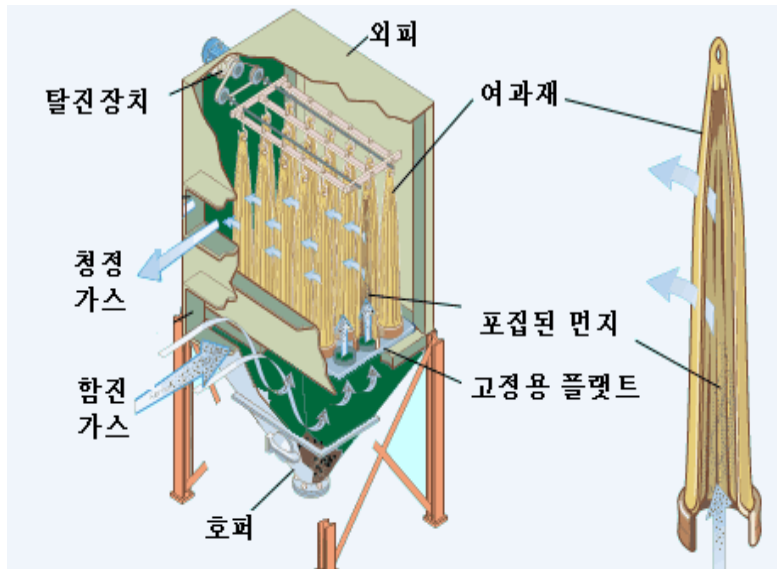


## 2. 여과집진기

### 2.1 집진원리

함진가스가 여과재를 통과 시 여과재가 장벽으로 작용하여 함진가스에서 먼지를 제거하는 장치



### 2.2 여과포

#### 1) 여과포의 구조

평직, 능직, 주자직, 부직포

#### 2) 여과포의 종류

- (1) 자연섬유: 목면, 양모
- (2) 화학섬유: 나일론, 올론, 폴리에스터
- (3) 광물섬유: 흑연, 유리섬유, 철섬유

#### 3) 여과포의 특성

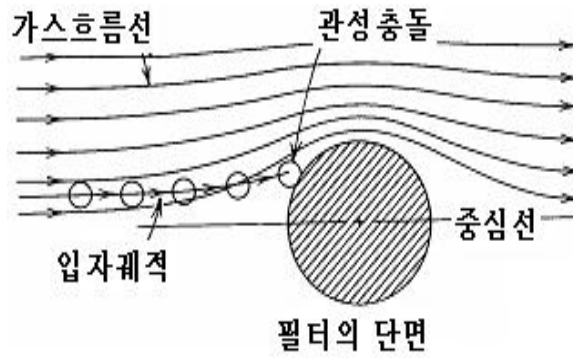
내열성, 내구성, 내산성, 비흡수성

### 2.3 집진 메카니즘

배출가스 중 먼지는 유체의 흐름에 장벽으로 작용하는 여과재에 관성충돌, 직접차단, 확산 등의 메카니즘을 통하여 여과재에 부착 제거됨

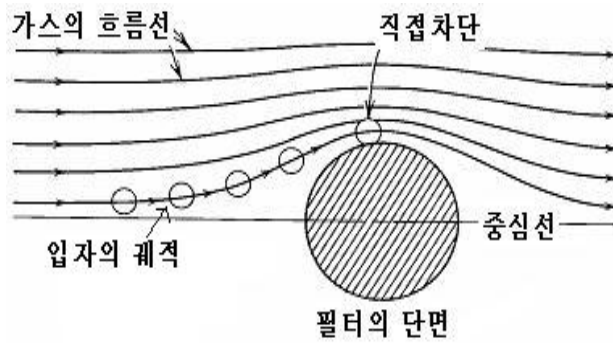
#### 1) 관성충돌(Impaction)

