

원통형 절곡 집진필터의 여과특성

박현설, 박석주, 김상도, 최호경, 임정환, 박영옥
한국에너지기술연구원 대기청정기술연구센터

Filtration Characteristics of Cylindrical Pleated Filters for Dust Removal

H. S. Park, S. J. Park, S. D. Kim, H. K. Choi, J. H. Lim, Y. O. Park
Clean Air Technology Research Center, Korea Institute of Energy Research

서론

원통형 절곡 집진필터는 백필터라 불리는 기존의 일반 집진필터에 비해 단위 길이당 2~4배의 넓은 여과면적을 갖는다. 따라서 단위 처리용량당 집진설비 설치 공간이 감소하여 비용 절감 효과를 얻을 수 있다. 원통형 절곡필터는 필터 내부에 별도로 분리되는 형태의 지지체가 없기 때문에 다양한 방법을 이용하여 자체적으로 지지가능할 수 있도록 하고 있다. 원통형 절곡 집진필터의 자체적 지지를 위해 적용되는 방법으로는 집진필터 여재의 강도 향상과 집진필터의 구조 개선 통한 강도 향상, 그리고 내장형 지지체와 접착제를 이용한 강도향상 기술 등이 있다. 본 연구에서는 보다 다양한 절곡조건과 지지유지 방법이 적용된 원통형 절곡 집진필터를 제작하여 다양한 조건에서 실험을 수행하여 원통형 절곡 집진필터의 여과특성을 분석하고자 한다.

실험 방법

Metal cageless 집진필터의 최적설계를 위한 방법으로 본 연구에서는 다양한 형상의 실험용 집진필터를 제작하여 이에 대한 성능평가 실험을 수행하였다. 실험용 필터의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of cylindrical pleated dust filters

Items	Specification
Outer diameter of filters	150 mm
Length of filters	600, 900, 1200 mm
Pleat height	12, 20, 25, 30, 40 mm
Pleat count	20, 36, 50, 72, 90
Self supporting	Wire screen, Perforated plate, None
Filter media type	Calendered, Acryl form coated

위와 같이 다양한 형태의 필터에 대해 1800 m³/hr Pilot 실험장치를 이용하여 여과성능 실험을 수행하였으며, Pulse-jet 탈진실험을 병행하여 최적의 설계 변수를 결정하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 Pilot 실험장치 사진을 보여준다. 실험 유량은 조건별로 2대의 터보팬과 유량계, 그리고 제어밸브를 사용하여 조절하였다. 최대 처리 유량은 약 25 m³/min으로 실험조건이 제한유량을 초과할 경우에는 실험에서 제외하였다.

탈진실험은 절곡된 필터의 표면에 가속도계를 부착하여 탈진시 필터 표면의 진동을 측정하는 방법으로 수행하였다. 가속도계는 측정범위가 ±1000 g 이며 3개 채널을 이용하여 필터 길이 방향에 따른 탈진성능을 실험하였다. 탈진공기압력은 3기압(게이지압력)에서 7기압까지 변화시켰으며, 실험용 집진필터의 절곡조건별, 형태별 탈진성능을 평가하였다. Fig. 2는 실험에 사용한 가속도계와 증폭기를 보여준다.



Fig. 1. Photo of cartridge filter test unit.



Fig. 2. The accelerometer and amplifier.

실험에 사용한 원통형 절곡 집진필터는 앞서 언급했듯이 다양한 절곡조건과 형상을 갖고 있으며 길이는 600, 900, 1200 mm의 3종류를 사용하였다. 현재 국내에서 제조할 수 있는 최대 길이가 900 mm이기 때문에 1200 mm 집진필터는 600 mm 필터 2개를 직렬로 연결한 것이다. Fig. 3은 길이가 다른 필터의 형상을 보여준다. 탈진시험시 accelerometer의 부착위치는 600, 900 mm 필터의 경우 길이방향으로 1/4, 2/4, 3/4 지점이며, 1200 mm 필터의 경우에는 1/4과 3/4지점에 부착하였다. 탈진용 다이어프램 밸브는 1 inch 크기이며, 솔레노이드 밸브를 이용하여 충격기류를 생성시킨다. 솔레노이드 밸브의 열림시간은 50 msec로 하였다. 압축공기가 분사되는 노즐형태는 T형이며, 노즐의 직경은 10 mm이다. 이상과 같은 방법에 의해 실험용 cageless 집진필터의 강도 및 성능실험을 수행하였으며 그 실험결과는 다음 절에 정리하였다.



