

Part 3

대기오염방지기술

분진 입자의 침강이론

- 분진에는 외력, 부력, 항력이 작용
- 종말속도로 침강하는 입자는 투영면적이 클수록 입자 상대속도 제곱에 비례하여 항력이 증가하며 항력계수와 항력은 비례관계.
- 층류영역에서의 항력계수는 $24/Re$ 로 근사. 이 때 침강속도는 Stoke's law를 따름.

※ 커닝햄 보정계수

- $1\ \mu\text{m}$ 미만의 입자에는 항력이 stoke's law로 예측한 값보다 작아서 보정계수를 곱함.
- 항상 1 이상의 값이며 미세입자일수록 그 값이 커짐.

입경분포

입경 분포 측정법 - 직접 측정법

- 현미경법, 표준 체거름법

입경 분포 측정법 - 간접 측정법

- 관성충돌법, 침강법, 광산란법

※ 관성충돌법

- 입자의 관성충돌을 이용하여 간접적으로 입경을 측정하는 방법.
- 질량 분포를 알 수 있지만 시료채취가 어렵고 시료의 손실이 있음.

ex) Cascade impactor

입자의 크기 - 종류

침전 직경 (Stoke's diameter)

- 대상 분진과 동일한 침강속도를 가지는 입자의 직경

공기역학적 직경

- 대상 분진과 침강속도가 동일하고 밀도가 1g/cm³ 인 구형입자의 직경.

중양입경

- 체상곡선에서 R=50% 에 대응하는 입경

산술평균입경

- 모든 입경을 더해서 입자수로 나눈 값

기하평균입경

- 대수분포에서의 중위경.

$$\log = \frac{\sum n_i \log d_i}{\sum n_i}$$

비표면적

- 입자상 물질의 단위부피 당 표면적, 미세입자일수록 값이 큼.

Martin 입경

- 입자 투영면적을 2등분 하는 선의 거리에 해당하는 직경

상당직경

- 입자의 모양이 원형이 아닌 모양의 경우 이와 동일한 유체역학적인 특성을 갖는 원형입자의 지름.

$$e = \frac{2ab}{a+b}$$

집진 장치

중력집진장치

- 중력을 이용하여 처리가스 중의 입자를 중력에 의한 자연 침강으로 분리 포집하는 장치.
- 원리와 구조가 간단하여 설치가동비가 저렴.
- 집진율 40~50%, 기본유속 1~3 m/sec.
- 비교적 압력 손실이 적고 주집진기의 전단에 설치하여 전처리설비로 쓰임.

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 설치가동비가 저렴 • 유지, 관리가 쉬움 • 압력 손실 범위가 적음(10~15mmH₂O) • 고온 가동 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치 공간이 큼 • 미세 입자에 대한 효율이 낮음 (60 μm 이상 입자에만 적용, 주로 50~1000 μm)

중력집진장치 - 효율

$$= \frac{v_t \times B \times L}{v \times H} = \frac{v_t \times L}{v_x \times H}$$

여기서,

v_t : 침강속도

v_x : 수평이동속도

B : 집진기 폭

L : 집진기 길이

H : 집진기 높이

중력집진장치 - 최소 입경

- Stoke's law를 이용하여 침강집진기가 포집할 수 있는 최소입경 예측 가능

$$\bullet d_p = \frac{v_t 18\mu}{g(\rho_p - \rho_a)}$$

※ 중력집진기 - 기능향상 조건

- 집진실 내의 처리가스의 속도가 작을수록
- 집진실 높이가 낮을수록, 길이가 길수록
- 집진실 내의 흐름이 균일화될수록
- 집진실 내의 입구폭이 클수록

원심력집진장치

- 가스를 회전시킬 때 발생하는 원심력에 의해 입자를 분리시키는 장치.
- 상대적으로 큰 입자(3~100 μm)를 처리하며 미세먼지 포집 효율이 낮음.
- 압력손실 50~150 mmH_2O , 집진효율 85~95%.
- 구조가 간단하여 설치 및 유지비가 저렴.
- 전처리 설비로 주로 쓰이며 압력손실이 높아 동력소모가 큼.
- 내열 소재로 제작 가능하며 먼지량이 많아도 처리 가능.

원심력집진장치 - 분리속도

$$= \frac{d_p^2(\rho_p - \rho_a)v^2}{18\mu}$$

여기서,

v : 선회속도

g 대신에 $\frac{v^2}{R}$ 으로 치환.

분리계수

- 원심력에 의한 입자 분리능력을 중력분리속도와 원심분리속도의 비로 표현

$$S = \frac{v_r}{v_g} = \frac{v^2}{Rg}$$

원심력집진기 - 집진효율 계산

$$\eta = \frac{v_r \Delta t}{W} = \frac{1}{W} \times \frac{d_p^2(\rho_p - \rho_a)v^2}{18\mu R} \times \frac{2\pi R N_e}{v} = \frac{\pi N \rho_p d_p^2 v}{9\mu W}$$

여기서,

W : 사이클론 입구 폭

N_e : 유효선회수

위 식에서 효율이 100%일 때 입경을 임계입경, 50% 일 때 입경을 절단입경.