입경이 커서 배출가스 유선에 관계없이 관성에 의하여 입자가 여과재에 충돌·부착됨



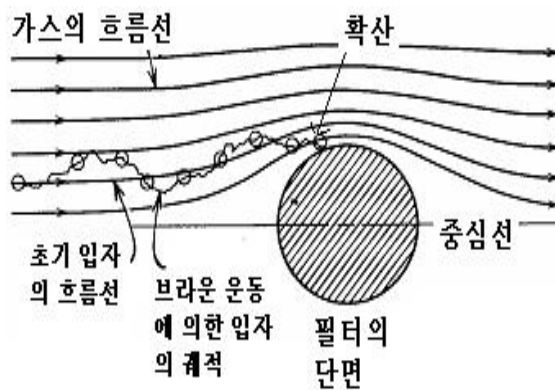
### 2) 직접차단(Interception)

입경이 작은 입자는 관성력도 상대적으로 작기 때문에 가스유선 방향에 따라 여과재에 접근하며 입자 중심과 여과재의 간격이 입자의 반경보다 짧으면 입자가 여과재에 부딪혀 부착됨



### 3) 확산

입경이  $0.1\mu\text{m}$ 이하인 아주 작은 입자는 브라운 운동을 통한 확산에 의해 포집됨



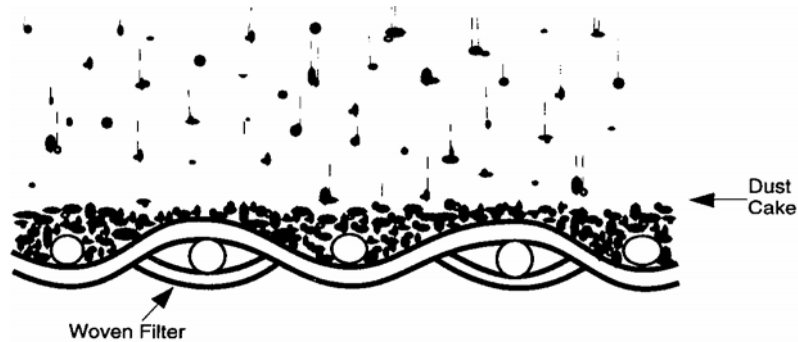
## 2.4 먼지층(Dust Cake)에 의한 먼지 포집

- 우선적으로 입경이 큰 입자는 여과재에 관성충돌하여 부착 제거되고, 입경이 작은 입자는 여과재에 직접차단되거나 입자의 브라운 운동에 의해 확산 포집되면서 여과재에 1차 부착층(초층)이 형성됨. 즉, 부착된 먼지는 필터와 필터 사이에 dust bridge를 형성하여 초층을 형성하는 것임

- 초층은 곡절된 많은 미세공을 가지고 있어 이 미세공에 의해서  $1\mu\text{m}$ 이하의 미세입자 포집이 가능함

- 여과재 표면에 최초로 부착된 먼지층(초층)을 여과층으로 하여 미세입자가 포집되는데 이를 표면여과라고 함

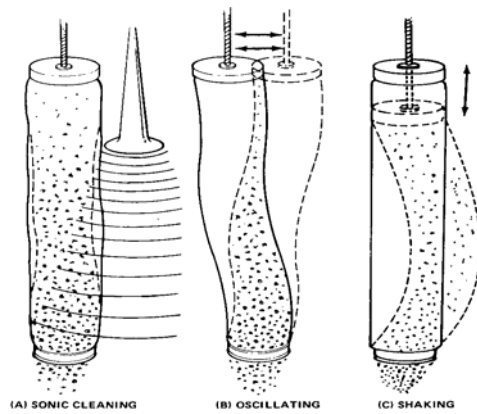
- 실제로 여과집진기를 설치하여 시운전하거나 여과포 교환 시에는 강제통풍에 의해  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  power를 여과포에 미리 도포하여 초층을 형성시켜 사용함



