

# 음파를 이용한 Dust, Soot, Ash 등의 제거 기술

한 광 우

<코스모스티엔에스>

## 1. 서 론

보일러와 전기집진기, 백필터 및 송풍기 등 부대설비에서 DUST, SOOT 또는 ASH가 미치는 영향은 상당히 크다고 할 수 있다.

보일러의 경우, 전열면에 부착된 SOOT는 전열에 장애가 되어 전열 효율을 저하시키며, 절탄가능 튜브의 수평부에 퇴적한 SOOT는 발화되어 튜브를 소손시키기도 한다. 그러므로 보일러 튜브의 청정상태 유지를 위해 보통 증기 수트브로워를 사용하여 SOOT를 제거한다. 그러나 튜브배치 형상이 복잡한 곳, 또는 장소가 협소한 곳 등 수트브로워를 설치할 수 없는 부위나, 증기가 닿지 않는 튜브의 이면(Shadow area) 등 SOOT 청소가 용이하지 않은 곳이 있다.

전기집진기와 백필터는 환경오염 방지를 위해 SOOT를 포집 처리하는 설비로서, 전기집진기의 경우 포집한 SOOT, DUST의 탈거를 위해 추타장치(Rapping Device)를 사용하는데, 철제 Hammer의 충격으로 진동을 전달하는 설비의 성격으로 인하여 많은 유지보수 인력과 비용이 소요된다. 또한 집진기 안에 DUST 등이 두껍게 퇴적하여 집진극과 방전극 사이에 "Bridge"를 형성, 스파크가 발생하여 피아노선이 절손되기도 한다.

DUST를 포함하는 개스와 관련된 Fan류, 즉 유인 통풍기와 Mill Fan 등은 DUST가 Blade에 부착하거나 마모시켜서 진동문제를 야기하기도 한다. SOOT 또는 DUST로 인하여 문제가 야기되는 이러한 장소에서 저음파를 이용하여 문제해결을 도모할 수 있다. 즉, 낮은 주파수에서 높은 에너지를 지닌 음파를 이용하여 보일러 전

열면에 부착한 SOOT나 절탄기에 퇴적한 SOOT 등을 제거하므로서 전열효율 증대와 수트브로워 구동증기 절감 및 SOOT 발화 예방 등을 기대할 수 있다. 전기집진기에서는 Rapper 대신 또는 겸용으로 사용하여 기계적 손상을 감소시키고 집진효율의 향상을 기할 수 있으며, 구조상 수트브로워 설치가 어려운 송풍기, 덕트, 호퍼 등에서도 효과를 나타낼수 있다.

시멘트 공장에서 환경오염방지 또는 DUST의 처리와 부대설비에 폭넓게 응용할 수 있음을 기대하며, 음파를 이용한 DUST, SOOT등의 제거 기술을 기술한다.

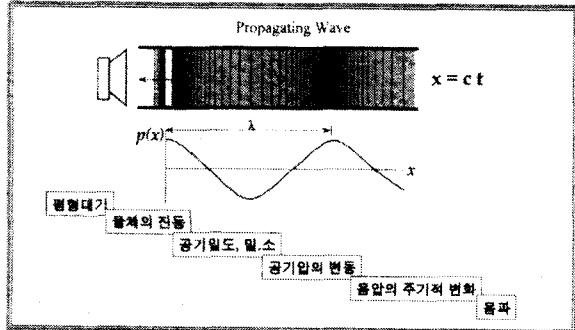
## 2. 개 요

소리의 진동효과를 이용하여 DUST를 제거하는 음파이용기술은 본격적인 실용화 이전에도 사용된 예가 있었다. 즉 목재 연료 등을 사용하는 연돌에 두껍게 부착한 재가 연돌의 단면적을 작게하므로서 통풍력을 감소시키므로 이 재를 털어내기 위해 굴뚝의 바닥에서 하늘을 향해 수렴용 총을 발사하는 것이다. 이때 발생하는 발사음은 연돌 내부에서 반향하며 내부표면에 진동을 주므로서 재를 털어내는 효과를 가져왔다. 이러한 원리를 바탕으로 Horn을 소리의 발생원(Sound Emitter)으로 한 Sonic Cleaning 기술은 Sweden에서 개발되어 유럽에서는 1969년부터, 미국에서는 1978년부터 실용화되기 시작하였다.

