

技師會員을 爲한 理論과 實務

● 特輯 ●

最新靜電氣應用技術 ③

空氣清淨技術의 動向과 問題點

최근 靜電式 集塵장치는 공기清淨분야에 있어서 가장 고성능 또한 경제적인 실용집진장치로서의 지위를 확립했다.

여기서는 새로 개발한 「積層플라스틱 필름電極을 갖는 2 단식 전기집진장치(웨이퍼식)」 및 「정전식 초고성능필터(MESA 필터)에 대해서 소개한다.

정전식 집진장치에는 종래 코로나荷電과 전기력에 의한 포집을 동일공간에서 행하는 1 단식 전기집진장치, 코로나荷電部와 靜電界에 의한 포집부를 별개로 설치한 2 단식 전기집진장치, 爐過집진장치의 上流에서 입자의 코로나荷電을 행하는 예비하전부착, 爐過집진장치, 爐過의 양측에 金鋼전극을 설치하여 전압을 인가하는 爐材加電式 爐過집진장치 등이 개발되어 사용하게 되었다.

이 가운데 1 단식 전기집진장치는 窯業廢 가스의 집진에 용도가 한정되어 공기청정용으로서 그 이외의 것이 사용되고 있다.

정전기를 사용하면, 통상의 기계적 포집작용외에도 쿨롱力·이미지力·클레이디멘트力 등의 전기적 작용력을 유효하게 粒子포집에 활용할 수 있으므로 크게 그 효과가 기대되어 왔으나 기대와는 달리 적어도 과거에 있어서는 爐過집진을 견디어 별 정도의 종합적 효과를 공기청정분야에서 발휘해 왔다고는 말하기 어렵다. 이것은 정전력을 유효하게 활용하기 위한 보다 깊은 연구, 안전면의 방책, 이

온방출 및 이들의 해명해결에 필요한 측정 수법의 개발이 늦어져 왔기 때문이다.

그러나 최근 이 분야에 큰 진전을 볼 수 있어 靜電式집진장치는 공기청정 분야에 있어서 명실공히 가장 고성능 또한 경제적인 실용集塵장치로서의 지위를 확립하기에 이르렀다.

여기서는 이 분야에 있어서 최근의 진보의 예로서, 새로 개발된 「積層플라스틱필름 電極을 갖는 2 단식 전기집진장치(웨이퍼식) 및 豫備荷電과 爐材의 加電을 조합한 「정전식 초고성능필터(MESA 필터)에 대해서 소개하고자 한다.

1. 積層플라스틱필름 電極을 갖는 2 段式 電氣集塵장치(웨이퍼形)

(1) 서 론

팬코일 유니트나 패케이지형 에어컨등의 공기청정유니트로서 2 단식 전기집진장치는 종래부터 널

리 사용되어 왔다.

그것은 압력손실이 극히 낮으므로 송풍기의 동력이 경감되어 진동 소음을 줄일 수 있기 때문이며, 또 서브미크론 粒子에 대해서도 높은 포집성능을 갖기 때문이다.

그래서 爐過집진장치와 2단식 전기집진장치의 전력소비량을 시산하고 양자의 경제성을 비교해 본다. 조건으로서 처리 風量을 31m³/分, DOP 0.3μm에 있어서의 집진율을 90%로 한다.

爐過集塵장치는 이러한 경우 초기압력손실을 11~13mm H₂O, 최종압력 손실은 17~39mm H₂O의 범위에 있다.

한편, 전기집진장치는 초기 및 최종압력 손실 합계 약 1mm H₂O이므로 양자의 압력손실의 차를 평균하여 약 25mm H₂O로 보는 것이 타당하다. 처리풍량은 양자 함께 동일조건으로 비교하고 있으므로 이 압력손실의 차가 소비전력의 차에 관계된다. 풍량과 압력손실의 積은 단위시간당의 에너지(전력[W])가 되므로 양자의 차인 25mm H₂O와 처리풍량 31m³/分の 積을 잡아 單位系를 합쳐주면, 127W를 얻을 수 있으나 송풍기나 전동기의 손실을 고려하면 송풍기 전기로서 150~200W가 된다. 이것이 양자의 소비전력의 차이이며, 압력손실의 차에 따르는 전력의 증가분이다.

