

조합형 집진장치(HI-FILTER)의 성능 실증 및 고찰

최호경*, 김상도, 임정환, 박영옥
한국에너지기술연구원
(hkchoi@kier.re.kr*)

Field Performance Evaluation of the Hybrid Particulate Collector (HI-FILTER)

Ho Kyung Choi*, Sang Do Kim, Jeong Hwan Lim, Young Ok Park
Korea Institute of Energy Research
(hkchoi@kier.re.kr*)

서론

대부분의 산업공정에서 배출되는 미세 먼지 등은 기존의 집진장치로는 거의 포집 제거가 불가능하여 대부분이 대기 중으로 방출되고 있는 실정이다. 따라서 공장이 밀집되어 있는 지역의 경우 대기 중에 각종 유해 오염물질이 고농도로 부유되어 있어 지역에 거주하는 주민과 생산 활동에 참여하는 종사자들의 호흡 시 호흡기로 유입 침착되고 있다고 볼 수 있다. 이에 따라 선진국에서는 대기 중에 부유하는 미세 먼지입자를 최대한 저감하고 각 산업공정에서 발생하는 미세 먼지입자의 포집 제거를 위한 하이브리드형 고효율 여과 시스템의 개발 및 상용화를 위한 연구 개발이 계속진행 되고 있다.

이에 본 연구에서는 고효율 복합기능 여과시스템 개발을 위한 연구의 일환으로 고효율 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치를 개발하고 산업체 현장에서 이의 성능을 검증코자 하였다.

하이브리드 집진장치

본 연구에서 개발한 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치(HI-FILTER)는 여과집진 원리와 전기 집진 원리가 단일 시스템으로 조합된 하이브리드형 집진장치이다. 이 집진장치는 여과 집진부 사이에 전기 집진부를 배치하고 단일 장치로 조합시켜 미세 먼지입자에 대한 포집효율을 높이고, 여과포로 유입되는 먼지의 양을 줄이면서, 탈진시 먼지의 여과포 재부착 현상을 감소시키고, 여과포의 손상을 방지하여 여과포의 성능과 수명을 향상시킬 수 있는 구조로 되어있다. Fig. 1에 HI-FILTER의 집진 원리를 나타내었다.

HI-FILTER로 유입된 함진가스는 유도 갖에 의해 여과포로 곧바로 유입되지 못하고 방전극과 집진판 사이에 형성되어 있는 하전 영역으로 유입이 된다. 하전 영역에 유입된 먼지는 코로나 방전에 의해 전기적으로 하전 되고 정전기적 인력과 함진 가스의 흐름에 의해 집진판 쪽으로 이동

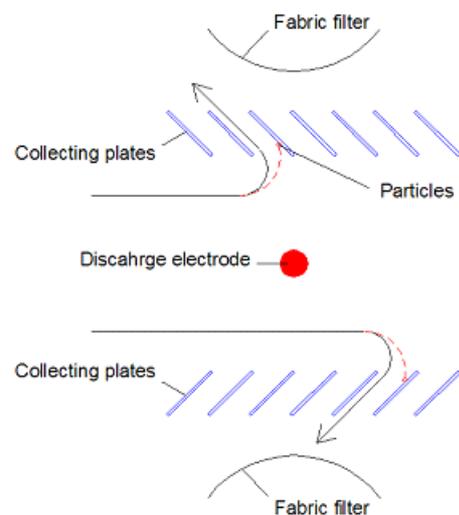
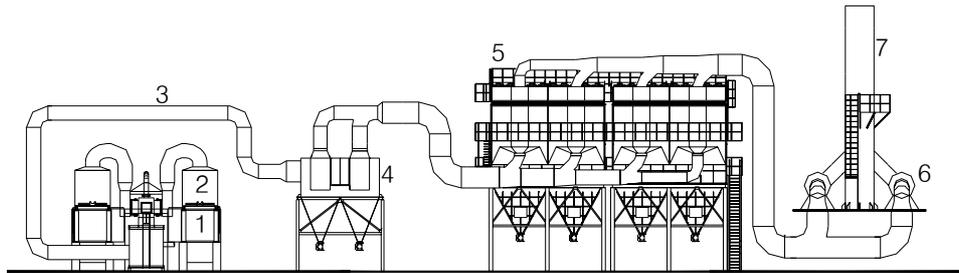


Fig. 1 HI-FILTER의 집진 원리.

하여 포집된다. 집진판에서 포집되지 않은 나머지 먼지 입자는 여과포에 도달하여 포집된다.

