

김용진  
한국기계연구원  
열유체시스템 연구부

# 분진제어기술

## 목 차

- 1. 서론
- 2. 분진제어 설비 종류 및 개발 동향
  - 2.1. 싸이클론 집진장치
  - 2.2. 전기집진장치
    - 2.2.1. 역전리 및 재비산 억제기술
    - 2.2.2. 예비하진기술
    - 2.2.3. 필스하진기술
    - 2.2.4. 이동전극형 또는 습식전기집진기의 조합형 기술
  - 2.3. 백하우스 집진장치
    - 2.3.1. 정전기 여과 집진 기술
    - 2.3.2. 가스성분조절기술
      - 2.3.3. 새로운 탈진기술
      - 2.3.4. 고온, 고압용 여과 집진기술
  - 2.4. 하이브리드 집진기술
    - 2.4.1. 전기집진과 전기여과포 집진의 복합기술
    - 2.4.2. 탈황 / 탈질 동시처리용 여과집진기술
    - 2.4.3. 건식 스페레이드리아법을 이용한 집진 / 탈유해 가스 기술
    - 2.4.4. 저온 코로나 플라즈마를 이용한 집진 / 탈황 / 탈 질 기술
- 3. 결론

## 1. 서론

**대**기오염의 주종을 이루는 입자상의 분진은 산업체의 오일(oil) 및 석탄연소 보일러, 자동차, 제철 / 제강 / 시멘트 플랜트 및 소각로 등으로 부터 배출되는데, 이들 배출분진의 농도 및 입자의 크기분포에 따라 각각 최적 집진장치의 선정이 달라지게 된다. 집진기술에서는 그동안의 집진장치에서 제거가 어려웠던 중금속과 미세입자(fine particle)들의 제어에 관한 연구가 관심의 대상이 되고 있는데, 한예로, 석탄연소 화력발전소로부터 직경 1 $\mu$ m 이하의 입자들의 배출량은 무게비로는 1%이하이지만 입자수의 비율에서는 99%를 차지하고 있다. 이들은 매우 높은 중금속 함유량을 지니고 있기 때문에 인체의 호흡시 심각한 문제를 유발시킬 뿐만 아니라, 이러한 미세입자들은 대기중에 부유하고 있다가 비(rain)에 의하여 세정되어 수질오염까지도 유발시킨다. 따라서, 최근의 대기공기정화법에 의하면 오염분진의 중량규제로부터 직경 10미크론(micron) 이하의 PM10에서 2.5미크론 이하의 PM2.5 등으로 점차적으로 미세입자들을 대상으로 규제하고 있다. 1992년 2월 공포된 대기환경보전법 시행규칙에 따라 분진배출 허용기준이 장기 입법예고 되므로서 1995년 1월과 1999년 1월의 2단계에 걸쳐 현재 적용 받고 있는 분진배출 규제치보다 훨씬 낮은 선진국 수준의 분진배출규제가 요구되고 있으며, 분진이 배출되는 인근지역주민의 민원에 대처하기 위해서는 연돌로부터 분진배출이 눈에 감지되지 않을 정도까지 분진배출농도를 관리해야할 필요성이 높아지고 있다. 이에 따라 집진장치의 효율도 중유전소 보일러의 경우는 90%이상, 석탄전소 보일러의 경우는 99.5%이상의 고효율이 요구되고 있다.

이러한 분진배출의 방지시설로써 대표적인 것이 싸이클론(cyclone) 집진기, 전기집진기 또는 여과집진기 이다. 일반적으로 중소형 오일보일러에서는 간단하고 설치비가 낮은 멀티(multi) 싸이클론 집진장치가 적용되며, 화력발전소 등에서 배출되는 대유량 가스의 고효율 처리에는 전기집진기가 널리 사용된다. 그리고 중소규모 또는 대형의 산업체에서 배출되

는 분진처리에 광범위하게 여과집진기가 사용되어지고 있다. 국내의 대기오염방지기와 관련하여 먼저 집진장치관련 시장규모는 연간 1,000~2,000억원 정도이며 중 소형 플랜트에 대한 전기집진기의 부분적 수출도 시도하고 있으며 주요기자재 및 기술용역비를 포함하는 수입량은 연간 500~700억원에 이르는 것으로 추산되고 있다.