한편 전기집진장치에 있어서는 고압전원을 사용하므로 이 전력소비도 고려할 필요가 있다. 전술한 조건에 있어서는 약 20W정도이므로 이 분을 고려한다고 해도 여전히 양자의 차이는 크다.

이리하여 爐過집진장치의 대신에 전기집진장치를 사용하게 됨으로써 압력손실이 낮아지므로 고압전원의 전력소비를 웃도는 전력의 절약을 할 수 있으며, 런닝코스트의 점에서도 극히 큰 이점을 갖고 있다.

다음에 외형치수 및 전극면적과 포집성능의 관계에 대해서 기술한다.

통상의 1단식 전기집진장치의 포집효율은, 처리풍량 Q, 집진전극 총면적 A, 입자의 視覺 이동속도 W에 관계하며 고전적인 다음의 Dentsh의 식이 자주 사용된다.

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A}{Q} \omega\right) \quad (1)$$

(1)식은 Q와 ω를 일정하게 한 경우에는 전극면적 A를 넓게 함으로써, 높은 포집효율 η를 얻을 수 있음을 나타내고 있다. 여기에서 2단식 전기집진장치의 포집부(콜렉터)에 주목하고, 집진極板간의 거리 d, 집진극판의 기류방향 길이 L, 및 기류속도(통과속도) V_s로 (1)식을 고쳐 쓰면 (2)식을 얻는다

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\omega L}{V_s d}\right) \quad (2)$$

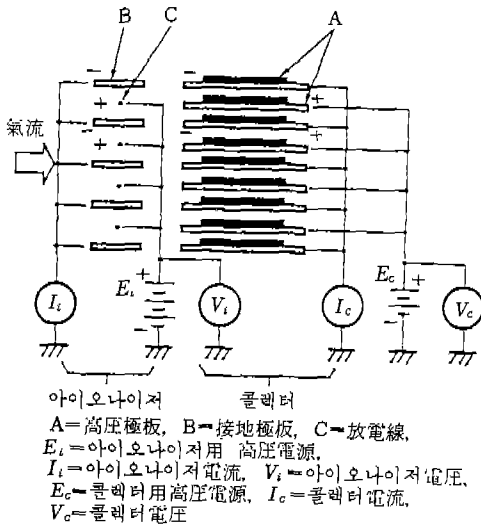
그러면 지금 처리풍량을 크게 하고 싶은 경우에는 통과풍속 V_s를 크게 할 필요가 있다. 따라서 같은 포집율을 유지하기 위해서는 ω는 변하지 않으므로 안길이 L을 길게 하거나 極板間격 d를 좁게 할 수밖에 없다. L을 길게 할 경우에는 외형치수와 비례하여 크게 되고 만다. 그러나 d를 좁게 할 수만 있다면 외형치수는 대형화되지 않으며, 거꾸로 소형화될 가능성도 있다. 이와같이 處理風量의 증대, 捕集率의 향상, 장치의 소형화를 위해서는 極板間격 d를 가급적 좁게 하는 것이 유일한 수단이라는 것을 알 수 있다.

그러나 電極間격을 좁게 하면 극판간의 전기절연이 곤란하게 되어 불꽃의 발생이나 단락의 위험성이 증대한다. 다시 말해서 안전성을 포함한 전기절연을 확보하기 위해서는 단순히 종래의 설계로 전극간격 d를 스킵다운 한다는 방법에는 한계가 있으며, 다른 어떠한 혁신적 방법을 필요로 하게 된다. 새로 개발된 橫層플라스틱 필름電極(웨이퍼電極)을 포집부에 사용한 2단식 전기집진장치(웨이퍼형 전기집진장치)는 이러한 것들을 해결한 것으로서 유니크한 전극으로 구성되어 안정성이 높으며, 높은 포집성능을 갖고 있다. 이 전극은 다음에 기술하는 것과 같이 전기절연성을 유지하면서 전극간격을 2.1mm 이하는 작은 값으로 한 것인데 그 때문에 콜렉터의 레이놀드가 작게 되어 氣流는 거의 層流가 된다. 그 결과 亂流를 전제로한 (2)식에서 예상되는 값보다도 높은 포집효율을 얻을 수 있다.