성능 실증용 HI-FILTER

Fig. 2에 성능 실증을 위해 산업체 현장에 설치한 1,200m³/min 규모 HI-FILTER의 개략도를 나타내었다. 적용 공정은 전기로에서 동 스크랩을 용해시킬 때 발생하는 폼(fume)과 일부의 대기 중 입자상 부유 오염물질을 제거하는 공정이다.



- 1. 전기로 2. 후드 3. 유입 덕트 4. 사이클론
- 5. HI-FILTER 6. 흡입팬 7. 굴뚝

Fig. 2 1,200m³/min 규모 실증장치 공정 개략도

실험결과

Fig. 3에 운전 개시 후 약 6주간의 HI-FILTER의 압력손실 변화 경향을 나타내었다. 1,200m³/min 규모 HI-FILTER는 600m³/min 규모의 집진장치 2기가 모듈화 되어있기 때문에 각각 2개의 압력손실 값이 측정된다. 이 중에서 흡입 팬에 보다 가까운 쪽에 있는 모듈이 관로 길이가 짧으므로 압력손실이 다소 크게 나타난다. 그래프에서 보면 약 6주간에 걸친 운전기간 동안 총 30mmAq 가량의 압력손실 상승이 관찰되었다. 이것은 다른 여과 집진장치와 비교했을 때 매우 낮은 상승경향이다.



Fig. 3 HI-FILTER의 시간에 따른 압력손실 변화.

Fig. 4는 원통여지법으로 측정된 HI-FILTER의 총괄 집진효율 결과이다. 유입농도 측정 결과 먼지 농도가 370mg/m³부터 5,400mg/m³까지 폭넓게 변하고 있다. 한편, 11월 14일 집진장치 출구에서 배출되는 입자의 농도는 0.21mg/m³로 측정되었다. 총괄 집진효율은 10월 13일의 약 99.11%에서부터 급격히 상승하는 경향을 보이고 있다. 이것은 집진장치 가동 초기에 청정 여과포를 장착하였기 때문인데, 청정 여과포의 경우 표면에 먼지층이 없어 여과포를 통해 먼지 입자가 통과하여 밖으로 배출되기 때문이다. 한편, 운전이 계속되면서 여과포 표면에 먼지층이 형성되면 먼지층 자체도 유입되는 먼지를 걸러주는 역할을 하기 때문에 집진효율이 상승하게 된다. 11월 14일에는 총괄 집진효율이 99.993% 수준으로 운전되고 있음을 알 수 있다.

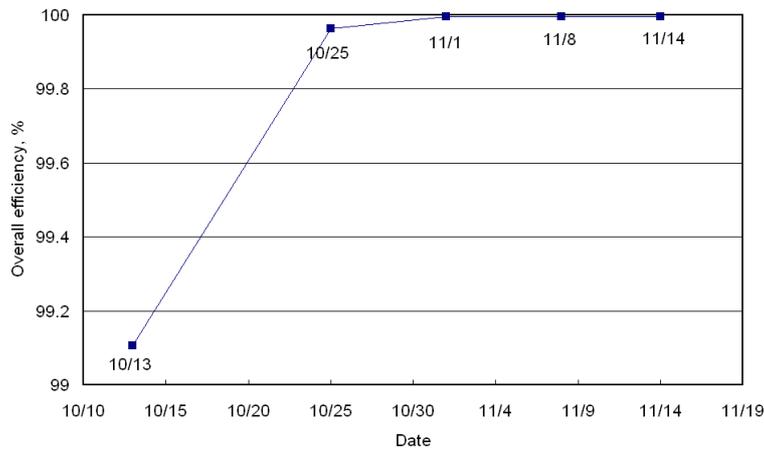


Fig. 4 HI-FILTER의 총괄 집진효율 변화.

Fig. 5와 Fig. 6은 HI-FILTER의 입경에 따른 출구에서의 개수농도와 질량농도의 변화를 각각 나타낸 그래프이다. 입경별 입자농도의 측정에는 역시 APS (TSI Inc. Model 3321)를 사용하였다. 이 값은 11월 14일 측정된 결과이다. 측정 결과 1μm 정도의 입경을 가지는 먼지들의 배출이 가장 많음을 알 수 있다.

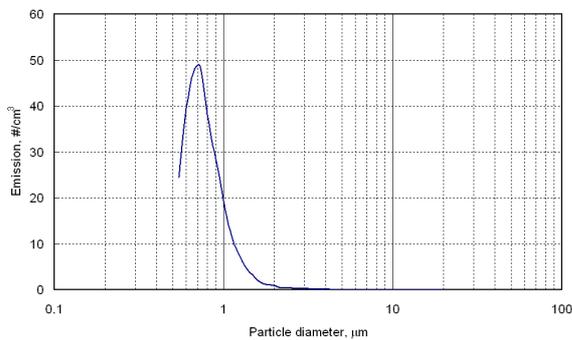


Fig. 5 HI-FILTER의 입경에 따른 출구 개수농도 변화.

