

밀폐형 방음상자에 의한 산업용 송풍기 소음 저감

조태제*

(논문접수일 2008. 4. 21, 심사완료일 2008. 6. 7)

The Noise Reduction of Industrial Blower due to Close Type Enclosure

Cho Tae Jea*

Abstract

The noise levels and individual employee noise exposure levels within a factory will determine the need for hearing conservation program. The difficulty in not having an effective hearing conservation program is the risk of hearing loss that employees may sustain. In the last few years the claims for hearing loss compensation have grown due to class action litigation brought against the employer and companies that have equipment in the factory alleged to have caused hearing loss. The Blower in the factory generates the noise of 98.3dB(A) in the frequency range of 2,000Hz, which may cause occupational hearing loss. By designing close type enclosures which are made of absorption material, about 24.4dB(A) reduction has been in the factory. It is demonstrated that this kind of enclosures can be effectively used to reduce the noise in the factory.

Key Words : Absorption material(흡음재), Blower(송풍기), Enclosure(방음상자), Hearing Loss(청력손실), Noise Reduction(소음 저감)

1. 서론

대형 산업설비로부터의 소음을 제어하는 것은 그와 같은 설비의 설계와 운전의 중요한 측면이 되었다. 과거 십여 년 동안에 걸쳐 소음방지의 요구는 점점 더 엄격해져 왔다. 최초의 소음방지에 대한 자극제는 설비의 운전자에 대한 영구적 청각 손상 가능성의 인식이었으며, 이웃 도시 시민 사이에서의 소음에 대한 증가되는 의식이 설비소음에 대한 불

만을 야기하였다. 최근에는, 소음 규제치의 강화로 인해 소음 방지의 필요성이 증가하고 있다. 산업설비의 설계와 운전 에 있어서는 공장내 소음과 환경소음이 비록 그들 사이에 어떤 관계가 있다고 하더라도 분리되어 평가되어야 한다.

현재의 공장내 또는 작업장 소음한계는 보통 85에서 90dB(A)까지의 낮은 값으로 요구된다. 많은 국가에서 사람이 출입할 수 있는 모든 장소의 법규적인 요건은 90dB(A)을 넘지 않는 수준을 요구한다. 소음이 90dB(A)을 초과하는

* 현대산업개발(주) 품질관리팀 (blackcho01@hanmail.net)
주소: 135-090 서울시 강남구 삼성동 160

모든 장소는 통상 “소음 유해 구역”으로 구획되며, 소음 유해 구역에서는 청각 보호 장구를 사용하여야 한다. 가동되고 있는 설비내의 특정한 위치에서의 소음레벨은 시간에 따라 다소 일정하게 유지되지만, 운전자들의 다양한 개인적인 노출양식은 일일 소음노출을 예측하기 어렵다. 노출시간은 너무 가변적이고, 또한 작업자들을 과도한 소음으로부터 보호하기 위해서는 소음수준이 90dB(A)을 초과하는 모든 장소를 소음 유해 구역으로 지정하여야 하며, 항상 청각보호 장구가 사용되어야 한다. 그런데, 모든 작업자에게 청각보호 장구를 착용시켜 소음에 대한 노출을 제어하는 방법은 비용과 착용자의 불편 때문에 실용적이지 못하다.

따라서 본 연구에서는 생산 공장에서의 주 소음원인 송풍기의 소음 저감대책을 수립하여 근로자들의 작업환경을 개선할 수 있도록 표준형 방음시스템을 검토하고 있다. 이를 위해 송풍기에서 발생하는 소음을 측정하고 주파수, 음압 등의 음향특성을 분석하여 여러 생산 공장에서 공통적으로 적용할 수 있는 표준 형태의 밀폐형 방음상자(enclosure)를 설계 제작하여 그 효과를 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 밀폐형 방음상자

음원으로부터 방사되는 소음을 저감하는 데 있어 가장 바람직한 것은 음원을 부터 방사되는 소음 그 자체를 작게 하는 것이지만, 음원 자체의 소음을 저감시킬 수 없는 경우에는 음원과 수음자 사이의 전달경로를 차단하는 것이 소음방지기술의 통상적인 방법이다. 음원의 밀폐는 소음 전달경로의 차단 방법중 하나이다. 밀폐형 방음상자를 설계할 때 반드시 유의해야 할 점은 방진, 차음, 흡음, 환기, 개구부의 소음(消音) 등이다⁽⁴⁾. 만약, 설계 시 유의사항을 무시하면 방음상자 외부의 소음은 작아지지 않는다. 방음상자의 차음효과를 증가시키기 위해서 방음상자의 벽을 이중으로 하든가 내부에 감쇠재를 샌드위치형으로 접착한 패널을 사용할 수도 있다. 또한, 방음상자 내부에 흡음재를 부착하여 차음효과를 증가시킬 수 있다.

