

미세포말 집진장치의 효율에 관한 연구

최관영¹, 이승환², *이성우¹, 이성수¹

¹ 건국대학교, ²한국생산기술연구원

Study for the efficiency of the Particular Dust Collector

K. Y. Choi¹, S. H. Lee², *S. W. Lee¹, S. S. Lee¹

¹ Konkuk Univ., ² Korea Institute of Industrial Technology

Key words : Efficiency, Mist, Collection, Ultrasonic oscillator, Pieze-electric ceramic, Magnetic warp oscillator

1. 서론

집진장치라함은 먼지나 분쇄 및 연마와 같은 기계적 작용으로 생성되는 분진, 건조나 연소과정에서 생성되는 분진 및 연무질로부터 내포된 고체와 액체를 분리하는 장치로 기체로부터 고체입자를 분리하는 포집기, 공정가스로부터 유해성분입자를 분리하는 장치 및 반은가스에 혼합된 고체성분을 제거하여 청정가스를 만드는 장치를 말한다.

최근 발전소와 일반 산업체에서 발생하는 배출가스 중에 직경 0.1~100 μ m 정도의 부유 입자상 물질(Suspended particulate matter : SPM)은 인체에 침투되기 쉽고 건강에 매우 유해하기 때문에 대기오염방지 차원에서 중요하게 취급되어 있다. 그러나 부유입자상 물질의 절대량이 더욱 증가되어 이로 인한 대기오염은 더욱 심화될 전망이다.

최근 기술경향은 여과포를 이용하는 탈진 기술의 개발은 일반적으로 기존의 기술을 수정 보완하여 점차 새로운 기술로 발전시켜 나가는 방법을 사용하고 있으며 전형적인 탈진 기술에는 역세형(Collapse), 진동형(Shaker) 및 충격젯(Pulse jet) 방식 등이 있으나 충격젯 방식이 주종을 이루고 있으며 이 방식을 보다 효율적으로 수정 보완하고 개선하려는 움직임이 보이고 있다.

본 연구에서는 미세포말분사장치와 Corona 방전을 이용한 단극성 하전 분진에 대한 응집현상을 이용한 집진설비의 효율과 하전 분진의 응집 효율을 도출하고자 한다.

2. 미세포말에 의한 분진제거 기술

미세포말에 의한 제거기술이란 미세입자를 대전시키거나, 인위적으로 응집하여 일정한 크기의 분포를 가지는 입자로 변화시키는 기술, 입자의 거동을 인위적으로 제어하는 기술, 일정한 크기의 조성과 형상을 가지는 입자로 분리 생성시키는 기술이다. 대기 중에 존재하는 입자상 물질은 고체 또는 액체와 같은 분산물질로 구성되며, 그 크기는 약 0.005 μ m인 분자부터 100 μ m(사람의 머리카락 크기) 정도의 입자로 화학적 조성, 생성 메커니즘, 입자형상도 복잡 다양한 형태로 나타난다. 이러한 입자들은 산업공정의 연소 시에 직접 배출되기도 하고, 유해가스가 공기 중에서 화학반응을 일으켜 생성되기도 할 뿐만 아니라, 미세입자의 성분이나 분포도는 매우 다양하다. 특히 산업공정을 통해 발생하는 입자들은 대다수가 1 μ m정도로 작고, 유해한 성분이 많이 포함되어 있다. 또한 입자상 물질 제거방법으로는 미세입자의 입경에 따른 메커니즘의 변화로 가스의 처리 유량, 가스에 포함되어 있는 미세입자의 농도, 제거 후 배출되는 입자의 농도 등을 고려하여 중력 침강법, 전기장 내에서 대전된 입자의 이동, 관성 부착법 및 브라운 확산운동 등에 의해 가스로부터 입자상 물질을 제거한다. 미세포말 발생에 의한 분진 집진장치는 0.001 μ m이하의 미세입자로 진폐증을 유발하는 미세먼지의 제거에 효과적이다.