## 2. 분진제어설비 종류 및 개발동향

### 2.1 싸이클론(Cyclone) 집진장치

싸이클론 집진기는 구조가 간단하고 설치원가 및 운전비가 저렴한 관성력을 이용하여 분진을 처리하는 가장 대표적인 장치이다. 그런데, 대부분의 관성력 이용 집진장치와 마찬가지로 이러한 싸이클론 집진장치는 미세입자의 집진에는 효과적이지 못하며, 중간입자 또는 큰 입자의 경우에 효과적인 집진이 가능하므로 전기집진기 또는 여과포 집진장치의 수명향상을 위한 전처리용으로 사용되고 있는데, 최근에는 싸이클론 내부의 유동 구조변경 및 전기효과 등을 통하여 미세입자의 집진에서도 고효율화를 달성시킬 수 있는 연구가 수행되고

**1992년 2월 공포된 대기환경보전법 시행규칙에 따라 분진배출 허용기준이 장기 입법예고 되므로써 1995년 1월과 1999년 1월의 2단계에 걸쳐 현재 적용 받고 있는 분진배출 규제치보다 훨씬 낮은 선진국 수준의 분진배출규제가 요구되고 있으며, 분진이 배출되는 인근 지역주민의 민원에 대처하기 위해서는 연돌로부터 분진배출이 눈에 감지되지 않을 정도까지 분진배출농도를 관리해야 할 필요성이 높아지고 있다.**

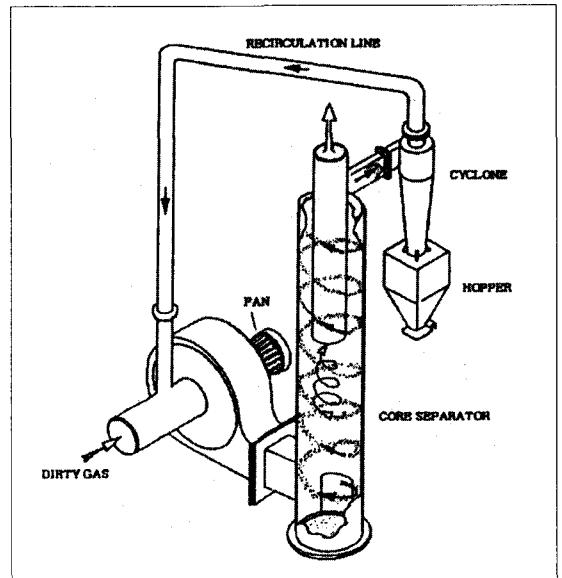


그림 1. 중심분리형 고효율 싸이클론 집진장치

있다.

먼저, 그림 1에서 보는바와 같이 실린더 형의 1차 싸이클론 집진기에서 집진이 된 후, 중심부(core)로 빠져나가는 미세분진들을 2차의 싸이클론으로 다시 집진함으로써 고효율화를 달성시키는 중심 분리형(core

