

먼지부하 저감형 하이브리드 여과집진장치(Hi-Filter)

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

A Hybrid Dust Collector(Hi-Filter) for Reducing Dust Load

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

1. 서론

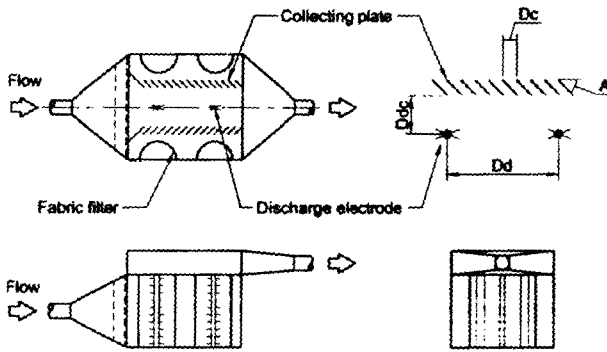
본 연구에서는 전기집진 기술과 여과집진 기술의 조합에 의한 먼지입자의 포집성능 상승 효과를 최대한 높일 수 있는 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치(Hi-Filter)를 개발하기 위해 실험실 규모의 장치를 이용한 실험을 통하여 장치의 최적 형상을 결정하고 그 성능을 검증하였다.

지금까지 미세 먼지입자의 포집효율을 향상시키고 집진필터의 수명을 연장시키기 위해 여과집진 장치에 전기집진 기술을 접목시켜 집진장치의 성능을 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 전기집진 기술과 여과집진 기술의 접목 방식에는 먼지하전부와 여과집진부를 서로 조합하는 먼지하전 여과집진 방식과 전기집진부와 여과집진부를 서로 조합하는 전기여과집진 방식으로 구분할 수 있다. 기존의 이러한 방식들은 모두 미세 먼지입자의 포집효율을 높이고 집진필터의 압력손실 상승을 억제하는 효과가 있으나 먼지하전 여과집진 방식의 경우 모든 먼지가 결과적으로 집진필터에 의해 포집되므로 처리 유량을 크게 높일 수 없고, 전기여과집진 방식의 경우 대부분 전기집진부와 여과집진부를 직렬로 배치시켜 각각의 집진부에 의해 독자적으로 집진조작이 수행되므로 이중 장치 접목에 의한 성능의 궁극적인 상승효과는 크지 않다¹⁾. 또한 최근에는 전기여과집진 방식의 하나로 전기집진부를 집진필터 사이에 배치시켜 전기집진 방식과 여과집진 방식의 조합 효과를 극대화할 수 있는 기술이 개발되었으나 전기집진부에서의 고전압 방전 스파크로 인해 집진필터가 손상되어 더 이상 운전이 불가능해지는 부작용이 나타나기도 하였다²⁾.

따라서 본 연구에서는 전기여과집진 방식 중 여과집진부 사이에 전기집진부를 배치하고 단일 장치로 조합시켜 미세 먼지입자에 대한 포집효율을 높이고 집진필터로 유입되는 먼지의 양을 줄이면서, 집진필터의 손상을 방지하여 집진필터의 성능과 수명을 향상시킬 수 있는 구조의 Hi-Filter를 개발하게 되었다.

2. 실험장치

가스 및 먼지입자 수평 유입조건에서 Hi-Filter 내부의 유동현상 분석과 내부 형상 변화에 따른 Hi-Filter의 성능변화 등을 시험하기 위해 실험실 규모의 실험장치를 제작하였다. [그림 1]에 실험실 규모 실험장치의 개략도를 나타내었다. 장치의 방전극 및 집진판은 형상 및 배치 변화가 가능하도록 제작되었으며, 내부 유동을 관찰할 수 있도록 외벽은 투명 아크



[그림 1] 실험실 규모 Hi-Filter의 개략도

릴로 제작하였다. 방전극으로는 원형 관에 다수의 가시모양의 바늘이 돌친 형태의 것을 사용하였으며, 집진판으로는 세로방향으로 긴 평판을 일렬로 배열시켜 사용하였다. 장치의 유입구로부터 유입된 먼지는 전기집진부를 거치면서 하전되어 집진판에 일차적으로 포집되고, 나머지 먼지는 집진필터에 포집되는데, 집진필터는 집진판을 기준으로 방전극의 반대편에 위치하기 때문에 방전극으로부터 발생하는

방전 스파크가 집진필터에 도달하지 못하게 된다.