원심력 집진기 - 종류

가스 유입·유출 형식에 따라 접선유입식과 축류식으로 나뉘며
축류식은 다시 반전형과 직진형으로 분류

접선유입식

- 입구 모양에 따라 나선형과 와류형으로 나뉜다.
- 입구유속 7~15 m/sec, 압력손실은 100~150 mmH₂O
- 대용량의 가스 처리 가능.

축류식

- 반전형 : 압력손실이 80 mmH₂O로 접선유입식보다 낮음.
blow-down이 필요 없고 각에 따라 집진률 변화가 큼.
- 직진형 : 사용 빈도 낮음

※ 사이클론 압력 강하식

$$(mmH\ O) = f \times \frac{\gamma v^2}{2g}$$

※ Blow-down

- 집진기 하부 분진박스에서 유입유량 일부(5~15%)에 상당하는 함진가스를 추출시켜 선회기류가 흐트러지는 것을 방지하고 집진된 먼지의 재비산을 방지.

원심력 집진기의 성능에 미치는 요인

- Blow down 효과를 적용하면 효율이 높아짐.
- 내경(배출내관)이 작을수록 입경이 작은 입자 제거 가능.
- 입구유속은 한계(7~15 m/sec)가 있지만 유속이 빠를수록 효율이 증가하며 압력손실도 증가.

원심력집진기 - 압력손실

- 사이클론의 크기에 따른 압력손실은 거의 없음.
- 내부에 장애물로 인한 저항이 있을 경우 원심력이 감소하여 압력손실 유발.
- 압력손실은 유입속도의 제곱에 비례.
- 입구가 크면 커지고 출구경이 작아지면 증가.
- 원통부와 원추부가 커지면 압력손실은 작아짐.

세정집진기

- 액적, 액막, 기포 등을 의해 함진 배기를 세정하여 입자에 부착, 응집시켜 입자를 분리하는 장치
- 0.1~100 μm 입경 처리.
- 압력손실이 300~800 mmH_2O 로 비교적 크고 동력비가 많이 소모.
- 가연성, 폭발성 먼지 처리 가능.
- 가스 흡수와 분진포집 동시에 가능.
- 고온 가스 냉각가능.
- 소요 설치 면적 작음.
- 처리된 가스의 확산이 좋지 않고 부착성 분진에 의한 폐색 장애 유발.
- 소수성 입자의 처리가 어려움.
- 세정수량이 작을수록, 가스의 용해도가 클수록, 헨리상수가 작을수록 효율이 높음.

세정 집진기 - 주요 포집기전

- 액적에 입자가 충돌하여 부착
- 미립자 확산에 의하여 입자가 서로 응집
- 배기의 중습에 의하여 입자가 서로 응집
- 입자를 핵으로 한 증기의 응결에 따른 응집
- 액막, 기포에 입자가 접촉하여 부착

%%% 0.1 μm 이하 입자 포집에는 확산 작용이 지배적

세정 집진기 - 포집 원리

1 μm 이상 입자는 응집 작용, 관성력

0.1 μm 이하 입자는 확산의 효과로 포집

관성충돌력

- 유선을 따라 이동하는 입자는 액적에 의해 유선이 발산될 때 관성력 때문에 유선을 벗어나 액적에 충돌 집진.

직접흡수

- 미세한 입자의 경우 액적에서 발산하는 유선과 같이 발산하면서 이동.
- 액적과 미세입자의 중심과의 거리가 d 보다 짧게 되면 입자는 액적과 직접 충돌하여 집진

확산

- 0.1 μm 이하인 매우 미세한 입자는 유선의 흐름과는 관계없이 브라운 운동을 하다 액적에 충돌 집진.

응집작용

- 가스온도가 하강하면 응축 성분이 분진 표면에 흡착 또는 흡수되어 분진입자는 서로 응집하여 제진됨.

세정집진기- 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 협소한 장소에 설치가능 • 입자와 가스의 동시처리 가능 • 화재 및 폭발의 문제가 없음 • 비산분진의 문제가 없음 • 고온다습한 가스의 처리가 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 수질오염을 초래 • 선택시 재질의 부식성을 고려해야함 • 동력 요구량 및 압력손실이 큼 • 부생물 회수가 어려움 • 소수성 입자는 집진이 어려움

세정액 접촉방식에 따른 세정집진기 분류

- 유수식
 - 장치 내부에 세정액을 채운 후 가스를 유입
 - ex) 임펠러형, 로터형, 가스선회형, 가스분출형
- 가압수식
 - 물을 가압공급하여 함진가스로 분사
 - ex) 스크러버(벤투리, 사이클론), 충전탑, 분무탑
- 회전식
 - 송풍기 팬의 회전을 이용
 - ex) 타이젠 와셔, 임펄스 스크러버

