

# 세정집진장치 (Venturi Scrubber)

■ 자료제공 : 환경처

## 1. 개요

세정 집진은 일반적으로 습식 집진으로도 불리우지며 액적 또는 액막 및 기포에 의해서 배기가스를 세정하고 이것에 의해 분진 입자의 부착 또는 응집, 조대화를 이루어 배기가스로부터 입자의 분리, 포집을 행하는 장치이다. 세정 집진기에서는 어떤 형식이든 포집 먼지의 제거, 폐수처리, 사용된 세정수의 해결이 문제가 된다.

세정 집진을 계획함에 있어 제약조건을 감안하고 집진 조건을 만족하는 적절한 세정 집진기를 선정하는 것이 아주 중요한 일이다. 적은 압력에 의한 동력비의 절감, 적은 세정수 사용에 의한 용수비용의 절감에 힘쓰고, 적절한 집진 효과를 유지하지 않으면 안된다.

## 2. 원리

세정 집진 장치는 세정액을 분산하거나 함진 가스를 분산시켜 생성시킨 액적, 액막 및 기포에 의해서 배기가스중의 미립자를 분리 포집하는 장치로서 관성력, 확산력, 응집력, 중력 등이 이용된다. 관성력과 중력은 입자경이 큰 경우에 확산력과 응집력은 입자경이 작은 때에 큰 작용을 한다.

분리포집하는 포집장치의 작용력은 다음과 같이 형성된다.

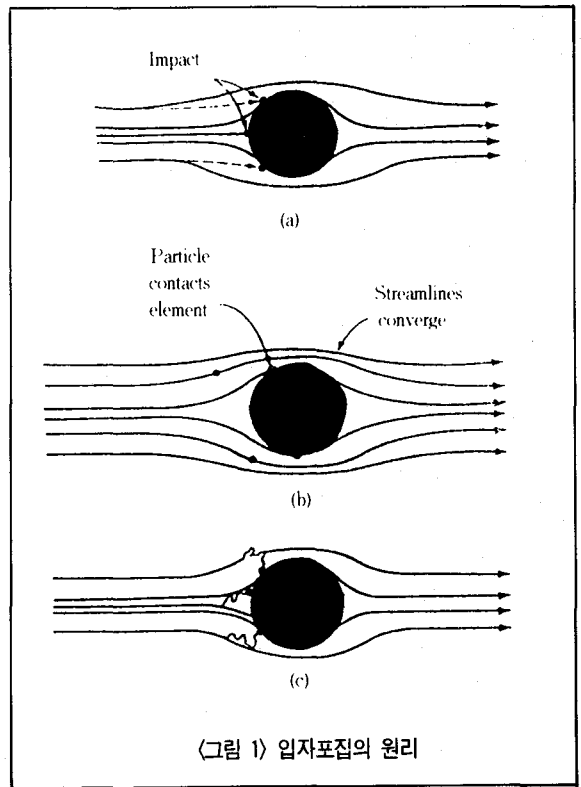
- 액적, 액막과 입자의 관성충돌에 의한 부착
- 미립자의 확산에 의한 액방울의 부착
- 가스의 증습으로 입자의 응집성 증가(흡습)
- 입자를 핵으로 하는 증기의 응결과 응집성의 증가
- 액막, 기포에 대한 입자의 접촉

이와 같이 세정 집진은 다량의 액적, 액막, 기포를 형성시켜 가스와의 접촉을 좋게 하여 기액분리의 효과를 높임으로서 집진효율을 증대시킨다.

### (1) 액방울에 의한 충돌 포집(관성충돌작용)

세정 집진에서는 생성되어진 액적, 액막, 기포와 분진 입자와의 접촉에 의해 입자 분리가 이루어 지지만 환경관리인. 1993. 12

dust의 입경이  $1\mu\text{m}$  이상인 경우는 관성충돌이 아주 큰 집진 작용이 된다.



### (2) 확산 포집작용

연무질(함진가스)중의 입자농도에 차이는 있지만 고농도 영역으로부터 저농도영역으로 확산 이동하여 입자 농도를 균일하게 하려는 성질이 있다. 입자가 Brown운동을 하는 정도로 미세하거나 그 확산 작용으로 액적 등의 장애물 표면에 부착해서 분리가 된다.

