

원심력이 적용된 여과포집진장치와 기존 집진장치의 성능비교

Performance Comparison of a Fabric Filter System with Centrifugal Force and a Conventional Fabric Filter System

김 상 도* · 박 영 옥 · 강 용¹⁾
한국에너지기술연구원 청정에너지연구부
¹⁾충남대학교 화학공학과

(2004년 3월 2일 접수, 2004년 11월 22일 채택)

Sang-Do Kim*, Young-Ok Park and Yong-Kang¹⁾
Clean Energy Research Department, Korea Institute of Energy Research
¹⁾Department of Chemical Engineering, Chungnam National University

(Received 2 March 2004, accepted 22 November 2004)

Abstract

A hybrid dust-collector combining a fabric filter with centrifugal force was developed to enhance the performance of the conventional fabric filter systems and its performances were evaluated to compare to that of the existing dust collector. The pressure drop rapidly increased with increasing the elapsed time and the face velocity in two filtration systems. But the increasing ratio of a hybrid dust-collector compare to the existing dust collector was lower. This results were confirmed from the performance such as cleaning interval, residual pressure drop and dust loading rate. The overall collection efficiency of the hybrid dust-collector was more than 99.6% and this showed a improvement of 0.6~2% than that of the existing dust collector. Especially, the fractional collection efficiency at the particle size of around 1 μ m is about 4% higher than that of the existing dust collector.

Key words: Hybrid fabric filter, Fabric filter, Centrifugal force, Pressure drop, Collection efficiency, Fractional collection efficiency

1. 서 론

현대 산업의 급속한 발전으로 인해 불가피하게 생성되는 대기오염물질은 인체에 유해한 영향을 끼친다. 그 중 가장 유해한 오염물질로는 먼지입자라고 할 수 있는데, 이는 주로 산업체에서 유류 및 석탄연소공

정, 자동차, 제철/제강 공정, 시멘트 제조 공정 및 폐기물 소각공정 등의 각종 연소, 생산 및 제조공정에서 발생되고 있다. 먼지를 포집하기 위한 기술은 수십년 전부터 사용되어 왔지만, 대기환경보전법의 시행 및 기준치의 강화로 대기오염방지 분야에 대한 기술 개발이 급속히 발전하게 되었다.

대기오염방지 설비로는 싸이클론, 전기집진장치, 여과집진장치, 습식집진장치 등이 있는데, 싸이클론의 경우 적용이 간단하고, 설치비가 적기 때문에 가

*Corresponding author
Tel : +82-(0)42-860-3381, E-mail : sdkim@kier.re.kr

장 많이 적용되고 있지만, 미세먼지에 대한 집진효율이 낮아 주로 전기집진장치 또는 여과집진장치의 전단에 설치되어 조대한 입자를 제거하는데 주로 사용되고 있다. 현재까지 최고의 집진성능을 나타내는 것은 여과집진장치로 알려져 있다. 그러나, 여과집진장치는 여과포 표면에 부착되는 입자층에 의한 과도한 압력손실로 인해 동력비가 과다하게 소요되며, 여과포에 부착된 먼지층 제거를 위한 주기적인 탈진으로 인해 운전비 상승, 여과포의 교체 등으로 인한 유지·보수비 등 경제적 부담이 큰 단점을 가지고 있다(Ogawa, 1984).

그러나, 여과포 표면에 도달하는 먼지의 부하량을 줄이거나, 여과포 표면에 부착되는 먼지층을 균일하게 유지시키면 과도한 압력손실을 방지할 수 있고, 이로 인하여 탈진 주기 또한 감소시킬 수 있으며, 탈진 조작의 감소에 의한 여과포의 수명 증대로 인하여 여과포의 교체 시기를 연장시킬 수 있으므로 여

과포 집진장치의 운전 및 유지 보수비를 절감시킬 수 있다. 여과포 표면상의 입자 농도 분포를 균일하게 하기 위하여 Gregg and Davies (1992)는 여과포집진장치의 유입부에 분산판을 설치하였고, 여석준 (2000)은 집진용기의 하부에 접선방향으로 유입되는 하부유입식 원심여과집진장치에 대한 연구를 수행하였다. 박석주 등(2001) 및 Park *et al.* (2003)은 상부 접선유입방식의 여과집진장치에서 내통이 유동장 및 입자거동에 미치는 영향에 대해 연구를 수행하였고, Choi *et al.* (2002)은 여과집진장치 전단에 하전장치를 적용하여 하전된 먼지입자가 여과포 표면에서 다공성의 덴드라이트(dendrite) 구조를 형성하게 되고 이로 인해 여과성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 원심력이 적용된 여과집진장치가 기존에 적용되던 사이클론과 여과집진장치가 직렬로 연결되었을 경우와 성능을 비교해보기 위하여 여과 속도에 따른 압력손실, 탈진간격, 잔류압력손실, 부분