2.1.1 밀폐형 방음상자 내부의 음압레벨

(1) 파장에 비해 방음상자가 작은 경우
밀폐형 방음상자 내부의 음압레벨(L)은 식 (1)과 같다.

$$L = 20\log_{10} p + 94 \quad (1)$$

식 (1)에서 p는 음압이다. 밀폐형 방음상자 내부의 음향파워(W)가 불변인 경우(정속도 음원), 밀폐형 방음상자 내부의 저주파 음압레벨(L)은 식 (2)와 같다.

$$L = PWL - 40\log_{10} f - 20\log_{10} V + 81 \quad (2)$$

식 (2)에서 PWL은 음원의 파워레벨이고, f는 음원의 주파수, V는 방음상자의 부피이다.

(2) 파장에 비해 방음상자가 큰 경우

밀폐형 방음상자 내부의 고주파 음압레벨(L)은 식 (3)과 같다.

$$L = PWL + 10\log_{10} \frac{1-\alpha}{S\alpha} + 6 \quad (3)$$

식 (3)에서 α 는 방음상자 내부 흡음재의 흡음률이고, S는 표면적이다.

2.1.2 밀폐형 방음상자 외부의 음압레벨

음원의 파워레벨 PWL_s , 밀폐형 방음상자 외부에서의 파워레벨을 PWL_t 라고 할 때, 방음상자 밖으로 방출되는 파워레벨의 차는 식 (4)와 같다.

$$PWL_s - PWL_t = TL - 10\log_{10} \frac{S_p(1-\alpha)}{S\alpha} \quad (4)$$

식 (4)에서 S_p 는 방음상자를 외부 표면적이다. 식 (4)로부터 밀폐형 방음상자의 투과손실(transmission loss)과 내부 손실이 클수록 외부의 음압레벨이 작아진다는 것을 알 수 있다. 이 손실에는 저주파에 대해서는 진동흡음이나 공명흡음, 고주파에 대해서는 흡음재에 의한 흡음이 유효할 것을 사료된다.

2.1.3 밀폐형 방음상자 내의 환기 필요량

음원의 밀폐로 인해 방음상자 내부의 온도가 상승하기 때문에 환기가 필요하다. 방음상자 내부 음원의 방열량을 Q(kcal/h), 공기의 비중 ρ (kg/m³), 외부와 방음상자 내부의 온도차 $\Delta\theta$ (°C), 공기의 정압비열을 C_p (kcal/kg°C)이라고 할 때, 매시 필요한 환기용적(V)은 식 (5)와 같다.

$$V = \frac{Q}{c_p \Delta\theta} (m^3/h) \quad (5)$$

그런데, 환기 입구부와 출구부에는 방음상자의 차음 벽면

과 동등한 투과손실을 갖는 소음기나 흡음다트를 장착하지 않으면 안 된다. 만일 환기구 부분의 투과손실이 작을 경우에는, 공극의 역할을 하게 되고, 방음상자의 총합 투과손실은 현저하게 상실된다.

2.2 밀폐형 방음상자의 설계

Fig. 1은 생산공장에 설치된 산업용 송풍기이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 송풍기에 대한 밀폐형 방음상자는 소음방지의 기본적인 계획실시 순서에 준하여 실시한 연구대상의 음압 및 주파수 측정결과, 방음상자 설계에 적용되는 기초적인 이론 등을 고려하여 설계하였다.

방음상자는 가로 7.0(m), 세로 3.2(m), 높이 3.0(m)의 크기이다. 방음상자 밖에서 내부를 감시할 수 있도록 감시창을 설치하였고, 작업자가 방음상자 내부에 출입할 수 있도록 문을 설치하였다. 그 외 환기량, 흡음의 제원, 연결부, 내부구조 등을 고려한 방음상자 설계도는 Fig. 2와 같다.