회전식 스크러버 수적경 : $(\mu m) = \frac{200}{R} \times 10^4$

세정집진장치 종류 - 충전탑

- 원통형의 탑내에 여러가지 충전재를 넣어 함진가스와 세정액을 접촉시켜 세정하는 장치
- 가스 겉보기 속도 : 0.3~1 m/sec
- 액가스비 : 1 ~ 10 L/m³
- 압력손실 : 50 mmH₂O

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 급수량이 적당하면 처리효과가 확실함. • 가스량 변동에도 비교적 적응성이 강함. • 압력손실이 크지 않음. • 내식성 재료로 제작하므로 설비가 간단함. • 소형의 설비로 대량의 가스 처리 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> • 가스 유속이 클 경우 Flooding 현상 발생. • 불규칙적으로 충전하였을 때 압력손실이 큼. • 흡수액이 고형분을 함유하는 경우 흡수에 침전물이 생겨 방해할 일으킴.

충전물 & 흡수액 구비조건

충전물의 구비조건

- 단위용적당 표면적이 커야함
- 충전밀도가 클수록 좋음
- 내열성과 내식성이 커야함.

- 공극률이 크며 압력손실이 작아야 함
- 액의 hold-up이 작아야함.

흡수액의 구비조건

- 용해도가 커야함
- 휘발성이 적어야 함
- 화학적으로 안정해야하며 독성이 없어야 함.

- 부식성이 없어야 함.
- 가격이 저렴해야하며 점성이 작아야 함

세정집진장치 종류 - 벤츄리 스크러버

- 고속으로 유입되는 가스를 이용하여 액적을 분사한 후 입자를 세정하여 제거하는 장치
- 가스를 60~90 m/sec로 유입
- 액가스비 : 0.3~1.5 L/m³
- 압력손실 : 300~800 mmH₂O
- 집진효율 : 80~95%

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 세정 집진 장치 중에는 가장 고효율 • 소형으로 대용량 배기가스 처리가 가능 • 액가스비가 작아 소량의 세정액이 요구됨. • 점착성, 조해성 먼지 처리 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 가스 압력손실이 매우 크므로 많은 비용 • 노즐이 막힐 우려가 있고 마모, 부식이 심함

※ 벤츄리 스크러버의 액가스비를 크게하는 요인

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 먼지의 친수성이 작을 때 • 처리가스의 온도가 높을 때 | <ul style="list-style-type: none"> • 먼지의 입경이 작을 때 • 먼지의 농도가 높을 때 |
|---|--|

세정집진장치 종류 - 분무탑

- 내부가 비어있는 탑 내부에 액적을 분사하고 이 액적 표면적을 이용해 입자를 세정하는 장치
- 가스 겉보기 속도 : 0.2 ~ 1 m/sec
- 액가스비 : 0.1 ~ 1.2 L/m³
- 압력손실 : 2 ~ 20 mmH₂O

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 구조가 간단하며 충전탑 보다 비용이 적음 • 압력손실이 작음 • 10 μm 이상의 입자와 침전물이 발생하는 가스에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 미세입자의 제거에 불리 • 많은 동력이 소모됨 • 집진 효율이 낮음

세정집진장치 종류 - Theisen washer

- 고정 및 회전 날개로 구성된 다익형의 날개를 350~750 RPM 정도로 선회하여 함진가스와 세정수를 교반하여 먼지 제거
- 미세먼지 약 99% 까지 제거 가능
- 별도의 송풍기는 필요없지만 동력비는 많이 소모
- 액가스비 : 0.5 ~ 2 L/m³

※ 흡수 장치의 종류

가스분산형 흡수장치	액분산형 흡수장치
<ul style="list-style-type: none"> • 액측저항이 큰 경우에 사용 • 용해도가 낮은 가스에 적용 ex) 다공판탑, 종탑, 기포탑	<ul style="list-style-type: none"> • 가스측 저항이 큰 경우에 사용 • 용해도가 높은 가스에 적용 ex) 충전탑, 분무탑, 벤츄리 스크러버

여과 집진장치

- 가스를 여재(filter)에 통과시켜 입자를 포집하는 장치
- 0.1 ~ 20 μm 입경의 입자 처리
- 압력손실 : 100 ~ 200 mmH_2O
- 집진효율 : 90 ~ 99%
- 처리가스 속도 : 0.3 ~ 0.5 m/sec

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 집진율이 우수 • 취급이 쉬움 • 여러 가지 형태의 분진을 포집할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 습윤 환경에서는 사용할 수 없음 • 높은 온도와 부식성 물질로 인해 여과포가 쉽게 손상 • 여과포의 유지 보수에 비용이 소모 • 폭발의 위험성

