

〈논 문〉

# 투명아크릴 밀폐형 방음상자를 이용한 석재절단공장 소음저감

Noise Reduction in the Stone Cutting Factory by Using Transparent Acrylic Enclosures

이 성 춘\* · 박 상 규\*\*

Sung Chun Lee and Sang Kyu Park

(1996년 10월 12일 접수 ; 1996년 11월 30일 심사완료)

## ABSTRACT

Friction between stone and saw of stone cutting machine generates the noise of 96-104 dB in the frequency range of 2kHz-8kHz, which may cause occupational hearing loss. By designing enclosures which are made of transparent acryl, PVC panel and absorption materials, about 15 dB noise reduction has been achieved in the stone cutting factory. It is demonstrated that this kind of enclosures can be effectively used to reduce the noise in the stone cutting factory.

## 1. 서 론

최근 국민 생활 수준이 향상됨에 따라 건축물의 실용적 측면 뿐만 아니라 미적인 측면에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 미적 감각에 대한 욕구를 충족시키기 위해 사용되는 재료 중 대표적인 것의 하나가 화강암과 같은 석재 재료이다. 그러나 과거와 같이 자연 상태로 쓰이는 것이 아니라 활석, 절단, 연마, 세공 등의 여러 가공 과정을 거쳐 사용하기 때문에 석재 가공 단계에서의 소음 발생은 불가피하다. 특히 근래에 들어 국내 수요는 물론 수출에 호조를 보이고 있는 화강암을 가공하기 위한 절단기계와 설비들이 대형화 되고 있을 뿐 아니라 자동화 및 고속화 되는 추세이므로<sup>(1)</sup> 이러한 시설에서 발생하는 소음은 근로자들에게 불쾌감, 피로감을 유발하여 생산성을 저하시키며, 불면증, 신경쇠약, 난청 등의 직업병을 일으키는 등 근로자들의 건강에 피해를 미치고 있다. 특히 이들 직업병 가운데 소음성 난청의 발생율이 수위를 차지하고 있으며<sup>(2)</sup> 보통 회화영역 밖인 3~6 kHz에서 난청이 시작되므로 초기에는 근로자 자신이 이를 깨닫지 못하고 발견시기를

놓쳐 영원히 청력을 회복할 수 없게 되는 경우도 많다. 또한 인근 주민들에게 미치는 환경공해 문제로 인하여 많은 민원을 야기하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 외국에서는 소음 방지 시설의 형식이나 규격에 대한 많은 연구를 통하여 표준화된 설비로서 사용하고 있으나<sup>(3,4)</sup> 국내의 경우 대부분의 석재 가공 공장은 규모가 영세하므로 소음 방지 시설에 관심을 기울일 수 있는 여력이 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 석재절단기 소음 저감대책을 수립하여 근로자들의 작업환경을 개선할 수 있도록 노동부 산하 산업안전관리공단과 함께 표준형 방음시스템의 개발을 추진하였다. 이를 위해 석재 절단 과정에서 발생하는 소음을 측정하고 주파수, 음압등의 음향특성을 분석하여 여러 석재 가공 공장에 공통적으로 적용할 수 있는 표준 형태의 방음실을 설계 제작하여 그 효과를 평가하였다.

## 2. 방음장치 설계 및 감음효과 예측

### 2.1 방음장치 설계

Fig. 1 과 같이 크기가 30 m×15 m되는 작업실 내부에 모두 8대의 석재절단기가 있으며 절단기 내부에 지름이 다른 회전톱이 내장되어 있다. 소음을 저감시키기 위하여는 일반적인 소음저감대책 방안인

\*정회원, 대한방음방진 주식회사

\*\*정회원, 연세대학교 산업환경과

소음원 대책, 전파경로 대책, 수음점에서의 대책 중 에서 소음발생원인 석재절단기를 음향학 측면에서 최적설계하여 소음을 완전히 제거하는 것이 근본적 인 방법이나, 석재절단기의 회전톱과 석재의 마찰로 인한 소음이 매우 커서 한계가 있으므로 여기서는 방음실을 이용한 전파경로 차단방법을 선택하였다.

