribution of test dust

3. 결과 및 고찰

3.1. 압력손실 특성

다층 다단 다공성 플레이트 시스템의 압력손실은 집진효율과 더불어 시스템 설계의 중요 인자가 된다. 본 시스템의 압력손실에 영향을 미치는 주요 실험변수로는 유입유속(튜브통과유속), 단 수, inflow hole 수 등을 들 수 있다. 압력손실은 다음과 같이 표현될 수 있으며, 이들 변수에 따라 압력손실 특성이 변화 될 수 있다.

$$P_1 - P_2 \propto f\left(\frac{1}{2} \rho v^2\right) \quad (1)$$

본 연구에서는 다층 다단 다공성 플레이트 시스템에 대한 압력손실 특성과 여기에 단 수의 증가, inflow hole 수에 따른 압력손실의 특성을 조사하였으며 본 실험에서는 계측기 Differential Pressure Transmitter (midi LOGGER GL800, GRAPHTEC.)를 통해 실시간 측정하였다.

3.1.1 기류유입이 없는 경우 단 수 증가에 따른 압력손실 특성

Fig. 6은 기류유입을 유도하지 않은 경우(non-inflow) 유입유속 $v_{in}=1.55, 2.07, 2.58$ m/s (튜브통과유속 $v_t=9, 12, 15$ m/s)일 때 단 수 증가(1→5단)에 따른 압력손실 변화 특성을 나타낸 것이다. 유입유속 $v_{in}=1.55$ m/s인 경우 3, 9, 16, 31, 39

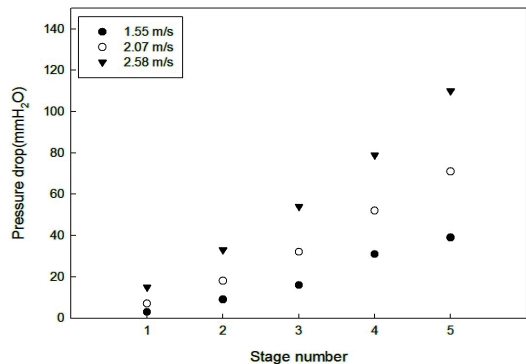


Fig. 6 Pressure drop with increasing stage number and inlet velocity for non-inflow current

mmH₂O, $v_{in}=2.58$ m/s에서 15, 33, 54, 79, 110 mmH₂O로 단 수 증가에 따라 장치저항이 커지면서 압력손실은 증가하며, 식 (1)에 의해 압력손실은 정확히 유속의 자승에 비례하여 증대됨을 알 수 있다.

3.1.2 기류유입을 유도한 경우 단 수 증가에 따른 압력손실 특성

Fig. 7은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 다층(복층) 플레이트 시스템에서 후면 플레이트에 다수의 홀을 형성하여 블랙박스 내에 기류유입을 유도한 (inflow) 경우, Fig. 6과 동일 실험조건에서 단 수 증가에 따른 압력손실 특성을 나타낸 것이다. 유입유속 $v_{in}=2.58$ m/s에서 단 수 증가에 따라(1→5 단) 9, 28, 53, 72, 95 mmH₂O를 나타낸다. 기류유입을 유도하지 않은 경우와 비교하여 압력손실은 낮게 나타남을 알 수 있으며, 5 단, $v_{in}=2.58$ m/s에서 압력손실은 110 mmH₂O에서 95 mmH₂O로 15 mmH₂O 정도 낮출 수 있었다. 이는 기류유입에 의한 유량분산에 의해 튜브통과 속도가 낮아지면서 통과유속의 자승에 비례하면서 압력손실은 작아지기 때문이다.

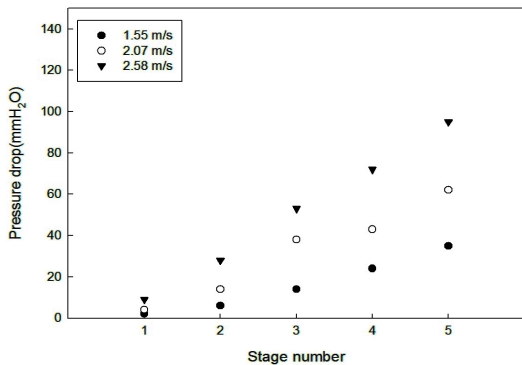


Fig. 7 Pressure drop with increasing stage number and inlet velocity for inflow current