저주파이며 높은 에너지를 지닌 음파를 이용하는 이 같은 청소방법은 재래식보다 간편하고 경제적인 대안일 수 있다.

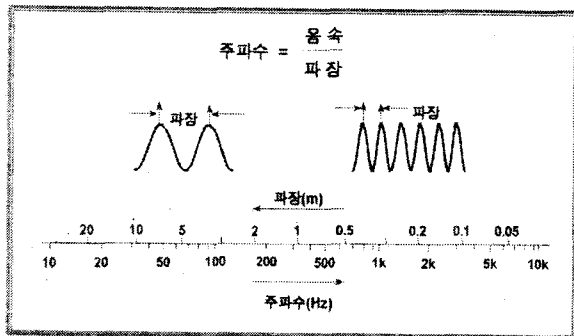
### 3. 음파 이론

#### 가. 음파의 발생



평형대기 상태에서 물체의 한부분에서 생긴 진동상태가 공기밀도와 공기압의 변동으로 인접 부위에 차례차례로 전달되어 퍼져 나가는 상태가 연속적으로 반복.

#### 나. 주파수와 파장과의 관계



#### 다. 음의 성질

**음의 성질**

- 소리의 3요소
  - 소리의 고저 : 주파수(Frequency)에 따른 차이
  - 소리의 크기 : 음압(Sound pressure)에 따른 차이
  - 음색 : 파형의 시간적 변화에 따른 차이

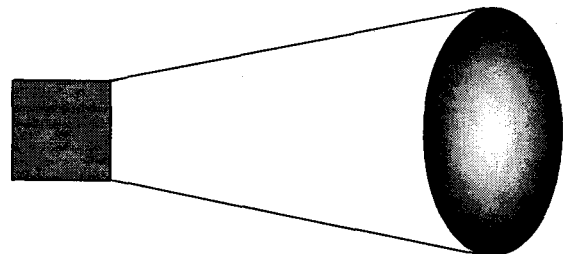
**물리적인 음의 레벨**

- 음압(sound pressure) : [Pa] (=N/m<sup>2</sup>)
- 음향 파워(sound power) : [W]
- 음향 세기(sound intensity) : [w/m<sup>2</sup>]

### 4. 음파의 이용 기술

밀폐된 공간의 한 지점에 설치된 음원(Sound Source)으로부터 방사되는 소리의 크기는 거리에 따라서 감소되는 소리와 그 공간의 여러 벽체로부터 반사되어 울리는 소리가 합쳐져서 나타난다.

집진기 내부에서 발생된 소리는 집진판을 떨리게 하거나 SOOT를 떨어내면서 에너지가 감소된다. 이러한 현상 때문에 소리에너지는 다른 종류의 에너지로 바뀌게되고 마치 소리가 흡수되는 것과 같은 효과를 주게된다. 즉 소리는 Sound Emitter로부터의 거리가 멀어짐에 따라 감소된다. 이렇게 감소된 후에도 모든 지점에서 SOOT를 떨어 내기에 충분한 소리에너지가 존재해야 하므로 규모에 따라 Sound Emitter의 음량이 달라져야 한다.



<그림 1> Sound Emitter(Horn)의 형상

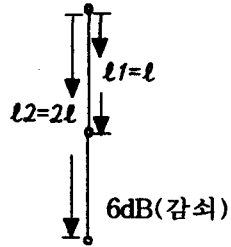
위의 <그림 1>은 Sound Emitter의 외형을 나타낸다. 이를 Sonic Soot Blower 또는 Horn이라고 부르는데 음파탈진기의 주파수 대역은 17~200Hz이며, 1m 전방에서 음압이 135~148dB 이상의 음을 발생시키는 저음파, 고에너지의 발생장치이다.

DUST나 SOOT등의 분진은 Horn이 발생한 음파의 진동에너지에 의해 제거된다.

음압은 고체입자 사이의 결속력과 고체가 표면에 붙은 힘을 깨트려서 입자를 유동화시킨다.

Sonic Cleaning은 고체이며, 비산하는 물질일때 매우 효과적이다.