먼저 방음실의 형식 및 재질을 결정하기 위하여 여러 형태의 방음실을 설계하여 장단점을 비교하였 으며 그 중 대표적인 두 가지를 선정하였다(Table 1). 절단기의 전면과 측면을 두꺼운 비닐 커텐으로 차음하고 상부는 개방하여 흡음재를 달아내는 개방 형 방식은 설치비용이 저렴하고, 작업자나 지게차가

자유로이 출입할 수 있는 장점이 있으나 투명 비닐 커텐 사이로 틈새가 많아 방음효과가 떨어지고 분진 등이 부착되면 청소가 어려운 단점이 있다. 반면에 전면과 측면을 작업자가 육안으로 확인할 수 있는 위치까지 투명판으로 밀폐하고 상부는 외장재료와 흡음재로써 완전히 막는 밀폐형 방식은 시공상 다소 어렵지만 정비관리가 용이하고 방음성능이 뛰어나 다. 특히 전면과 측면의 투명판은 기계작동시 외부 에서 육안으로 관찰을 가능하게 하므로 본 연구에서 는 밀폐형으로 제작하기로 결정하였다. 투명판의 재 질로서는 유리가 아크릴판에 비해서 투명성과 방음 효과는 좋으나 강도가 떨어져 파손 위험성이 있으며

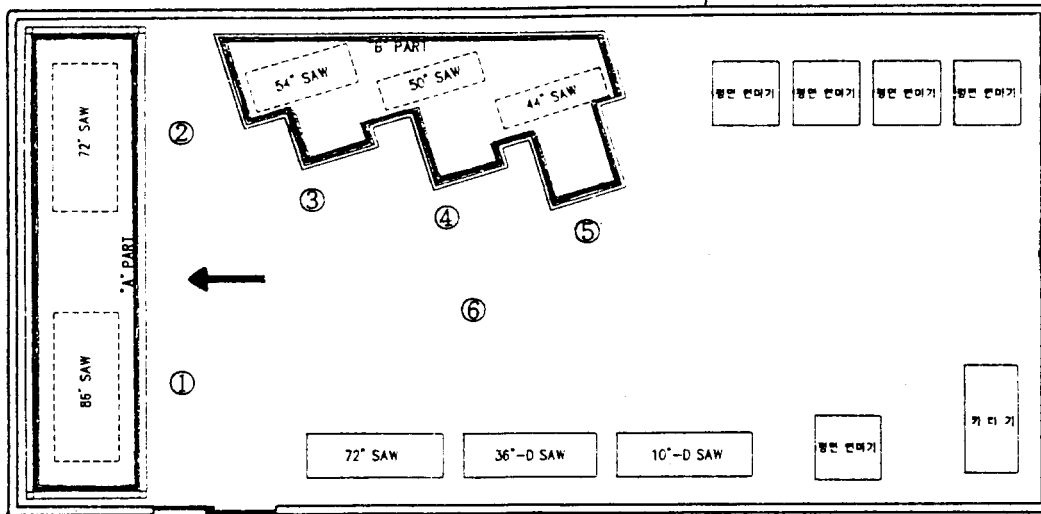


Fig. 1 Layout of stone cutting machines

Table 1 Performance of closed/open type enclosure

구 분	제 1 안 (밀폐형)	제 2 안(개방형)
방 음 실	전면과 측면은 작업자가 육안으로 확인할 수 있는 위치까지 아크릴판으로 밀폐하고 상부도 PVC판과 흡음재로 밀폐하는 방식이다	전면과 측면은 투명 연질 커텐으로 밀폐하고 상부는 개방하되 흡음재를 매다는 방식으로 제작한다
장 점	1. 전면, 측면, 상부가 밀폐 되어 방음성능이 뛰어나다 2. 투명 아크릴로 구성되어 기계작동시 육안으로 확인할 수 있다. 3. 변색 가능성이 없다. 4. 청소가 용이하다.	1. 전면과 측면은 커텐식으로 설치되어 사람이나 지게차가 자유로이 출입이 가능하다. 2. 투명커텐으로 기계작동을 육안으로 확인할 수 있다. 3. 설치비용이 절감된다.
단 점	1. 석재 투입시 출입문을 이용해야하므로 운반과정 이 번거롭다. 2. 기계전면과 측면 상부를 밀폐하는 방식은 시공상 어려움이 따른다.	1. 커텐식이므로 틈새가 많아 방음효과가 떨어진다. 2. 분진등이 부착되면 청소가 어렵다. 3. 변색 가능성이 있다.
선 정 안	제 1 안	