현재 시중에 나와 있는 집진장치들은 기체흐름 중의 입자들을 제거하기 위하여 서로 다른 원리들을 채용하고 있다. 서로 다른 원리가 채용되는 주된 이유는 집진될 입자에 작용하는 힘의 분질이 다르기 때문이다. 그러나 근본적으로 서로 다른 힘들의 종류는 불과 몇 가지에 지나지 않는다.

각 집진장치별 집진원리는 어떤 힘이 단독적으로 작용하는 것이 아니라 대개 이들 중 몇 가지 힘이 어울려서 집진을 일으키는 기본 메커니즘을 이루는 것이 일반적이다. 그러나 이렇게 조합된 메커니즘들이 집진하고자 하는 입자의 모든 입도범위에 똑같은 정도로 작용되지는 않는다.

주어진 임무를 수행할 수 있는 집진장치와 형식을 선정할 때는, 여러 가지 운전조건 하에서 예측되거나 예상될 수 있는 집진기 성능에 관한 지식에 근거를 두어야 한다. 어떤 집진메커니즘이나 집진 구동력을 이용하는 특정 집진기 형식을 선택한 경우에는 반드시 그에 대한 장단점이 수반되기 때문이다. 집진기 하나하나마다 집진효율성, 에너지소요량 초기 투자비용, 운전비용, 설치 및 유지보수비용 등의 관점에서 특성과 장단점을 충분히 고려하여 용도에 가장 적합한 형식을 선정하여야 한다.

3. 장비의 원리 및 구조

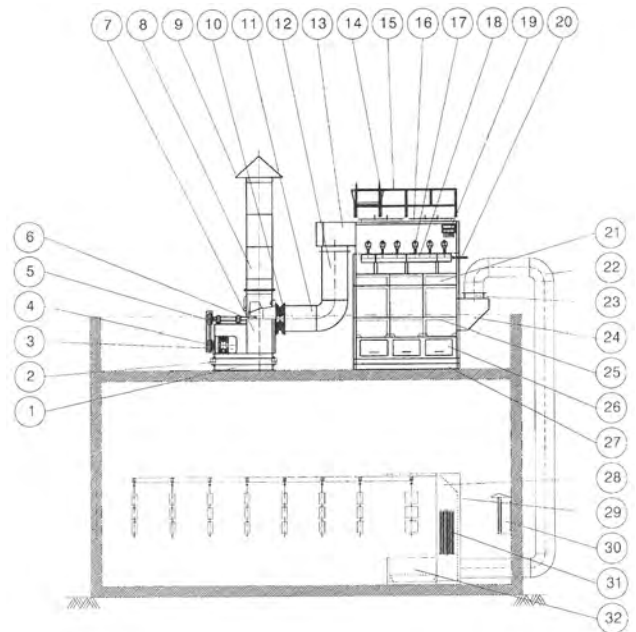


Fig. 1 The Particular Dust Capturer

- (1) 메커니즘
 - 1) 코로나(Corona) 방전을 이용하여 기체를 이온화
 - 2) 미세 포말발생장치를 통한 이온과 이온화된 기체를 통해 에어 차단막을 생성
 - 3) 유해 기체가 에어 차단막을 통과하며 이온화된 기체와 이온에 의해 분진의 응집 및 성장
 - 4) 성장된 이온분진은 에어 차단막에 의해 아래로 낙하
 - 5) 낙하된 분진 응집 배출
- (2) 미세포말 발생장비
 - 개방되어 있거나 사람의 출입이 빈번한 출입구의 상단(혹은 측면)에 장축의 시로코팬이 내장된 슬립형 송풍팬(에어커톤)을 설치하여 실내외를 유통하는 공기의 풍속보다 강한 풍속(5~15 215m/s)의 공기를 강하게 하향 취출하여 출입구 전체에 차단막을

형성하여 실내외의 공기가 서로 유통하지 못하도록 하면서 미세 포말을 발생시키는 것이다.