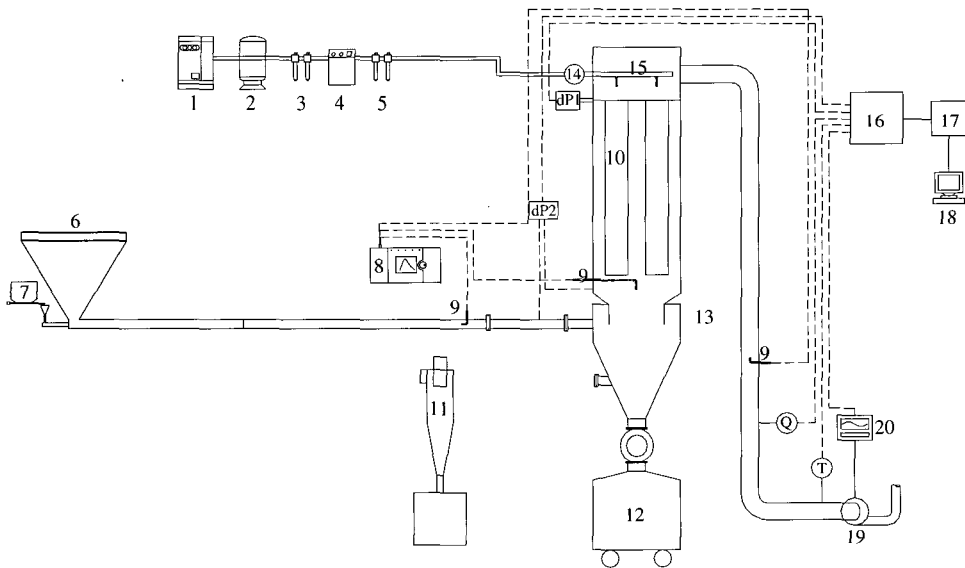


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup.

1. Air compressor	6. HEPA filter	11. Cyclone	16. Main control box
2. Air tank	7. Feeder	12. Dust box	17. A/D converter
3. Pre-heater	8. APS	13. Inner tube	18. Computer
4. Air dryer	9. Sampling probe	14. Air header tank	19. I.D. Fan
5. Final filter	10. Bag filter	15. Blow tube	20. Phase inverter

집진효율 및 집진효율 등을 살펴보았다.

2. 실험 및 방법

2.1 실험장치

실험장치의 공정도를 그림 1에 나타내었다. 실험장치는 시험용 먼지 공급부분, 먼지 종류별 여과성능 및 탈진특성을 규명하기 위한 장치 본체 부분, 탈진 공기 공급 및 분사부분, 실험용 여과포집진장치에 통과하는 기체의 유량조절 및 배출을 위한 청정기체 흡인 부분, 먼지농도 측정부분, 차압 및 유량 제어, 자료 획득 및 처리 부분 등으로 구성되어 있다. 장치 본체 부분은 상부에는 여과포가 설치되어 있고, 하부에는 접선형으로 합진가스가 유입되며, 내통이 장착되어 있어 접선으로 유입된 합진가스가 바로 상부로 가는 것을 방지하도록 하였다. 또한 일반적으로 산업체에서 사용되고 있는 싸이클론과 여과포집진장치가 직렬로 연결된 장치와의 성능을 비교하기 위하여 표준형 싸이클론을 설계 및 제작하였고, 이를 장치 하부에 증앙으로 유입될 수 있도록 하였다. 표준형 싸이클론의 설계기준은 다수의 연구자들에 의해 보고되었다(Fayed and Ottoen, 1984). 본 실험에 적용된 싸이클론은 Lapple(1951)에 의해 제안된 설계기준에 따라 제작되었는데, 이는 보통 고효율 및 중효율 원심력집진기와 비교하여 보았을 때 몸통경에 대한 몸통길이 및 원추길이가 1:1.5와 1:2.5에 비하여 본 목적으로 설계된 싸이클론은 몸통경에 대한 몸통길이 및 원추길이가 1:2.0으로 동일하여 몸통길이는 고효율 및 중효율 원심력집진기에 비해 길고, 하부의 원추길이는 짧은 구조를 가지고 있다(김중석과 조병식, 1991). 따라서, 고효율 및 중효율 원심력집진기에

비해 압력손실이 적은 것으로 보고 되고 있어 Lapple에 의해 제안된 설계기준을 표준 싸이클론으로 하였다.

접선으로 유입되는 기류가 여과포로 바로 향하는 것을 방지하기 위하여 기존 싸이클론의 배출관 역할을 하는 것처럼 실험장치 내부에 하나의 판이 설치되었는데, 이를 내통이라 명명하였다. 여석준(2000)은 하부유입식 원심여과포집진장치의 연구에 있어 내부에 전혀 구조물이 없는 형태로 실험을 실시하였다. 그러나, 본 장치에 대한 그동안의 연구를 통하여 내통 존재가 기류 형성에 있어 중요한 역할을 하며, 내통의 수직 길이, 내통의 직경비에 따라 장치의 성능에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(손재익 등, 1998). 본 실험에서는 기존 집진장치와 비교를 위하여 단 하나만의 내통 치수를 선정하여 실험하였고, 사용된 내통의 치수를 그림 2에 나타내었다. 접선방향으로 유입되는 단면은 사각형 형태로 동일한 면적을 이용하였고, 유입부의 단면적은 0.002738 m^2 이다. 내통의 하부와 상부로 연결되는 부분은 큰 형태로 확장되며, 접선방향으로 유입된 기류의 와류 형성을 방지하기 위하여 내통부 상단면이 막히도록 하였다.

실험장치의 규격은 높이가 1,600 mm이고, 장치의 직경은 520 mm로 하였다. 집진장치 내부에 장착되는 여과포의 재질은 발수 처리된 폴리에스테르이며, 여과포의 규격은 직경이 130 mm이고, 길이가 600 mm로 총 4본을 장착하도록 하였고, 총 여과면적은 0.98 m^2 이다.