코로나 방전을 위한 고전압발생장치는 음극 직류 전압을 발생시키며 최대 35kV까지 전압을 상승시킬 수 있다. 실험장치의 집진판을 접지시킨 상태에서 방전극에 인가되는 전압을 점차 증가시켜 가면 코로나 방전이 개시되어 [그림 2]의 (a)에 나타난 바와 같이 방전극과 집진판 사이에 전류가 흐르면서 푸른빛을 나타낸다. 그러나 지나치게 높은 전압이 인가될 경우 (b)에 나타난 바와 같이 날카로운 모서리에서부터 방전 스파크가 발생하게 된다.

3. 결과 및 고찰

먼저, Hi-Filter의 집진필터, 방전극, 그리고 집진판의 배치 구조를 결정하기 위해 실험실 규모 Hi-Filter를 이용하여 방전극과 집진판의 배치 및 형상에 따른 방전특성 및 집진특성 실험을 수행하였다. [그림 3]에 방전극과 방전극 간격(D_d)에 따른 Hi-Filter의 방전 특성을 나타내었다. 방전극간의 간격에 따라 방전전류의 변화는 큰 차이가 없으나, 방전극간의 거리가 증가함에 따라 방전전류가 증가하다가 방전극간 거리가 240mm를 넘어서면서 방전전류량이 다시 감소한다. 이것은 전기장의 간섭에 의해 나타난 결과라 판단되며, 상기의 결과를 바탕으로 방전극간의 거리는 240mm로 설정하였다.

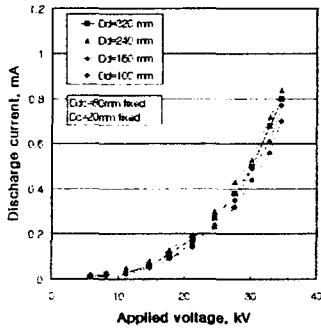
[그림 4]에 방전극과 집진판 간격(D_{dc})에 따른 Hi-Filter의 방전 특성을 나타내었다. 방전극과 집진판 간격을 줄이면 방전 전류량이 급격히 증가하는 경향을 나타낸다. 그러나 방전극과 집진판의 간격을 지나치게 좁히면 비교적 낮은 전압에서도 방전 스파크가 발생하게 되면서 운전이 곤란해진다. 따라서 방전극과 집진판간의 거리는 방전 스파크가 발생하지 않는 최소 거리인 80mm로 설정하였다.



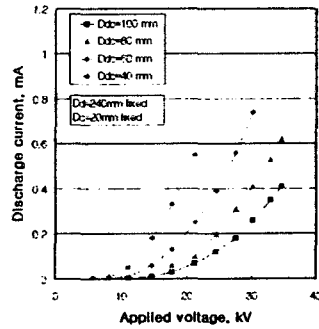
(a) 정상조건

(b) 과부하 조건

[그림 2] 인가전압에 따른 방전 특성



[그림 3] 방전극과 방전극 간격에 따른 방전특성

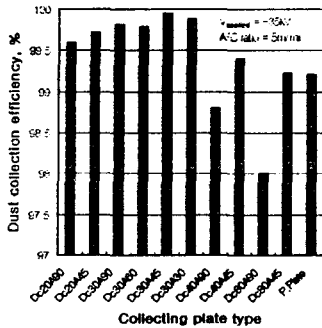


[그림 4] 방전극과 집진판 간격에 따른 방전특성

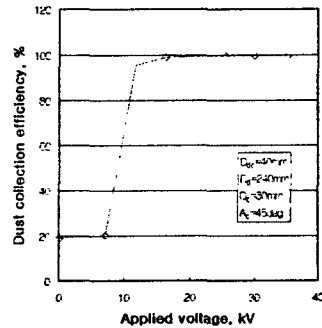
[그림 5]에 집진판간의 간격(D_c) 및 각도(A)에 따른 Hi-Filter의 먼지 하전특성을 나타내었다. 여기서 D_a 는 240mm, D_{dc} 는 80mm로 고정하였다. 집진판 간격 및 각도에 따른 성능특성은 먼지 포집특성을 분석하여 비교하였다. 실험용 먼지로는 대기중 먼지를 사용하였으며, 먼지의 분석에는 APS(Model 3320, TSI Inc)를 사용하였다. 먼지 포집특성은 집진필터를 설치하지 않은 상태에서 공기의 여과속도를 5m/min으로 유지시키면서 실험실 규모 Hi-Filter를 통과하기 전후의 대기중 먼지농도를 측정하여 전기집진부만의 집진효율을 구하는 것이다.