3.1.3 기류 유입 유무 및 부분 기류 유입에 따른 압력손실 특성 비교

Fig. 8은 유입유속 $v_{in}=2.58$ m/s에서 단 수 증가에 따른 기류유입 유무에 따른 압력손실을 비교한

것이다. 여기서 mixed inflow는 기류유입을 유도할 경우 유량 분산에 의해 압력손실은 낮출 수 있으나 기류유입에 의해 블랙박스 내에서 입자의 재비산이 예상되어 적절한 압력손실과 집진효율을 얻기 위해 기류유입을 4, 5 단에서만 유도한 경우를 의미한다. 5 단에서 기류유입을 유도하지 않은 경우(non-inflow) 압력손실은 110 mmH₂O, 기류유입을 4, 5 단에서만 유도한 경우(mixed inflow) 101 mmH₂O, 기류유입을 모든 단에서 유도한 경우(inflow) 95 mmH₂O로 나타난다. 모든 단에서 기류유입을 유도한 경우 압력손실이 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.

3.2. 집진효율 특성

본 연구에서는 집진효율 특성을 파악하기 위해 장치 입·출구에서 분진을 포집하여 중량농도를 측정하여 다음 식에 의해 집진효율을 계산하였다.

$$\eta_t = 1 - \frac{m_{out}}{m_{in}} \quad (2)$$

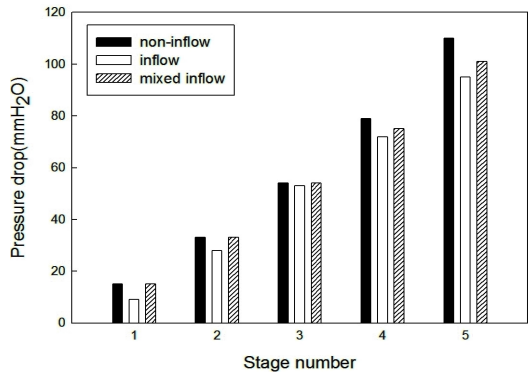


Fig. 8 Comparison of pressure drop with increasing stage number and inflow current

본 연구에서 집진효율에 영향을 미치는 주요변수는 유입유속(튜브통과유속), 단 수, 인가전압, 이오나이저, 기류유입이며 집진효율에 작용하는 주 메커니즘은 관성력에 의한 임팩션 효과와 미세입자에 대한 난류확산, 브라운 운동효과 및 정전기력이 될 수 있다.

3.2.1 이오나이저 및 유전체 방식을 도입하지 않은 시스템의 집진효율 특성

Fig. 9는 이오나이저 및 유전체 방식을 도입하지 않은 다층 다공성 플레이트 시스템(non-inflow)에서 유입농도 3 g/m³, 유입유속이 1.55, 2.07, 2.58 m/s 일 때 단 수 증가에 따른 집진효율 특성을 나타낸 것이다.

유입유속 $v_{in}=2.58$ m/s에서 83.1, 86.4, 89.3, 92, 93.3%로 단 수와 유입유속이 증가할수록 집진효율은 상승하였다. 임팩션(impaction) 효과가 중요 메커니즘인 시스템에서 50% 효율의 절단입경 즉,

$$d_{p,cut} = \sqrt{\frac{9\mu w Stk}{\rho_p C_c v_t}} \quad (3)$$

으로 표현되며, 식 (3)에서 보는 바와 같이 v_t 즉, 튜브통과유속 증가에 따라 절단입경 $d_{p,cut}$ 은 감소되며, 즉, 임팩션(impaction) 효과의 증대에 의해 집진효율은 상승함을 알 수 있다.