2.2 실험방법

시험용 먼지는 시멘트 공장에서 생산되는 시멘트를 사용하였고, 105°C에서 12시간 이상 건조한 후 사용하여 습도에 의한 영향을 방지하였다. 입경분포 및 유입먼지의 중량기준 평균입자크기는 $5.73 \mu\text{m}$ 이고, 개수기준 평균 입자크기는 $1.63 \mu\text{m}$ 으로 나타났다. 그림 3은 시험용 먼지인 시멘트의 중량기준 입자크기 분포를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 원심력이 적용된 여과포집진장치와 기존의 싸이클론과 여과포집진장치가 직렬로 연결되었을 경우 성능을 비교하기 위하여 압력손실 및 집진효율에 대한 특성을 비교하여 보았다.

장치로 유입되는 유량은 $1.96 \sim 3.92 \text{ m}^3/\text{min}$ 이며, 여과포를 통과하는 여과속도는 $2 \sim 4 \text{ m}/\text{min}$ 이고, 입구면

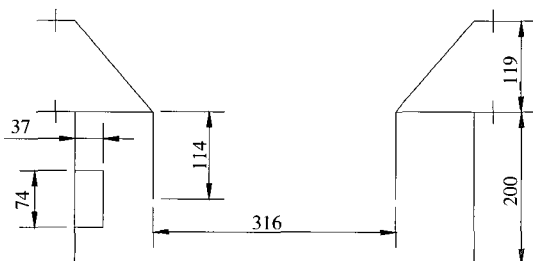


Fig. 2. Dimension of the inner tube (unit : mm).

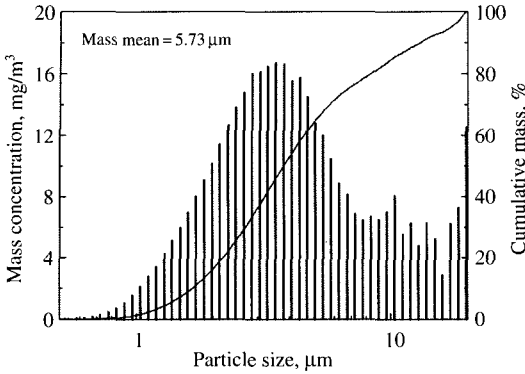


Fig. 3. Particle size distribution.

지농도는 $5 \sim 10 \text{ g/m}^3$ 으로 하였다. 통상적으로 공정에 적용되는 여과속도는 1 m/min 전후가 되지만, 본 실험에서는 소형규모의 장치이므로 유량이 적을 경우 유입되는 먼지입자들이 도중에 침강할 수 있는 우려가 있어 여과속도를 2 m/min 이상으로 적용하였고, 또한 원심력집진기의 경우 유입속도가 $15 \sim 18 \text{ m/sec}$ 인데(김중석과 조병식, 1991), 본 실험장치의 경우 본 실험 유량 범위에서 여과속도를 1 m/min 으로 하게 되면 6 m/sec 가 되어 원심력의 효과를 보기 어려울 것으로 판단하여 여과속도를 2 m/min 이상을 적용하였다. 본 실험장치의 유입부를 통과하는 유속은 $12 \sim 24 \text{ m/sec}$ 이며, 싸이클론이 연결된 경우에도 입구 단면적을 동일하게 해서 입구 유속을 같도록 하였다.

집진특성을 파악하기 위하여 입구 및 출구에서의 먼지농도를 측정하였다. 측정장비로는 입자갯수농도 및 입자중량농도를 동시에 측정이 가능한 TSI사의 APS(Aerodynamic Particle Sizer, Model 3321)를 사용하였다. 먼지농도 측정시간은 30 sec 이었고, 3분간격으로 자동으로 측정되도록 하였다. 먼지농도가 높은 입구부는 Diluter와 함께 사용하여 $1/100$ 비율로 입구농도를 희석하여 측정하였다.

본 실험장치에서 기존의 여과집진장치의 형태와 원심력이 적용된 여과집진장치와의 압력손실을 비교하기 위하여 여과포 전후 및 내통 및 싸이클론 전후에서 차압계를 설치하여 압력손실을 측정하였다.

여과포에 부착된 먼지는 pulse-jet 방식을 적용하였는데, 탈진압력은 4 kg/cm^2 , 탈진시간은 100 msec , 탈진간격은 여과포 전후의 압력손실이 $50 \text{ mmH}_2\text{O}$ 에

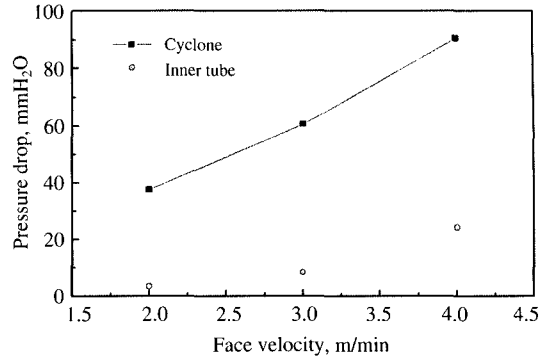


Fig. 4. Pressure drops along the face velocity.

도달하면 자동으로 탈진이 이루어지도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압력손실

여과집진기 설계에서 매우 중요한 변수의 하나가 압력손실이다. 압력손실은 여과집진기에서 처리가스를 유입 또는 배출시키는데 필요한 송풍기의 크기를 좌우하게 되며, 이에 따라 동력의 사용량 등이 결정된다. 즉 압력손실이 큰 여과집진기의 경우 큰 송풍기와 동력을 많이 필요로 한다. 따라서, 가능한 압력손실을 줄이는 것이 송풍기의 동력을 절약할 수 있어 경제적이 된다. 본 연구에 있어 새로이 개발된 원심력이 적용된 여과집진장치와 기존의 여과집진장치의 압력손실을 동일한 조건에서 비교하여 보았다.