가. 거리에 따른 음압의 변화

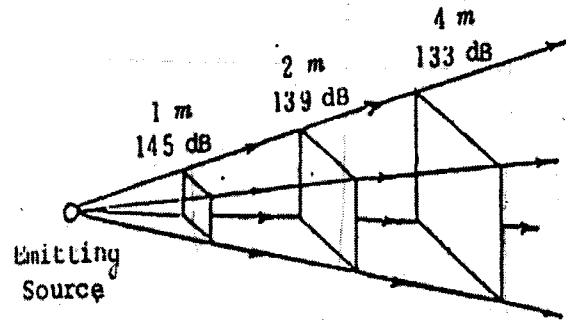


<그림 2> 거리에 따른 음압의 변화량

$$L_d = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) = 20 \log \left( \frac{r_1}{r_2} \right) = 20 \log \left( \frac{2l}{l} \right) = 6.021 \text{ dB}$$

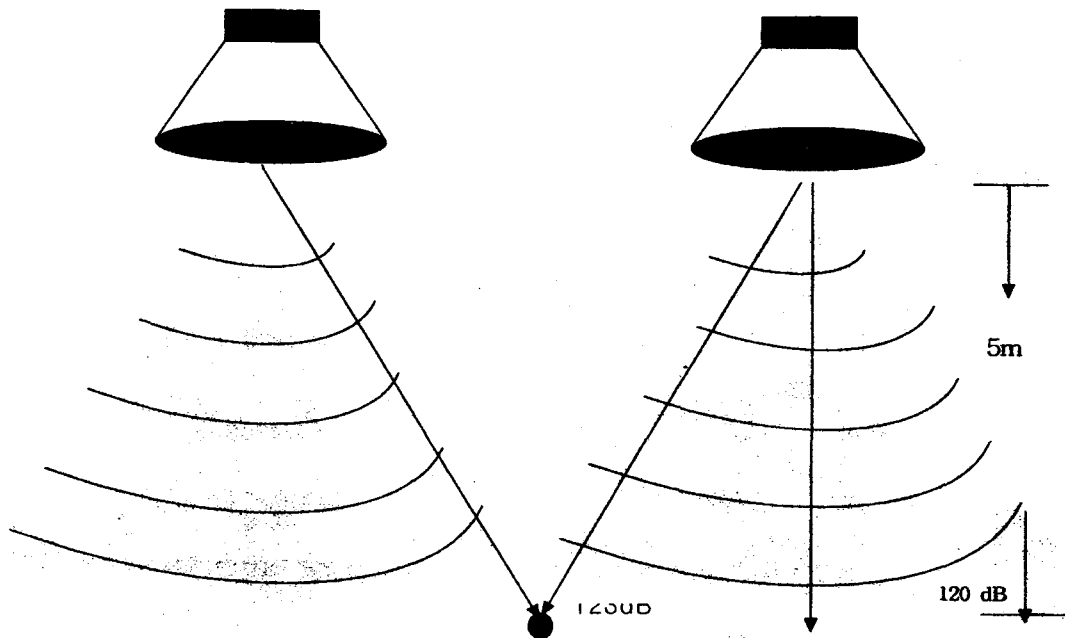
자유장에서의 음의 강도는 음의 발생원으로부터 거리의 제곱에 반비례한다.

Horn에서 발생한 음의 거리가 두배 될 때 마다 6dB씩 감소한다.



<그림 3> 자유장에서 음향에너지

나. 음압의 합산



<그림 4> 음압의 합산

$$P_1(\text{dB}) = 10 \log \left( 10^{\frac{120\text{dB}}{10}} + 10^{\frac{120\text{dB}}{10}} \right) = 123 \text{ dB}$$

동일 거리에서 2개 음원에서 Sound Emitting 했을 경우, 그 사이의 음압은 합산되어 3dB 증가한다.