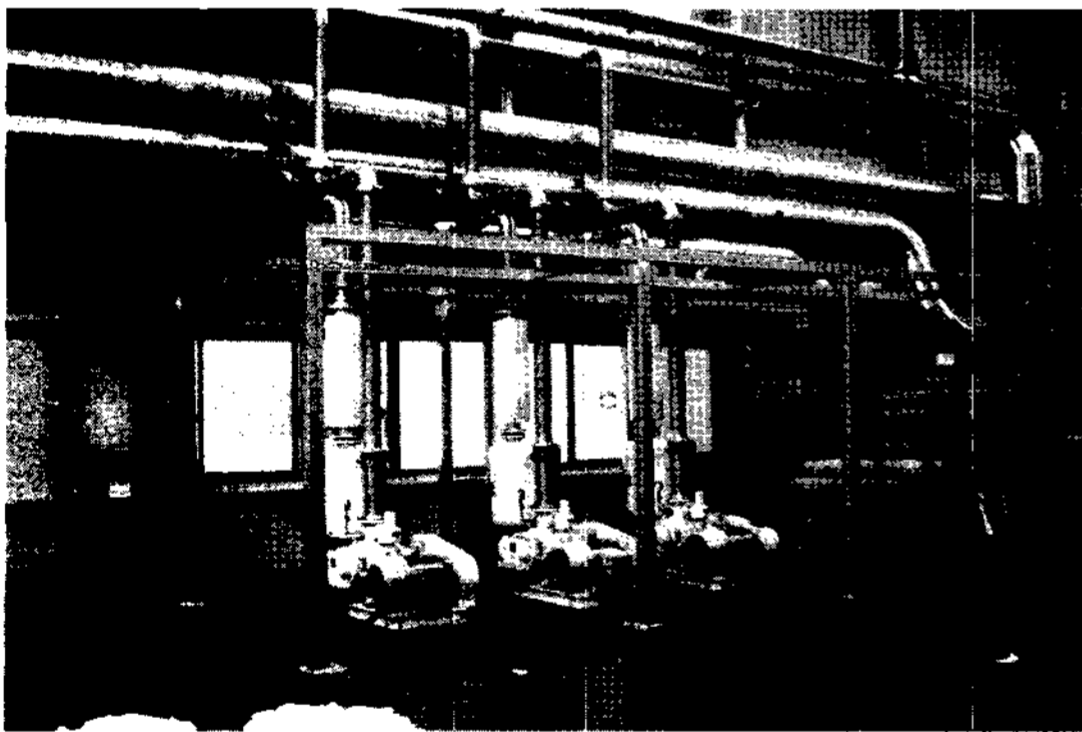


Fig. 1 Blower in the factory

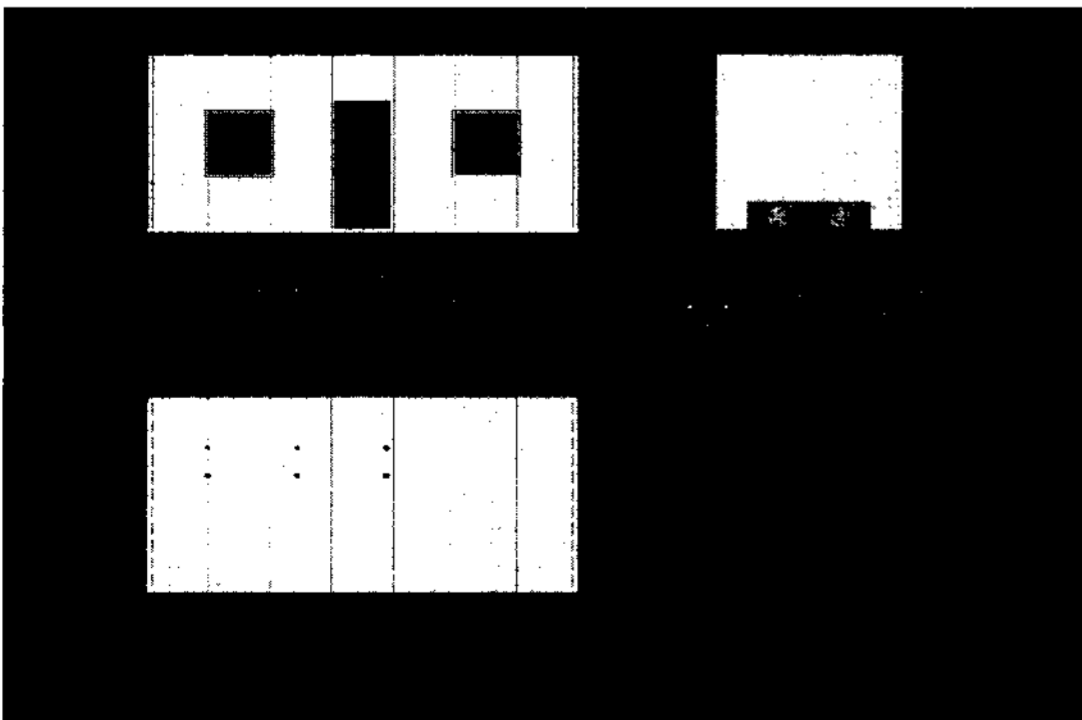


Fig. 2 Enclosure(unit:mm)

방음상자에 이용된 방음패널은 미세형 타공강판으로 두께는 50(mm)이고 500Hz 대역에서의 흡음률이 0.9인 반영구적 재질이다. 방음창과 방음문은 상용화된 제품이며 환기를 위해 음향루버(acoustic louver)를 설치하였다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

단위 작업 장소에서의 소음수준 측정은 측정대상이 되는 작업자의 귀와 근접한 위치에서 측정하기 위하여 생산공장 송풍기의 수평방향으로 1m, 높이 1.2m 지점에서 측정하였다. 또한, 마이크로폰의 동특성은 “빠름(fast)”이고 청감보정 특성은 인간의 귀로 들었을 때와 같은 A-보정(A-weighting)으로 설정하였다. 측정시간은 5분이고, 측정시 기준 음압은 1,000Hz에서 94dB(A)의 음압을 발생하는 보정기(piston phone)를 사용하였다.

측정시 주변의 암소음(background noise)은 50dB(A) 정도로 송풍기 소음과는 40dB(A) 이상의 차이를 보였다. 기상 조건으로는 풍속이 1.2m/s이하이었고 상온에서 측정하였다. 실험 장치에 대한 개략도는 Fig. 3과 같다.

3.2 실험 방법

측정방법은 ISO(International Standardization Organization)의 기준 및 환경오염공정시험법(소음진동편)에 준하여 측정하였다. 주변의 반사음의 영향을 최소화하기 위하여 측정자 및 주위 물체와의 적정거리를 유지하였다. 측정하고자 하는 소음은 시간에 따라 변하는 변동소음이기 때문에 소음 에너지를 시간적으로 평균하여 대수 변환을 취한 값인 등가소음레벨(equivalent sound level : L_{eq} dB(A))을 측정하였고, 측정 1회당 측정시간은 5분을 기준으로 하였다. 시간 t_1 에서 t_2 까지의 시간을 T라고 하면 등가소음레벨은 식 (6)과 같다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_i}{10}} dt. \quad (6)$$