그림 4는 싸이클론이 장착된 기존의 집진장치와 원심력이 적용된 여과집진장치에 있어서 청정한 여과포를 장착한 후 먼지가 공급되지 않았을 경우에 유입부와 출구부 간의 여과속도의 변화에 따른 압력손실을 나타낸 것이다. 싸이클론이 장착된 기존의 여과집진장치의 경우 입구 및 출구부에서 여과속도가 2 m/min 에서 4 m/min 으로 증가함에 따라 압력손실이 $37.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ 에서 $90 \text{ mmH}_2\text{O}$ 로 증가하였고, 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우 압력손실은 여과속도가 증가함에 따라 압력손실이 $3.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ 에서 $24 \text{ mmH}_2\text{O}$ 로 증가하였다. 이는 싸이클론이 장착된 기존의 여과집진장치의 경우 청정한 상태에서도 압력손실이 높게 나타나기 때문에 송풍기의 동력 사용량

이 더 많을 것으로 예상된다.

일반적으로 사이클론의 압력손실(ΔP_c)은 다음과 같은 식으로 표현한다.

$$\Delta P_c = \Delta H \left(\frac{1}{2} \rho_g v_i^2 \right) \quad (1)$$

여기서, ΔH 는 사이클론의 형상과 관련된 유입속도 수두수로 상수를 의미하며, ρ_g 는 기체의 밀도, v_i 는 유입 기체속도를 의미한다. Shepherd and Lapple (1939)에 제안된 유입속도 수두수(ΔH)는 식(2)와 같다.

$$\Delta H = 16 \frac{ab}{D_c^2} \quad (2)$$

이때 a 는 사이클론의 유입부 높이, b 는 유입부의 폭, D_c 는 배출관의 직경을 의미한다. 이외에도 여러 연구자들에 의해 유입속도 수두수를 구하는 식이 도출되어 있다(Fayed and Ottoen, 1984).

따라서, 사이클론의 압력손실은 주로 유입속도의 제곱에 비례하여 증가한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 실험된 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우에 있어서 위의 식을 적용하여 본다면 사이클론의 배출관과 같은 역할을 하는 내통직경이 매우 확대된 상태이므로 ΔH 값이 감소하게 된다. 따라서, 압력손실이 낮아질 것임을 예측할 수 있다.

여과집진장치는 먼지가 여과포에 부착되어 먼지층을 형성하게 되고 이 먼지층이 여과포의 공극을 막아 눈막힘 현상이 발생하게 되는데, 여과집진장치에서 여과포의 압력손실(ΔP_D)은 Darcy의 압력손실 식으로 나타낼 수 있다(Billings and Wilder, 1970).

$$\Delta P_d = K_1 v_f + K_2 C_i v_f^2 t \quad (3)$$

여기서, K_1 및 K_2 는 여재 및 먼지층의 저항계수, v_f 는 여과속도, C_i 는 여과재 먼지부하농도, t 는 여과시간, 우변의 첫째항은 청정 여과재에 의한 압력손실, 둘째항은 포집먼지층에 의한 압력손실을 의미한다. 보통 청정 여과재에 의한 압력손실은 필터 자체 특성이므로 거의 동일한 값을 갖는다. 따라서, 여과포의 압력손실은 식(3) 둘째항에서 볼 수 있는 것처럼 여과재 먼지부하농도와 여과속도가 중요한 인자로 작용하게 되며, 여과속도는 일정하게 유지되기 때문에 여과포로 유입되는 먼지부하농도를 감소시키는 것이 여과포의 압력손실을 감소시키는 방안이 된다. 본 연구에서는 여과포로 유입되는 먼지부하농도를 감소

시키기 위하여 원심력을 이용하여 장치의 벽면을 통해 1차적으로 집진이 이루어지게 하였다.

그림 5와 그림 6은 사이클론이 장착된 기존의 여과집진장치와 원심력이 적용된 여과집진장치에 있어 여과속도 및 입구먼지농도를 변화시키며 시간의 경과에 따른 압력손실 변화를 측정된 것이다. 이때의 압력손실은 여과포가 장착된 전후에서만 압력손실을 나타낸 것이며, 사이클론 및 내통에 의한 압력손실은 생략하였다. 실제로 내통에 의한 압력손실은 사이클론에 의한 압력손실에 무시할 만큼 적게 나타났다. 그림 5는 여과속도가 2 m/min인 경우이며, 압력손실이 50 mmH₂O가 되면 자동으로 탈진이 이루어지게 하였다. 두가지 그림을 비교하여 보았을 때 시간이 경과함에 따라 압력손실은 급격하게 증가하였고, 또한 탈진후부터 다음 탈진할때까지의 탈진주기가 초기에는 거의 유사한 것으로 나타나고 있지만, 시간이 경과되면 사이클론이 장착된 여과집진장치의 경우 탈진주기가 급격하게 감소하는 반면에 원심력이