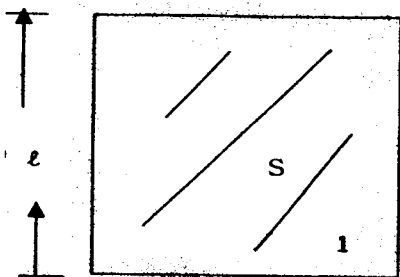
**다. 음파탈진기 적용기술**

※ 전기집진기의 적용

Horn에서 방출된 음파의 거리 r에서 떨어진 위치의 음압은 다음 식으로 산출된다.

$$SPL = PWL + 10 \log \left( \frac{1}{2\pi r^2} + \frac{(1-a)}{S\alpha} \right) - \beta \ell$$

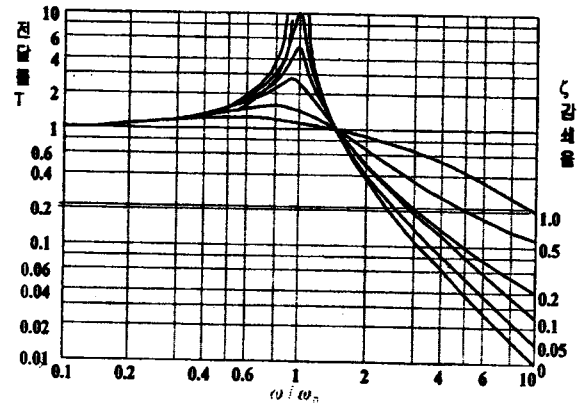
- PWL : Sound Emitter의 파워레벨이고
- r : Sound Emitter에서 Soot 까지의 거리
- a : 집진 철판의 평균 흡음율
- s : 집진기 내부의 표면적 (m<sup>2</sup>)
- β : 집진판 길이 방향의 단위길이당 감쇠계수 (dB/m)
- ℓ : 집진판의 길이 (m)
- dB (decible) : 음압의 단위로서 10log(P2/P1)
- P1 : 출력신호의 세기
- P2 : 측정면에서의 신호의 세기



집진판의 최소 크기가 11×4(m<sup>2</sup>)이므로 Sound Emitter의 파워 레벨이 집진판의 하단에서는 최소 90dB이상 이어야 하므로 Sound Emitter의 음압은 130dB 이상이어야 한다.

$$SPL = 135dB + 10 \log \left( \frac{1}{2\pi \times 11^2} + \frac{(1-0.4)}{44 \times 0.5} \right) - 1 \times 11dB = 106dB$$

**라. 공진주파수**



<그림 4> 공진주파수에 따른 전달률

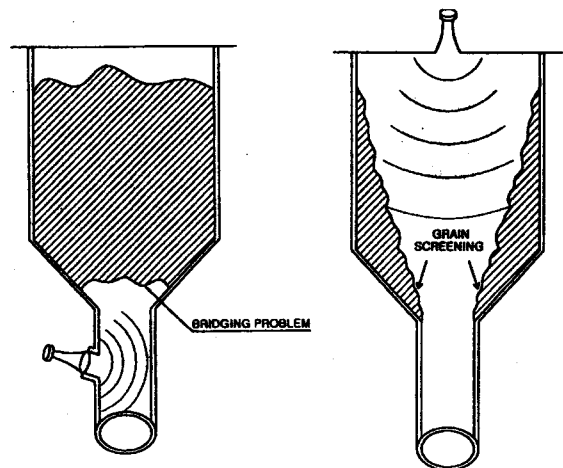
상기의 <그림 4>는 공진주파수에 따른 음압의 전달률을 나타낸다.

주파수의 공진여부에 따라 전달율이 크게 차이나는 것을 알 수 있고, 집진판의 주파수와 Horn의 주파수가 동일할 때 가장 큰 효과를 낼 수 있다.

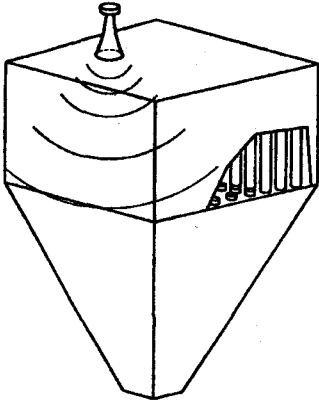
따라서, Horn에 발생한 음압이 최대의 출력을 얻을 수 있도록 주파수의 미세조정이 필요하다.