특히  $0.1\mu\text{m}$  이하의 미립자 포집에서는 확산 작용에 의한 부착이 지배적 역할을 한다. 확산에 의한 입자의 부착속도는 입자의 확산계수에 비례하는 것으로 알려져 있다. 확산계수는 입자경이 작은 경우에 커지고 dust입자의 액적의 확산으로 부착량이 커지게 된다. 그 확산 부착량은 확산 계수의 정도와 dust 입자경이

같은 경우에는 액적경과 가스의 점도가 작은 경우, 가스와 액적과의 상대속도가 큰 경우, 확산에 의한 dust 입자의 액적에의 부착량은 많아지고 집진효율도 높아진다.

### (3) 응집작용

매연 등의 연무질은 일반적으로 수증기, 무수황산 가스상의 유기물질 등을 함유한 경우가 많다. 가스온도가 낮아져서 그 응축성분이 dust의 표면에 흡수또는 흡착된다. 분진 입자는 상호간에 응집하여 큰 2차 입자를 형성하게 된다.

즉, 세정 집진은 일반적으로 가스 온도가 노점에 도달하게 되면 분진 입자의 표면은 응축액으로 피복되어져서 응집하게 된다. 따라서 세정 집진 장치에 있어서 고집진율을 얻기 위해서는 배기가스 온도를 가능한 낮추어 증습시킨 상태로 처리하는 것이 효과적이다.

## 3. 종류

세정 집진 장치를 크게 나누면 유수식, 가압수식, 회전식의 3종류로 분류된다. 세정 집진 장치는 대체로 성능에 비해 값이 싸고 기종에 따라서는  $0.1\mu\text{m}$ 까지도 고효율의 집진이 가능하고 동시에 유해가스처리도 겸하는 경우가 많이 있으나 가장 큰 단점은 상당한 물이 필요하고 폐수 처리장치가 동시에 필요한 것이 단점이다.

### (1) 유수식

그림 2와 같이 집진 장치내에 일정량의 물이나 액체를 보유하여 가스가 유입하면 액적, 액막 및 기포를 만들어 가스의 흡수와 분진을 세정한다. 이 방법은 투입액을 순환 사용하기 때문에 세정액의 공급량이 극히 적어도 된다.

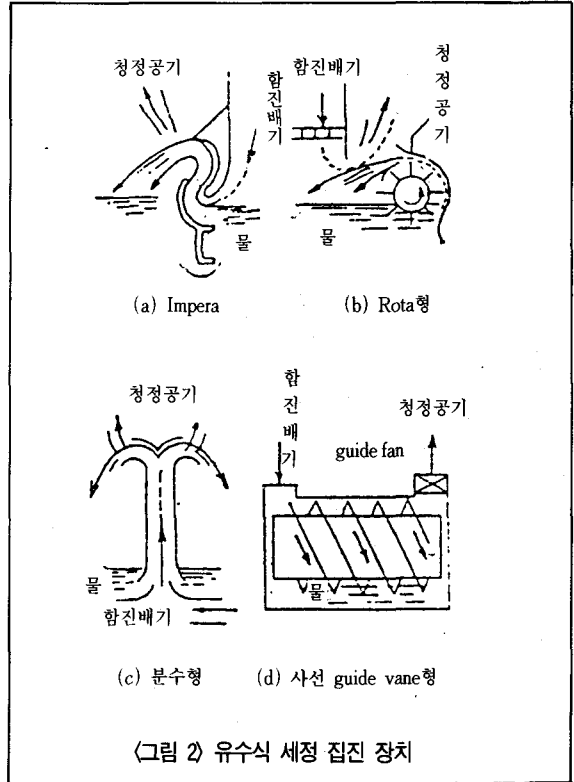
이 방법의 세정 시설은 세정액의 미립화부의 유입가스 속도가 크고, 액적, 액막 및 기포의 전체 면적이 클수록 집진 효율이 증가한다.