• 여과집진기 설계요소 - 걸보기 여과 속도

$$- \quad = \frac{Q_f}{f}, \text{ 일반적으로 } 0.3 \sim 10 \text{ cm/sec 범위}$$

• 여과집진기 설계요소 - 분진부하량

- 여과포 단위면적 당 포집된 분진량

• 총 여과시간

$$\% \text{ 먼지층의 두께} = \text{먼지부하량}(\text{g/cm}^2) / \text{먼지밀도}(\text{g/cm}^3)$$

※ 배출가스량에 따른 여과포

$$Q = A \times n \times v_f$$

만약 원통형 여과포 일 경우,

$$Q = \pi \times D \times L \times n \times v_f$$

여기서,

D : 직경

L : 여과포 길이

n : 여과포 개수

v_f : 여과속도

여포재 별 내산성 - 사용온도

- 목면 : 내산성 나뭇 - 약 80 $^{\circ}\text{C}$
- 유리섬유 : 내산성 양호 - 약 250 $^{\circ}\text{C}$
- 오론 : 내산성 양호 - 약 150 $^{\circ}\text{C}$
- 비닐론 : 내산성 양호 - 약 100 $^{\circ}\text{C}$

전기집진장치

- 정전력을 이용하여 입자를 집진하는 장치
- 코로나 방전을 발생시켜 가스 중의 입자를 하전하여 쿨롱력에 의해 분리 포집
- 화력발전소, 제철소, 시멘트공장, 펄프공장 등 주로 다량 분진 배출시설에 적용
- 입경이 작은 입자의 제진에 효과적
- 0.05 ~ 20 μm 의 입자 처리 (0.1 ~ 0.5 μm 입경 범위에서 효율이 최대)
- 압력손실 : 건식(10 mmH₂O), 습식(20 mmH₂O)
- 집진효율 : 90 ~ 99.9%
- 처리가스 속도 : 건식(1 ~ 2 m/sec), 습식(2 ~ 4 m/sec)

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 99% 이상의 높은 효율 • 0.1 μm의 미세입자도 처리 가능 • 모든 종류의 분진, Mist 또는 연무질 처리 가능 • 압력손실이 적어서 동력비가 적음 • 부식성, 폭발성 가스도 처리 가능 • 고온의 배기가스 처리 가능 • 보수가 간단하고 유지관리비가 적음 	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모 가스를 처리할 경우 시설비가 높음 • 전기 비저항이 매우 낮거나 높은 가스는 전처리가 필요 • 가연성 가스는 방폭대책이 필요

효율 - 전기집진장치

- Deutsch - Anderson 식을 사용(가장 보편적)

$$\eta = 1 - e^{-A W}$$

여기서,

η : 효율

: 소요집진면적

Q : 처리 가스량

W : 이동속도

※ 평판형 전기집진장치에서 입자를 완전히 제거하기 위한 이론적인 집진극의 길이

$$L = \frac{u}{v_s} \times \frac{S}{2}$$

여기서, u : 가스 유속 v_s : 입자 속도 S : 집진판 사이의 간격

집진기의 효율 향상 조건

- 입자경이 클수록
- 가스의 점성계수가 높을수록
- 인가전압이 높을수록
- 전기집진기의 집진면적이 높을수록
- 처리가스량이 적을수록

※ 전기 비저항

- $10^4 \Omega\text{-cm}$ 이하
 - 전기 비저항이 낮기 때문에 집진극에 집진된 먼지가 전하를 쉽게 흘려보내어 부착력을 잃어 재비산
- $10^4 \sim 10^{11} \Omega\text{-cm}$
 - 이상적인 집진이 일어나는 영역으로 포집효율이 우수
- $10^{11} \Omega\text{-cm}$ 이상
 - 전기비저항이 높기 때문에 퇴적층에는 높은 electronic field가 걸리지만 반대로 gap에는 낮은 field가 걸리게 되고 그로 인해 포집 성능이 저하됨.
 - 퇴적층의 비저항이 매우 높아 퇴적층 양 끝의 전위차가 커져 스파크 방전을 일으키는 역전리 현상 발생
- 전기 비저항이 너무 낮은 경우($10^4 \Omega\text{-cm}$ 이하)
 - 배출가스 중에 NH_3 주입
 - 온도와 습도를 낮게 유지
- 전기 비저항이 너무 높은 경우($10^{11} \Omega\text{-cm}$ 이상)
 - 처리가스 온도를 높게 유지
 - 배출가스 중에 물 또는 수증기 주입
 - 배출가스 중에 무수황산 주입

※ 2차 전류에 대한 장애현상

2차 전류가 현저하게 떨어질 때

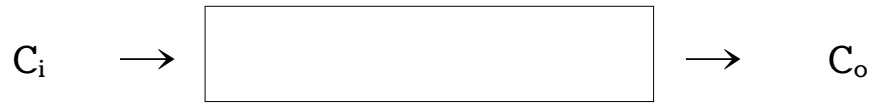
- 원인 : 먼지 농도가 높을 때, 먼지 저항이 높을 때
- 대책 : 스파크 횟수 증가, 조습용 스프레이 수량 증가, 입구 먼지 농도 조절