**5. 음파탈진의 이용분야**

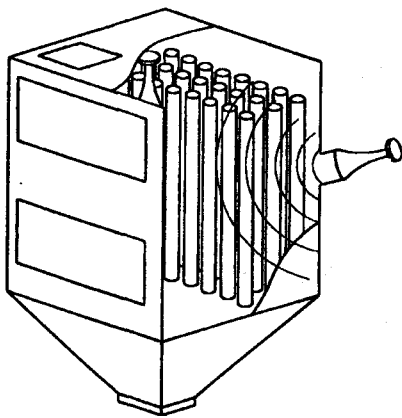
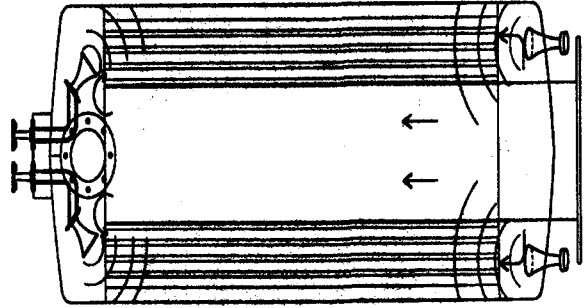
**가. Silo Bridging or Ratholing**



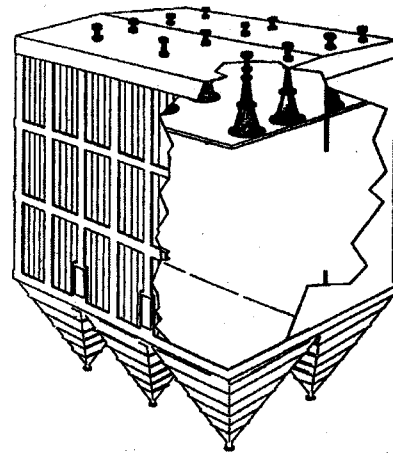
나. Bag-Filter



2) 연관식 보일러

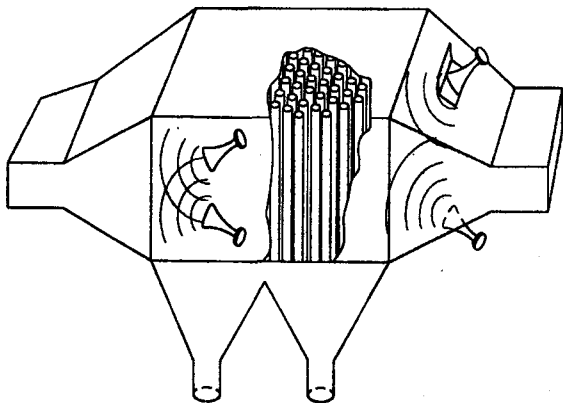


라. Electrostatic Precipitators