(3) 코로나 방전

코로나 방전은 직류전압이나 교류전압에서도 일어나는데, 뽕족한 전극이 양(陽)쪽이나 또는 음(陰)쪽이나에 따라 발광하는 모양이 달라지며, 교류일 경우에는 1/2 Hz마다 양·음의 코로나가 교대로 나타난다. 또 공기 속에서는 코로나가 잘 나타나는데, 기압을 낮추면 점점 불안정해진다. 고전압의 송전선(送電線)에서도 코로나를 일으키는 경우가 있는데, 이것이 라디오 장애를 일으킨다. 이 장애를 방지하기 위해 전선이나 애자(礙子)의 구조를 개량하여 효과를 얻고 있다.

(4) 먼지 입자의 대전

입자가 전하를 받아서 대전되는 메커니즘은 두 가지 이다. 하나는 이온충돌이고 다른 하나는 이온 확산이다. 이 두 메커니즘은 각각 전기장대전(Field charging)과 확산대전(Diffusion charging)으로도 알려져 있다.

1) 전기장 대전

전기장 대전에서는 입자에 작용하는 정전기력 F_E 는 입자에 대전되는 전하량 q 와 정전기장의 전위차구배, 즉 전압 E 의 곱이다.

$$F_E = q \cdot E \dots\dots\dots(1)$$

2) 확산대전

확산대전 과정에서는 입자와 이온 간의 충돌이 불규칙한 열적 운동에 의하여 일어나는데, 이 운동은 입자가 이온장 내에 존재하는 한 계속된다. 확산대전에서는 포화전하가 존재하지 않는다. 확산전하는 다음 식에 의하여 추산된다.

$$q_i = \frac{2\pi\epsilon_0 k T d_p}{q_e} \ln \left[1 + \frac{q_e^2 N d_p t}{2\epsilon_0 \sqrt{2\omega r k T}} \right] \dots\dots\dots(?)$$

위의 식에서 m 은 이온의 질량, k 는 볼츠만 상수이다. T 는 절대온도, N 은 공간내의 단위 부피당 이온의 수, q_e 는 이온의 하전량, t 는 시간이다.

3) 통합된 대전현상

통합된 대전속도 $\delta q/\delta t$ 를 구하는 총괄적 이론이 Smith와 McDonald에 의하여 개발되었는데, 이 이론은 실험치와 잘 일치한다. 전기장 대전과 확산대전의 통합효과에 대한 Cochet의 연구에서는 다음식이 제안되었다.

$$q_0 = \left[\left(1 + \frac{2\lambda}{d_p}\right)^2 + \frac{2}{1 + 2D/d_p} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) \right] \pi \epsilon_0 E_0 d_p^2 \left(\frac{t}{t + t_0}\right) \dots\dots\dots(3)$$

여기서, λ 는 기체분자의 평균자유행로이고, t_0 는 입도에 무관한 시간 상수로서 $t_0 = 4\epsilon_0/N\epsilon K$ 이다. 보통 $N = 10^{15}$ 이온/ M^3 이고 $K = 10^{-4}m/s$ 이다.

4. 집진효율

(1) 이동 속도

일단 입자가 대전되면 대전된 입자는 집전극을 향해서 이동해 간다. 이때의 속도를 이동속도(Migration velocities) 또는 방황속도(Drift velocities)라고하며 W 로 표시한다.

집진기 내에서 입자의 포집은 이동속도 W 는 다음과 같다.

$$W = \frac{d_p E_0 E_p}{4\pi\mu} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 d_p 는 입자경(μm), E_0 는 입자가 대전된 곳의 전계강도 (V/m), E_p 는 입자가 포집된 곳의 전계강도 (V/m), μ 는 가스

점도(Gaseous viscosity)를 나타낸다.