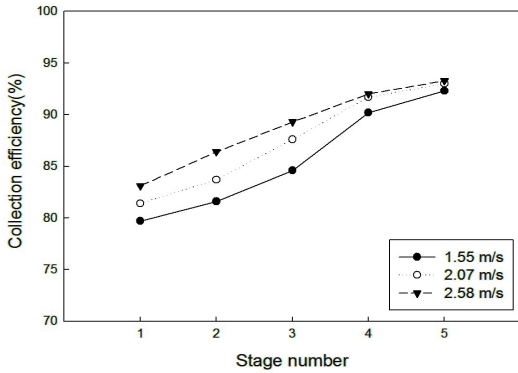


Fig. 9 Collection efficiency with increasing stage number and inlet velocity(non-inflow)

3.2.2 유전체 방식을 도입한 시스템의 집진효율 특성

Fig. 3에서 보는 바와 같이 유전체 방식은 각 stage에 2.5 kV의 전압을 인가하고 마주보는 플레이트가 각각 (-), (+) 극을 반복하는 지그재그 시스템이다. Fig. 10은 다층 다단 다공성 플레이트 시스템에 유전체 방식을 도입한 시스템(non-inflow)

에서 유입유속이 1.55, 2.07, 2.58 m/s 일 때 단 수 증가에 따른 집진효율 특성을 나타낸 것이다.

유입유속 $v_{in}=1.55$ m/s에서 집진효율은 stage 수 증가(1→5단)에 따라 80.6, 87.7, 89.3, 92.8, 93.1%로 증가하였으며 유입유속 $v_{in}=2.58$ m/s에서는 각각 85.7, 92.1, 93.3, 94.1, 95%로 증가하였다. 유전체방식을 도입한 경우 도입하지 않은 경우보다 실험조건 5 단, 유입유속 $v_{in}=2.58$ m/s에서 93.3%에서 95%로 집진효율이 증가함을 알 수 있다.

이는 유전체 방식을 도입하면 쿨롱힘(Coulomb Force)의 전기력에 의해 플레이트 사이에 정전기력을 형성시켜 편극 현상에 의해 후단으로 갈수록 잡히지 않은 미세입자에 대한 집진효율을 높일 수 있기 때문이라고 판단된다.

쿨롱힘(Coulomb Force)은 다음과 같이 표현된다.

$$F_c = \frac{qQ}{4\pi\epsilon r^2} \quad (4)$$

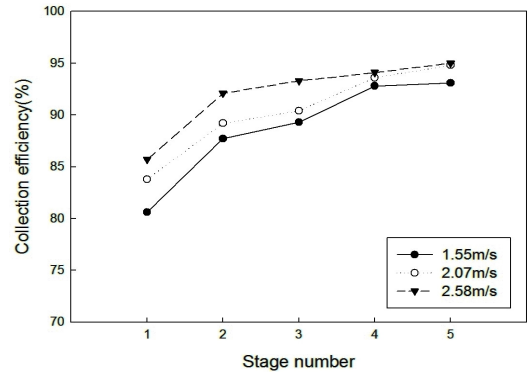


Fig. 10 Collection efficiency of dielectric-substance system with increasing stage number and inlet velocity (non-inflow)

3.2.3 이오나이저 및 유전체 방식을 도입한 시스템의 집진효율 특성

Fig. 11은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 시스템 전단에 3.5 kV의 이오나이저(탄소섬유방전극)를 설치하고 유전체 방식을 도입한 시스템(non-inflow)에서 유입유속이 1.55, 2.07, 2.58 m/s 일 때 단 수 증가에 따른 집진효율 특성을 나타낸 것이다. 유

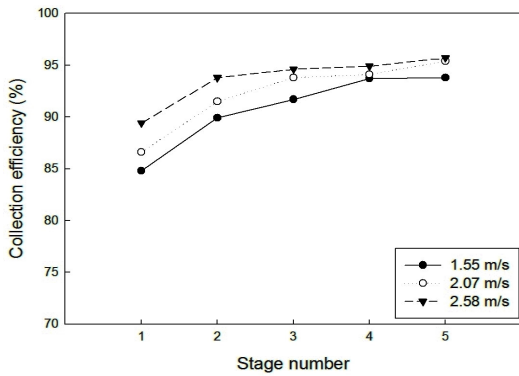


Fig. 11 Collection efficiency of ionizer and dielectric-substance system with increasing stage number and inlet velocity (non-inflow)

입유속 $v_{in}=1.55$ m/s에서 집진효율은 단 수 증가(1→5단)에 따라 84.8, 89.9, 91.7, 93.7, 93.8%로 증가하였으며 유입유속 $v_{in}=2.58$ m/s에서는 각각 89.4, 93.8, 94.6, 94.9, 95.9%로 증가하였다. 5 단, $v_{in}=1.55, 2.58$ m/s에서 집진효율은 93.8, 95.9%로 유전체 방식에 이온라이저 방식을 도입하지 않은 Fig. 10의 결과 93.1, 95%보다 높게 나타남을 볼 수 있다.

