대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 E pp. 154~157 KSME 01S534

원통형 카트리지 에어 필터(cartridge air filter)의 절곡 변수에 따른 집진 성능 변화

박현설, 박석주, 김상도, 최호경, 임정환, 박영옥

Effects of Pleating Parameters on Characteristics of Cylindrical Cartridge Air Filters

H. S. Park, S. J. Park, S. D. Kim, H. K. Choi, J. H. Lim, Y. O. Park*

Key Words: Dust Collection(집진), Cartridge Filter(카트리지 필터), Pleating(절곡), Pressure Drop (압력손실)

Abstract

The effects of pleating parameters on the performance of cylindrical cartridge air filters was experimentally studied. The tested filters are 150 mm in outer diameter and 700 mm in length. As the pleat count increases, the pressure drop across a cartridge filter is decreased for a constant pleat depth and flow rate. This is due to the increased filtration area which brings out less pressure loss of the filter. However, in the case of the filters having the pleat depth of 40 mm, the inner diameter of the cartridges is so small that the pressure loss is greatly increased.

1. 서 론

산업용 여과집진 장치에 사용되는 집진 필터는 적용조건에 따라 다양한 형상을 갖는다. 일반적으로 가장 널리 사용되는 형태는 원통형 백필터(bag filter)로 여과포를 원통형으로 만들어 집진 장치 내부에 길이 방향으로 장착하게 된다. 다른 형태의 백필터로는 포켓형(pocket type)이 있으며, 이는 집진 장치 내부의 공간을 충분히 활용할 수 있다는 장점을 갖는다. 이외에 대표적인 집진 필터로 카트리지(cartridge) 필터를 꼽을 수 있다. 카트리지 집진 필터는 여과포를 일정한 간격으로 절곡하여 여과면적을 배가한 것으로 동일한 크기의 일반 백필터에 비해 처리용량이 크다는 장점을 갖고 있다. 카트리지 필터는 형상에 따라 몇 가지로 분류되나, 가장 폭 넓게 사용되고 있는 종류는 원통형 카트리지 필터이다.

집진 필터는 우수한 집진 효율에 비하여 필터 자체에서의 압력손실이 크고, 집진시 먼지층이 필터 표면에 형성되면 먼지층으로 인한 압력손실이 가중되어, 흡입팬의 부하가 증가하게 된다. 따라서 주기적인 탈진조작에 의해 필터 표면의 먼지층을 탈리시키게 된다. 탈진방법으로는 기계적 진동방식, 역기류 방식, 충격기류 방식 등이 있고, 최근 들어서는 대부분 충격기류 방식을 사용하고 있다. 충격기류 방식은 고압공기를 순간

* 한국에너지기술연구원 집진기술연구센터

적으로 분사하면서 벤츄리(venturi)를 통과시켜, 이때 발생하는 충격파와 벤츄리에 의해 주변에서 유입되는 2차 유입공기의 압력으로 원통형 필터의 내부를 팽창시켜, 먼지층을 탈리하는 방법이다.

충격기류 방식은 간단한 조작방법과 우수한 탈진효율에 비해 장시간 운전시 필터의 손상을 초래할 수 있다는 단점을 갖고 있다. 따라서 필터의 수명을 연장하기 위해서는 탈진주기를 가능한 증가시켜야 한다. 일반적으로 탈진조작은 필터 전후의 압력손실이 일정한 한계값에 이르면 이루어지기 때문에 압력손실의 증가율에 따라 탈진주기가 정해진다. 압력손실의 증가율에 관여하는 요소로는 먼지농도, 여과속도(처리유량/여과면적), 처리기체의 온도, 먼지 입자의 형상 등이 있다. 따라서 동일한 먼지농도, 온도 조건에서는 여과면적이 클수록 압력손실의 증가율이 감소하게 되며, 탈진간격이 길어진다.