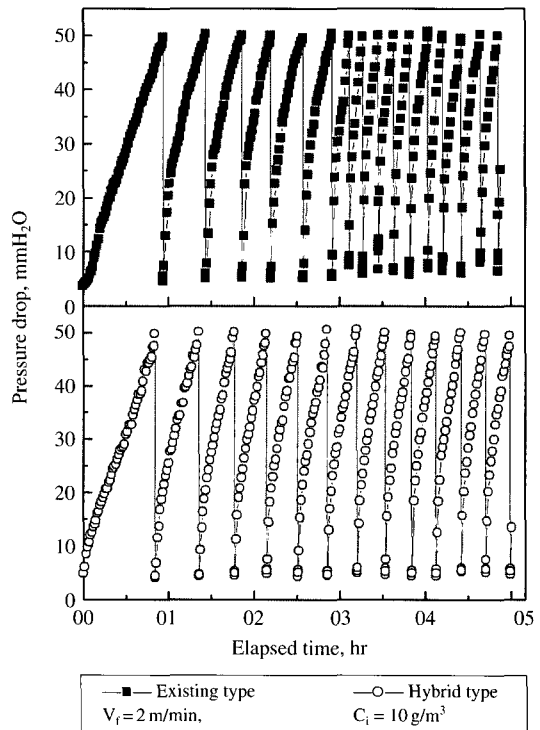


Fig. 5. Pressure drops along the elapsed time ($V_f = 2$ m/min).

적용된 여과집진장치의 경우에는 거의 일정한 주기를 가지고 있는 것으로 나타난다. 이는 그림 6의 여과속도가 4 m/min일 경우에도 유사한 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 여과집진장치는 유입된 기류가 상부에 있는 여과포로 바로 유입이 이루어진다. 따라서 여과포로 먼지부하량이 많아지게 되고, 여과포의 압력손실을 급격하게 증가시키게 된다. 또한 탈진된 먼지들이 바로 비산하여 재부착되는 경향이 높기 때문에 시간이 갈수록 탈진주기가 감소하게 된다.

여석준(2000)은 여과집진장치의 하부에 내통 없이 점선으로 유입되는 방식 및 하부의 중앙으로 유입되는 방식을 비교하여 실험을 실시하였는데, 점선유입시 선회류 형성으로 인하여 압력손실 감소에 기인한다고 하였다. 김상도 등(2004)은 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우에 있어 점선방향으로 유입된 유체는 외통과 내통 사이에서 강한 회전속도를 형성하며 하강선회하고, 부분적으로 내통벽면을 따라 상부의 외통 벽면으로 상승선회한다고 하였고, 또한 탈진된 먼지입자들은 중심부의 하강기류를 따라 먼지 배

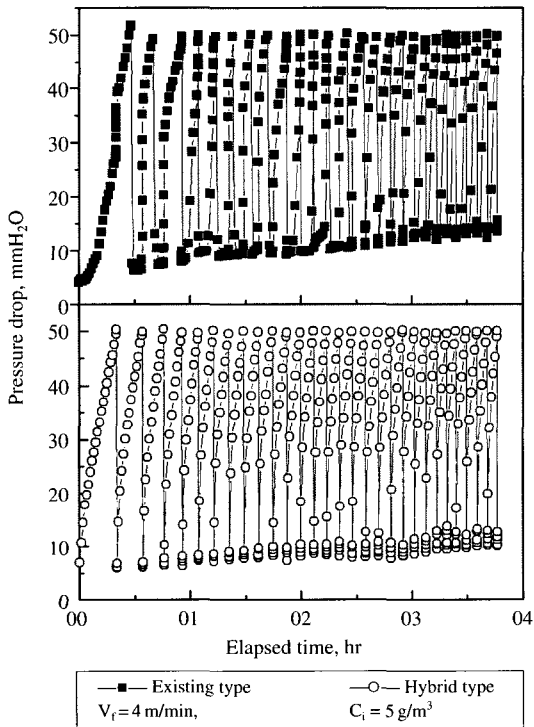


Fig. 6. Pressure drops along the elapsed time ($V_1 = 4\text{ m/min}$).

출부로 쉽게 하강하는 것으로 보고하였다.

따라서, 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우에는 유입되는 먼지는 1차적으로 원심력에 의해 벽면에서 집진이 이루어지고, 또한 상부로 상승하는 기류가 바로 상승하지 않고, 나선형으로 상부로 상승하기 때문에 상승된 먼지가 여과포에 직접 부착되는 것을 지연시켜주는 역할을 하게 되며, 탈진된 먼지입자들이 중심부의 하강기류를 따라 하부로 침강하기 때문에 기존의 여과집진장치에 비해 압력손실 변화가 적게 되어 탈진주기가 비교적 안정적으로 나타난다고 할 수 있다.

이와 같은 결과는 그림 5와 그림 6의 결과로부터 탈진횟수에 따른 탈진간격 변화 및 탈진후의 탈진압력손실 등의 결과로부터 확인할 수 있다.

