오염물질 배출특성 및 입자상오염물질

| 연 재 |

Ⅲ. 집진장치 설계 시 고려인자

3. 집진설비의 종류 및 장·단점 분석

3-4. 여과집진장치(Bag House)

3-4-4. 여과집진기 관련 최근 기술 동향

여과집진기 관련하여 최근 국내·외에서 기술 개발 진행 중인 입자 층 여과 집진기술과 고효율 여과포 및 고성능 장치 설계 기술을 소개하면 다음과 같다.

(1) 입자 층 여과집진기술

❶ CP사 보유 순환 입자 층 여과집진기술

CP사(Combustion Power Co.)는 고온 고압용 순환 입자 층 여과집진기를 개발하여 가스 온도 740℃와 압력은 1bar의 운전 조건에서 실험 중에 있으며, 현재는 단순한 장치의 구조 및 가스의 원활한 유동상 상태를 갖는 구조 개발 연구가 진행되고 있다. 또한 실제 규모의 장치를 설계하기 위한 설계 자료 수집과 석탄 가스에서부터 먼지 입자와 알칼리 물질을 제거하기 위한 화학 반응용 필터의 개발에 필요한 자료를 확보하기 위해 연구를 수행하고 있다.

❷ 가와사키 중공업(Kawasaki Heavy Industries)의 입자 층 여과집진 기술

일본의 Yubari에 설치된 가압 유동 복합 화력 발전용 집진 설비인 가와사키 입자 층 여과 장치는 가스 온도 360℃, 압력 18bar인 조건에서 운전 중에 있으며, 집진 효율은 99.9%를 유지하고 있다. 이 장치에서 얻은 연구 결과를 토대로 200t/d 석탄가스화 복합 화력 발전용 집진 장치 설계에 이용하였다.

(2) 고효율 여과포 및 고성능 장치 설계 기술

산업체의 생산 공정 및 연소 공정에서 배출되는 먼지를 고효율 포집하기 위해서는 장치에 적용되는 여과포의 효율이 우수하면서 고성능을 발휘해야만 한다. 배가스 처리용 여과포는 먼지 입자 특성에 관계없이 탈진 성능이 우수하고 압력 손실이 낮고 표면 여과가 가능하며, 내열성 · 내산성 · 내알칼리성 등이 우수해야 하며, 비흡습성이며 기계적 강도가 강하고 비정전성의 특성을 갖고 있어야 고효율 여과포로 판단할 수 있다.

따라서 선진국에서는 위의 조건에 만족하는 여과포를 개발하기 위해 많은 연구가 계속 수행되고 있다. 여과포 집진기술의 고성능을 유지하기 위해서 여과포 집진기술에 타 집진기술을 적용하여 포집하고자 하는 먼지 입자를 미리 응집시키거나 먼지 부하를 미리 저감하여 여과포를 포집하는 기술을 개발하여 상용화하는 기술이 중점적으로 연구되고 있다. 또한 여과포 집진기술로 미세 먼지 입자뿐만 아니라 유해가스까지 고효율로 동시 처리하는 기술이 연구되고 있으며 현재는 실증 실험 단계에 있다.

❶ 여과포의 표면적 증대 기술

여과포는 동일한 운전 조건에서 여과 표면적이 넓어야 처리 기체의 통과 저항이 낮아 압력 손실이 낮게 유지되며 집진 필터를 구성하는 단일 섬유에 의해 먼지 입자의 충돌, 차단 및 확산을 유도할 수 있는 충분한 면적을 갖고 있어야 먼지 입자의 포집 효율이 향상된다. 따라서 집진 필터에서 집진 면적을 충분히 넓히는 기술로서 집진 필터를 구성하는 단일 섬유의 표면적을 넓히는 기술이 독일, 오스트리아, 일본, 미국 등에서 개발되고 있다.

❷ 여과포의 표면박막층 형성 기술

여과포에 의한 먼지 포집 기술은 침적 여과(Depth filtration)와 표면 여과(Surface filtration)의 두 가지로 구분할 수 있다. 침적 여과는 두 개의 먼지 층으로 형성되는데, 첫 번째 먼지 층은 집진 조작 초기에 여과포 내부로 먼지 입자들이 침투하여 단일 섬유에 의해 먼지 입자들이 포집되어 먼지 입자 군을 형성하고 주위에 형성된 먼지 입자군과 가교를 형성하여 먼지 층을 형성한다. 침적 여과에서는 여과포 내부에 침착된 먼지 입자는 완전하게 털어지지 않으며, 여과포 내부에 침착된 먼지 입자의 증가로 필터의 세공을 막아 압력 손실이 증가되고 필터의 수명이 줄어든다는 문제점이 발생한다.

