



大氣汚染 防止技術原理 및 機器 (II)

金 鍾 奭

〈環境廳 大氣管理課長·技術士〉

1. 분진과 집진기

흔히 우리들이 사용하는 속담중에 「적을 알아야 적을 이길 수 있다」는 말과 같이 粉塵에 대한 大氣汚染防止를 效果的으로 하기위해선 排出施設의 汚染物質排出特性-粉塵特性 및 集塵機性能-을 알아야 한다.

(1) 排出施設의 特性

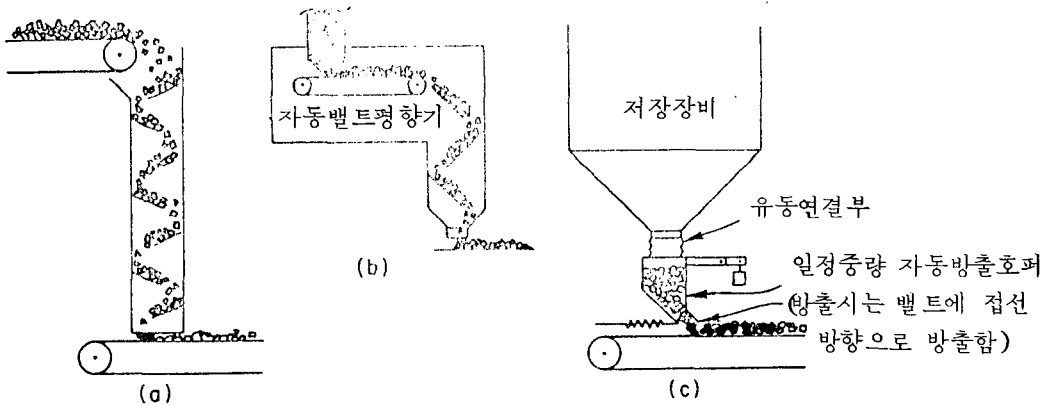
大氣汚染에서 集塵器를 使用한다 함은 工程인 排出施設이 大氣汚染排出許容基準을 초과하면서 粉塵을 내뿜고 있음을 뜻한다. 이러한 排出施設에 粉塵排出量을 減小시키기 위해선 工程을 좀더 粉塵이 적게 排出될 수 있는 施設로 바꾼다든가 原料를 대체해 본다든가 排出施設의 運轉을 정상적으로 조절한다든가 하여 어느 정도 粉塵排出을 減小시킬 수 있다. 만약 이렇게 하여도 粉塵問題가 解決되지 않을 때에는 集塵機를 使用하여야 한다. 集塵機를 選擇할 때에는 集塵機가 使用될 排出施設과 이에 使用된 集塵機가 容量性能等の 特性이 잘 整合되어야 한다. 排出施設에 따라서는 集塵機가 成功的으로 使用되기 爲해선 補助施設로서 局所排氣施設이 別途로 必要한 境遇가 많으며 이 境遇에는 局所排氣施設의 設置가 또한 매우 重要한 要因이 된다. 排出施設은 排氣特性에 따라 溫熱工程 (Hot Process), 冷工程 (Cold Process) 및 열供給施設 (Utility)로 分類할 수 있으며 우리나라에선 이에 속하지는 않지만 무연탄노적등의 飛散粉塵工程 등이 첨가 되어야 할 것이다. 溫熱工程의 排出特性은 工程의 溫度特性에 左右된다. 우리

가 흔히 볼 수 있는 溫熱工程으로는 유기용제 탈지, 전기도금, 산처리, 염색 및 탈색 단조 가열 등이 있으며 배출시설 자체가 특별한 배출구를 갖지 않고 있기 때문에 이런 汚染源에서 發生하는 汚染物質은 特定한 排出口(굴뚝) 없이 사방으로 擴散移動해 나가게 된다. 따라서 이와 같은 排出施設에 對하여는 發生하는 汚染物質이 擴散移動되기 前에 적당한 補助장치(예, 후드)를 使用하여 汚染物質을 회수 濃縮하여 集塵機等の 防止施設로 보내어 處理하게 한다. 이와같은 境遇 후드等 補助施設의 용량이 적당치 않다는가 汚染物質 發生樣相에 따른 적합한 設計가 아니면 이들은 形式上의 補助施設로서 意味가 있을 뿐 效果的인 補助施設(局所排氣)로서 役割은 못한다. 따라서 좋은 성능의 集塵機를 가지고도 大氣汚染問題를 解決할 수 없는 結果가 招來된다. 排出特性은 使用原料에 따라서도 具體的으로 把握되어야 한다. 연소시설의 경우 같은 조건에서 使用되는 액체연료「버너」라 하더라도 B.C만 使用할 경우와 微分炭을 混燒하는 경우와는 그 粉塵排出에 있어서는 현저한 差가 있게 된다. 이 경우 B.C만을 使用할 경우는 排出되는 粉塵의 粒徑分布는 混燒粉塵의 境遇보다 훨씬 적어지므로 集塵方法이 서로 달라지지 않으면 안된다. 補助施設이나 防止施設에서 무엇보다 重要한 것은 排出原에서 發生하는 處理가스로서의 排岀가스 總量이라고 판단된다. 이런 의미에서 배출가스총량은 배출가스 온도 비중등의 항목으로 精確하게 把握되어야 한다. 배출가스의 총량은 필요한 방지시설의 규모를 결