2차 전류가 많이 흐를 때

- 원인 : 고압회로의 절연 불량, 먼지 농도가 낮은 상태, 이온 이동도가 큰 가스, 방전극이 너무 가늘 때
- 대책 : 고압부 절연회로의 점검 및 방전극 교체

※ 집진기 효율 공식 정리

집진효율 - 입구, 출구 유량이 같은 경우 ($Q_i = Q_o$)



$$= (1 - \frac{C_o}{C_i}) \times 100$$

$$P = \frac{C_o}{C_i} \times 100$$

여기서,

η : 집진율 (%)

P : 통과율 (%)

C_i : 입구농도

C_o : 출구농도

집진효율 - 입구, 출구 유량이 다를 경우 ($Q_i \neq Q_o$)



$$\eta = (1 - \frac{C_o Q_o}{C_i Q_i}) \times 100 \quad : \text{제거효율(집진율)}$$

$$P = (\frac{C_o Q_o}{C_i Q_i}) \times 100 \quad : \text{통과율}$$

집진기를 직렬연결했을 때 총 제거효율

$$\eta = [1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n)] \times 100$$

여기서, η_n : n 번째 집진장치의 집진율

집진기를 병렬연결했을 때 총 제거효율

$$\eta_T = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2}$$

각종 유해가스의 방지기술

흡수법(absorption)

헨리의 법칙

- 일정 온도에서 일정량 액체에 용해되는 기체 질량은 그 압력에 비례.

$$HC$$

여기서,

H : 헨리상수(atm · m³/kmol)

C : 액중 농도(kmol/m³)

- 물에 대해 난용성인 기체(CO, NO₂, H₂S, N₂, O₂ 등)로, 물에 용해되어 기체로 존재하는 것에만 적용.
- 용해도가 큰 기체 - Cl₂, HCl, HF, SiF₄, SO₂ 등 : 헨리의 법칙이 적용되지 않음.
- 용해도가 작은 기체 - O₂, N₂, CO₂, NO₂ 등 : 헨리의 법칙이 잘 적용됨.

흡수장치

액분산형 흡수장치 : 충전탑, 분무탑, 벤츄리 스크러버, 싸이클론 스크러버, 제트 스크러버

가스분산형 흡수장치 : 단탑(포종탑, 다공판탑)

흡수장치 - 액분산형 흡수장치

• 충전탑

- 여러 형태의 충전물질을 탑내에 채워넣고 하부로 함진가스를 주입하여 상부의 세정액으로 가스를 세정

• 벤츄리 스크러버

- 입구측에 벤츄리 관을 삽입하고 세정수를 분무하여 함진가스를 흡수하는 장치.
- 함진가스의 유속은 60~90 m/sec 수준
- 압력손실이 300 ~ 800 mmH₂O 수준으로 크고 동력소모가 많음

• 제트 스크러버

- 노즐로 분무되는 고압의 세정수에 의해 함진가스를 세정하는 장치
- 효율은 좋지만 소요액량이 많음(10 ~ 100L/m³)
- 유지비가 많이 소모되므로 처리가스량이 많지 않을 경우 사용됨.

• 싸이클론 스크러버

- 원통안의 탑내를 선회상승하는 가스를 탑 중심의 분무공으로부터 분무되는 세정수에 의해 세정하는 장치

• 분무탑

- 함진가스에 미세한 세정수를 분무하여 세정하는 방식
- 편류가 일어나기 쉽고 분무액과 가스의 균등한 접촉을 유지하는 것이 어려움

흡수장치 - 가스분산형 흡수장치

• 단탑

- 포종탑, 다공판탑
- 비교적 소량의 액량으로 조작하며 단수를 증가시킬 경우 효율 향상

• 기포탑

- 원형탑 바닥으로부터 가스를 분사하여 탑내의 액(기포)속으로 연속적으로 주입하여 접촉시키는 장치
- 고체입자 현탁액을 흡수액으로 할 때 효과적

※ 흡수 장치의 종류

가스분산형 흡수장치	액분산형 흡수장치
<ul style="list-style-type: none">• 액측저항이 큰 경우에 사용• 용해도가 낮은 가스에 적용 ex) 다공판탑, 종탑, 기포탑	<ul style="list-style-type: none">• 가스측 저항이 큰 경우에 사용• 용해도가 높은 가스에 적용 ex) 충전탑, 분무탑, 벤츄리 스크러버

흡착법(adsorption)

흡착제를 이용하여 오염가스와 악취 등을 제거하는 공정

흡착법을 사용하는 경우

- 오염가스를 회수할 가치가 있는 경우
- 오염가스가 연소하기 어려운 경우
- 오염가스의 농도가 매우 낮은 경우
- 용해도가 작은 경우

물리적 흡착

- 흡착제와 오염가스가 Van der waals force에 의해 달라붙는 가역적 반응
- 흡착제 재생과 오염가스 회수가 편리
- 온도가 상승하거나 압력이 낮아지면 흡착량도 감소.
- 분자량이 클수록 잘 흡착됨