또한 먼지 입자의 종류에 따라 탈진 강도의 변화는 여과포의 마모 파손의 원인이 된다. 표면 여과는 여과포 표면에 먼지 층이 형성되기 때문에 미세 먼지 입자는 여과포 내부로 침투하지 못하고 여과포의 표면에서 먼지 층에 의해서 주로 먼지 포집 조작이 일어난다.

또한 여과포 표면에서 먼지 층이 형성되기 때문에 집진 효율도 우수할 뿐만 아니라 원래의 여과포의 세공을 유지하고 있어 처리 기체의 통과 저항이 낮아 낮은 압력 손실로 운전이 가능하다. 따라서 독일, 미국, 오스트리아 등에서는 여과포에 표면 박막 층 형성기술을 개발하여 현재는 실용화 단계에 있다.

❸ 통합 반응 여과집진기술

영국에서는 알루미늄 등 비철금속 제조 공정에서 발생되는 미세 먼지 입자 뿐만 아니라 Tar, Benzene (B.T.X.), Fluorides, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(P.H.A.) 등과 같은 피치 흄(Pitch fume)을 동시에 제거할 수 있는 통합 반응 여과포 집진 장치를 개발하였다. 장치는 흡수제 저장조 및 수송 부분, 배가스 내로의 흡수제 혼입 및 혼합 부분, 통합 반응 여과포 집진 부분, 포집먼지 저장 및 재순환 부분으로 구성되어 있다.

이 장치를 알루미늄 제조 공정의 배가스 처리에 적용하여 실증 실험한 결과를 〈표9〉에 정리하여 나타내었다.

실증실험 결과에 의하면 미세 먼지 입자 포집 효율은 99.991%이고, 농도는 1.74mg/Nm^{3}를 유지하여 배출농도 허용기준은 20은 20mg/Nm^{3}보다 훨씬 낮은 농도로 유지했다고 보고했다.

입자상 PAH의 제거효율은 97%를 유지했고, 가스상 BTX의 제거효율은 55%로 배출농도허용기준보다 낮은 농도로 유지했다고 보고했다. 모든 이 공정에서 배출되는 발암성 물질은 통합 반응 여과 집진 장치를 적용하여 처리함으로써 허용 기준인 100㎍/Nm^3 보다 낮은 농도로 완전하게 제거가 가능하였다고 보고했다.

〈 표 9. 알루미늄 제조공정 배가스처리용 통합반응 여과집진기의 유해물질 포집 제거 효율 〉

유해물질 및 유해가스	유입 배가스 함유 유해물질 농도	처리 배가스 함유 유해물질 농도	집진 효율 (%)
Particulate matter, mg/Nm^3	186.9	1.74	99.991
Particulate fluoride, ㎍/Nm^3	32.3	2.7	91.641
Particulate PAH, ㎍/Nm^3	1173.68	35.50	96.975
Gaseous, ㎍/Nm^3	597.65	276.19	53.787
Total PAH, ㎍/Nm^3	1771.33	311.69	32.404
BTX, ㎍/Nm^3	1399.27	634.00	54.691
VOC, ㎍/Nm^3	8.04	3.22	39.950

특히, 처리 배가스 중에 함유된 벤조피렌(Benzopyrene)의 농도는 8.5㎍/Nm^{3}로 허용 기준인 100㎍/Nm^{3}보다 훨씬 낮은 농도로 유지되어 위의 개발 장치가 유해가스 뿐만 아니라 발암 물질, 미세 먼지 입자까지 동시에 고효율로 제거할 수 있음이 입증되었다.

❹ 중금속 물질 및 미세먼지 입자 동시 제거용 Hybrid 여과집진기술

미국의 E&ER센터(Energy & Environmental Research Center)에서는 전기집진기술과 여과집진기술이 일체형으로 접목된 하이브리드(Hybrid) 여과집진장치를 개발하였다.

하이브리드 여과집진장치는 전기집진기에서 문제가 되고 있는 미세먼지 입자 크기인 0.01㎛~50㎛ 범위까지 99.99%로 포집이 가능한 기술로 입증되었다.