정하는 要因이며 배출가스 처리시 溫度는 국소 배기 또는 송풍기가 사용될 때 이들의 용량과 규격을 결정하는 要因이 되기 때문이다. 排出가스를 排出施設에 따라 정확하게 산출한다는 것은 정확하고 적정한 방지시설을 설계 처리할 수 있음을 뜻하나 많은 경험에 의하지 않고는 정확한 산출이 어렵다. 흔히 알려진 공정에 대하여는 排出가스를 산출할 수 있는 방정식이나 방법이 개발돼 있는 경우가 많다. 또 잘알려져 있지 않은 경우에는 측정이나 物質量論을 사용하여 求할수도 있다. 여기서는 이론에 대한 몇가지 간단한 예를 소개하여 이해를 쉽게 하도록 해보겠다.

① 自由落下工程의 排出가스량

시멘트사이로, 곡물저장사이로, 석회석저장사이로 등의 粉體 저장 장비에서는 자유낙하로 인한 공해문제가 발생한다.



〈그림 1〉 자유낙하저장 장비와 낙하거리 감소방법

〈그림 1〉은 자유낙하공정의 대표적인 표본이다.

그림에서 보듯이 자유낙하체가 저장장비의 상부에서 하부로 떨어져 내려오면 용기하부의 공기가 밀려서 낙하체유입구 쪽으로 분출하게 된다. 이렇게 상부로 분출되는 공기는 낙하하는 粉體를 쓸어 나가기 때문에 粉體는 排出空氣와 함께 大氣中에 排出되어 大氣汚染을 일으키게 된다. 이때 排出되는 空氣量은 단위시간에 排出되는 落下粉體重量의 1/3승에 비해하고 粉體粒徑에

역비례한다. 실제로 排出가스를 예측코자 할 때는 Drinker와 Hatch氏의 아래 公式을 사용하여 求한다.

$$\frac{Q}{(Wh^2)^{1/3}} = 0.025 \sim 0.05$$

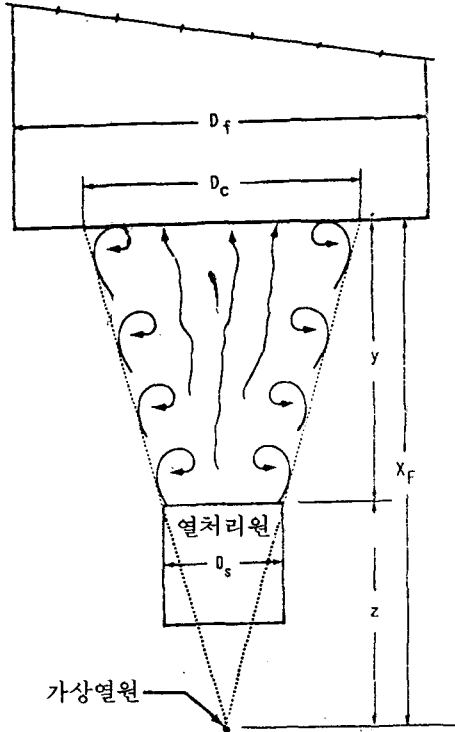
여기서 h는 낙하거리로 보통 3~9 m, W는 단위시간별 落下粉體重量으로 9~50 kg/sec, Q는 이때 排除되는 排出空氣容량이며 본식에서는 0.15~1.2m/sec 정도의 범위일때의 것이다. 위에서 보듯이 Q는 낙하거리 h^{2/3}에 비례하므로 h를 짧게하면 할수록 Q는 적어진다. 그림 1에서 a, b, c는 h를 어떻게 짧게할 수 있는가를 설명한 것이다.