화학적 흡착

- 흡착제와 오염가스가 화학적 반응에 의해 새로운 물질로 변하는 비가역적 반응
- 물리적 흡착에 비해 훨씬 강력한 결합

흡착장치를 설계하거나 선택할 때 고려사항

- 가스가 장치 내부에 머무는 체류시간이 충분해야 함.
- 흡착제의 사용기간이 충분히 길어야 함.
- 가스 흐름에 대한 저항성이 적어야 함.
- 흡착제에 해를 주는 물질은 전처리해야 함.
- 흡착제를 재생시키는 설비가 필요.

흡착제의 종류

- 활성탄 : 가장 많이 사용, 비극성 물질을 흡착(유기용제 증기제거에 쓰임), 용제회수, 가스정화
표면적 약 600~1400 m²/g
- 실리카겔 : 250 °C 이하에서 물 및 유기물을 흡착, NaOH 용액 중 불순물 제거
- 활성 알루미나 : 물과 유기물을 잘 흡착하며 175~325 °C로 가열하여 재생
- 합성 제올라이트 : 극성이 다른 물질이나 포화가 다른 탄화수소 물질의 분리가 가능
- 보크사이트 : 석유 중의 유분 제거. 가스 및 용액건조
- 마그네시아 : 기름 용제 정제, 표면적 약 200 m²/g

황산화물의 방지기술

접촉수소화탈황법과 배연탈황방법 2가지 종류

접촉수소화탈황법 : 실용적이고 가장 널리 쓰이는 중유탈황방법

• 직접 탈황법

- 전처리 없이 내독성 촉매(Co-Ni-Mo)를 이용,
- 고온·고압에서 수소와 유기황화합물을 반응시켜 S, H₂S로 제거.

• 간접탈황법

- 상압 잔유를 감압증류하여 촉매독이 적은 경유분을 탈황시키고 감압잔유와 재혼합.

배연탈황법 - 건식 석회석 주입법, 암모니아 흡수법, 가성소다 흡수법, 석회세정법, 황성산화망간법, 산화법, 활성탄 흡착법, 전자선 조사법

건식 석회석 주입법

- 연소실에 석회석(CaCO₃)을 직접 주입하여 소성에 의해 생성된 생석회(CaO)와 SO₂를 900 ~ 1000 °C에서 반응시켜 CaSO₄ 분말(석고)로 제거.
- (소성 → 흡수 → 산화 과정) (CaCO₃ + SO₂ + 1/2O₂ → CaSO₄ + CO₂)
- pH 영향을 많이 받지 않고 소규모 보일러나 노후시설에 설치가능(부대시설이 적음)
- 접촉시간이 짧고 깊게 침투하지 못해서 효율이 낮음
- 스케일과 부식의 문제 발생

암모니아 흡수법

- SO₂를 NH₃ 수용액과 반응시켜 황산암모늄 또는 아황산암모늄으로 회수하는 방법
- 약 90% 탈황률

가성소다 흡수법

- 수용액상의 NaOH를 흡수탑으로 주입시켜 SO₂를 흡수시켜 Na₂SO₃를 회수하는 방법
- 90% 이상의 탈황률

석회세정법

- 용해도가 낮은 탄산칼슘, 산화칼슘을 슬러리 상태로 만들어 흡수제로 사용하는 방법
- SO₂는 CaSO₃, CaSO₄ · 2H₂O로 회수
- 약 90% 정도의 탈황률

※ 스케일링 방지 대책

- 부생된 석고반송과 흡수액 중 석고 농도를 5% 이상 높게하여 결정화를 촉진
- 순환액의 pH 변동 줄임
- 흡수액량을 다량 주입하여 탑내 결착 방지
- 가능한 탑내 내장물 최소화

활성산화망간법

- 활성산화망간을 분말상으로 하여 기류수송방식의 흡수탑에서 SO₂ 및 O₂와 반응시켜 MnSO₄ 생성

산화법

• 접촉산화법

- V₂O₅나 K₂SO₄ 등의 촉매로 SO₂를 산화하여 황산으로 회수
- 80% 정도의 진한 황산으로 회수할 수 있으며 탈황율은 약 90%

• 금속산화법

- SO₂를 Zn, Fe, Cu, Mn 등의 산화물에 반응시켜 회수
- 흡수제의 기능과 효율이 장시간 지속되며 배기가스 배출온도에서 반응 가능
- 흡수·재생이 같은 온도에서 진행되며 부산물이 없음.