## 2.5 탈진방식

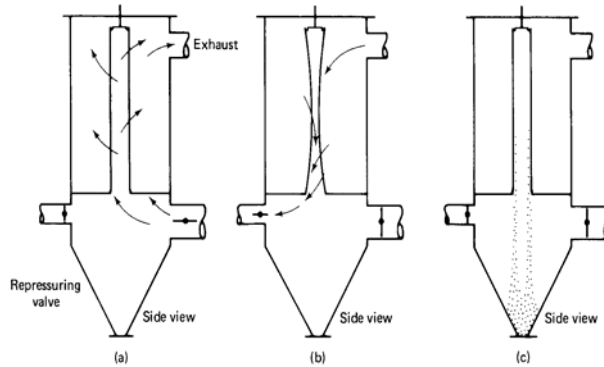
### 1) 진동형(shaking type)

- 여과기류를 차단하고 여포를 주기적으로 진동하여 탈진(off-stream)
- 입경이 크고 털기 쉬운 먼지 탈진에 적당
- Fume 등 흡습성, 부착성 성분과 응집성인 큰 경우 부적당
- 기계고장이 잦음
- 간이형 집진기에 사용
- Air-Cloth ratio: 2~6ft/min



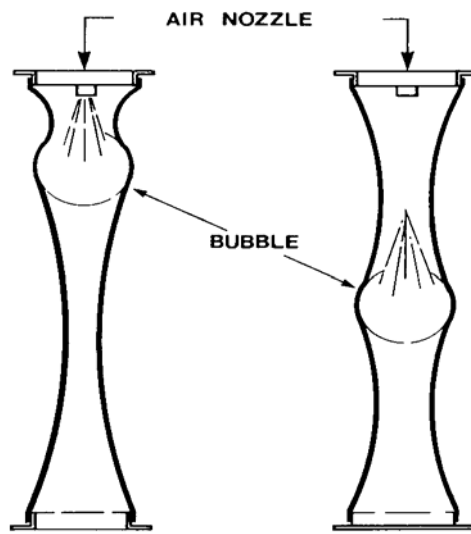
## 2) 역기류형(Reverse Air type)

- 여과기류를 차단하고 반대방향으로 기류를 통과시켜 탈진(off-stream)
- 간헐식, 0.5~2m/min 유속
- 댐퍼의 전환으로 기류를 역전시켜 탈진
- Air-Cloth ratio: 1~3ft/min