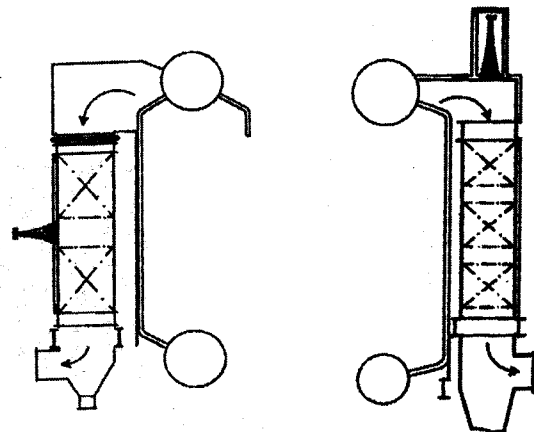


다. 보일러

1) 수관식 보일러



마. Economizer



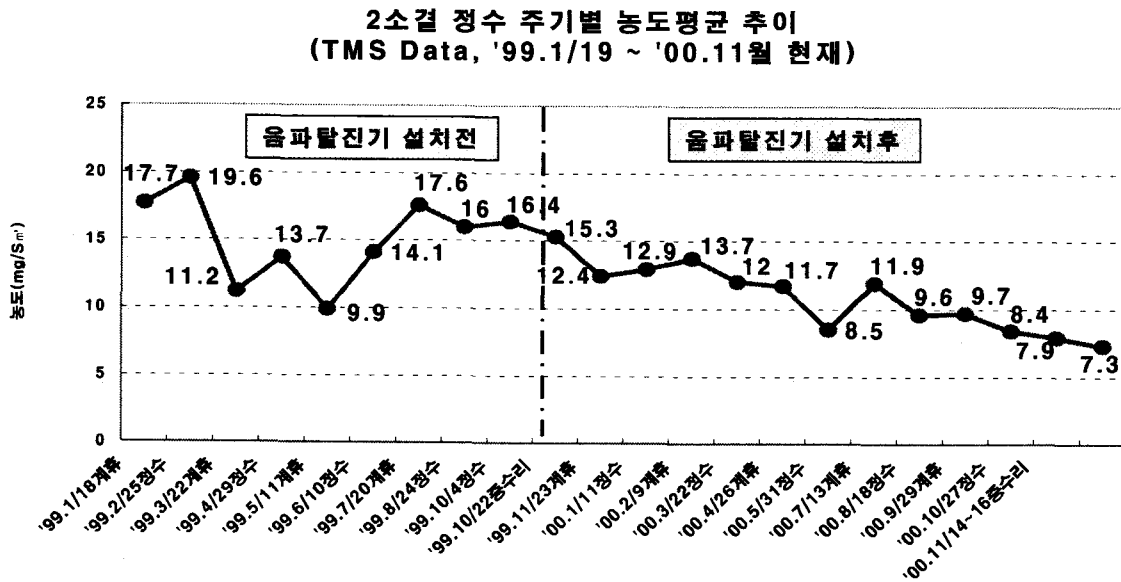
## 6. 적용사례

한국전력공사 화력발전소의 E.P / ECONOMIZER / COAL BOILER, 석유화학업체의 BOILER / BAG HOUSE, 제지, 사료업체의 E.P / SILO 및 각종 산업체에 탈진 장치로

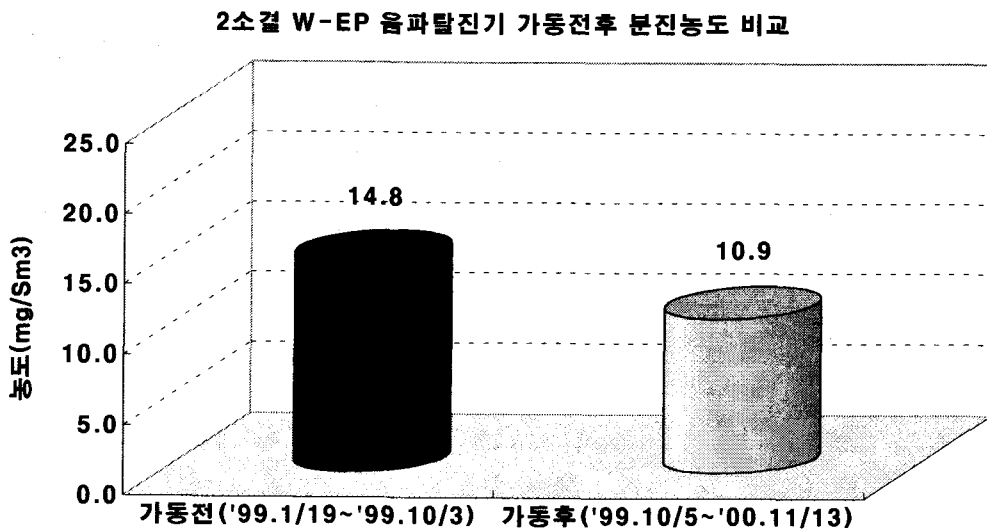
활용되고 있는데, 대표적으로 포항제철을 소개함.