#### ① 전류형 Scrubber(Impinger Scrubber)

함진가스가 고속으로 수중에 들어가 기포상으로 분사하고 이어 수중의 충돌판에 부딪혀서 전류 방식으로 통과하는 도중에 입자가 포집된다. 압력손실은  $100\sim 300\text{mmAq}$  액·가스비는  $0.1\sim 1\text{l}/\text{m}^3$ ,  $1\mu\text{m}$  이상의 분진 입정처리에 적당하다.

#### ② Air Tumbler

dust의 관성력을 이용하여 수면에 충돌시켜 특수한 선회류에 의해서 가스의 점성으로 세정수를 벽면을 따라 상승케 하여 그 수막에 분진을 침적시켜 포집하는 것이다.



(그림 2) 유수식 세정 집진 장치

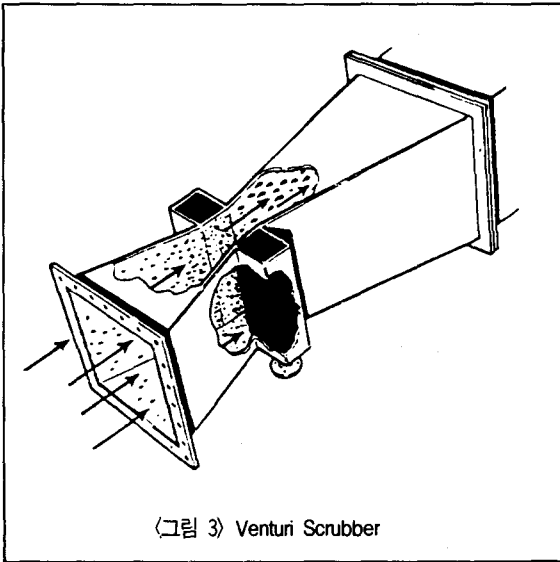
### (2) 가압수식

물 또는 기타 액체를 가압 분사시켜 충돌과 확산에 의하여 함진입자를 포집하는 것이며 대체로 많은 양의 세정수가 필요하기 때문에 포집 후 고액 분리를 하며 세정수를 재차 순환시켜 사용한다. 집진율은 분사압력과 세정 수량에 따라 변환된다.

#### ① Venturi Scrubber

가압수식 타입의 대표적인 것이며 세정 집진기 중 가장 집진율이 커서 광범위하게 사용되고 있다. 그림 3과 같은 구조로 되어 있으며 함진가스를 venturi관의 좁은 곳으로 통과시켜 throat부의 유속을  $50\sim 100\text{m}/\text{s}$ 로 상승시켜서 그 속에 물을 분사시켜 생긴 액적과 분진입자를 충돌, 포집시키는 것이다. 구조는 간단하지만 압력손실이  $300\sim 1000\text{mmAq}$  정도로 집진 장치중 가장 높다.

물 또는 기타 액체를 가압분사시켜 충돌과 확산에 의하여 함진가스를 포집하는 것이며 대체로 많은 양의 세정수가 필요하기 때문에 포집 후 고액분리를 하여 세정수를 재차 순환시켜 사용한다. 집진율은 분사압력과 세정수량에 따라 변화된다.



(그림 3) Venturi Scrubber

**\* 액 / 가스비**

10 $\mu$ m이상의 조 입자 또는 친수성 입자는 0.3L / m<sup>3</sup>이며, 10 $\mu$ m 이하의 미립자 또는 소수성 입자는 1.5 $\ell$  / m<sup>3</sup> 정도이다.

가압수는 Throat부 주위에서 주입하여 고속 기류에 의해 미립화 시켜서 확대관에서 격렬한 난류에 의해 분진 입자를 접촉 포집시킨다.

일반적으로 액 / 가스비(L)는 L=0.5~5 $\ell$  / m<sup>3</sup> 범위로 하고 액적경과 분진 입자경의 비는 충돌 효율면에서 150전후가 좋다.

또한 압력손실( $\Delta P$ )은 throat부의 gas 동압( $r \cdot V^2 / 2g$ )에 비례한다.

$$\Delta P = (0.5 + L) \frac{r}{2g} V^2 \dots\dots\dots (3-1)$$

Venturi scrubber는 1 $\mu$ m의 점착성이나 조해성이 있는 분진 입자에 대하여는 bag filter나 전기 집진 장치로서는 부착성 때문에 적용이 곤란한 경우에도 사용 가능하고 집진 효율도 좋아 bag filter와 비교가 가능한 정도이다.