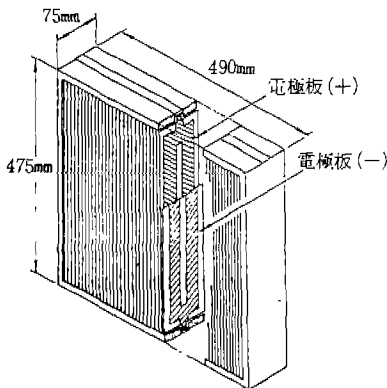
이같은 일은 다음에 기술하는 실험에 있어서도 확인되어 그 포집성능의 높이가 실증되었다.

(2) 웨이퍼形 電氣集塵 장치의 構造

전기적 접속도를 그림 1에 포집부의 외관(콜렉터의 구조)도를 그림 2에 표시한다. 이 장치는 코로나荷電部(아이오나이저)와 포집부(콜렉터)로 구성 되는데, 아이오나이저는 텀스텐와이어의 코로나放電極과 평행평판의 對向전극을 사용하여 코로나放電에 의한 입자의 荷電을 행한다. 콜렉터는 積層 플라스틱필름의 전극간의 靜電界에 의해 입자를 포집하는 것이다. 플라스틱필름은 그 한쪽면에만 導

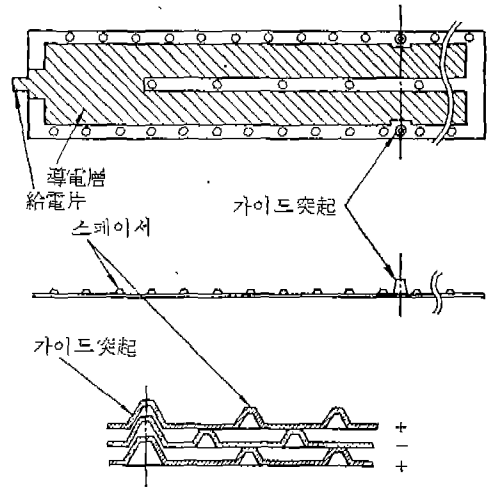


〈그림-1〉 電氣的接續圖



〈그림-2〉 콜렉터의 構造

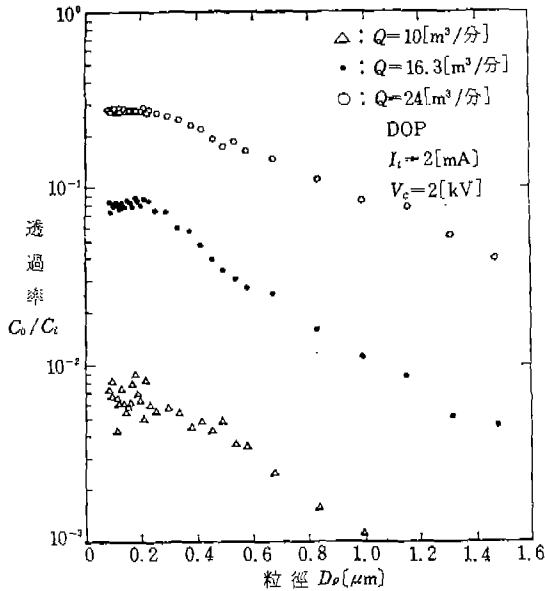
電性이 맞서지 않도록 서로 거꾸로 積層하고 있으며 상하류의 양단 및 중앙에 설치된 돌기상의 스페이서에 의해 일정간격(2.1mm)으로 유지된다. 플라스틱필름電極의 구조를 그림 3에 표시한다. 導電層에의 급전은 端部の 접촉편을 통해 행해지며 공기 유통로의 공간에 高電界가 생긴다. 그러나 도전층은 플라스틱필름의 한쪽면에만 인쇄되어 서로 맞서는 일이 없으므로 파이버狀의 塵埃가 부착하여 필름간을 橋絡해도 스파크는 발생하지 않는다. 또 포집된 다스터는 接地側 집진극판의 절연측면에도 부착하나 다스터를 갖고 있는 塗荷蓄積에 의한 간격電界의 저하, 이에 따르는 포집성능의 저하는 피할 수 있다.