카트리지 집진 필터는 동일한 크기의 일반 백필터에 비해 2~4배 정도의 여과면적을 확보할 수 있기 때문에 동일한 처리유량에 대해서 탈진주기를 2배 이상으로 증가시킬수 있다. 또한 여과속도를 일반 백필터와 같게 할 경우, 적용되는 필터의 수를 줄일 수 있어 집진 장치가 차지하는 공간을 절약할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

이러한 카트리지 필터의 많은 장점에도 불구하고 카트리지 필터의 집진 특성에 관한 연구는 매우 저조하며, 대부분 필터 제조업체의 경험에 의해 산업체에 적용되고 있다.

카트리지 필터와 같은 절곡형 집진 필터는 절곡 조건에 따라 필터로서의 성능이 좌우된다. 절곡 조건으로는 절곡 깊이, 단위 길이당 절곡수, 절곡 형상 등이 있다. 이러한 절곡 조건에 따른 절곡형 에어 필터(air filter)에 대한 연구로는 자동차용 실내 공기정화용 에어 필터(automotive cabin air filter)와 산업용 가스 터빈 유입공기 정화용 에어 필터(turbine intake air filter) 등에 관한 연구가 있으며, 본 연구에서 다루고자 하는 원통형 카트리지 집진 필터에 관한 연구는 체계적으로 이루어지지 않고 있다.[1~2]

따라서 본 연구에서는 원통형 카트리지 집진 필터의 성능을 분석하기 위하여, 다양한 절곡 조건에 대한 실험을 통하여 원통형 절곡 필터의 최적 설계를 위한 기초 자료로 사용하고자 한다.

Table 1. Properties of tested filter media

Items		Values
weight, g/㎡		275
thickness, mm		0.62
elongation, %		40
air permeability, cc/㎠/sec @1/2" w.g.		14.2
collection efficiency, %	< 1 ㎛	16.7
	1~ 2 ㎛	62.5
	2~ 5 ㎛	84.1
	> 5 ㎛	100
pore size, ㎛		33

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험용 원통형 카트리지 집진 필터

본 연구에 사용된 집진 필터의 여재는 국내 K사의 제품으로 이에 대한 기본 물성을 Table 1에 자세히 나타내었다. 이러한 여재를 일정한 폭(절곡 깊이)으로 절곡한 후, 이를 원통형으로 만들고 양 끝단에 덮개를 씌워 에폭시 수지(epoxy resin) 등을 이용하여 접착시키면, 원통형 카트리지 집진 필터가 만들어진다. 본 연구에 사용된 원통형카트리지 집진 필터는 바깥 지름이 150 mm이고 필터 길이는 600 mm이며, 절곡 깊이로는 15 mm, 25 mm, 40 mm를 사용하였다. 또한, 각각의 절곡 깊이에 대하여 절곡수를 20, 36, 50, 72, 90로 하여 실험을 수행하였다. Fig. 1에 절곡수에 따른 집진 필터의 단면 형상를 나타내었다.

2.2 실험 장치 및 방법

원통형 카트리지 집진 필터의 성능 실험을 위한 실험장치는 Fig. 2와 같이 구성된다. 실험 장치는 먼지공급부, 필터구성부, 탈진장치부, 먼지농도 측정부, 차압측정부, 그리고 자료획득부로 구성되어 있다. 본 연구에서는 각 절곡 조건별로 여과속도에 따른 필터 전후에서의 압력손실 특성과 일정한 유량에서 절곡 조건에 따른 압력손실

변화 특성을 분석하였다. 필터 전후의 압력손실은 차압센서와 U자형 액주계를 동시에 사용하여 측정하였다. 유량조절은 출구 덕트내에 풍속계를 설치하여 유량을 측정하고 이 값을 이용하여 흡입팬의 회전수를 조절하는 방법을 사용하였다.

