

코로나 방전을 이용한 하이브리드 사이클론 집진 장치 특성 연구

최성창

인천테크노파크

산업화가 발달됨에 따라 대기 오염 물질은 점차 증가하고 있는 추세에 있고 특히 기름 및 석탄 연소 보일러, 자동차, 제철, 시멘트 플랜트, 소각로 등은 미세 분진을 발생시키는 주원인이 되어 왔다. 최근 대기환경법은 오염 분진의 중량 규제로부터 $10\ \mu\text{m}$ 미만의 PM10에서 $2.5\ \mu\text{m}$ 미만의 PM2.5의 미세 분진에 대한 규제로 점차 심화되고 있으나, 이러한 미세분진은 고전적인 제거 방법으로는 매우 어려우며 고가의 HEPA 필터를 사용하여야 한다. 한편 코로나 방전을 이용하는 전기 집진은 미세 먼지 제거에 매우 효율적이어서 $1\ \mu\text{m}$ 미만의 미세 분지도 99%까지 제거가 가능하다는 장점이 있지만 입자크기가 클 경우에는 효율이 떨어지는 단점이 있다. 한편 사이클론 집진기는 매우 오래전부터 개발되어 사용되어 왔는데 가격이 저렴하고 운영비가 적게 들며 $10\ \mu\text{m}$ 이상의 먼지는 99% 이상 제거가 가능하여 산업현장에서 오랜 기간 사용되어 왔지만 입자크기가 $10\ \mu\text{m}$ 미만으로 가면 집진율이 급격히 떨어지는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 기존의 사이클론 집진기의 구조를 기본으로하여 사이클론 집진기 내부에 플라즈마 방전을 설치하여 원심력에 의한 집진과 코로나 방전에 의한 전기 집진을 동시에 수행할 수 있도록 하이브리드 사이클론 집진기를 제작하였다. 제작된 사이클론 집진기는 직경 30 cm 높이 120 cm의 사이클론 구조를 가지고 있으며 1 hp의 터보송풍기를 장착하여 $20\ \text{m}^3/\text{min}$ 이상의 유량을 처리할 수 있도록 설계 제작되었다.

제작된 하이브리드 사이클론 집진기의 성능을 평가하기 위하여 $10\ \text{m}^3$ 의 체적을 가지는 테스트 챔버 내부에 사이클론 집진기를 설치하고 향을 태워 미세 먼지를 발생시킨 후 다양한 조건에서 집진 성능을 측정하여 보았다. 미세 먼지의 경우 사이클론을 작동시키지 않아도 테스트 챔버 벽면에 흡착되어 초기에는 급격히 감소하는 경향을 보여주나 일정 시간이 경과한 후에는 매우 느리게 감소하는 현상이 관찰 되었다. 코로나 방전을 하지 않고 오존 파괴기에 활성탄만 충전한 상태에서 사이클론을 작동시킬 경우 지속적으로 천천히 감소하는 경향을 보여주었으며, 코로나 플라즈마를 방전시킨 경우 미세 먼지는 HEPA filter를 장착한 것보다도 조금 빠르게 미세먼지를 제거하였다. 챔버 내부의 미세먼지가 초기 값의 1/10에 도달하는 시간은 코로나 방전 전류가 증가할수록 짧아지는 경향을 보여주었으며 최적 조건에서 100초 이내에 90% 이상 제거가 가능하였다.

하이브리드 사이클론 집진기는 집진 뿐 만 아니라 VOC 성분도 분해가 가능하여 유해물질을 제거하는 능력이 있다. 유해 가스 제거 능력을 실험하기 위하여 분진제거 실험에 사용된 챔버 안에 아세톤을 증발시켜 50 ppm이 되도록 한 후 다양한 조건에서 유해물질 제거 실험을 수행하였다. 미세먼지와는 달리 장비를 작동하지 않을 경우 매우 느리게 아세톤 농도가 감소하였다. 이는 미세 먼지와는 달리 흡착이 발생하지 않고, 측정 챔버 자체가 완전한 밀폐가 이루어지지 않아 자연적으로 조금씩 외부로 누출되기 때문으로 판단된다. 코로나 플라즈마만 방전시켰을 경우 초기 농도의 80%가 제거되는데 걸리는 시간은 약 28분 정도로 코로나 플라즈마가 VOC 제거에 효과가 있음은 확인하였으나 제거율이 그리 높지 않음을 알 수 있었다. 한편 오존 파괴를 위해 활성탄으로 충전된 오존파괴기를 통과시킨 경우는 약 12분 경과 후 80%가 제거됨을 확인할 수 있었으나 그 이후에는 VOC의 감소가 매우 느리게 진행됨을 알 수 있었다. 한편 활성탄 대신 MnO_2 복합촉매로 충전된 오존파괴기를 통과한 경우 약 3분 정도 경과 후 80%의 아세톤이 제거됨을 관찰할 수 있었으며 코로나 플라즈마를 작동시키면서 MnO_2 복합촉매로 충전된 오존파괴기를 통과시킨 경우 약 2분 정도 경과 80% 이상의 아세톤이 제거되어 코로나 플라즈마와 복합촉매를 사용할 경우 VOC 성분이 효과적으로 제거됨을 알 수 있었다.

Keywords: 코로나 방전, 사이클론 집진기, 전기 집진, VOC 제거, 악취제거, 촉매