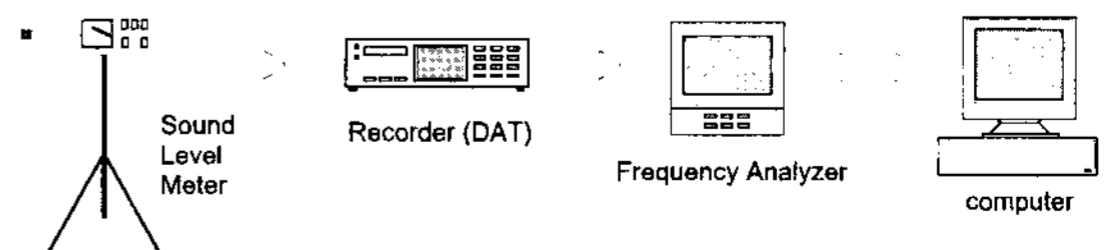


Fig. 3 Schematic diagram of experimental instrument

식 (6)에서 L_i 는 임의의 시각의 소음레벨이다. 송풍기의 소음을 측정하기 위하여 소음계(sound level meter)와 디지털 테이프 레코더(digital tape recorder)를 사용하였다. 또한, 실험에 이용된 소음계는 1/3옥타브(octave) 대역 주파수 분석이 가능하기 때문에 5분 동안에 측정된 소음의 주파수 분석은 소음계를 이용하여 구하거나 주파수 분석기(frequency analyzer)를 이용하여 63, 125, 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 12,500Hz 등의 주파수 대역에서의 소음레벨을 구하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

작업환경소음의 허용기준치로 미국의 노동안전위생법(OSHA)에서는 하루 8시간 정도 소음에 노출되는 경우 90dB(A)로 정하고 있다. 이 기준 이하의 조건에서 하루 8시간 이내의 폭로가 주 5일 이상, 10년 이상 계속되는 경우에는 영구적인 청력손실의 피해를 입게 된다. 이는 하루 8시간 소음에 노출된 경우 90dB(A)에 상당한다. Fig. 4는 송풍기 소음을 저감하기 위해 설치한 밀폐형 방음상자이다. Fig. 5는 밀폐형 방음상자 설치 전·후 송풍기 소음 측정결과이다.



Fig. 4 Blower with enclosure

Fig. 5는 밀폐형 방음상자 설치 전·후 송풍기로부터 일정 거리 떨어진 지점에서 송풍기의 소음레벨을 측정한 결과이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 밀폐형 방음상자 설치 전 송풍기의 소음을 측정한 결과, 1,000~2,000Hz 사이의 주파수 대역에서 최대치를 나타내고 있고, 1~12,500Hz 사이 주파수 대역에서의 소음레벨은 98.3dB(A)이다. 이는 작업자가 90dB(A)의 소음이 방사되는 지역에서 8시간 작업할 때 작업자가 소음에 100% 노출되는 것으로 정한 작업환경소음의 허용기준치를 상회하고 있다. 송풍기의 소음 이 1,000~2,000Hz 대역에서 최대값을 보이고 있는데, 청감보정 및 음향 생리적인 측면을 고려해 볼 때, 송풍기 소음은 작업자의 귀에 거슬리며 송풍기의 소음 중에는 2,000Hz 이상의 고주파 성분 소음이 포함되어 있어 직업성 난청을 유발할 가능성도 있을 것으로 판단된다. 방음상자 설치 후 송풍기로부터 일정거리 떨어진 지점에서 소음레벨을 측정한 결과, 1~12,500Hz 사이 주파수 대역에서의 소음레벨은 73.9dB(A)이다.