② 溫熱工程排出가스량

우리가 흔히 볼 수 있는 溫熱工程 排出施設에

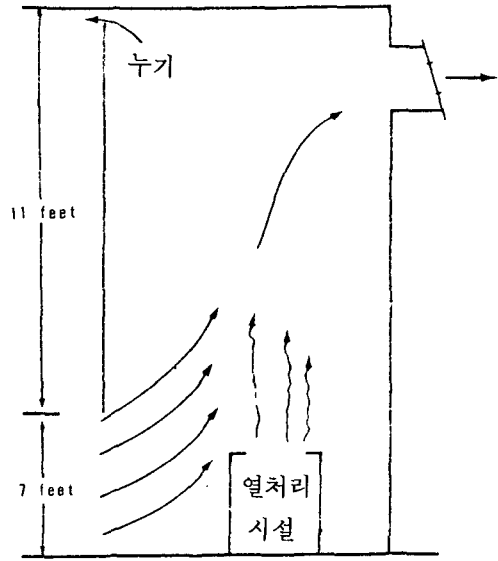
서 粉塵이 排出되는 것 중 重要한 것은 제철공업의 전기로중 Arc 炉, 各種 熱處理炉 등을 볼 수 있다. 이를 Arc 炉나 熱處理炉는 대부분 開錠狀態에서 廢棄되기 때문에 適當한 補助施設이 없는 排出되는 가스가 정해진 통로로 나가는 것이 없고 앞에서 본 바와 같이 擴散移動의 경로를 통하여 나가는 것이 많기 때문에 作業環境뿐만 아니라 大氣汚染에서도 매우 重要하다. 特定한 排出口가 없는 熱處理排出口의 排出가스의 特性과 量은 이들을 處理하고자 하는 補助施設

의 種類에 따라 몇가지로 나눌 수 있으나 이중 특히 重要的 것은 <그림 2, 3>의 천개후드(Canopy Hood)를 使用하는 方法과 밀폐후드(Enclosure Hood)의 두가지 경우로 분류할 수 있다. 이때 排出가스량 Q를 구하는 式은 研究者에 따라 다소씩 다르나 여기서는 흔히 사용하는



<그림 2> 열처리와 천개후드

Hemion 式을 使用하여 간단히 설명하여 보기로 한다. <그림 2>로 표시한 열처리시설은 제철공업에서 흔히 사용하는 Arc 炉의 원료충전시 爆發적으로 發生하는 비산 粉塵의 처리 및 집진기 설계에 필요한 발생가스량 Q를 求하는데 사용된다. Hemion 은 이때 Q를 계산할 수 있는 공식을 유도 제시하였으나 이 공식을 사용하는데는 여러개의 변수를 계산하여야 하므로 실제 사용에는 약간 번잡해진다. 따라서 여기서는 Hemion 式을 기초로 하여 경험식을 가지고 설명하여 독자의 이해를 돕기로 한다. 그림 4에서 炉의 가상 열원점으로부터 Z의 거리에 있는 공간에 이열원으로부터 發生된 熱排氣量을 Q라



<그림 3> 밀폐후드

하면 Q는 다음과 같다.

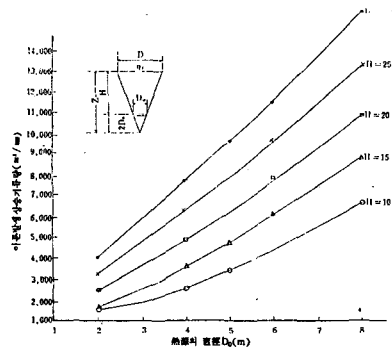
$$Q = 1.95 Z^{3/2} H'^{3/2}$$

$$H' = \frac{1.45}{60} A_s (\Delta t)^{4/3}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} D_o^2 \text{ (노면적)}$$

$$\Delta t = 1400 - 20 \text{ (온도차)}$$

<그림 3>는 윗식으로 주어지는 Q를 열열실제 단면으로부터 일정공간거리 H로 나타낸 것이며 이 선도를 사용하면 계산 없이도 쉽게 단면직경 D_o 인 열원에서 發生한 가스량 Q을 예측할 수 있게 하였다. 또 이와는 달리 <그림 4>로 주



<그림 4> 이론발생가스량

어진 밀폐된 장소(보통작업장) 내의 열원의 배氣量은 다음 式으로 계산한다.

$$Q = 0.61 H^{1/3} \times A^{2/3} \times X^{1/3}$$

여기서 Q : (m³ / sec)

H : 열손실량 kcal / sec

A : 열원의 단면적

X : 열기류높이 m

이 식은 토치(torch), 절단(cutting) 용융 및 스크래핑시설에 유용하게 적용할 수 있다.