이는 이온라이저 방식에 의해 분진이 시스템 내부로 유입되기 전에 음전하로 대전되고, 대전된 입자들은 시스템 내부의 편극현상에 의한 (+)극 플레이트에 포집됨으로써 집진효율을 높일 수 있었기 때문이라고 판단된다.

3.2.4 기류유입 및 플레이트 설치에 따른 집진효율 특성 비교

Fig. 12는 본 시스템에서 기류 유입 도입 유무와 시스템의 이온라이저 및 1 단 앞부분 사이에 다공성 플레이트 설치 유무에 따른 집진효율을 비교한 그래프이다. 블랙박스내로 기류유입을 유도한 이유는 관성력이 약한 미세입자가 블랙박스로 유입되어 포집되도록 하기 위해서이며, 1 단 앞부분에 다공성 플레이트를 설치한 경우는 3.5 kV 이온라이저 방전극과 접지된 스틸 다공성 플레이트 간의 전기장을 형성하여 전기력에 의한 입자 포집을 유

도하기 위함이다. 그 결과, 5 단, 유입유속 $v_{in}=1.55, 2.07, 2.58$ m/s에서 집진효율은 기류유입이 없는 경우(non-inflow) 93.8, 95.4, 95.9%, 기류유입을 모든 stage에 유도한 경우(inflow) 93.2, 94.6, 95.7%, 그리고 기류유입을 4, 5 단에만 부분적으로 유도한 경우(mixed inflow) 93.7, 95, 96.7%로 나타남을 알 수 있다. 기류유입을 유도하는 경우(inflow) 관성력 외에 기류유입과 더불어 입자가 블랙박스내로 유입되어 블랙박스에서 기류유입이 없는 경우에 비해 다소 낮게 나타나며, 4, 5 단에 부분 기류유입의 경우(mixed inflow) 높게 나타나는 것은 블랙박스에 유입된 미세입자는 재비산되어 블랙박스 후면 배출공을 통해 배출되어 모든 stage에서 기류유입을 유도하는 경우보다 앞단에서 관성력이 약하여 잘 포집되지 않은 미세먼지가 후단 즉, 4, 5 단에서 기류유입과 더불어 미세입자가 블랙박스로 많이 유입될 수 있도록 하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

기류유입을 4, 5 단에만 적용한 경우(mixed inflow)에 다공성 플레이트를 수직으로 설치한 시스템의 경우 5 단, $v_{in}=1.55, 2.07, 2.58$ m/s에서 집진효율은 97.2, 97.7, 98.5%로 가장 높게 나타나며, 이는 전기장 효과에 의해 대전된 입자가 전기력에 의해 다공성 플레이트에 포집되기 때문이다.

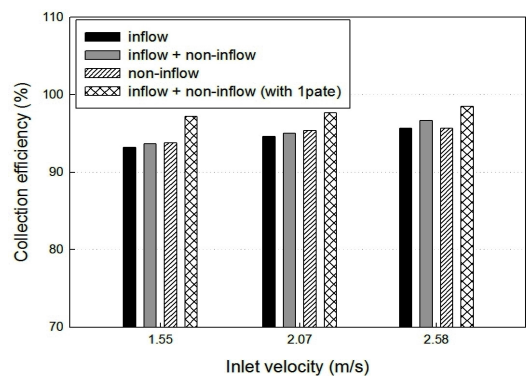


Fig. 12 Comparison of collection efficiency of MMPP system with inflow current, ionizer and dielectric-substance (with 1 plate)

3.3. 분진 농도 및 종류에 따른 집진효율 특성

Fig. 13은 이오나이저 및 유전체 방식을 도입한 시스템(mixed inflow)에서 분진 유입농도에 대한 집진효율 특성을 나타낸 것이다. 분진 평균 유입농도가 1.5 g/m³일 때 5 단, v_{in} =1.55, 2.07, 2.58 m/s에 대해 각각 92.5, 93.4, 95%를 나타냈으며 같은 조건에서 분진 평균 유입농도 3, 5 g/m³에 대하여 각각 93.7, 95, 96.7%, 및 96.5, 98.2, 99.4%로 유입농도가 커질수록 집진효율은 상승하였다.