그림 7은 두 가지 여과집진장치의 경우에 있어 탈진횟수의 증가에 따른 탈진간격을 비교하여 나타낸 것이다. 탈진간격의 감소는 여과포로 부착되는 먼지의 양이 상대적으로 많기 때문에 탈진을 자주해야 함을 의미한다. 여과속도가 2 m/min인 경우 싸이클론이 장착된 기존 여과집진장치의 경우에는 탈진간격

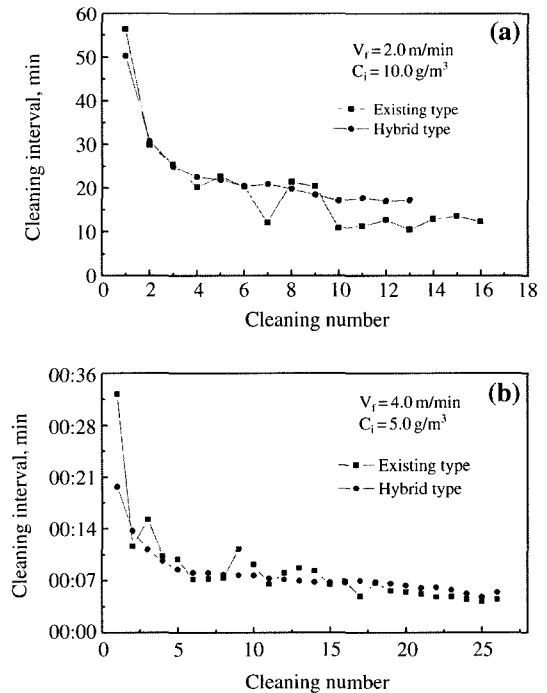


Fig. 7. Cleaning intervals along the cleaning counts.

이 초기에 55분에서 10회 탈진이 이루어진 후에 약 12분 정도로 급격하게 감소하여 약 78%의 탈진 감소율을 갖는 것으로 나타났다. 반면 원심력이 적용된 여과포집진장치의 경우에는 초기 50분에서 17분으로 감소하여 약 66%의 탈진 감소율을 갖는 것으로 나타났고, 탈진간격도 5분 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 여과속도가 4 m/min인 경우에는 싸이클론이 장착된 기존 여과포집진장치의 경우에는 초기에 33분에서 약 25회 탈진이 이루어진 후에 탈진간격이 5분으로 감소하여 약 85%의 탈진 감소율을 갖는 것으로 나타났다. 원심력이 적용된 여과포집진장치의 경우에는 초기 20분에서 5분으로 감소하여 75%의 감소율을 나타내었다. 그러나 여과속도가 4 m/min인 경우에는 시간이 경과된 이후에는 탈진간격이 5분 정도로 유사한 것으로 나타났다. 이는 원심력이 적용된 여과포집진장치의 경우에도 여과속도가 증가하게 되면 탈진후에 재비산되는 먼지의 양이 증가하기 때문에 탈진간격이 비슷해 지는 것으로 추정할 수 있다.

그림 8은 탈진횟수의 증가에 따른 잔류압력손실을 나타낸 것이다. 잔류압력손실은 탈진후의 초기압력손실을 말한다. 탈진횟수가 증가함에 따라 잔류압력손실은 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다. 여과속도가 2 m/min인 경우에 싸이클론이 장착된 기존 여과포집진장치의 경우 탈진횟수가 13회 되었을 경우 초기 잔류압력손실이 5.21 mmH₂O에서 7.66 mmH₂O로 증가하여 47%의 증가율을 나타내었고, 원심력이 적용된 여과포집진장치는 4.13 mmH₂O에서 5.14 mmH₂O로 증가하여 24% 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 여과속도가 4 m/min인 경우에 싸이클론이 장착된 기존 여과포집진장치의 경우 탈진횟수가 25회 되었을 경우 초기 잔류압력손실이 6.19 mmH₂O에서 13.44 mmH₂O로 117% 이상 증가하였지만, 원심력이 적용된 여과포집진장치는 5.98 mmH₂O에서 9.6 mmH₂O로 증가하여 60% 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 앞에서 설명하였던 것처럼 원심력이 적용된 여과포집진장치의 경우 선회류에 의한 먼지포집이 이루어지고 또한 중심부에서의 하강기류의 영향으로 인한 탈진된 먼지들이 쉽게 하강하기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

이상의 결과로부터 원심력이 적용된 여과포집진장치가 싸이클론이 장착된 기존 여과포집진장치에 비해 압력손실 증가가 낮다는 것을 알 수 있고 이를 통하여 원심력이 적용된 여과포집진장치에 의한 먼지부하량 저감효과가 있음을 알 수 있다.

3.2 집진효율

원심력이 적용된 여과포집진장치와 싸이클론과 여과포집장치가 직렬로 연결된 장치에 대한 집진특성을 알아보기 위하여 APS를 이용하여 입구 및 출구에서 먼지농도를 측정하였다.

총괄 집진효율은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\eta_r(\%) = \frac{\sum (V_j N_{in,j} - V_j N_{out,j})}{\sum (V_j N_{in,j})} \times 100(\%) \quad (4)$$

여기서, η_r 는 총괄 집진효율, V_j 는 입경별 부피, $N_{in,j}$ 는 입경별 유입 입자수, $N_{out,j}$ 는 입경별 배출 입자수를 나타낸다.

그림 9는 두 가지 집진장치 형태에 대한 여과속도에 따른 총괄집진효율을 나타낸 것이다. 싸이클론이 장착된 기존의 여과포집진장치는 총괄집진효율이 여과

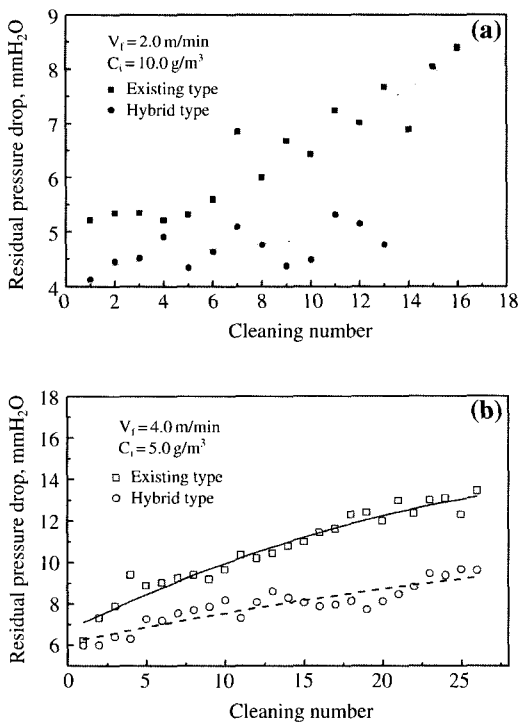


Fig. 8. Residual pressure drops along the cleaning counts.