집진판 간격이 40mm 이상이 되면 집진 면적이 줄어들기 때문에 먼지 포집효율이 급격히 감소하며, 집진판 간격이 20mm 이하가 되면 집진판 사이로 충분한 전기장이 형성되지 못하므로 집진효율이 다시 감소하게 된다. 즉, 집진판간의 간격은 30mm가 가장 적합함을 알 수 있다.

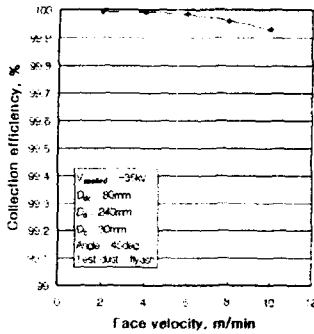
집진판의 각도를 비교해 보면 일반적으로 90° 인 경우보다 각도를 어느 정도 부여한 조건이 보다 우수한 집진특성을 보이는데 그 중에서도 45°의 경우가 가장 우수한 먼지 포집특성을 나타낸다. 따라서, 이상의 결과로부터 집진판간의 간격은 30mm, 집진판의 각도는 45°로 결정하였다.



[그림 5] 집진판 간격 및 각도에 따른 먼지 포집특성



[그림 6] 최적 형상조건에서 인가전압에 따른 먼지 포집특성



[그림 6]은 최적 형상 조건을 적용한 Hi-Filter 에서 인가전압 변화에 따른 대기중 먼지 포집특성을 나타낸 결과이다. 그림에서 인가전압을 점차 증가시켜 가다가 약 10kV를 넘어서면 코로나 방전이 개시되기 때문에 먼지 포집효율이 급격히 상승하지만 그 이후에는 큰 변화가 없다. 이것은 인가전압을 그 이상으로 높여도 성능에는 큰 변화가 없다는 것을 의미한다. 따라서 Hi-Filter에는 20kV 정도의 인가전압이 가장 적절함을 위의 결과로부터 판단할 수 있다.

[그림 7]은 상기의 최적 조건을 적용한 상태에서 여과속도에 따른 집진효율 변화 결과이다. 실험용 먼지로는 flyash를 사용하였으며, Fluidized Bed Aerosol Generator(Model 3400, TSI Inc.)를 이용하여 Hi-Filter 내부로 투입하였다. 이때의 인가전압은 35kV로 유지하였다. 여과속도가 증가함에 따라 먼지 포집효율은 조금씩 감소하는 경향을 나타내지만 여과집진장치에서는 상당히 빠른 속도인 10m/min에서도 먼지 포집효율이 99.9% 이상으로 나타나 매우 높은 집진성능을 나타냄을 알 수 있다.

[그림 8]에는 집진판에 포집된 먼지의 확대 사진을 나타내었다. 그림에서 하전된 먼지들이 둥근 공 모양으로 먼저 응집된 후 집진판에 포집되면서 매우 거친 형태의 먼지층을 형성하는 것을 알 수 있다. 이러한 응집된 형태의 먼지가 집진필터에 포집된다면 정전기력에 의한 미세 먼지입자 포집효율 증가는 물론 다공질 먼지층 형성에 의한 압력손실 상승 억제에도 큰 효과가 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 실험실 규모의 장치를 이용한 실험을 통하여 가스 및 먼지입자 수평 유입조건에서 Hi-Filter 내부의 집진필터, 방전극, 집진극 등의 형상 및 배치 변화에 따른 먼지입자의 하전 및 포집특성 분석을 수행하였다. 그 결과, Hi-filter는 방전극간의 간격이 240mm, 방전극과 집진판의 거리가 80mm, 집진판의 간격 및 각도가 각각 30mm 및 45° 일 경우 최적 성능을 발휘하며, 이때 Hi-Filter의 성능은 전기집진부만에 의한 효율이 99.9%를 넘는 등 매우 우수한 것으로 나타나 기존 집진장치의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.



[그림 8] 집진판에 포집된 먼지의 확대사진(×100)

5. 참고문헌

1. 박영옥, 임정환, 김상도, 최호경, “고효율 먼지하전 박막여과포 집진장치 개발,” 청정에너지기술 개발과제 3차년도 최종보고서, pp. 31-41 (1999).
2. S. J. Miller, “Advanced Hybrid Particulate Collector and Method of Operation”, US patent No. 5,938,818 (1999).