이는 분진의 농도가 증가하면서 입자 운동에 영향을 주는 drag force가 감소하고 더욱이 농도증가로 인해 분진 간의 응집으로 평균입경이 커지는 효과가 더해져 관성력 증가로 인해 집진효율이 상승한 것으로 판단된다.

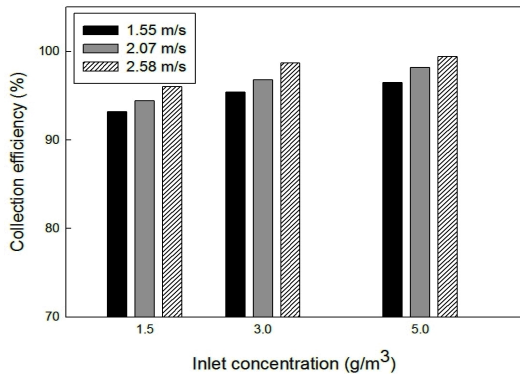


Fig. 13 Comparison of collection efficiency with inlet concentration and inlet velocity (5 stage, mixed inflow)

Fig. 14는 이오나이저 및 유전체 방식을 도입한 시스템에서 실험용 분진을 fly ash와 steel dust를 사용했을 때의 집진효율을 비교한 그래프이다. 5 단, 유입농도 5 g/m³에서 유속 변화에 따라 fly ash의 경우 96.5, 98.2, 99.4%이며, steel dust의 경우 95, 96.4, 97.7%를 나타냈다. 위의 결과에서 보듯이 steel dust의 경우 fly ash에 비해 집진효율이 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 steel dust를 사용하면 각 stage의 (-), (+) 극으로 대치하고 있는 플레이트 사이의 바닥면에 포집된 전도성 steel dust에 의해

전류가 흘러 각 플레이트의 편극 전하 현상에 의한 유전체 효과를 감소시키기 때문이다.

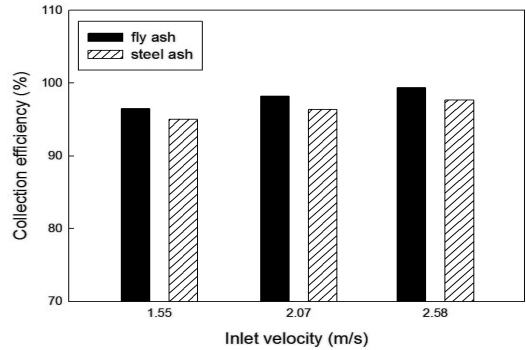


Fig. 14 Comparison of collection efficiency with inlet velocity for fly ash and steel dust (5 stage, mixed inflow)

4. 결 론

이오나이저 및 유전체 방식을 도입한 다층 다공성 플레이트 시스템의 집진 특성을 해석하기 위해 유입유속, 단 수, 인가전압 및 분진농도 등의 다양한 실험 변수에 따른 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기류 유입 없는 경우 유입유속 v_{in} =1.55, 2.58 m/s에서 단 수(1→5단) 증가에 따라 압력손실은 3, 9, 16, 31, 39 mmH₂O 및 15, 33, 54, 79, 110 mmH₂O로 증가되었으며, 유입유속 자승에 비례하여 압력손실이 커짐을 알 수 있다.

(2) 모든 stage(1, 2, 3, 4, 5 단)에서 기류유입을 유도한 경우 v_{in} =2.58 m/s에서 압력손실은 9, 28, 53, 72, 95 mmH₂O로 기류유입이 없는 경우에 비해 압력손실은 낮게 나타나며, 5 단에서 15 mmH₂O(110→95 mmH₂O) 감소됨을 알 수 있다.

(3) 다층 다공성 플레이트 시스템에서 v_{in} =2.58 m/s인 경우 단 수 (1→5단) 증가에 따라 83.1, 86.4, 89.3, 92, 93.3%로 집진효율은 증가하며, 후단으로 갈수록 집진효율 증가율은 낮아진다.(관성력이 큰 입자가 전단에서 포집되기 때문이다.) 유전체 방식만이 부가될 때 5 단, v_{in} =2.58 m/s에

서 집진효율은 95%, 이오나이저 및 유전체 방식이 부가되는 경우 95.9%를 나타낸다.