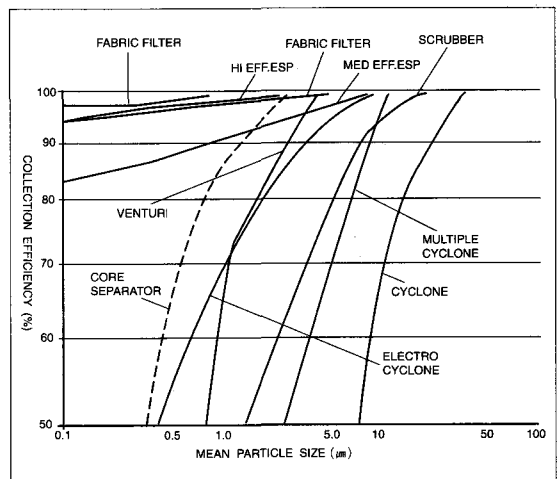


그림 2. 여러가지 집진장치의 집진효율 비교

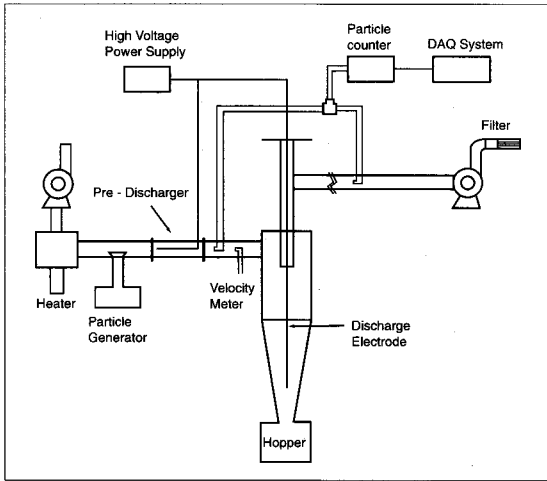


그림 3. 전기싸이클론 집진장치 구조 및 성능실험장치

separation) 싸이클론 등이 개발되고 있으며, 그림 2는 이러한 방식을 멀티형으로 제작하여 실험한 결과와 타 집진설비와의 집진효율의 비교를 보여주고 있다. 그리고, 미국 및 일본 등을 중심으로 기존의 싸이클론에 코로나 전극을 설치하여 이온유동 및 입자하전의 효과에 의하여 싸이클론의 벽면으로 전달력을 증대시켜 서브미크론 입자의 경우에도 고집진 효율을 얻을 수 있는 전기싸이클론(그림 3. 참조) 등에 관한 연구가 수행되고 있다.

## 2.2 전기집진장치(Electrostatic Precipitator)

전기집진 장치는 코로나(corona) 방전을 이용하여 분진에 전하를 부여시키고 극성을 가진 분진을 전기장속으로 이동시켜 분진을 부착, 수거하는 장치로써, 분진에 전하를 띄게하여 집진시키는 집진부 / 방전부, 집진된 분진을 호퍼로 떨어뜨리는 추타(rapping) 장치, 그리고 방전극에 고전압을 인가시키는 전력 공급부 및 제어부 등으로 구성되는데, 이 장치는 초기 시설비가 고가이나, 광범위한 입경분포의 분진입자에 대하여 매우 효과적이며 고온유동에서도 적합할 뿐만 아니라, 작동시 압력손

실이 매우 낮은 많은 장점을 가지고 있기 때문에, 여과 집진장치와 더불어 현재 가장 많이 사용되어지고 있는 집진장치중의 하나이다.

분진의 전기저항은 전기집진기의 성능에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 분진의 전기저항이  $10^4 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  범위에서는 고효율의 집진성을 쉽게 얻을 수 있으나, 유연탄을 연료로 사용하는 보일러의 배출가스나 CEMENT KILN, 제철소의 소결공정 등에서 발생하는 배출가스중의 분진들과 같이  $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  이상의 높은 전기저항을 가지는 분진인 경우에는 집진극에 부착된 분진층내에서 국부적인 절연과피를 일으키고 분진층으로부터 양극의 이온(ion)이 발생되어 방전극쪽으로 이동되므로 음으로 대전된 분진입자를 전기적으로 중화시키는 역전리(back corona)를 유발시켜, 입자의 대전이 약해져서 집진효율이 저하하게 된다. 한편, 분진의 전기저항이  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  이하로 낮은 경우, 집진판에 부착된 분진은 전기력을 쉽게 상실하게 되어 추타시 기류속으로 재비산(re-entrainment)되어 집진효율이 저하된다. 따라서, 전기집진기에서 개발되어야 할 주요 연구로써는 기본설계와 설치원가의 절감을 위한 연구와 고전기저항 분진의 운전 에너지 절감과 역코로나 억제에 의한 집진효율 증대 및 재비산을 방지하기 위한 연구가 진행중에 있다.