〈그림-3〉 콜렉터電極板의 構造

(3) 粒徑別의 捕集特性

입경별의 개수 투과율의 측정결과를 그림 4에 표시한다. 風量 Q 는 24, 16.3, 10 m^3 /분의 세가지로 하며 각각에 대응하는 콜렉터面 풍속은 1.97, 1.33, 0.82m/s이다. 에어로졸은 多分散 DOP를 사용했으며, 에어로졸濃度는 레이저스펙트로미터를 사용했다. 전반적으로 입경이 작아지면 투과율은 증가되며 입경 0.1~0.3 μm 정도에서 평단하게 되므로, 최대투과율을 표시하는 입경도 이정도가 된다. 풍량 16.3 m^3 /분 ($V_c=1.33(m/s)$)에 있어서도 최대투과율



〈그림-4〉 粒徑別의 捕集效率

은 9×10^{-2} 로 그 입경은 $0.195 \mu\text{m}$ 이다. 이것은 콜렉터面 풍속을 1.33m/s 이하로 하면 입경의 전범위에 있어서 포집효율은 91%이상인 된다는 것을 표시하고 있다.

(4) 콜렉터電壓의 영향

콜렉터電壓 V_c 를 변화시킨 경우의 투과율의 변화를 그림5에 표시한다.

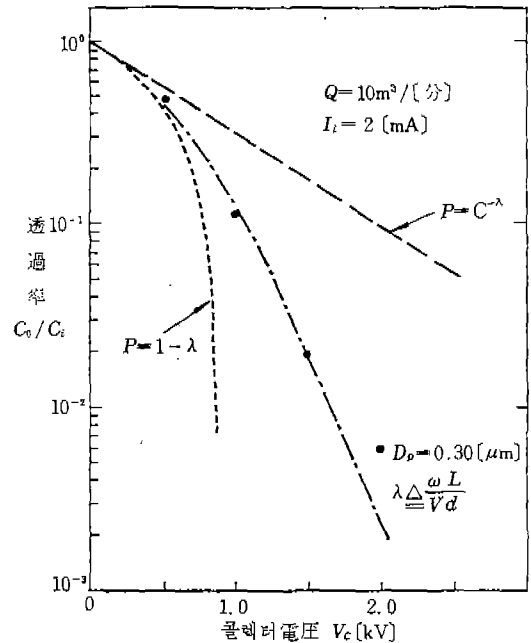
풍량은 $10\text{m}^3/\text{분}$ (一定), 아이오나이저放電 전류는 2mA (一定)로 하여, 입경 $0.3\mu\text{m}$ 에 대해서 측정할 결과를 \bullet 으로 표시한다. 콜렉터電壓 V_c 를 바꾸었을 때, 변화하는 것은 입자의 이동속도식

$$\omega = \frac{C_m q E_c}{3\pi\mu D_p} \quad (3)$$

(3)식에 있어서의 콜렉터電界는 E_c 이다. 단, q = 입자電荷量, μ =가스粘度, D_p =粒徑, C_m =커닝결의 補正係數이다.

그림 중의 다음 세가지의 모델에 대해서 계산한 이론치를 破線, 占線 및 一點鎖線으로 표시한다.

(a) 亂流로 氣流에 수직인 断面에서 粒子가 완전 혼합되어 콜고무 断面에 분포하는 경우(Dent-sh의 式)



〈그림-5〉 콜렉터電壓依存性

$$p = \exp(-\omega L/V_s d)$$

(b) 層流로 전면 혼합이 없을 경우

$$P = 1 - \omega L/V_s d$$

(c) 부분적으로 혼합하는 경우 ((b)의 補正式)

$$P = \frac{1}{d} \int_0^d \frac{dx}{1 + \exp\{[x - (d - \omega L/V_s)] / (LV_m/V_s)\}}$$

단, ω : 粒子의 이동속도 ($= C_m q E_c / 3\pi\mu D_p$)