③ 열공급시설 및 기타 배출시설의 배기가스량 열공급시설등의 난방시설등에 대해서는 使用연료에 대한 연소공학과 물질수지로 쉽게 예측할 수 있다.

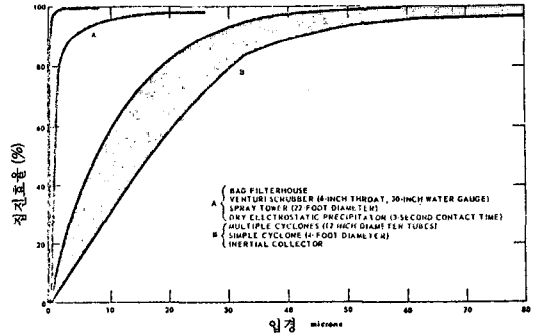
排出가스에 대한 特性把握에는 排出施設別로 排出되는 排氣가스량外에 溫度, 습도, 가연성(爆發性) 가스의 존재 여부등을 精確하게 把握하여야 한다.

(2) 粉塵特性和 防止機器

防止機器를 선택코저할 때는 우선 어떤 종류의 防止機器를 使用해야 問題를 除去할 수 있는가, 工程조건과 상태는 어떤가, 工場설비는 어떤가, 또 防止機器使用經費는 어떻게 되는가 하는 내용을 종합적으로 검토하여 最適條件을 얻을 수 있는것을 선택하게 된다. 여기서는 이들 전체를 하나하나 따져볼 수 없으므로 排出가스내 粉塵特性에 따라 어떤 防止機器가 性能上 適合한가를 따져 보기로 하였다.

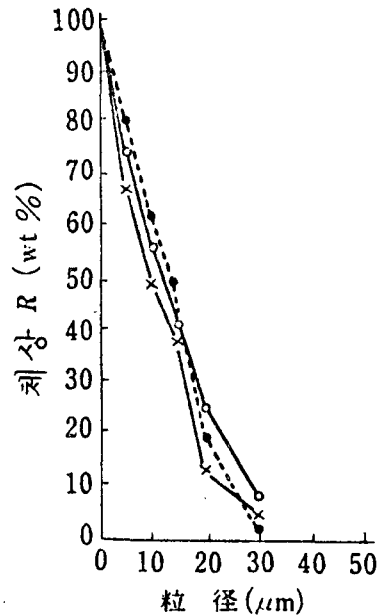
<그림 5>는 처리가스내 粉塵粒徑別 部分集塵效率를 集塵機種類別로 表示한 것이다. 여기서 部分集塵效率이란 集塵機의 粒徑別集塵效率를 表示한 것이다. 그림에서 보면 部分集塵效率의 程度에 따라 두가지 계열로 나누었다. A계열은 여과집진기, 벤츨리세정기, 실수탑, 전기집진기로 되어 있으며 B계열은 멀티사이클론 사이클론 및 관성집진기로 되어 있다. A계열의 部分集塵效率는 B계열의 그것보다 높다. 即 이는 A계열에 屬하는 집진기들은 B계열의 그것보다 작은 粉塵을 抱集할 수 있다는 것을 뜻하게 된다. 현재 熱供給施設에서 보통 使用되는 燃料로 B, C油와 연탄 또는 B, C-一연탄混燒의 형태가 대중을 이루게 된다. 大部分의 讀者는 보일러粉塵에 對하여 많은 관심이 있

을 것으로 판단되어 이들의 粒徑에 對하여 精確하게 報告해 보고저 한다. <그림 6>은 B, C전용보일러 排氣가스내 粉塵의 粒徑分布를 조사한 예이다.(日本 公害防止技術과法規 225 p 참조)