(4) 블랙박스 내로 기류 유입을 4, 5 단에만 유도하는 경우 5 단, $v_{in}=2.58$ m/s에서 집진효율은 96.7%로 기류유입이 없는 경우의 95.9%에 비해 약간 높게 나타남을 알 수 있다. 4, 5 단에 기류유입을 유도하면서 1 단 앞부분에 다공성 플레이트를 설치하는 경우 5 단, $v_{in}=2.58$ m/s에서 98.5%로 가장 높게 나타난다.

(5) 본 시스템(4, 5 단에 기류유입)에서 5 단, $v_{in}=2.58$ m/s 인 경우 분진 유입 농도 1.5, 3, 5 g/m³ 일 때 집진효율은 95, 96.7, 99.4%로 유입농도가 높을수록 효율은 증대됨을 알 수 있다. 동일 시스템에서 실험 분진이 steel dust인 경우 5 단, $v_{in}=2.58$ m/s 및 유입농도 5 g/m³에서 97.7%로 fly ash의 경우 99.4%에 비해 낮은 집진효율을 보인다.

사 사

본 논문은 2012년 부경대학교 기성회 연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. H. J. Kim, B. W. Han, Y. J. Kim, J. P. Yoon and K. S. Han, 2008, "Performance Tests on ESP with Indirect Discharge and Dielectric Collector", Proceeding of the 47th Meeting of KOSAE(2008) Korean Society for Atmospheric Environment, pp. 453-454.
2. H. J. Kim, B. W. Han, W. S. Hong, W. H. Shin, W. S. Oh, J. P. Yoon, K. S. Han and Y. J. Kim, 2009, "Collection of Submicron Particles via an ESP with Electrostatic Dielectric Collectors", Proceeding of the 48th Meeting of KOSAE(2009) Korean Society for Atmospheric Environment, pp. 559-560.
3. H. M. Yang and S. S. Kim, 1994, "Visualization of Particle Trajectories with Different Particle

- Sizes in Electrostatic Precipitator", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 1, No. 2, pp. 191-194.
4. A. Jaworek and A. Krupa, 1996, "Corona discharge from a multipoint electrode inflow air", Journal of Electrostatics, ??, pp. 187-197.
5. J. H. Ji, G. N. Bae, and J. H. Hwang, 2001, "Design and Performance Evaluation of a Three Stage Impactor", Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 17, No. 6, pp. 441-450.
6. D. R. Lee, 2012, "Pressure Drop Reduction and Heat Transfer Increase with Rheological Fluid Flows in a Circular Conduit", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 51-57.
7. I. K. Kim and S. J. Yoa, 2010, "Collection Characteristics of Multi-layer Multi-stage Porous Plate System", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 5, pp. 10-16.
8. C. R. Parcker, 1993, "Aerosol science and technology", Mcgraw-Hill Inc., pp. 131-132.
9. Swanson P. D., Muzzio F. J., Annapragada A. and Adjei A., 1996, "Numerical analysis of motion and deposition of particles in cascade impactors", International Journal of Pharmaceutics, Vol. 142, No. 8, pp. 33-51.
10. J. Y. Park, S. B. Han and S. H. Park, 2008, "A Study on the Effect of Magnetic Field in Electrostatic Precipitator for improving Precipitation Efficiency of Particulate Matter", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 22, No. 12, pp. 122-129.
11. J. I. Kim and S. J. Yoa, 1998, "An Experimental Study on Characteristics of Electrostatic Bag Filter with Precharging Type", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 20, No. 1, pp. 93-106.
12. J. I. Kim and S. J. Yoa, 1998, "Investigation of

Characteristics of Electrostatic Bag Filter with Discharge Electrode Shapes and Filter Properties”, J. KAPRA, Vol. 14, No. 3, pp. 237-250.

13. S. O. Kasap, 2005, "Principles of Electronic Materials and Devices-3rd Edition", McGraw-Hill, New York.
14. K. Willeke, X. Lin and S. A. Grinshpun, 1998, "Improved Aerosol Collection by Combined Impaction and Centrifugal Motion”, Aerosol Science and Technology, Vol. 28, No. 12, pp. 439-456.
15. K. M. Lee, Y. M. Jo and Kun Li, 2009, "Theoretical Study on the Electrostatic Effect for Aerosol Filtration”, Journal of Korea Society of Waste Management, Vol. 26, No. 1, pp. 52-58.