Fig. 3. Cylindrical pleated filters used in the present study.
(Left - 600 mm; middle-900 mm; right-1200 mm in length)

실험 결과

절곡필터는 유량과 절곡조건에 따라 집진성능이 크게 달라진다. 절곡산 사이의 간격이 너무 좁으면 절곡면 사이를 통과하는 유체의 마찰저항이 커지며 절곡산 사이의 간격이 크면 동일한 외형과 처리유량을 갖는 집진필터의 경우에 필터 표면적이 작아져 마찬가지로 압력손실이 증가하게 된다¹⁻²⁾. Fig. 4와 Fig. 5는 절곡조건과 여과속도에 따른 원통형 절곡 집진필터의 압력손실을 나타낸다. 절곡높이가 40 mm인 경우에 압력손실이 급격히 증가하는 것은 절곡면사이의 마찰손실 외에 필터 내부유로의 단면적이 대폭 축소되기 때문에 내부유로에서의 공기저항이 증가하기 때문이다. Darcy의 법칙에 따라 여과속도와 압력손실은 선형적으로 비례하였으며, 절곡 높이가 증가할수록 절곡면사이의 마찰저항이 증가하기 때문에 압력손실은 증가함을 알 수 있었다. 이러한 실험결과는 유량조건이 5 m³/min 이하인 경우에 대한 실험결과와 비슷한 양상을 보였다³⁾.

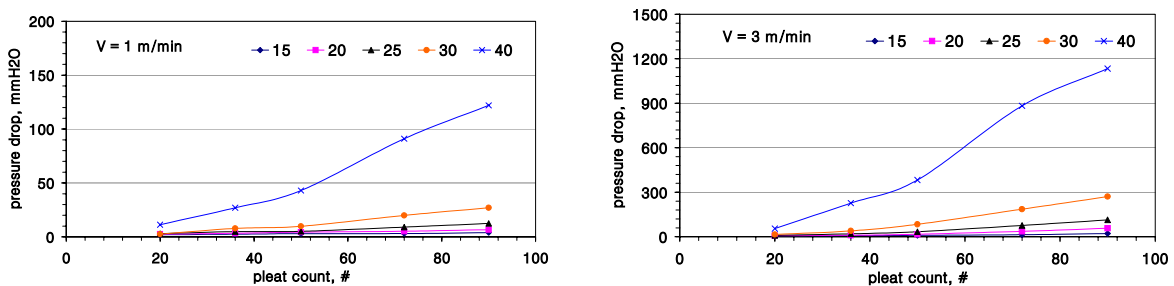


Fig. 4. Pressure drop of tested filters for various pleat shapes and face velocities.

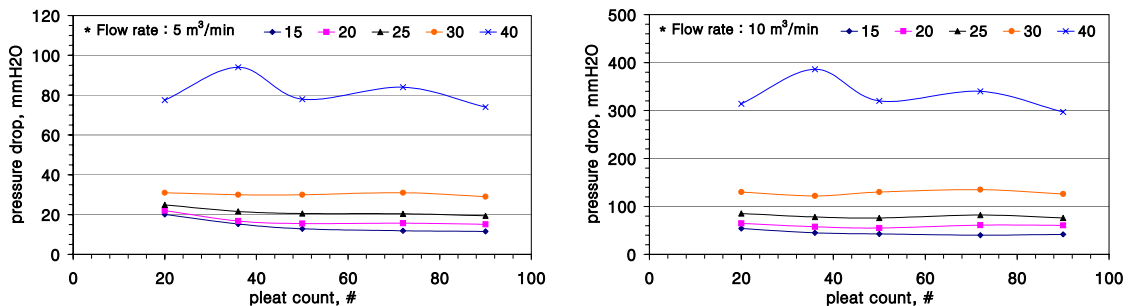


Fig. 5. Pressure drop of tested filters for various pleat shapes and flow rates.