이동속도는 식 (4)로부터 전압에 의한 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 전기집진기에서 최대효율을 얻기 위해서는 최대 전계강도를 얻을 수 있도록 설계해야한다. 이동 속도는 입자의 크기에도 관계가 있어 큰 입자는 보다 쉽게 집진된다. 입자의 이동속도는 다음 식으로도 구할 수가 있다.

$$W = \frac{qEr}{6\pi\mu r} \dots\dots\dots(?)$$

여기서 q 는 입자의 대전량, E_r 는 입자가 포집된 곳의 전계강도 (V/m), μ 는 가스점도(Gaseous viscosity), r 은 입자의 직경(μm)을 나타낸다. 입자의 이동속도를 구하기 위해서는 위 두식 중 어느 식을 사용해도 무방하다. 그러나 전기 집진기를 설계할 때는 대부분 식 (5)에 의하지 않고 경험에 의하여 설계를 하고 있다. 보통 전기 집진기에서 사용되고 있는 이동속도는 아래 표와 같으며, 이를 이용하여 전기집진기의 효율을 예측한다.

(2) 집진장치 모델

미세포말장치에서 분사되는 에어는 충분한 양의 전하 q 를 갖고 있다. 집진부에서 입자가 표층속도 w 로 흐름을 가로질러 낙하하는데, 기체의 흐름속도에 영향을 받지 않으며, 이 흐름에 수직으로 작용하는 미세포말장치에서 분사된 에어의 유속 w_j 의 값에 의하여 결정된다. 미세포말장치에서 분사된 에어의 유속 w_j 는 충분한 유속을 갖고 있으며 최적의 유속으로 세팅 되어 있다. 집진장치 내부의 모든 공간에서 기체의 평균속도는 V 이고 균일하며 입자들은 전체 공간에서 균일한 농도 n_i 를 유지한다. 분진 입자는 서로 멀리 떨어져 있어서 그들의 상호 반발력은 무시할 수 있으며 기타 집진에 방해되는 효과는 없다고 가정한다.

시간 Δt 동안에 ($\Delta t = \delta/W_i$ 로 정의한다.) 집진층 내에 있는 모든 i 계 등급의 모든 입자는 모두 집진된다. 이 기간 동안 가스는 $\Delta L = V\Delta t$ 만 한 거리를 이동한다. 여기서 b 는 미세 포말 발생 장치와 집진판 사이의 거리이며, 가스의 부피 $S\delta\Delta t$ 로부터 제거되는 입자의 수 n_i 는 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$n_i S \delta \Delta L = n_i S \delta V \Delta t \dots\dots\dots(?)$$

S 는 집진판의 폭에 해당한다. 동시에 집진기의 해당 부피 속에 있는 전체 입자의 수는 집진기내에서 기체유로의 단면적을 A 표시하면 $n_i A \Delta L$ 이다.

위의 가정을 전부 적용하고 집진면적의 전체 길이 L 에 대하여 위의 식을 적분하면

$$\int_{n_{i0}}^{n_i} \frac{dn_i}{n_i} = -\frac{S}{A_f} \frac{w_i}{V} \int_{n_{i0}}^{n_i} dL \dots\dots\dots(?)$$

위의 식의 적분결과는 아래와 같은 집진효율식이 된다.

5. 결론

일반적인 전기 집진 장치와 비슷한 메커니즘을 갖고 있으나 그 구조는 더욱 간단하며, 전기 집진기, 중력 집진기, 충격식 집진기 등 특성을 고루 갖추고 있다. 또한 미세포말 집진장치의 유지비용이 매우 기존 집진 장치의 약 25%에 불과해 높은 폐기물 처리 효과를 갖고 있으며, 간단한 구조로 장치의 유지보수 비용 또한 저렴하다. 이를 미세 포말 집진장치의 실제 효율과 집진 능력에 대한 실제 시험을 통한 효율성 평가가 추가적으로 이루어져야할 것이다.

참고문헌

1. 김신도, 고효율 전기 집진기 개발을 위한 평가방법 구축 및 저포 집대역 효율향상에 관한 연구의 연구 결과보고서, 1997.
2. 김연승, 황정호, AC 주파수 변화가 분진의 전기응집에 미치는 연구, 대한기계학회 논문집, 1999.