집진 필터 실험에 있어서 여과속도는 필터 표면에 유입되는 유체의 속도를 말하며, 유량을 필터의 표면적으로 나눈 값에 해당된다. 여과 속도는 적용 조건에 따라 약간씩 차이를 두고 있으나 일반적으로 1 ~ 3 m/min 사이의 값을 사용한다. 본 연구에서는 여과 속도를 1, 2, 3, 5 m/min로 하였으며, 필터의 절곡수가 많은 경우에는 흡입팬의 최대 유량 범위(약 5.5 ㎥/min) 내에서 실험을 수행하였다. 또한, 동일한 유량에서 절곡 조건별 압력 손실 특성을 알아보기 위해 유량을 1, 2, 3, 4, 5 ㎥/min로 하여 각 조건별 압력 손실을 측정하였다.

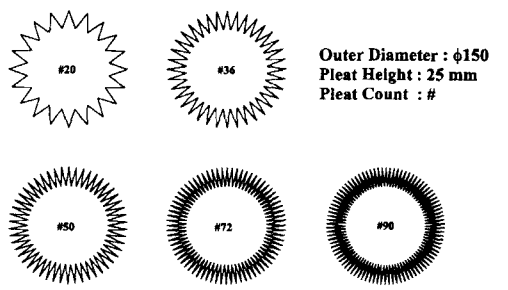

Fig. 1 Cross sections of cartridge air filters with different pleat counts

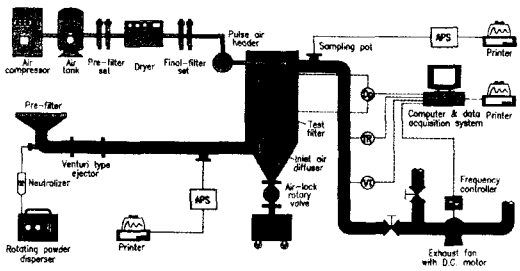

Fig. 2 Cartridge air filter test unit

3. 실험 결과

여과 속도를 변화시키면서 절곡 조건별 압력 손실 특성을 Fig. 3에 나타내었다. 동일한 여과 속도, 절곡 깊이에 대해 절곡수에 따라 필터의 압력 손실은 증가함을 보인다. 절곡수가 증가하면 절곡된 필터의 산 간격(pitch)가 좁아져 유체와 필터사이에서 에너지 손실이 증가하기 때문에 압력 손실이 증가하게 된다. 마찬가지의 이유로 절곡수와 여과 속도가 일정할 때, 절곡 깊이에 따라 압력 손실이 증가함을 알 수 있다. 절곡 깊이가 40 mm인 경우, 압력 손실이 다른 두 경우에 비해 월등히 크게 나타나는 이유는 외부 직경이 150 mm인 원통형 카트리지 필터의 내부 직

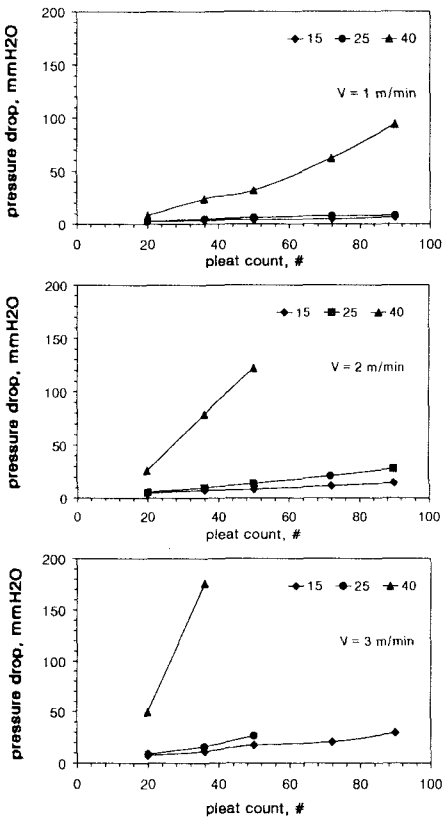

Fig. 3 Pressure drop characteristics of the cartridge air filters with different pleat counts and filtration velocities

경이 약 70 mm 정도까지 좁아져 동일한 유량이 통과할 경우 훨씬 큰 마찰 손실이 발생하기 때문이다.