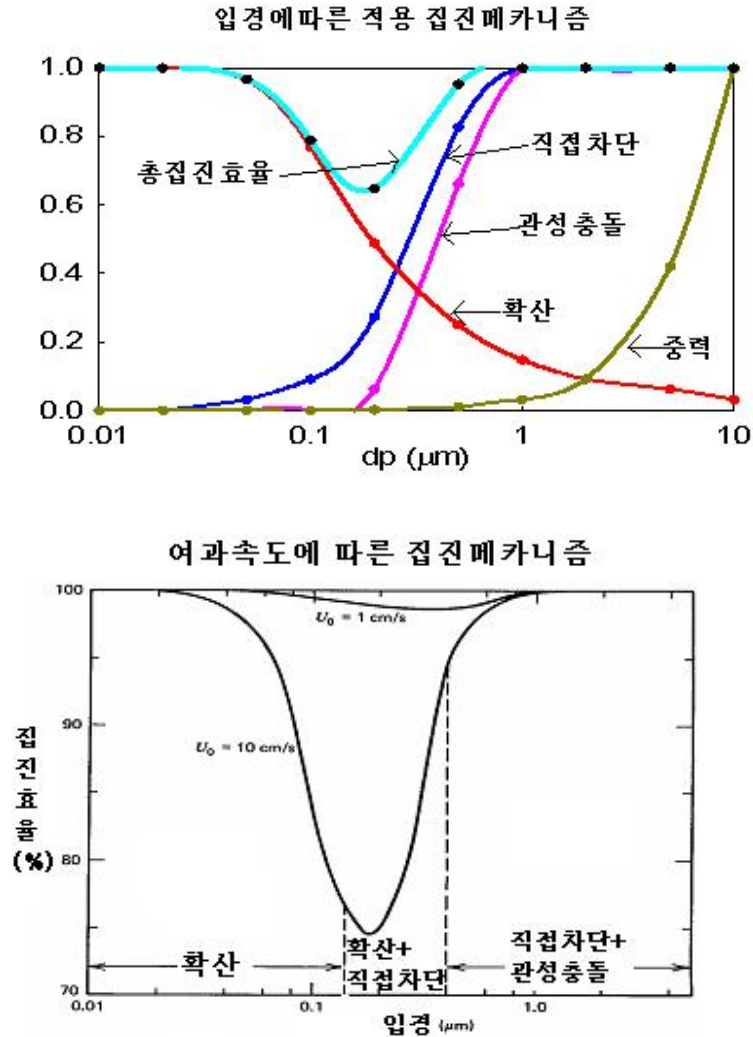


## 3) 충격제트형(pulse jet type)

- 함진가스를 외면여과하고 여과포 상부에 벤츄리관을 연결시켜 압축공기로 일정시간 마다 탈진(on-stream)
- 압축공기 5~7kg/cm<sup>2</sup> 압력
- 고농도에 효과적이고 유속이 빠름(2~5m/min)
- 압축공기가 필요하고, 여재 파손 우려
- Air-Cloth ratio: 5~15ft/min



## 2.6 집진효율과 집진메카니즘



## 2.7 압력손실(pressure drop)

1) 압력손실은 여과속도의 제곱에 비례하여 증가하며, 실제 운전 시 약간의 여과속도의 증가가 압력손실과 탈진효율에 큰 영향을 미침

2) 압력손실은 여과포 자체의 압력손실과 먼지 퇴적층에 의한 압력손실의 합이며, 여과포 자체의 압력손실은 먼지 퇴적층의 압력손실에 비해 상당히 낮음. 먼지 퇴적층은 매우 훌륭한 필터역할을 하지만 이에 따라 압력손실은 증가됨

### 1) 여과포의 압력손실( $\Delta P_f$ )

함진가스가 여과포를 통과할 때 발생하는 압력손실은 직접적으로 여과속도에

비례하므로 Darcy's Law에 의해 다음과 같이 표현됨

$$\Delta P_f = K_1 V$$

여기서,  $\Delta P_f$ =여과포 자체의 압력손실(mmH<sub>2</sub>O)

$K_1$ =실험계수(가스의 점도, 여과포의 두께, 공극률의 함수)

$V$ =여과속도(m/min)

## 2) 먼지층의 압력손실( $\Delta P_d$ )

$$\Delta P_d = K_2 VW = K_2 V(CVt)$$

여기서,  $\Delta P_d$ =먼지층에 의한 압력손실(mmH<sub>2</sub>O)

$K_2$ =실험계수

$W$ (areal dust density)=먼지부하(g/m<sup>2</sup>)

$C$ =먼지농도(g/m<sup>3</sup>)

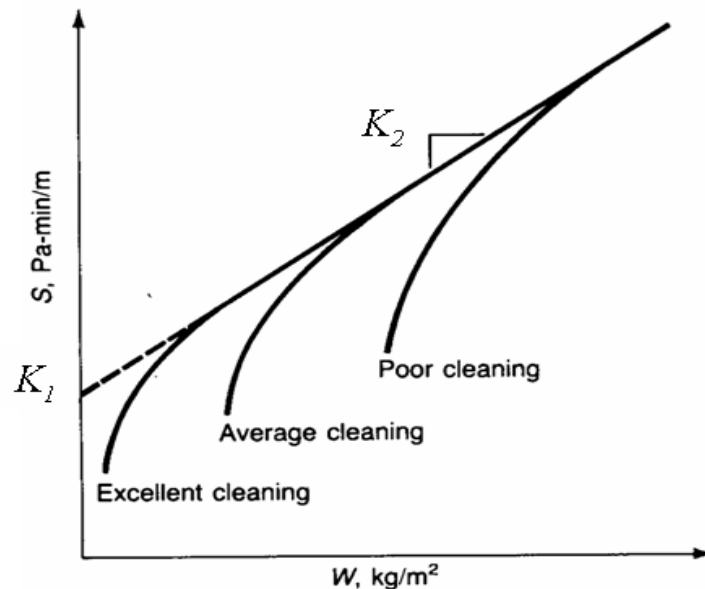
$t$ = 집진시간(min)