※ 활성탄 재생설비

구분	다단로	회전로
온도 유지	• 여러 개의 구분된 영역에서 온도분포 조절이 가능	• 1개의 버너로 영역 별 온도 유지가 불가능하고 열 효율 낮음
수증기 공급	• 반응영역에서 일정하게 분사	• 입구에서만 공급하므로 일정하지 않음
입도 분포	• 입도 분포에 관계없이 체류시간을 동일하게 유지 가능	• 입도에 비례하여 큰 입자가 빨리 배출
품질	• 고품질 입상재생 설비로 적합	• 고품질 입상재생 설비로 부적합

질소산화물의 방지기술

접촉환원법 - SCR, SNCR

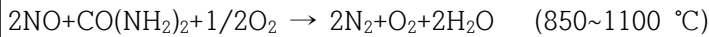
촉매 접촉(TiO₂, V₂O₅ 혼합촉매)하에 환원제를 이용하여 NO_x를 N₂로 환원 처리하는 방법

접촉환원법 - SCR



- 250 ~ 450 °C 범위의, 상대적으로 낮은 온도에서 반응,
- 배기가스 중 존재하는 O₂ 와는 무관하게 NO_x를 선택적으로 N₂, N₂O로 접촉환원시키는 방법
- 환원제 : NH₃, (NH₂)₂CO, H₂S
- NH₃는 산소에 의해 반응속도가 증대되고 공해문제도 적어서 많이 사용.

접촉환원법 - SNCR



- 850 ~ 1100 °C의 고온조건에서 배기가스에 요소수를 분무하여 반응, 제거율 30~70%
- 배기가스 중 O₂를 환원제로 소비한 후 NO_x로 접촉환원
- 환원제 : CO, CH₄ 등의 탄화수소, H₂
- NO_x와의 반응정도는 CO>H₂>CH₄ 순이며 탄화수소의 경우 탄소수가 많을수록 불포화도가 높을수록 좋음

※ 질소산화물 처리

- 저온연소
- 저산소 연소 - 공기비를 1.05-1.1로 조절
- 저질소 성분연료 우선 연소
- 2단 연소(버너 부분에 85~95% 공기, 상부 공기 부분에 10~15% 공기)
- 배기가스 재순환 연소
- 버너 및 연소실의 구조 개량
- 촉매환원법

다이옥신의 제어

- 촉매분해법 : 금속산화물 또는 귀금속 촉매를 이용하여 분해
- 광분해법 : 자외선을 배기가스에 조사
- 열분해법 : 산소가 희박한 환원성 분위기에서 탈염소화, 수소첨가반응을 통해 분해
- 고온열분해법 : 배기가스 온도를 850°C 이상으로 유지하여 열분해. 현재 많이 이용 중
- 초임계유체 분해법 : 초임계유체의 극대 용해도를 이용하여 흡수제거
- 오존산화법 : 수중 다이옥신을 처리하는 방법으로, 용액 중 오존을 주입하여 산화분해. 염기성 조건일수록, 온도가 높을수록 분해 잘 됨.

%%

CS₂ - 암모니아 주입법

CO - 촉매산화처리법

HCN - 수세처리법

※ 삼원촉매장치

- 2개의 촉매 층이 직렬로 연결되어 CO, HC, NO_x를 동시에 90% 정도 저감할 수 있는 후처리 기술
- 담체와 귀금속 촉매의 반응도를 높이기 위해 둘 사이에 Al₂O₃ washcoat를 중간매체로 입히고, 직접 가스와 접촉하는 촉매물질을 바깥에 도포
- 최근에는 Pt/Pd/Rh의 trimetal system이 주로 사용.
- 로듐(Rh)는 NO를 N₂로 환원시키는 환원촉매(1단계), 백금(Pt)는 CO, VOC를 CO₂, H₂O로 산화시키는 산화촉매(2단계), 팔라듐(Pd)는 CO, HC 반응 개시온도(light off)에 유리하게 하는 역할(산화)
- 이론공연비 중심으로 삼원촉매의 전환효율이 유지되는 공연비폭(window)가 있으며, 이는 매우 좁아 공기과잉률로는 1.0±0.005, A/F로는 14.48~14.62.

VOC 처리

소각처리법과 흡수처리법, 흡착처리법, 막분리법 etc.

소각처리법

- 직접화염산화 : 약 750 ~ 850 °C의 온도로 제거
- 열산화 : 열회수 방식과 축열식 2가지
- 촉매소각로 : 약 300 ~ 400 °C의 온도에서 반응, 보조연료 불필요
저농도, 적은 배출량의 시설에 적합.
Cu, Au, Ag, Zn, Cd 는 촉매 수명을 단축시킴.

흡수처리법

- con-current나 cross 형태로 설계. 주로 con-current. 지방족 HC, 방향족 HC, 할로겐 HC 처리에는 곤란

흡착처리법

- 활성탄이 주로 이용.
- 메탄올, 알데히드류, 아민, 탄화수소류의 흡착 특성이 나쁨.