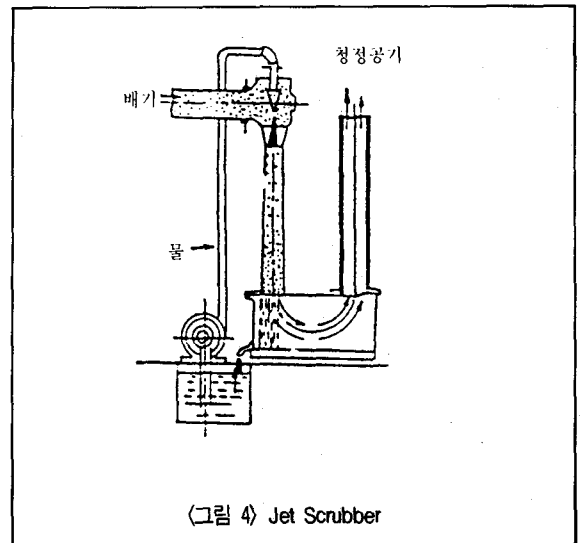
**세정 집진 장치를 크게 나누면 유수식, 가압수식, 회전식의 3종류로 분류된다.**

**세정 집진 장치는 대체로 성능에 비해 값이 싸고 기종에 따라서는 0.1 $\mu$ m까지도 고효율의 집진이 가능하고 동시에 유해가스처리도 겸하는 경우가 많이 있으나 가장 큰 단점은 상당한 물이 필요하고 폐수 처리장치가 동시에 필요하다는 것이다.**

venturi scrubber는 구조가 간단하고 설치공간이 적어도 되고 가스중 SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> 등의 동시 제거도 가능한 잇점이 있으나 압력손실( $\Delta P$ )이 너무커서 동력비가 크고 노즐이 막힐 경우가 있고, 세정 폐수의 처리가 필요하다.

**② Jet Scrubber**

그림 4와 같은 구조로서 함진가스의 흡입이 고속의



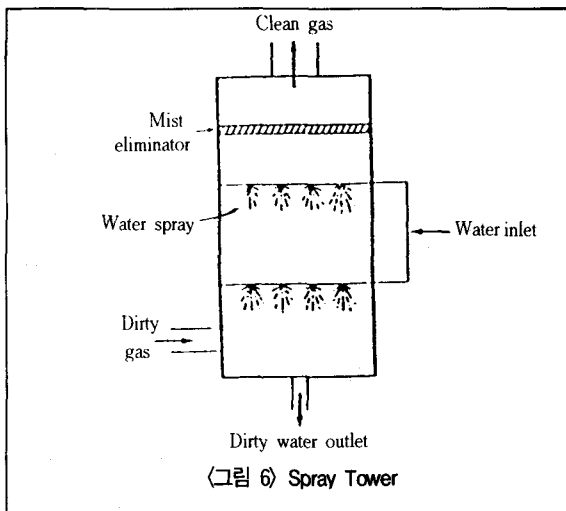
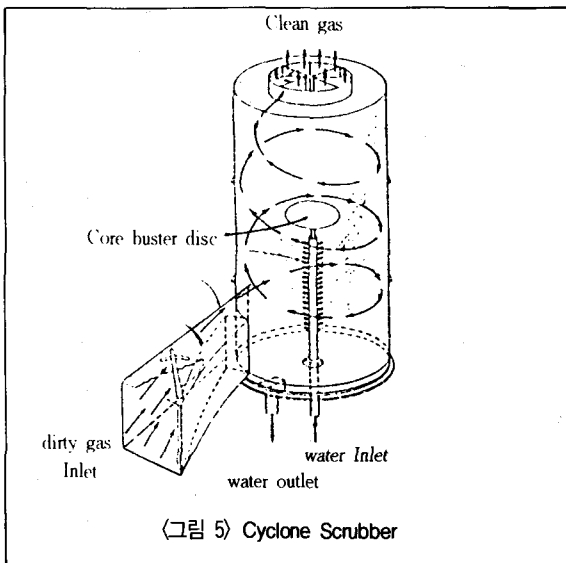
(그림 4) Jet Scrubber

세정수의 이동으로 생긴 물방울이 미립화 한다. 따라서 압력손실( $\Delta P$ )은 없고, 역으로 수압이 상승하므로 다량의 세정수( $L=10\sim 100\text{ l/m}^3$ )를 필요로 한다.