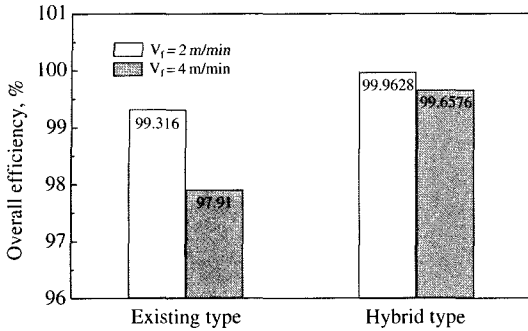


Fig. 9. Overall collection efficiency.

속도가 2 m/min인 경우 99.316%, 4 m/min인 경우 97.91% 이고, 원심력이 적용된 여과집진장치는 총괄집진효율이 여과속도가 2 m/min인 경우 99.9628%, 4 m/min인 경우 99.6576%로 나타났다. 따라서, 기존의 집진장치에 비해 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우 총괄집진효율이 0.6~1.7% 정도 높은 것으로 나타났다.

Gregg and Davies (1992)는 전형적인 여과집진장치의 유입부에 분산판을 설치하여 여과포 표면상의 입자농도 분포를 균일하게 하기 위한 방안에 대하여 보고하였다. 이는 합진가스 유입되는 부분에 다양한 분산판을 설치하여 여과포로의 기류가 어떻게 분배되는 지에 대하여 설명을 하고 있다. 또한 실제 이러한 분산판에 의해 유입되는 먼지들 일부가 관성충돌에 의해 집진이 이루어질 것으로는 예상된다. 그러나, 분산판에 의한 먼지가 집진되는 정량적인 자료는 찾아보기 어렵고, 또한 이러한 분산판 설치로 인해 장치 전체의 압력손실이 증가될 수 있어 동력 사용량을 증가시킬 수도 있다. 그러나, 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우에 있어서는 압력손실에 대한 실험결과에서 보았던 것처럼 유입 먼지에 의한 압력손실 증가가 기존의 여과집진장치에 비해 적으면서도 총괄집진효율이 향상됨을 알 수 있다. 실제 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우 선회류에 의한 먼지의 집진이 이루어지는 것 외에는 기존 집진장치와 큰 차이가 없다. 따라서, 이러한 결과를 토대로 원심력이 적용된 여과집진장치의 경우 선회류의 효과가 크게 작용함을 알 수 있다.

그림 10은 두 가지 장치의 경우에 있어 배출먼지

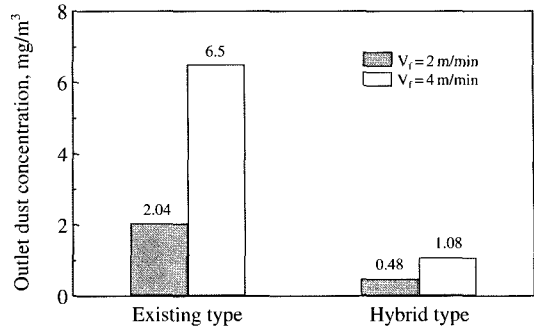


Fig. 10. Outlet dust concentration.

농도를 비교하여 본 것이다. 사이클론이 장착된 기존 집진장치와 원심력이 적용된 여과집진장치의 배출되는 중량농도를 비교해보면 여과속도가 2 m/min인 경우에는 기존 여과집진장치에 비해 배출먼지농도가 76% 이상 감소하였고, 4 m/min인 경우에는 83% 이상 감소하였다. 여과속도가 낮을 경우 높은 경우에 비하여 더 낮은 것으로 나타났다. 여과포에 의한 먼지 포집조작은 여과포의 기공에 포집되거나 여과포 표면에 포집된 먼지층에 의해서 포집된다. 후자의 경우 여과포와 먼지층을 통과하는데 기여하는 인자는 3가지로 직통(straight through), 압출(seepage) 및 불어나감(pinhole plugs)으로 정의하여 설명되고 있다 (Leith and First, 1978). 여과속도가 증가하게 되면 먼지는 큰 운동에너지를 가지기 때문에 먼지 입자들이 필터 내부로 침투하기 쉬워지게 되며, 압력손실 증가도 빨라지게 된다. 따라서, 직통, 압출 및 불어나감 등으로 인하여 배출되는 먼지농도가 커지게 되며, 따라서, 여과속도가 증가하게 되면 총괄집진효율이 감소하게 된다.

입경크기별에 따른 포집되는 비율을 부분집진효율이라고 하며, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\eta_f (\%) = \frac{N_{in,j} - N_{out,j}}{N_{in,j}} \times 100 (\%) \quad (5)$$

여기서, η_f 는 부분집진효율을 나타낸다.