Table 1은 밀폐형 방음상자에 의한 감음효과이다. 1/3 옥

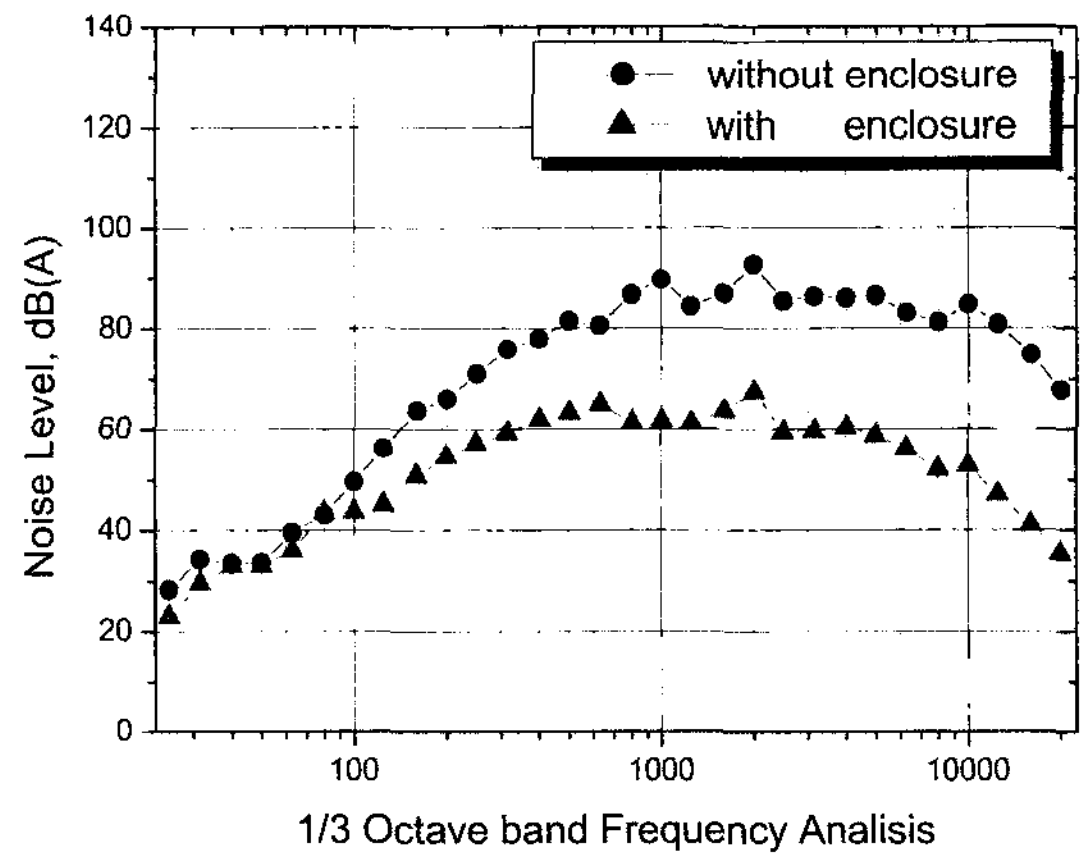


Fig. 5 Measured sound pressure level of blower with/without enclosure

Table 1 Sound pressure level with enclosure

Contents	1/3 Octave band center frequency [Hz]									
	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	12,500	o.A
SPL without enclosure ①	39.5	56.2	71.0	81.5	89.7	92.8	86.0	81.2	80.8	98.3
SPL with enclosure ②	43.0	45.0	57.1	63.2	61.6	67.3	60.3	52.0	47.0	73.9
Background noise	38.8	40.3	52.7	53.0	57.2	58.3	55.8	49.5	41.6	63.1
① - ②	-3.5	11.2	13.9	18.3	28.1	25.5	25.7	29.2	33.8	24.4

타브대역 필터(1/3 octave band filter)를 이용하여 분석한 결과를 살펴보면, 최대음압레벨을 나타냈던 2,000Hz에서의 대책 전·후 감음효과는 25.5dB(A)이고, 최소음압레벨을 나타냈던 63Hz에서의 대책 전·후 감음효과는 -3.5dB(A)이다. 한편, 1~12,500Hz 주파수 사이에서 전체음압레벨의 감음효과는 24.4dB(A)이다.

Fig. 6은 송풍기에 밀폐형 방음상자를 설치한 후 측정된 소음을 작업환경 소음허용치와 비교한 것이다. 밀폐형 방음상자에 의한 송풍기의 소음저감 대책 전·후를 비교해 보면, 1일 8시간 작업시간을 기준으로 밀폐형 방음상자에 의한 방음대책 전 송풍기 소음은 2,000Hz 대역에서 작업환경 소음허용치를 상회하고 있었으나, 밀폐형 방음상자에 의한 방음대책 후 송풍기 소음은 전 주파수 대역에서 작업환경 소음허용치보다 10~30dB(A)이하로 작업환경 소음허용치인 90dB(A)를 만족하였다.