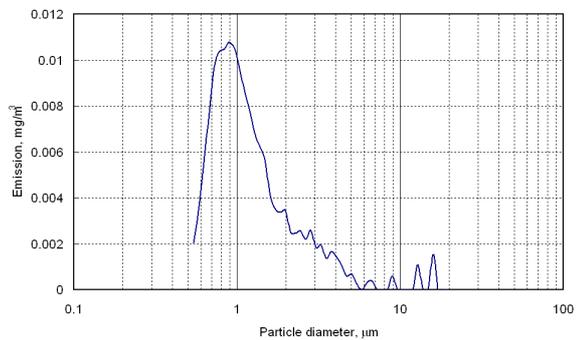


Fig. 6 HI-FILTER의 입경에 따른 출구 질량농도 변화.

$1\mu\text{m}$ 보다 작은 입경의 먼지는 확산에 의해 포집되고, 이보다 큰 입경의 먼지는 관성에 의해 포집되지만 $1\mu\text{m}$ 정도의 입경을 가지는 먼지들은 이 두 가지의 영향이 모두 취약하기 때문에 이처럼 잘 포집되지 않는 성질을 가진다.

Fig. 7은 HI-FILTER의 입경에 따른 중량기준 집진효율 변화를 나타낸 그래프이다. 이 결과도 앞서와 마찬가지로 11월 14일 측정된 결과이다. 그래프를 보면 앞서 서술한 바와 같이 $1\mu\text{m}$ 정도의 입경을 가지는 먼지에서의 포집 효율이 낮게 나타나고 있다. 그러나 모두 99.8% 이상의 포집효율을 나타내고 있으며, $\text{PM}_{2.5}$ 에 대한 포집효율은 중량기준으로 99.98%로서 매우 높은 효율을 보이고 있다.

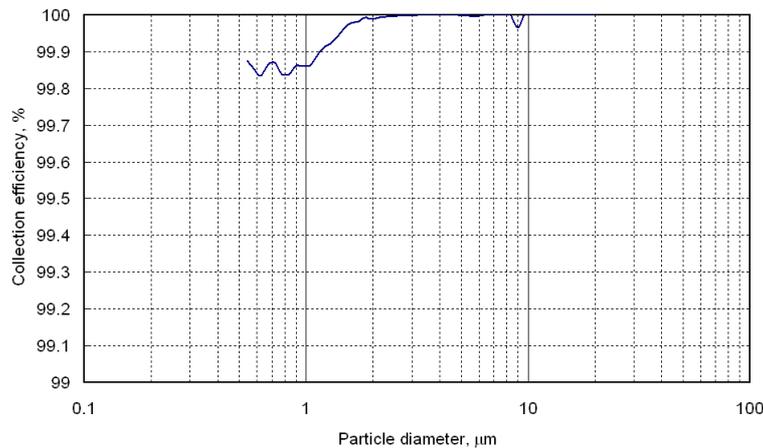


Fig. 7 HI-FILTER 장치의 입경에 따른 집진효율 변화.

또한, 내부 관찰 결과 가동 시작 후 약 6주가 지난 후에도 표면에 일부 먼지가 붙어있긴 하지만 내부에 먼지가 쌓여있는 모습이 보이지 않는 것으로 미루어 방전극 및 집진판의 추타가 비교적 잘 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 고효율 복합기능 여과시스템 개발을 위한 연구의 일환으로 고효율 먼지 부하 저감형 하이브리드 집진장치인 HI-FILTER를 개발하고 산업체 현장에서 이의 성능을 검증하였다. HI-FILTER의 산업체 현장 성능 실증 결과 중량 기준으로 $\text{PM}_{2.5}$ 에 대한 포집효율은 99.98%, 총괄 집진효율은 99.99% 이상인 것으로 나타났다. 또한 여과포의 압력손실은 50mmAq 미만으로 연속 운전되는 것으로 관찰되었다. 또한 고전압 인가로 인한 여과포 손상이나, 방전극 및 집진판의 먼지 누적 등의 현상은 전혀 관찰되지 않았다.

이상의 성능 실증 자료로 미루어 HI-FILTER는 기존의 여과 집진장치 및 전기 집진장치를 대체할 수 있는 효율적인 복합기능 여과시스템임을 확인하였고, 산업체에 적용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.