막분리

- VOC를 포함한 가스를 압축시킨 후 응축기를 통과.
- 이 때 유기용제가 우선적으로 침투되는 막모듈을 통과시켜 VOC 농축

기타 방법

- 냉각응축 : 대상물질을 이슬점 이하로 낮추어 회수, 고농도 이고 가치가 있는 물질일 때 사용
- 생물여과 : 적절한 수분과 VOC를 함유한 가스를 bed로 주입하여 부착된 미생물에 의해 VOC 산화
- UV, plasma

환기

직접흡인법 : 발생시설 본체에서 직접 흡인하는 방법

간접흡인법 : 발생원에서 발생한 오염물질을 후드로 포착하여 흡인

후드의 형식과 특징

포위식 후드

- 분진 발생원을 완전히 덮어 오염물질의 누설을 방지
- 유독물질 처리 시 사용
- 완전한 오염방지 가능, 주변의 난기류의 영향을 적게 받음

외부식 후드

- 흡인력이 외부에까지 미치도록 한 형태
- 구조적으로 발생원을 덮을 수 없는 상황에 사용됨.
- 작업자가 방해를 많이 받지 않고 작업이 가능
- 잉여 공기량 소요가 많음.

ex) 천개형, 그라인더형

리시버식 후드(수평후드)

- 오염물질이 가지고 있는 열상승력이나 관성력을 이용하여 포집
- 비교적 유해성이 적은 물질에 사용
- 잉여공기량 소요가 많음

송풍기 - 원심형 송풍기

- 전향날개형(다익형)
 - 효율 낮음, 제한된 곳이나 저압에서 대풍량 요구하는 곳
- 후향날개형(터보형)
 - 소음이 크지만 구조가 간단하고 설치장소의 제약이 적음
 - 고온·고압의 대용량에 적합.
- 비행기 날개형(익형)
 - 터보형을 변형한 형태
 - 고속 가동이 가능하며 소음이 적고 효율이 좋음

송풍기 - 축류형 송풍기

- 프로펠러형(평판형)
 - 축차에 2개 이상의 두꺼운 날개
 - 저압·대용량에 적합
- 고정날개축류형(베인형)
 - 적은 공간소요.
 - 효율이 좋으며 공기분포가 양호함

※ 송풍기의 상사법칙

- 송풍기의 크기와 유체 밀도가 일정할 때,

$$N, P_s \propto N, P \propto N^3$$

여기서,

Q : 유량

P_s : 풍압

P : 동력

%%

$$N_1 \times \frac{Q_1^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{P_1}{\rho_1}\right)^{\frac{3}{4}}} = N_2 \times \frac{Q_2^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{P_2}{\rho_2}\right)^{\frac{3}{4}}}$$

여기서,

N : Fan의 회전수

Q : 풍량(m^3/min)

P : 전압(mmH_2O)

ρ : 상온상압에서 밀도($1.2kg/m^3$)

※ 송풍기 조작 중 유량 과부족 현상 발생시 유량 조절 방법

- 회전수 조작
- 안내익 조절
- Damper 부착

악취 오염물질 - 물리적 특성 :

- 냄새는 화학적 구성보다는 구성 그룹의 배열에 의한 물리적 차이에 결정됨
- 증기압 : 일반적으로 증기압이 높을수록 악취가 심함.
- 용해도 : 물과 지방질에 잘 녹음
- 적외선 흡수 : 적외선을 강하게 흡수. 예외로 파라핀과 CS₂는 적외선에 투명.
- 라만효과 : 냄새는 분자 내부 진동에 의존한다고 가정되어 라만변이와 연관이 있을 것으로 추정

악취 오염물질 - 화학적 특성

- 대체로 실온에서 액상이고 반응성이 좋다.
- 저분자인 것이 휘발성이 높고 악취가 심하며, C₈~C₁₃에서 가장 향기가 강함.
- 친유성·친수성의 양기(兩基)를 가지고, 불포화도가 높을수록, 환상화합물의 경우 환상이 클수록 냄새가 강함
- 분자 내 수산기가 1개일 때 가장 강하고 수가 증가하면 감소
- 복합체 형성하면 냄새 감소.

※ 악취물질 별 냄새특성

- 황화합물 : 계란 썩는 냄새
- 질소화합물 : 분뇨, 생선 냄새
- 알데히드류 : 자극적이며 새콤하면서 타는 듯한 냄새
- 탄화수소류 : 자극적인 신나 냄새, 가솔린 냄새
- 메틸아민 : 암모니아와 비슷한 냄새
- 메틸메캅탄 : 양파 썩는 냄새
- 아크로레인 : 불쾌한(?) 냄새, 석유화학, 글리세롤 생산 공정에서 발생.

%%

유해가스 종류별 처리제

- SiF₄ - H₂O : 생성물로 SiO₂
- F₂ - NaOH : 생성물로 NaF
- HF - Ca(OH)₂ : 생성물로 CaF₂
- Cl₂ - Ca(OH)₂ : 생성물로 CaCl₂, Ca(OCl)₂