분진입자와 세정액적의 접촉이 좋아 고집진효율이 되지만 처리가스량이 큰 경우에는 곤란하다.

### ③ Cyclone Scrubber

원심력을 이용한 cyclone과 scrubber를 결합시킨 것으로 mist나 수용성 dust의 처리에 효과적이다. 압력손실( $\Delta P$ )은  $100\sim 200\text{ mmAq}$  정도이며, 액/가스비(L)는  $L=0.5\sim 1.5\text{ l/m}^3$ 이다. scrubber impeller를 추가하면 압력손실이 커지며, 집진효율이 증가한다.



### ④ Spray Tower(분무탑)

여러형식이 있으나 그림 6의 예와 같다.

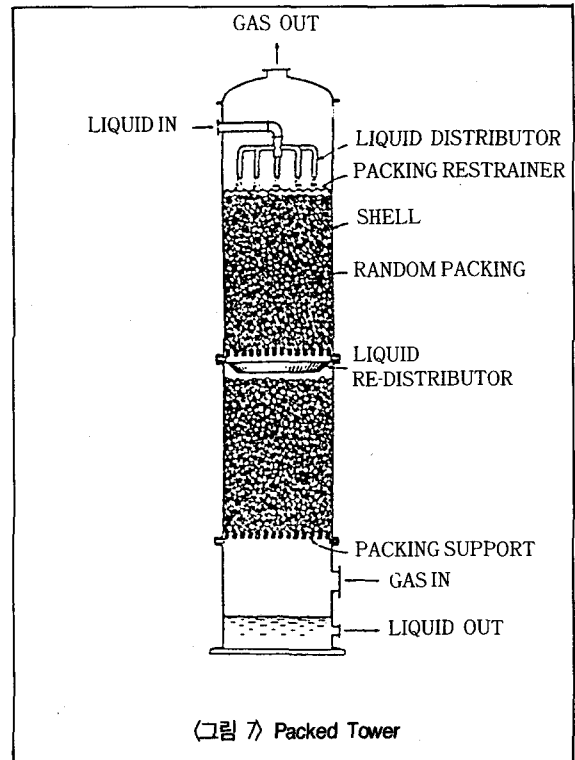
세정액을 함진가스와 방류 또는 향류로 다수의 분사 노즐을 통하여 분무시켜 dust를 포집한다. 고온가스의 경우에는 우선 좌측에서 냉각시켜 포화 가스로 만들어진 후 우측에서 포집된다.

구조가 간단하고  $\Delta P(\Delta P=10\sim 80\text{ mmAq})$ 도 작아서 널리 쓰인다. 분무압력이 크고, 세정액량이 많을수록 집진효율이 크고 액/가스비(L)가  $L=0.5\sim 5\text{ l/m}^3$  정도로 입자  $5\mu\text{m}$  이상의 포집에 이용된다.

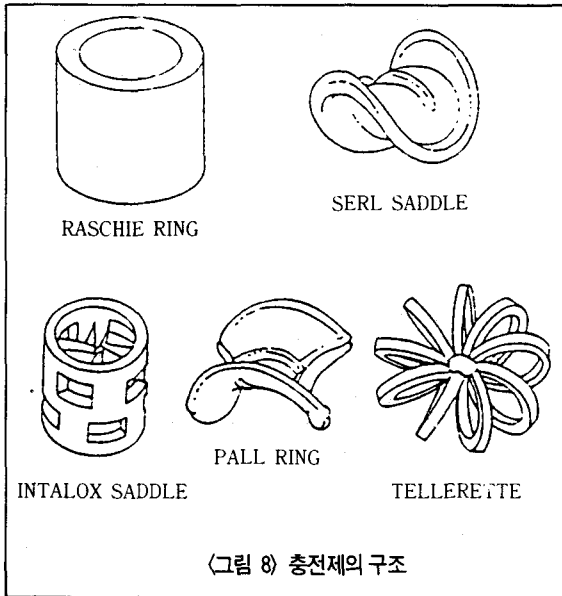
### ⑤ Packed Tower(충진탑)

충진탑에도 여러형식이 있다.