L : 콜렉터電極의 안길이

d : 콜렉터電極間거리

V_s : 콜렉터氣流속도

V_m : 混合괄라미터

(a)는 實測値에서 크게 벗어나고 있음을 나타내고 있으며, 이 2단식 전기집진장치의 콜렉터는 기류에 수직인 断面상에서 완전혼합한다는 가정이 현실적이 아님을 알 수 있다. 이 경우의 레이놀즈數는 $R_c = 115$ 가 되어 層流로 생각할 수 있으므로, 亂流의 발생을 전제로 한 (a)와는 당연히 큰 차가 생기게 되어 있다. 測定値는 片對數 플롯에 대해서 直線보다는 아래쪽으로 빗나가며, 투과율이 10^{-2} 정

도가 되면 (a)와 10배의 차가 나온다. 그러나 콜렉터의 낮은 곳에서는 양자는 점차 접근하여 (a)는 투과율의 上限이 주어지고 있다는 뜻을 갖고 있다. (b)는 흐름에 전혀 흐트러짐이 없는 이상적인 경우를 상정하고 있으므로 현실과 유리되고 있으나 투과율의 下限이 주어진다. (c)는 (b)의 모델을 수정한 부분적으로 혼합하고 있다고 가정한 것으로서 (a)와 (b)의 중간상태를 나타낸 것이라고 생각되어 가장 현실적으로 근사하다. 파라미터 V_m 을 정당하게 선택하면, 그림과 같이 測定値와 잘 일치한다. 웨이퍼형 전기집진장치가 높은 포집성능을 나타내는 이유가 여기에 있다.

2. 靜電式 超高性能필터(MESA필터)

前節에서는 포집효율에서 90~99%에 대응한 전기집진장치에 대해서 기술했다.

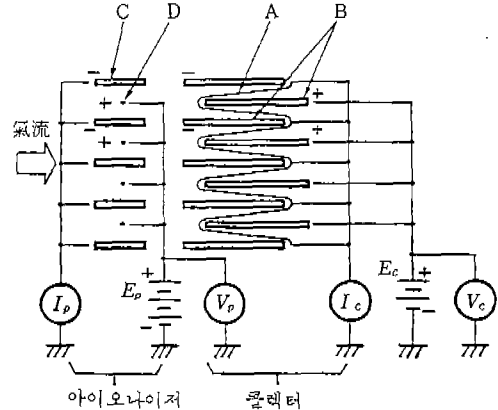
다시 높은 99.97% 이상의 포집효율을 필요로 하는 경우에는 靜電式 에어필터가 유리하다. 다음은 정전식 초고성능 필터에 대해 소개한다.

(1) 처음에

HEPA필터는 클리인룸을 비롯하여 많은 분야에서 사용되고 있으나 현재 그 성능은 불충하다. 즉 종래 문제로 되어 있었던 粒徑은 $0.3\mu\text{m}$ 까지 있었으나 요즘 반도체 산업에 있어서는 보다 작은 입자 $0.1\mu\text{m}$ 또는 $0.05\mu\text{m}$ 라는 입경영역에 관심이 옮겨지고 있다. 이러한 사실을 배경으로 하여 시대 요구에 알맞는 새로운 타입의 정전식 초고성능에서 필터를 개발했다. 그 포집성능은 투과율에서 종래의 HEPA필터의 약 1/1000이며, 또 압력손실에 있어서는 같은 정도의 포집성능을 갖는 HEPA필터와 비교하여 1/2~1/3로 감소했다.

(2) 靜電式 超高性能필터(MESA 필터)의 구조

이 장치는 코로나荷電部와 靜電필터 포집부로 이루어진다. 포집부는 필터 爐材와 세퍼레이터로 되어 있으며, 上流側의 세퍼레이터群은 접지, 下流側



A=爐材, B=세퍼레이터, C=接地電極 D=放電線,
 E_p =아이오나이저用 高壓電源, V_p =아이오나이저電壓,
 I_p =아이오나이저電流, E_c =콜렉터電源電壓,
 V_c =콜렉터電壓 I_c =콜렉터電流

〈그림-6〉 MESA 필터構造

의 세퍼레이터群에는 1KV의 직류전압이 인가된다 이에 따라 코로나荷電部는 올바르게 荷電된 입자의 대부분은 負極성에 있는 上流側 세퍼레이터의 표면 상에 포집된다. 爐材에 침입한 잔여의 미소립자는 爐材내부의 電界로 보다 효과적으로 포집된다. 그 결과 미세한 입자에 대해서도 극히 높은 포집효과를 얻을 수 있게 된다.