특히, 미세 먼지 입자 중에 함유된 중금속 물질의

제거 효율은 중금속 물질의 종류에 따라 다르나, 흡수제 주입과 함께 미세 먼지 입자를 포집함으로써 높은 제거 효율을 보였으며, 〈표 10〉에 중금속 물질별 제거 효율을 정리하여 나타내었다.

파일럿 스케일 실험 장치의 실험 결과를 토대로 상용화 규모의 설계 자료를 확보하고 있으며, 이 기술 개발의 최종 목적은 기존의 전기 집진 장치에서는 포집 불가능한 초미세 먼지 입자의 고효율 포집 제거, 빠른 여과 속도 조건에서도 낮은 압력손실 유지, 기존의 충격기류 탈진 방식 여과포 집진기술에서 발생되는 포집먼지의 재비산 방지, 석탄 종류에 따른 배가스 함유 화학물질의 여과포 침식 방지, 그리고 중금속 물질의 효율적인 제거에 있다.

〈 표 10. 석탄연소 배가스 용 하이브리드 여과집진기의 중금속 제거효율 〉

중금속 물질	당초 기준			흡수제 주입		
	입구 평균농도 (μg/Nm³)	출구 평균농도 (μg/Nm³)	제거 효율 (%)	입구 평균농도 (μg/Nm³)	출구 평균농도 (μg/Nm³)	제거 효율 (%)
Hg	5.5	3.6	34.5	6.8	2.7	60.3
As	83	< 1.0	> 98.8	99	< 1.0	> 99.0
Cd	1.7	< 0.08	> 95.3	1.8	< 0.08	> 95.6
Cr	463	0.57	99.9	534	2.2	99.6
Pb	319	< 0.50	> 99.8	291	< 0.50	> 99.8
Ni	223	< 2.0	> 99.1	229	< 2.0	> 99.1
Se	32	16	50	25	3.8	84.8

3-4-5. 여과집진장치의 운전 관리

(1) 성능검사 방법

❶ 효율 측정 방법

효율, $\eta = [(C_i - C_o) / C_i] \times 100(\%)$

여기서,

C_i : 입구 먼지 또는 가스 농도(mg/Nm³, ppm)

C_o : 출구 먼지 또는 가스 농도(mg/Nm³, ppm)

❷ 압력손실 측정 방법

여과집진기의 입구와 출구의 평균 전압을 측정하고 그 차를 계산하여 방지시설의 압력 손실(Pressure drop)을 측정한다. 특히, 차압계(manometer)가 부착되어 있어 항시 차압 확인과 점검을 하도록 계기가 설비되어 있다.

$P = P_{ti} - P_{to}$

여기서,

P_{ti} : 방지시설 입구 평균 전압(mmAq)

P_{to} : 방지시설 출구 평균 전압(mmAq)

(2) 배출시설 및 방지시설 정상 운전 및 유지관리 계획

집진장치의 관리에 있어서는 시동시, 운전시와 정지시에 다음과 같은 사항들을 준수해야 한다.

❶ 시동시

송풍기, 제진장치 등의 기밀 상태를 점검하고 냉각장치와 안전장치의 성능을 확인해야 한다.

주 전동기는 처리 배기가스 온도로 설계되어 시동시의 가스 비중이 크므로 전동기는 과부하 될 때가 많으므로 각 부분에 댐퍼 개도를 조정하여 풍량 변화를 주면서 가동해야 한다. 아울러 먼지 탈락 시설을 작동시킨 후 배기 송풍기를 가동해야 한다.

❷ 운전시

각 부분의 정압, 온도, 풍압, 송풍기, 전류, 진동, 집진 먼지량 등에 대해서 매일 또는 정기적으로 운전 기록을 작성해 두어야 한다. 점검 시 공기 부하(Air load)와 배기 부하(Gas load) 특성을 다음 내용을 참조해 기록해야 한다.

* 발생원 : 설비의 출력 또는 처리능력
* 연료 : 종류, 사용량, 성분, 혼소율, 공기 및 산소 사용량
* 원료 : 종류, 사용량, 성분, 혼합도
* 가스 성상 : 가스량, 성분, 온도, 습도, 노점, 압력, 기타
* 먼지 : 농도, 성분, 입경 분포, 비중, 전기저항, 기타
* 운전 특성 : 차압 지시계를 확인, 규정된 차압은 100mmAq로 운전해야 한다.