### 2.2.1 역전리 및 재비산 억제 기술

앞에서도 언급한 바와 같이 전기집진기에서 역전리가 발생하면 집진극표면의 분진층의 절연과피점으로부터 다량의 반대극성(+)의 이온이 방전극측(집진공간)으로 향해서 방출되기 때문에 집진공간에 있어서 대전분진 전기적 중화와 대전전압의 극단적인 저하 및 방전전류의 이상증가(반대극성 이온에 의해 대전입자의 전기적 중화에 의해 전류의 무효)의 상태로 되어 전기집진장치의 집진성은 대폭으로 저하한다. 이러한 역전리의 개

시조건으로서는 일반적으로 분진층의 절연파괴 조건으로 볼 수 있으며 아래의 식으로 표현된다.

$$id \times \rho d \geq E_{ds}$$

여기서,  $id$ 는 분진층내의 전류밀도,  $\rho d$ 는 분진의 전기저항을, 그리고  $E_{ds}$ 는 분진층의 절연 파괴 전계강도이다. 여기서  $E_{ds}$ 는 분진의 입경, 조성등의 물성 및 분진층의 두께, 면적, 요철상황, 가스온도, 전계밀도 등에 의해서 달라진다.

이러한 역전리 문제는 전기저항이 높은 석탄연소보일러 또는 시멘트 분진의 고효율화 집진을 위하여 매우 중요하며, 이러한 역전리를 억제시키기 위하여, 전기집진기의 집진기 내부에서 코로나를 상대적으로 줄이면서 유입부에서 강력한 하전을 인가시키는 예비하전방식, 전기집진기의 유입분진의 전기저항을  $SO_3$  또는  $NH_3$  등을 이용하여 조절하는 가스성분제어, 그리고 순간적으로 높은 하전을 인가시켜 역코로나를 억제시키는 펄스하전방식 등이 있는데, 표 1에서 역전리 발생조건식을 만족하지 않도록 하기 위해 일반적으로 고려되고 있

는 경우별 대책과 개발기술들을 나타내었다. 그리고 특히, 저전기저항의 분진의 경우에는 재비산에 의한 집진효율의 감소가 문제인데, 이를 극복하기 위한 기술들이 표 2에 나타나 있다.

### 2.2.2 예비하전기술

예비하전식 기술은 입자가 전기집진기 내부로 유입되기 직전의 위치에서 분진을 대전시키는 기술이며, 이 방법은 대규모 처리용량에 적합하며, 유지보수가 용이하고 경비절감 측면에서도 매우 유용하나 예비하전장치의 성능에 따라 집진효율이 좌우된다.

예비하전장치는 낮은 전기저항을 가지는 입자를 대전시키는 경우와 높은 전기저항을 가지는 입자를 대전시키는 것으로 크게 2종류로 나눈다. 현재 미국과 일본 등을 중심으로 개발, 적용되어지고 있는 예비하전 기술들은 다음과 같다.

#### (1) 초강력 이온화 방식

표 1. 전기집진장치에서의 역전리 억제기술

역전리 발생조건식	요 인	역전리 발생방지조건	억제기술
$\rho d \times id > E_{ds}$	(1) 분진층의 제거, 두께 축소	(2) 분진의 전기저항을 낮춤	이동전극형 전기집진장치
			(i) 온도를 올림
	(ii) 온도를 낮춤	수냉전극형 전기집진장치	
	(iii) 가스조질	조질제주입( $SO_3, NH_3$ 등)	
(iv) 혼탄, 혼소	연료대용		
$id$	(3) 분진층을 흐르는 전류의 제어	간헐하전(ms), 펄스하( $\mu s$ )	간헐하전(ms), 펄스하( $\mu s$ )
	(i) 하전제어	예비하전방식(BOX CHARGER, 3전극형)	예비하전방식(BOX CHARGER, 3전극형)
(ii) 대전부, 집진부의 분리			

표 2. 전기집진장치에서의 재비산 억제기술

재비산 발생방지조건	방지기술
방전전류증가	고전류 방전극 개조 좁은 집진판 간격화
추타진동배제	이동 집진 전극형 및 브러쉬 탈진
가류제어	집진판 형상개조 유동차단 추타