## 3) 전체의 압력손실( $\Delta P_t$ )

$$\Delta P_t = K_1 V + K_2 VW$$

$$S(\text{여과항력}) = \Delta P_t / V = K_1 + K_2 W$$

이를 여과항력모델(filter drag model)이라하며 집진기 이론으로써 널리 사용됨. 이 여과항력( $S$ )과 먼지부하( $W$ )와의 관계는 다음과 같음



## 2.8 장점과 단점

### 1) 장점

- 높은 제거효율(매우 미세한 입자까지 제거가능)
- 다양한 입자에 적용 가능
- 미리 공장에서 조립할 수 있는 편리함
- 유량 변동에 탄력적임

### 2) 단점

- 큰 부지 면적 필요
- 고온 및 화학물질에 의해 여과재의 손상
- 습기가 많은 조건에 운전이 곤란함(여과재의 눈막힘)
- 화재 및 폭발의 위험성

## 2.9 여과집진기 성능에 대한 영향인자

### 1) 여과재 선정

- (1) 처리가스 온도가 150℃이하에서는 보통 폴리에스테르계 섬유 사용
- (2) 고온(250℃까지)에서는 무기질 섬유의 직포 사용
- (3) 화염방지, 전기저항율이 높은 먼지의 경우 합성섬유에 스테인레스 섬유를 짜 넣은 것과 흑연처리를 한 직포 사용
- (4) 여과재의 구비 조건
  - 탈진에 대한 충분한 기계적 강도를 가질 것
  - 처리가스의 성상에 따라 내열성이 있을 것
  - 내산성, 내알칼리성이 있을 것
  - 흡습성이 적을 것
  - 압력 손실이 낮을 것

### (5) 탈진(Bag cleaning)방법

#### ① 간헐식

- 집진실을 3~4실로 나누어 압력손실이 규정치에 도달한 실에 대해서만 가스의 흐름을 차단하고 먼지를 털어내는 방식
- 먼지가 재비산되지 않으므로 높은 집진율을 얻을 수 있음
- 진동형(shaking type), 역기류형(reverse-air type) 등

#### ② 연속식

- 집진실을 나누거나 처리가스를 차단하지 않고 상시 집진을 하면서 순차적으로 먼지를 털어내는 방식



- 먼지농도가 높은 경우, 부착성 먼지의 처리에 적합
- reverse-jet형: 원통 여과포의 외측에 압축공기 분사 슬릿트를 부착시켜 천천히 상하로 이동시키면서 압축공기를 분사하여 부착먼지를 제거하는 방식으로 압축공기 분사로 여과포가 파손되기 쉬우므로 일반적으로 부직포 사용
- pulse jet형: 여과포 상부에 설치된 벤츄리관 노즐에 의해 일정간격으로 압축공기를 분사시켜 제거
- sonic-jet형: 저주파수의 음파를 발생시켜 공기진동에 의해 부착먼지를 분리하는 방식으로 출구부분에 소음기 설치 등 소음대책 수립이 필요

(6) 걸보기 여과 속도(공기여재비, Air-cloth ratio, A/C ratio)

- ① 걸보기 여과 속도( $V_f$ )는 집진율에 가장 큰 영향을 미침
- ② 처리가스량(Q)을 여과포의 유효면적(A)으로 나눈 값

$$V_f(\text{m/s}) = Q/A$$

- ③ 여과속도는 분진의 밀도, 입경, 계획집진율 및 여과방식에 따라 차이가 있지만 대개 0.3~10cm/s정도
  - 1 $\mu\text{m}$  전후의 미세먼지 포집 시 1~2cm/s
  - 부직포는 4~7cm/s