❸ 정지시

* 송풍기, 냉각 장치, 안전장치 등의 작동을 확인한다.
* 송풍기, 먼지 배출 장치 등에 먼지 부착 또는 퇴적 여부를 점검한다.
* 압력계, 온도계, 차압계 등의 계측기에 대하여 정기적으로 정밀 검사를 한다.

* 처리가스 중에 유해가스, 폭발가스, 용융가스가 있을 때가 많으므로 조업정지 후에도 최소한 청정 공기로 10분 이상 가동해 배 가스를 완전히 신선한 외부 공기로 치환 시켜야 한다.
* 먼지 탈락 장치는 배기 송풍기 정지 후에도 일정 시간 작동해 부착된 먼지를 탈락시킨 후 포집된 먼지는 위탁 또는 원료로 재사용해야 한다.

또한 여재 개발 및 탈진기술 그리고 새로운 분야와의 적용에 관련된 최근의 여과집진기술 동향을 살펴보면, 여재에 있어 온도가 높은 가스에 사용하고자 내열성 폴리아미드계 섬유, 테프론 섬유, 금속 섬유, 세라믹 필터의 개발로 고온 가스의 처리가 가능해졌음을 알 수 있다. 그러나 가격이 다소 비싼 것이 흠이다.

* 폴리아미드계 : 200~500℃에서 사용 가능하며 화학적으로 안정하여 산이나 알칼리에 강하고 흡수성도 적다.
* 테프론 : 화학적으로 안정하여 산, 알칼리에 강하고 흡수성이 적고 내열성도 우수하다. 285℃에서 0.002%/h의 질량 손실이 일어나 260℃ 이하에서 운전해야 한다.
* 금속 섬유 : 최근에는 4㎛의 금속 섬유도 제작이 가능하여 400℃ 이하에 집진이 가능하다.

탈진기술에 있어서는 초음파 탈진이 소개되고 있는데, 이 방법은 200~300kHz의 초음파를 써서 여포에 공기의 진동을 주어 먼지를 털어내는 방식이다. 또한 정전 여포를 개발했는데 이를 활용하면 여과필터에 정전기 효과를 더하므로 입자 포집효과 및 탈진효과를 높이고 압력 손실을 낮추어 동력비 절감, 필터 수명연장, 여과속도를 상승시킬 수 있다.

새로운 분야로의 적용은 석탄연소 배기가스에 여과집진기를 적용하거나(종전에는 전기집진기를 사용하였으나 고저항 먼지에 의한 역전리 현상과 배출규제 강화로 인해 여과집진기로 전환되고 있다.) 다이옥신, 염화수소, 수은 처리를 위해 소각로 배기가스 처리에 반건식 흡수탑과 함께 여과집진기를 적용하여 사용하고 있다.

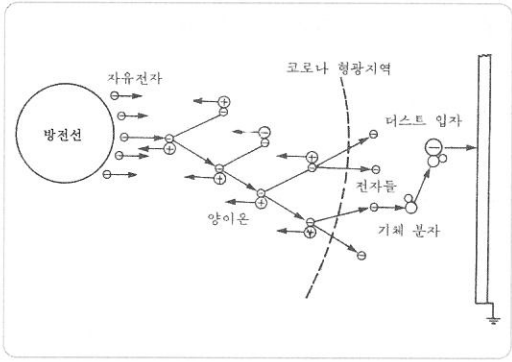
3-5. 전기집진장치(Electrostatic Precipitator)

3-5-1. 원리

전기집진장치는 직류 고전압을 사용하여 적당한 불평등 전계를 형성하고, 이 전계에 있어서의 코로나 방전(Corona generation)을 이용하여 가스 중의 먼지에 전하를 주어 이 대전입자를 쿨롱의 힘에 의하여 집진극에 분리 포집하는 장치이다.

코로나 방전에는 정(+) 코로나 방전과 부(-) 코로나 방전이 있으며 부 코로나 방전은 정 코로나 방전에 비해 코로나 방전 개시 전압이 낮고, 불꽃 방전 개시 전압이 높으며 안전성이 있으므로 보다 많은 코로나 전류를 흘릴 수 있고 보다 큰 전계 강도를 얻을 수 있다. 따라서 일반적인 공업용 전기집진기에서는 부 코로나 방전을 이용한다. 다음 〈그림 25〉에서 코로나의 발생 과정을 간단히 표현하였다.

〈 그림 25. 코로나의 발생 과정 〉



자료제공 : 환경보전협회 환경연수처

다음호에 계속 …