이 경우 세퍼레이터는 중첩되는 爐材와의 사이에 공기를 통하게 하기 위한 스페이서로서의 역할뿐만 아니라 그 표면에서 입자를 포집하는 집진극판으로서의 기능 및 爐材내부에 전계를 생기게 하는 전극으로서의 기능을 동시에 갖는다. MESA필터의 전기적 접속도를 그림 6에 표시한다.

(3) 捕集特性

투과율의 측정은 다음의 세가지 케이스에 대해서 실시했다.

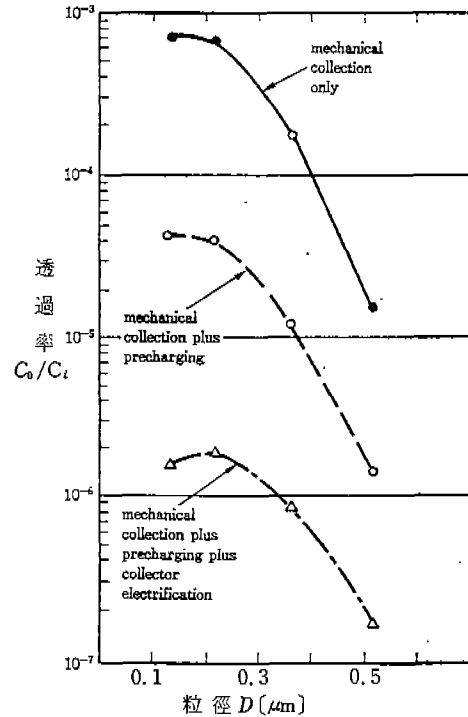
- (a) 기계적 포집만으로 전압을 인가하지 않는 경우 (● 표)
- (b) 기계적 포집과 함께 입자를 하전한 경우 (○ 표)
- (c) 기계적 포집과 함께 입자를 하전하고 다시 콜렉터에도 전압을 인가했을 경우 (△ 표)

그림7은 통상의 HEPA의 爐材 (압력손실 20mm H₂O)를 사용했을 경우의 정전식 초고성능필터의 포집성능을 前記 (a)~(c)의 경우 각립자에 대해서 표시한 것이다.

0.12~0.17 μ m의 입자의 포집효율을 보면, 기계적포집뿐인 경우 99.93% (투과율 7×10^{-4}) 였던 것이 하전부에 전압을 인가함으로써 99.9956% (투과율 4.4×10^{-5})로 매우 향상되고 다시 콜렉터에도加電하니 99.99983% (투과율 1.7×10^{-6})라는 대폭적인 향상을 얻을 수 있었다. 이것은 정전식이어 필터의 포집성능의 높이를 표시하는 동시 前記의 파라미터 설정에 의해 정전기적 효과가 크게 나타나고 있음을 표시한 것이다.

다음에 필터 壓損의 經時變化를 조사하기 위해 大氣塵을 사용하여 장기시험을 실시했다. 실험에 있어서는 200W \times 200H \times 15Dmm 크기의 종래의 HEPA 필터와 이것과 같은 정도의 포집효율을 표시하는 정전식필터 (초기압력손실 9mm H₂O)를 一定풍량 (1.4 m³/분)으로 병렬운전시켜 압력손실의 상승을 조사했다. 하나의 예로서 740시간 후의 압력손실을 보니 종래의 HEPA는 23.5mm H₂O에서 51.5mm H₂O로 2.2배 상승한데 대하여 정전식의 경우에는 9.0에서 11.6mm H₂O로 상승하는 것으로 그쳤다(표1).

이것은 상류측의 세퍼레이터에서 예비 포집되는 효과는 爐材의 압력손실의 상승을 대폭으로 경감하였을 표시하고 있으며, 이 정전식필터는 본질적으로 현저하게 큰 홀당캐퍼시터를 갖고 있음을 말하고 있다.



〈그림-7〉 粒徑別捕集效率 (HEPA의 爐材를 사용)

〈표-1〉 壓力損失 ΔP 經時變化

	初期	452 時間	740 時間	943 時間
從來形의 HEPA [mmH ₂ O]	23.5	40.0	51.5	55.5
MESA필터 [mmH ₂ O]	9.0	50.0	11.5	11.7

*