원통형 절곡 집진필터의 최대 장점인 증대된 여과면적은 필터의 집진성능 중 유일하게 탈진성능에 역효과를 주게 된다. 집진필터의 탈진이 pulse-jet인 충격파를 발생하고 이를 이용하여 필터 표면에 강한 압력을 가해 부착된 먼지층을 털어내는 방법을 적용하고 있음을 상기한다면, 단위 길이당 여과면적이 증가하면 단위 면적당 충격은 감소하게 된다. 따라서 탈진 효율이 감소하게 된다. 이러한 절곡필터에서의 탈진성능 저감효과를 극복하기 위해서는 절곡필터의 강도, 집진효율, 압력손실외에 탈진효율을 주요 설계변수로 한 집진필터의 설계가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 절곡필터의 탈진성능을 예측하기 위한 방법으로 필터의 절곡면에 가속도계를 부착하여 탈진시 진동을 측정하였다. Fig. 6는 절곡높이가 25 mm인 절곡 필터의 절곡수를 변화시켜가며 가속도계를 이용하여 탈진성능을 측정한 결과이다. 절곡수가 증가함에 따라 필터표면에서의 진동(가속도)이 점차 감소함을 알 수 있다.

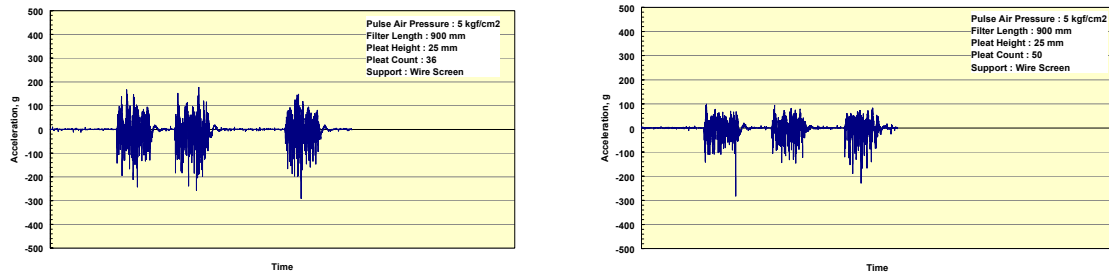


Fig. 6. Acceleration at the surface of the tested filter when the pulse jet cleaning is triggered.

결론

이상과 같이 본 연구에서는 절곡조건, 기타외형조건, 탈진조건에 따른 원통형 절곡 집진필터의 여과성능을 분석하였다. 원통형 절곡 집진필터는 패널형 절곡 공기정화 필터와는 달리 필터 길이방향으로의 유동에 의한 압력손실이 존재하며, 절곡높이가 증가할수록 기여도가 높아짐을 알 수 있었다. 탈진성능 예측 실험의 경우 가속도계를 이용하면 절곡 집진필터의 탈진성능을 충분히 분석할 수 있을 것으로 확인되었으며, 절곡수가 증가할수록 탈진효율은 감소하는 것을 알 수 있었다.

원통형 절곡 집진필터는 자체 지지를 기본으로 채택하기 때문에 동일한 사양의 필터에 대해 절곡수가 증가하는 방향으로 설계가 이루어져야 한다. 그러나 절곡수가 급격히 증가할 경우 압력손실이 동반하여 증가하며, 탈진효율이 감소하기 때문에 최적의 절곡수가 존재하게 된다. 원통형 절곡 필터의 설계 최적조건은 적용하려는 분진배출공정의 배가스 조건과 분진특성, 그리고 집진필터 여재의 특성 등에 따라 변한다. 본 연구에서는 동일한 여재의 집진필터에 대해 절곡조건과 운전조건을 변화하며 원통형 절곡 필터의 설계변수를 결정하는 실험만이 우선적으로 진행되었으나, 향후 여재의 특성과 처리기체의 특성을 모두 고려한 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

1. Chen, D., D. Y. H. Pui, and B. Y. H. Liu, , Optimization of Pleated Filter Designs, American Filtration Society Conference, Oct.5-6, Mineapolis/St. Paul. (1994)
2. Chen, D., D. Y. H. Pui, and B. Y. H. Liu, Optimization of Pleated Filter Designs Using a Finite-Element Numerical Model, Aerosol Science and Technology, 23:579~590 (1995)
3. 박현설, 박석주, 김상도, 최호경, 임정환, 박영옥, Metal-cageless 집진필터의 여과특성, 화학공학의 이론과 응용, 제7권 2호, 3699~3702 (2001)