충진제의 종류, 충진층의 높이, 처리가스의 속도 등에 따라 다르나 그림 7의 예와 같다.



압력손실은  $100\sim 200\text{ mmAq}$ , 액/가스비  $2\sim 5\text{ l/m}^3$ 정도,  $1\mu\text{m}$  이상의 분진입자 포집에 이용되고 있다. 충진제로는 그림 8과 같이 여러종류가 있으며 표면적이 크고 처리가스의 체류시간이 길어질수록 집진효율이 높아진다.



(그림 8) 충전제의 구조

(3) 회전식(Rotation Type)

fan의 회전에 의해서 세정수의 분산이 이루어져 수적, 수막, 기포를 형성하여 함진가스를 흡인하여 세정한다.

이 형식에는 theisen washer, impulse scrubber 등이 있다.

theisen washer는 다익의 고정날개와 회전날개 사이를 통하여 함진가스의 회전운동으로 인한 전단력으로 심한 난류를 일으켜서, 송풍기의 중심에서 방사상으로 물이 분사되어 가스중의 분진이 접촉 포집된다.

본 장치의 특징은 압력손실(ΔP=100~300mmAq)이 다른 집진장치에 비해 중압이 되고 액/가스비는 0.7~2l/m<sup>3</sup>정도이나, 동력비가 상당히 크다. 이러한 회전식 집진장치로 부식성 가스를 처리하는 경우, 가동부분이 있기 때문에 원칙상으로 좋지않다.

0.5μm 이상의 입자도 포집할 수 있으며, 설치면적도 작은 편이다.

4. 효율계산

각종 입경의 입자를 세정집진 방법으로 집진할 경우 관성충돌력, 직접흡수, 확산 등의 기전이 상호작용한다. 만약 100개의 입자가 관성충돌력에 의하여 80%가 제진되고 나머지 20% 즉, 20개에 대해서는 직접흡수 기전이 작용하여 그 60%가 제거되면서, 이때 집진 포집된 입자수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{총 집진된 입자수} &= \text{전체 입자수} - \text{통과된 입자수} \\
 &= 100 - [(100 - 100 \times 0.8) - \{(100 - 100 \times 0.8)\} \times 0.6] \\
 &= 100 - \{100 - 100 \times 0.8\} \times (1 - 0.6) \\
 &= 100 \times \{1 - (1 - 0.8)\} \times (1 - 0.6) \\
 &= 92
 \end{aligned}$$

따라서 총 효율은 일반적으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{combined}} &= 1 - (1 - \eta_{\text{inaction}})(1 - \eta_{\text{interception}})(1 - \eta_{\text{diffusion}}) \\
 &= 1 - \{1 - f(g)\} \{1 - f(dp/d_0)\} \{1 - f(1/Pe)\} \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

식 2는 총 효율을 분리계수 즉,  $\eta_{\text{inaction}}$ ,  $\eta_{\text{interception}}$  및  $\eta_{\text{diffusion}}$ 으로 나타낸 식이다. 식 2로 주어진 총 효율은 처리가스의 흐름이 변하면, 변수인  $f(g)$ ,  $f(dp/d_0)$ ,  $f(1/Pe)$ 의 조합이 달라진다. 즉,  $\eta_{\text{combined}}$ 과 이들 변수로 표시되나 변수의 조합이 달라진다. 실제로 이식에는 변수가 너무 많고 처리된 분진과 액적의 입경분포가 서로 다르며, 또한 이들 상호간의 작용이 매우 복잡하기 때문에 실제 문제를 해결하는데는 실험적 결과로 얻어진 것들에 비하여 유용성이 적다.

실제 가동중인 기존 세정집진기나 또는 과일류 세정 집진기로 부터 얻어진 보정계수가 복잡한 상호작용을 규명하는데에 유용하게 쓰여지게 된다. ◀

지속적인 환경보호 맑아지는 우리환경