POSCO 소결공장 2, 3소결 전기집진기  
2소결 가청주파수 음파탈진기 24 Sets 설치  
3소결 가청주파수 음파탈진기 32 Sets 설치

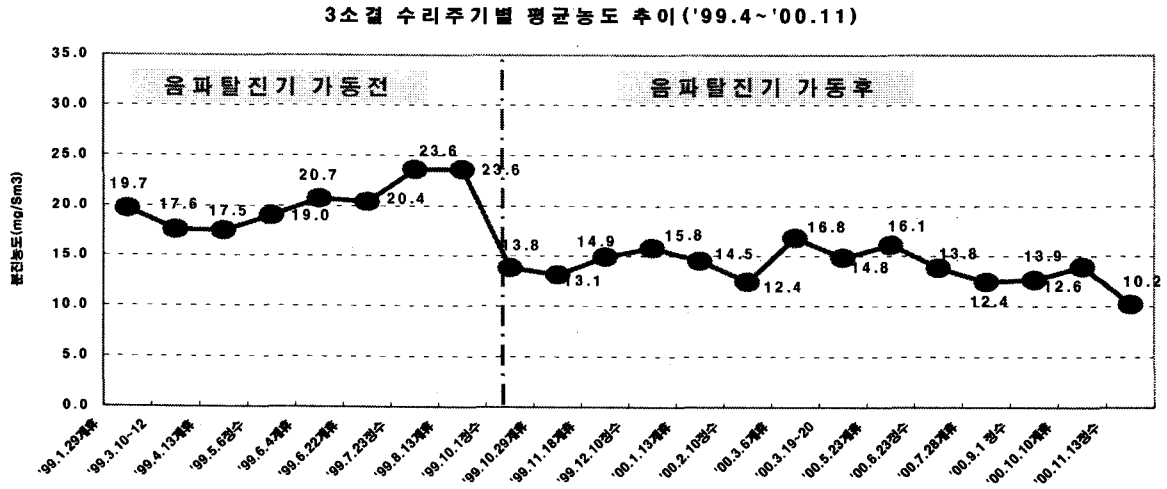
### 가. 음파탈진기 설치 전후 분진농도 비교 (2소결)



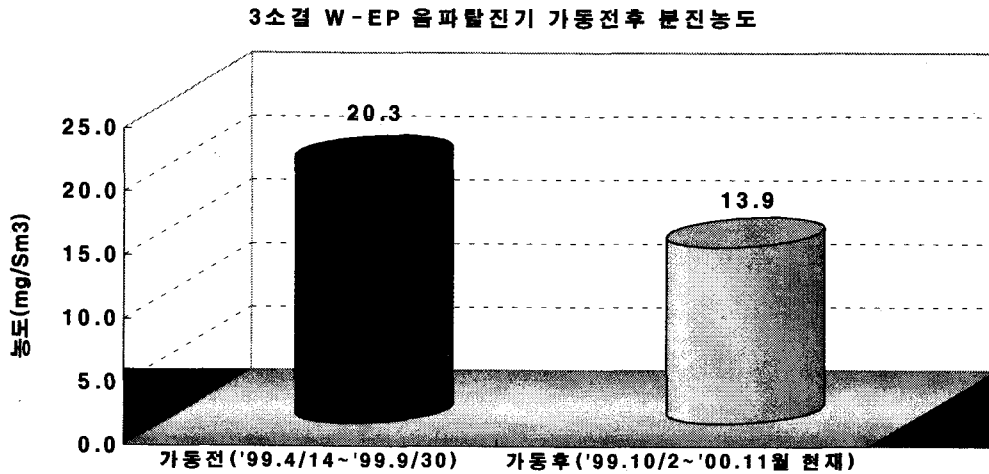
### 나. 음파탈진기 설치 전후 분진농도 평균치 비교



다. 음파탈진기 설치 전후 분진농도 비교 (3소결)



라. 음파탈진기 설치 전후 분진농도 평균치 비교



7. 결 론

음향의 파동 에너지를 이용하여 DUST 또는 SOOT 등을 제거하는 기술은 화력발전소, 석유화학산업, 시멘트산업, 제분/사료 업체, 산업용 보일러 등 부대설비에 폭넓게 응용할 수 있고, 그 성과가 입증되었다.

음파탈진은 다음과 같은 장점이 있다.

- 운전비용의 감소

- 보수비용의 감소
- 정지시간 감소
- DUST 제거 효율 향상
- 소모품 비용의 감소
- 설치, 운전이 간편하고 용이

배출가스나 DUST 등의 환경오염이 민감한 현실에서 음파탈진이라는 보다 경제적이고 효율적인 DUST 제거 기술은 향후 전산업에 보다 많이 활용될 것이다.