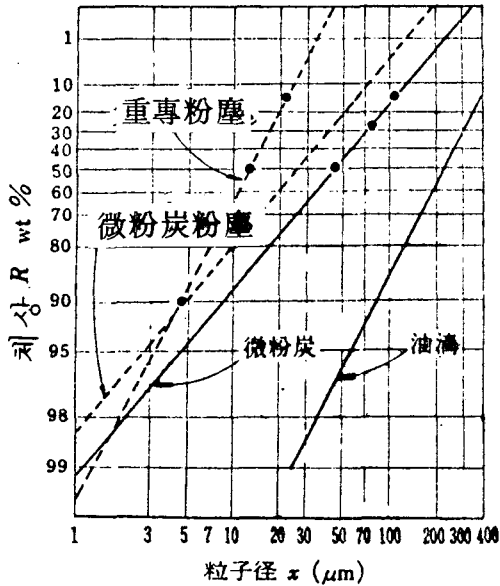
<그림 5> 집진기와 부분집진效率

<그림 6>에서 보듯이 B, C전용보일러 排氣가스내 粉塵粒徑分布를 체상분포로 表示한 것이다. 본 그래프에서 보면 B, C연소 보일러 排氣가스 粉塵粒徑은 적은 粒徑쪽으로 치우치는 경향을 나타낸다. <그림 6>에서 보면 0.02 μm 이하의 粉塵이 全體의 80~90%, 20 μm 이상이 전체의 10~15% 정도로 생각된다.



<그림 6> B, C보일러 排氣가스내 粉塵粒徑

석탄사용시 연소粉塵은 산업 및 난방보일러의 경우가 대부분이며 연소방법은 미분탄에 의한 混燒방법이나 또는 微粉炭에 의한 유동층연소방법이 대부분이므로 이들의 粒度에 對해서 살펴본다. <그림 7>은 混燒보일러의 경우 미분



<그림 7> 미분탄연소 보일러의 입도특성

탄 및 유적의 액적과 이를 혼소한 경우 배가스내에 粉塵粒徑을 설명한 것이다. <그림 7>에서 보듯이 중유전소보일러의 분진은 미분탄전소분진보다 기울기가 크다. 즉 중유전소보일러 분진은 미분탄연소분진보다 그 입도가 미세함을 뜻한다. <그림 7>에서 보면 2 μm이하의 분진이 중유분진에서는 99%이상, 석탄분진에서는 96%이상으로 나타난다. 따라서 중유연소 보일러의 경우 집진기를 사용할때 절단입경의 측면에

서 보면 적은 절단입경을 포집할 수 있는 방지 기계가 필요하게 된다. 최근 외국에서 분진방지 기술의 경향을 보면 B.C油에 의한 보일러분진은 전기집진기에 가장 활발하게 사용되고 있으며 석탄混燒의 경우에는 전기집진기 및 여과 집진기가 석탄연소의 경우에는 B.C 처럼 간단한 전처리를 거쳐 여과집진기 및 세정집진을 직 열연결하여 사용하는 경우가 많다. 연소시설에 대한 방지방법은 방지해야할 오염물질이 무엇인가에 따라 그 방법이 다양해질 수 있다. 여기에서는 분진에 대한것만 다루기로 하여 방지시설도 제한된 것이 있다. E.P.A에 자료에 따르면 중질유를 사용하는 경우 배출분진의 량도 연료중에 함유되어 있는 유황분(S)의 성분에 左右되어 아래식으로 표시된다.

$$(1.25 S + 0.38) \text{ kg/ke} = \text{분진배출계수}$$

따라서 분진을 감소시키는 방법으로는 연료중 유황함량을 감소시키는 것도 매우 效率的인 방법임을 감안하여야 한다.

(3) 처리가스특성과 방지기계

처리가스의 총량, 처리가스내분진 입경특성등이 把握되면 처리가스자체의 特性도 集塵選擇에 고려되지 않으면 안된다. 처리가스내에 일산화 탄소등의 가연성가스가 L.E.V H.E.V의 범위내의 농도가 되면 전기 집진기 여과집진기등은 가동시 爆發의 위험이 매우 높아지므로 이들을 사전에 적절히 처리할 수 있을 때는 세정식 집진방법이 바람직해진다. 또 처리가스내에 수분의 함량이 많아지면 여과집진기는 브라운딩현상등으로 성능이 극히 저하되므로 그 사용이 적합하지 않다. 이외에도 집진기 선택에 있어서 고려해야할 점은 경제성등이며 이에 대해서는 여기서 다루기에는 적합치 않아 생략하기로 한다.

⊗

◆ 環境保全 어나없다.
내가먼저 솔선수범