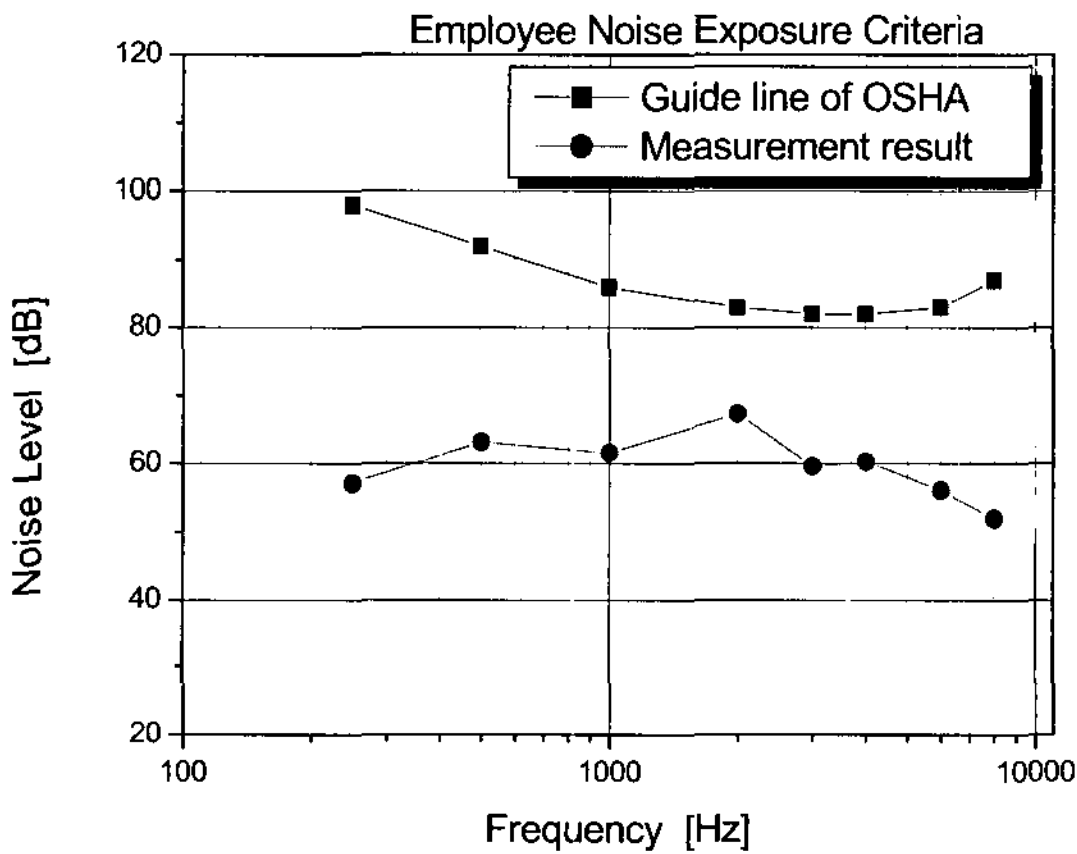


Fig. 6 Comparison of permissible noise level from measured sound pressure level of blower with enclosure