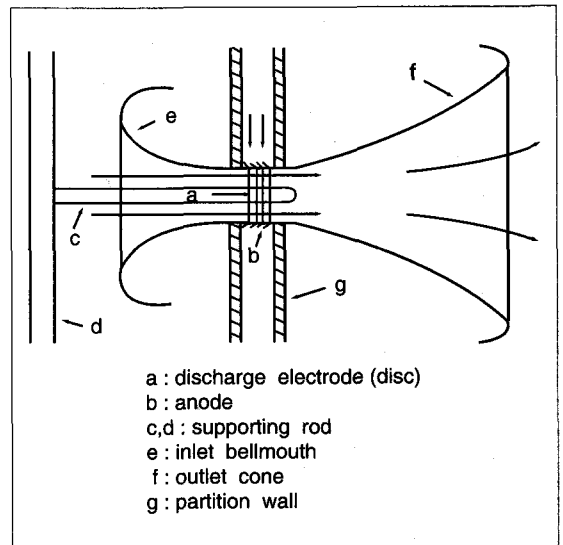


그림 4. 강력 이온화 방식

(2) 3전극(TRI-Electrode)방식

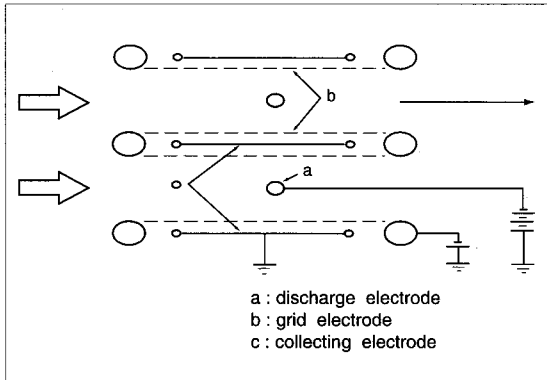


그림 5. 3전극 하전 방식

(3) 수냉전극(Water-Cooling)방식

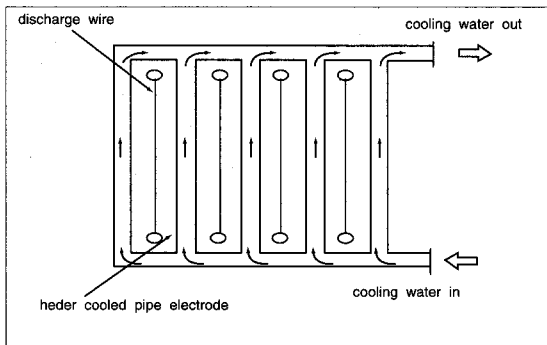


그림 6. 수냉 하전 방식

(4) Box Charger

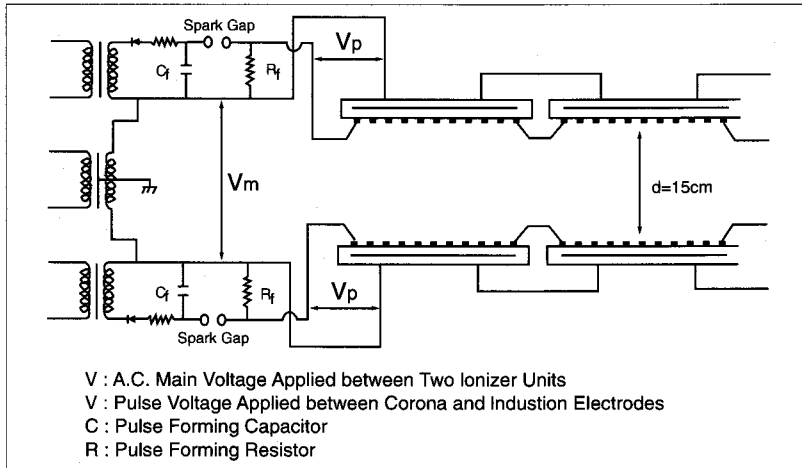


그림 7. Box Charger 방식