그림 11은 두 가지 집진장치에 대한 부분집진효율을 비교하여 나타낸 것이다. 최소집진효율은 입자크기가 1.1 μm 부근으로 나타났고, 이때의 집진효율은 기존집진장치의 경우 77%, 하이브리드형 여과집진장

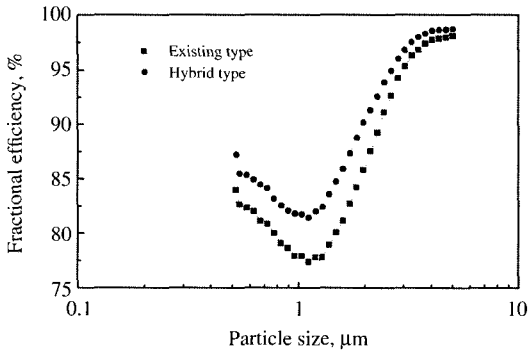


Fig. 11. Fractional collection efficiency.

치의 경우 81%로 나타났다. 여과포집진장치의 경우에 있어 입자가 큰 경우에는 주로 관성력 및 직접차단 효과에 의해 먼지입자들이 여과포에 포집되지만, 입자가 작은 경우에는 확산 및 정전력에 의해 주로 집진이 이루어지게 된다. 그리고, 직접차단 및 확산이 이루어지는 경계사이의 입자크기 범위에서는 두 가지 효과가 감소하기 때문에 상대적으로 집진효율이 낮게 나타난다. 따라서, 본 실험장치의 경우 1.1 μm 부근에서 최소집진효율을 나타낸 것으로 보아 이 이상의 입자크기에서는 관성력 및 직접차단효과에 의존하고 있으며, 그 이하의 입자크기범위에서는 확산 효과에 의존함을 알 수 있다. 그리고, 기존 집진장치의 경우 장치내로 유입된 먼지들이 여과포로 바로 상승하여 부착되지만, 원심력이 적용된 여과포집진장치의 경우에는 접선으로 유입된 선회류에 의해 벽면 등에서 포집이 이루어지 때문에 상대적으로 미세먼지입자의 집진효율이 기존집진장치에 비해 상승되기 때문이다.

4. 결 론

원심력이 적용된 여과포집진장치와 사이클론과 기존 여과포집진장치가 직렬로 연결된 두 가지 집진장치에 있어 동일한 조건을 적용하여 성능 실험을 실시하였고, 성능을 비교하여 보았다.

시간의 경과 및 여과속도의 증가에 따라 두 가지 집진장치에 있어서 압력손실이 급격하게 증가하였고, 기존 집진장치에 비해 원심력이 적용된 여과포집진장치의 경우 압력손실 증가율이 적은 것으로 나타

났다. 이는 탈진간격 및 잔류압력손실, 먼지부하율 등에 대한 성능비교 결과를 토대로 알 수 있었다.

총괄집진효율은 하이브리드형 여과포집진장치의 경우 99.6% 이상으로 사이클론과 연결된 기존의 집진장치에 비해 0.6~1.7% 정도 향상되는 것을 알 수 있었다. 특히 1.1 μm 부근의 미세먼지의 부분집진효율이 기존의 집진장치를 적용하였을 경우에 비해 우수한 것으로 나타났다.

이러한 결과를 토대로 원심력이 적용된 여과포집진장치가 기존의 집진장치에 비해 성능이 우수함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

김상도, 손재익, 박영욱, 정동규, 강 용(2004) 원심력이 적용된 여과포집진장치에서 유동장 및 입자거동 특성, 화학공학, 42(3), 318-325.

김종석, 조병식(1991) 대기오염방지기술, 2판, 동화기술, 520 pp.

박석주, 최호경, 김상도, 박영욱(2001) 접선유입방식 여과포 집진장치에서 내통이 유동장 및 입자거동에 미치는 영향, 화학공학, 39(4), 438-445.

손재익, 박영욱, 구철오, 김상도, 임정환, 김홍룡(1998) 산업용 직물여과포집진장치 국산화 개발, 제2단계 단계보고서, 환경부, 83-188.

여석준(2000) 하부유입식 원심여과포집진장치의 특성, 대한환경공학회지, 22(4), 639.

Billings, C.E. and J.E. Wilder (1970) *Handbook of Fabric Filter Technology*, Vol. 1, GCA Technology Division, Bedford.

Choi, H.K., S.J. Park, J.H. Lim, S.D. Kim, H.S. Park, and Y.O. Park (2002) A Study on the Characteristics of Improvement in Filtration Performance by Dust Precharging, Korean J. Chem. Eng., 19(2), 342-346.

Fayed, M.E. and L. Ottoen (1984) *Handbook of Powder Science and Technology*, Van Nostrand Reinhold Company Inc.

Gregg, W. and G.J. Daies (1992) Improving Pulse-Jet Dust Collector Operation; The Effect of Gas Stream Inlet Design, The User and Fabric Filtration Equipment VI, Proceedings of an International Specialty Conference, Toronto, Ontario, 37.

Leith, D. and M. First (1978) *Air Pollution Control Technology*, Van Nostrand Reinhold Company Inc.

Ogawa, A. (1984) *Separation of Particles from Air and Gases*,

CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.

Park, S.J., H.K. Choi, Y.O. Park, and J.E. Son (2003) Effects of a Shroud Tube on Flow Field and Particle Behavior Inside a Bagfilter Vessel, *Aerosol Science*

and *Technology*, 37, 685–693.

Shepherd, C.B. and C.E. Lapple (1939) Flow pattern and pressure drop in cyclone collectors, *Ind. Eng. Chem.*, 31, 972.