Fig. 4는 절곡 조건별 유량에 따른 필터의 압력 손실을 보여준다. 유량이 같을 경우, 절곡수가 증가하면 여과 면적이 함께 증가하기 때문에 여과 속도가 감소하여 필터에서의 압력 손실은 줄어든다. 그러나 절곡수가 급격히 증가할 경우에는 절곡면 사이의 간격이 좁아져 압력 손실이 오히려 증가하게 된다. Fig. 4에서는 유량이 1, 2, 3 m^3/min인 경우의 압력 손실 특성을 나타내었다.

절곡수가 일정할 때, 절곡 깊이가 증가하면 여과 속도가 줄어들기 때문에 압력 손실이 감소하게 된다. 그러나 Fig. 4에서 절곡 깊이가 40 mm인 경우에는 오히려 압력 손실이 증가함을

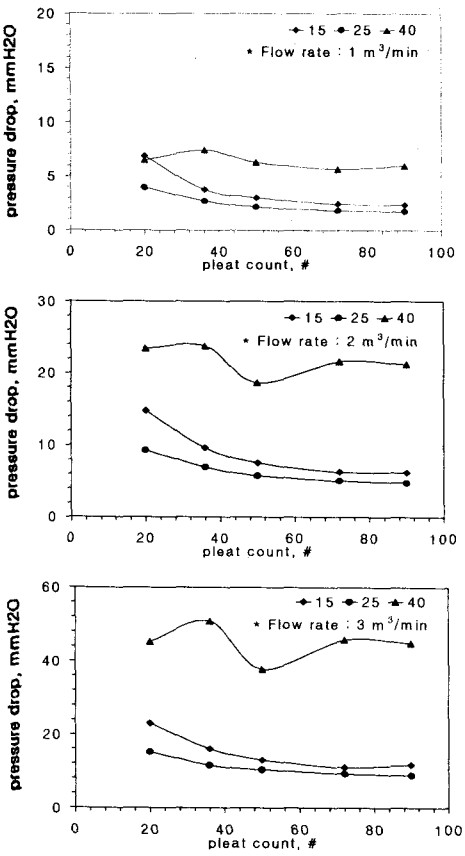

Fig. 4 Pressure drop characteristics of cartridge air filters with pleating parameters at a constant flow rate

볼 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 원통형 필터의 내부 통로가 좁아져 이로 인한 압력 손실이 크기 때문이다. 이러한 실험 결과는 평판형 절곡 필터를 사용한 결과와는 다른 경향을 보이며, 원통형 카트리지 필터만의 특성이라 할 수 있다.[1~3]

4. 결론

본 연구에서는 원통형 카트리지 필터의 성능을 실험적으로 분석하였다. 카트리지 필터의 절곡 조건별 여과 속도와 처리 유량에 따른 압력 손실 특성을 분석하였다. 절곡수와 절곡 깊이가 증가하면 여과 속도가 감소하고 따라서 필터에서의 압력 손실이 감소하게 되나, 원통형 카트리지 필터의 외경과 절곡 깊이의 비(ration)가 커질 경우에는 유체가 통과하는 필터 내부 단면적이 감소하여 오히려 압력 손실이 증가하는 경향을 보이게 된다.

본 연구는 카트리지 에어 필터의 절곡 조건에 따른 집진 성능 분석을 위한 기초 연구에 해당되며, 향후 실제 먼지 부하 조건에서 압력 손실, 집진 효율 및 탈진 성능 변화에 대한 연구가 진행될 예정이다.

참고문헌

(1) Chen, D., Pui, D. Y. H., and Liu, B. Y. H., 1994, "Optimization of Pleated Filter Designs", *American Filtration Society Conference*, Oct.5-6, Mineapolis/St. Paul.

(2) Chen, D., Pui, D. Y. H., and Liu, B. Y. H., 1995, "Optimization of Pleated Filter Designs Using a Finite-Element Numerical Model", *Aerosol Science and Technology*, Vol.23, pp.579～590.

(3) Yu, H. H. S. and Goulding, C. H., 1992, "Optimized Ultra High Efficiency Filter for High-efficiency Industrial Combustion Turbines", *ASME Gas Turbine Congress and Exposition.*