## 2.10 여과집진기 선정시 고려사항

### 1) 설계시 고려사항

설계 시 주요 고려사항은 탈진방법, 여과재의 성상, 여과면적, 먼지부하, 총 압력손실, 전기저항을 등이 있고 그 밖에 고려사항들은 다음과 같음

고려사항	내용
온도와 습도	-한계온도 이상에서의 가동은 여과포를 급속히 퇴화시킴 -저온은 산성가스를 응축시키고, 습윤 먼지에 의해 여과재의 눈막힘 현상 초래 -온도가 상승하면 가스의 점도와 유량이 증가하여 압력손실이 증가됨
가스의 화학적 성질	-여과재에 따라 산이나 염기에 대한 내성이 다름
화재/폭발	-O <sub>2</sub> 가 부족한 상태에서 CO 3,000ppm 이상일 때 폭발 가능성 -먼지가 폭발성 물질이거나 가스내에 VOCs 등이 함유되었을 때 정전기가 발생되면 화재가 발생
여과포의 배치	-여과포의 배치는 여과집진기의 유지보수에 중요한 인자 -일직선으로 배치된 여과포는 밀집된 것보다 좋음 -여과포 사이에 걸어다닐 공간 확보하면 좋음
기 타	-먼지제거속도, 운송장치, 퇴적함의 기울기 등

### 2) 여과포 재질 선정 기준

- (1) 강도가 충분한 것
- (2) 집진효율이 좋은 것
- (3) 압력손실이 낮은 것
- (4) 치수 안정성이 좋은 것
- (5) 가격이 안정되어 있는 것
- (6) 탈진이 용이한 것
- (7) 흡수성이 적은 것

### 3) 여과재 선정시 검사 사항

- (1) 처리가스의 온도, 조성, 점성, 수분량
- (2) 먼지의 입도 분포
- (3) 먼지의 마모성
- (4) 먼지의 하전성

- (5) 여과속도
- (6) 불로어의 정압
- (7) 집진방식

### 2.11 압력손실에 의한 고장원인 및 대책

결함	고장 원인	대 책
High ΔP (150~250mmH <sub>2</sub> O)	풍량과다	송풍기 댐퍼 조작, 풍량 확인, 송풍기 전류값 확인
	여과재 오염상태 악화	여과재 교환
	마노메타 측정공 막힘	이물질 제거 및 교환
	여과재 cake 현상	가스가열, 제습, 누수확인, 건조공기로 건조
	호퍼내 포집먼지 재비산	호퍼를 비움
	탈리 주기가 늦을 때	주기적 탈리
Low ΔP (20~30mmH <sub>2</sub> O)	여과재의 파손, 배기가스의 누출	여과재 교체
	압력측정공 막힘	내부 이물질 제거 및 교환
	풍량 과소	송풍기 belt 누출 확인 입구의 덕트 막힘 확인 송풍기 전류값 확인
	pulse 압력이 높고, 탈리횟수가 많음	pulse 압력을 낮춤, 탈리주기를 길게 함

### 2.12 최근 여과집진 기술 동향

#### 1) 각종 여과재의 개발

- ① 폴리아미드계
  - 최고의 내열성(200~500℃에서 사용 가능)
  - 화학적으로 안정
  - 산,알카리에 강함
  - 흡수성이 적음
- ② 테프론
  - 화학적으로 안정
  - 산,알카리에 강함
  - 내열성 우수(260℃)
- ③ 금속섬유
  - 4μm의 제작이 가능
  - 400℃ 정도에서 집진 가능

## 2) 탈진 기술

200~300KHz의 초음파를 사용하여 탈진하는 방식인 초음파 탈진 기술

## 3) 정전 Bag 개발

- 여과재에 정전기를 더하여 포집효과 및 탈진효과를 높임
- 압력손실을 낮추어 동력비 절감
- 필터 수명 연장
- 여과속도를 상승 시킬 수 있음

## 4) 새로운 분야의 적용

### ① 석탄연소 배기가스의 집진방식 변화

종전의 전기집진방식은 전기비저항이 높아 역전리 현상이 발생되고 배출규제의 강화로 여과집진기로 대체되는 추세임

### ② SDA와 여과집진기의 조합

산성가스, 다이옥신 및 수은과 같은 중금속 처리를 위해 소각로 배기가스처리에 SDA와 여과집진기의 조합이 많이 사용(다이옥신 제어에 안정적임)