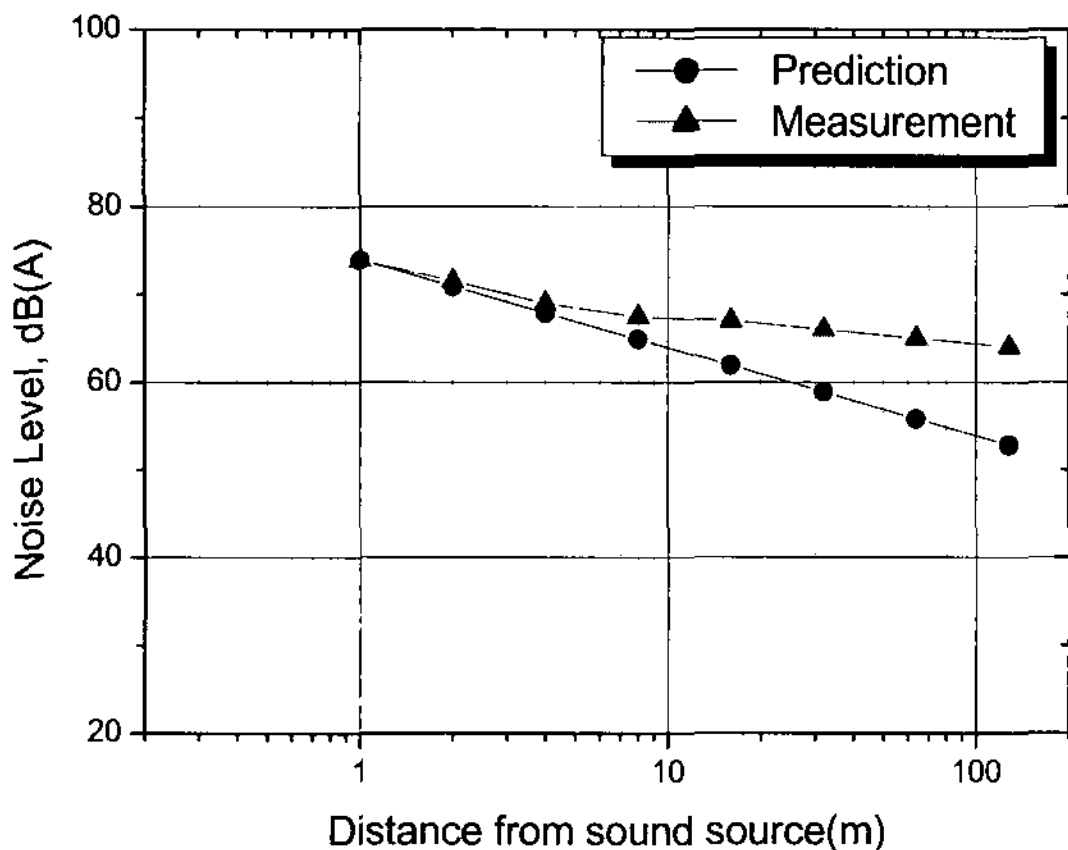


Fig. 7 Distance effect from noise source of blower

용치를 상회하고 있었으나, 밀폐형 방음상자에 의한 방음대책 후 송풍기 소음은 전 주파수 대역에서 작업환경 소음허용치보다 10~30dB(A)이하로 작업환경 소음허용치인 90dB(A)를 만족하였다.

Fig. 7은 송풍기 소음에 대한 측정지점의 거리 증가로 인한 거리감쇠 효과를 조사한 결과이다. 송풍기의 소음대책 수립으로 작업 환경을 개선하기 전에 비해 개선 후의 거리감쇠 효과가 현저하게 떨어져 있으며, 송풍기를 반자유공간 정음원으로 가정한 거리감쇠 이론식과 측정치를 비교해 볼 때 측정거리 별로 측정치가 이론식에 의한 예측치보다 높은 음압레벨을 보이고 있는데, 이는 주변의 회전기계 등으로 인한 암소음의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

5. 결론

작업자들에게 난청 등 직업병을 유발시킬 가능성이 있을 것으로 예상되는 송풍기의 소음특성을 분석하고, 밀폐형 방음상자를 설계하여 소음의 전달경로에 소음방지시설을 설치함으로써 작업환경을 개선하였다. 또한, 밀폐형 방음상자에 의한 생산공장 송풍기 소음을 저감하는 과정에서 다음과 같은 결론을 구 하였다.

- (1) 밀폐형 방음상자를 이용한 송풍기의 소음을 저감한 결과, 98.3dB(A) 정도 소음원의 소음레벨 감음효과는 24.4dB(A) 이었으며, 이는 작업환경 소음허용치인 90dB(A)를 만족시켰다.
- (2) 위와 같은 측정결과로부터 밀폐형 방음상자가 생산공장의 주 소음원인 송풍기의 소음방지 대책으로 적합한 표준 형태의 방법임을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Choi, C. H., 1996, "Working environment noise prevent," *Journal of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering*, Vol. 6, No. 5, pp. 535~540.
- (2) Kim, B. S., 1997, *Noise and Vibration*, Free-academy Press, Republic of Korea, pp. 230~254.
- (3) Davern, W. A., 1978, "Enclosures and Screens for Saw Operators," *Applied Ergonomics*, Vol. 9, No. 1, pp. 2~6
- (4) Irwin, J. D. and Graf, E. R. 1978, *Industrial Noise*

and Vibration Control, Prentice-Hall Press, New York.

- (5) Breul & Kjaer, 1986, *Noise Control*, Breul & Kjaer, Denmark.
- (6) Ahn, H. S., 2007, "Estimation of Nanomechanical Properties of Nanosurfaces Using Phase Contrast Imaging in Atomic Force Microscopy," *Transactions*

of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 16, No. 5 pp. 115~121.

- (7) Kim, J. Y. and Lim, J. H., 2007, "Development of Monitoring System for Inspection of Polarization Optical Fiber," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 5, pp. 145~150.