로 아크릴판을 이용하였고 상부 외장재는 아크릴판과 PVC판 모두 차음성능은 중간정도이고 강도가 우수하지만 가격이 저렴한 PVC 판을 사용하였다 (Table 2). 또한 발생소음이 105 dB 정도로서, 2 kHz 이상의 소음성분이 크고 틈새나 공장내 반사소음의 영향이 있음을 감안하여 허용기준치를 만족하기 위해서는 2 kHz에서 30 dB 이상의 차음성능이 있도록 아크릴판재와 PVC 판재의 두께를 8mm로 정하였다.

Fig. 2는 A부분에 설치한 밀폐형 방음실의 상세도를 보여준다. 하부의 그림은 Fig. 1에 표시된 화살표 방향에서 보았을 경우의 정면도이며 상부의 그림은 위에서 바라본 평면도이다. 측면과 후면은 실험실의 콘크리트벽을 그대로 사용하였다. 정면에는 2개의 대형 아크릴 여단이 출입문과 1개의 소형 출입문이 있으며 하단부에는 아크릴로 된 투시창이 있다. 정면의 상단부는 PVC판으로 되어있으며 그 안쪽면에는 2 mm 차음시트와 주파수 2 kHz에서 흡음률이 0.95인 SO-NO 50 mm 흡음재를 부착하였다 (Fig. 3). Fig. 2에서 짙은 색으로 표시된 부분은 SO-NO 50 흡음재가 부착되어 있는 부분을 나타낸다. 방음실의 천장에는 석재나 기계운반용 기중기의

출입을 용이하게 하기 위한 2개의 아크릴 여단이 문을 설치하였으며 나머지 부분은 정면과 마찬가지로 PVC판에 차음시트와 흡음재를 부착하였다. Fig. 4는 B부분에 설치한 밀폐형 방음장치의 평면도를 보여준다. A 부분과 같이 기중기용 여단이 문이 설치되어 있고 다른 부분은 PVC 판재와 흡음재로 되어 있다. A부분과 다른 점은 측면이 아크릴과 PVC 판재로 구성되고 후면은 철판으로 구성되어 있는 점이다. 내벽재료의 음향특성과 면적은 Table 3, 4와 같으며 방음실은 절단기로 부터 2 m 정도 떨어진 위치에 설치하였다.

## 2.2 감음효과 예측

음원의 파워레벨을  $PWL_0$ , 방음실의 실정수를 R 이라 하면 방음실 내부에서의 음압레벨  $SPL_0$ 는 다음과 같다<sup>(5)</sup>.

$$SPL_0 = PWL_0 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (1)$$

방음실 설치후 방음실 벽에 인접한 내부 및 외부의 음압레벨을 각각  $SPL_0$ ,  $SPL_2$ 라 하고 차음도를 NR 이라 하면  $SPL_2$ 는 다음과 같다.

Table 2 Performance of enclosure materials

구 분		제 1 안 (아크릴판)	제 2 안 (PVC 판)	제 3 안 (유리)
Door 및 투시창	작업편이	중간	작다	크다
	파손위험성	중간	작다	크다
	강 도	크다	크다	중간
	설치비용	크다	작다	중간
	투명성	크다	작다	크다
	방음효과	중간	중간	크다
구 분		제 1 안 PVC 판	제 2 안 아크릴판	제 3 안 아연도 강판
상부 외장재	작업편이	작다	중간	크다
	파손위험성	작다	중간	작다
	강 도	크다	크다	크다
	내구성	크다	크다	작다
	투명성	작다	크다	작다
투시창	방음효과	중간	중간	작다
선정안	Door 및 투시창 부분 : 제 1 안으로 선정한 이유는 전체조건이 투명하고 재질강도에 문제가 없는 것으로 선정 상부외장재 부분 : 제 1 안으로 선정한 이유는 내구성 및 재질 강도에 문제가 없는 것으로 선정			

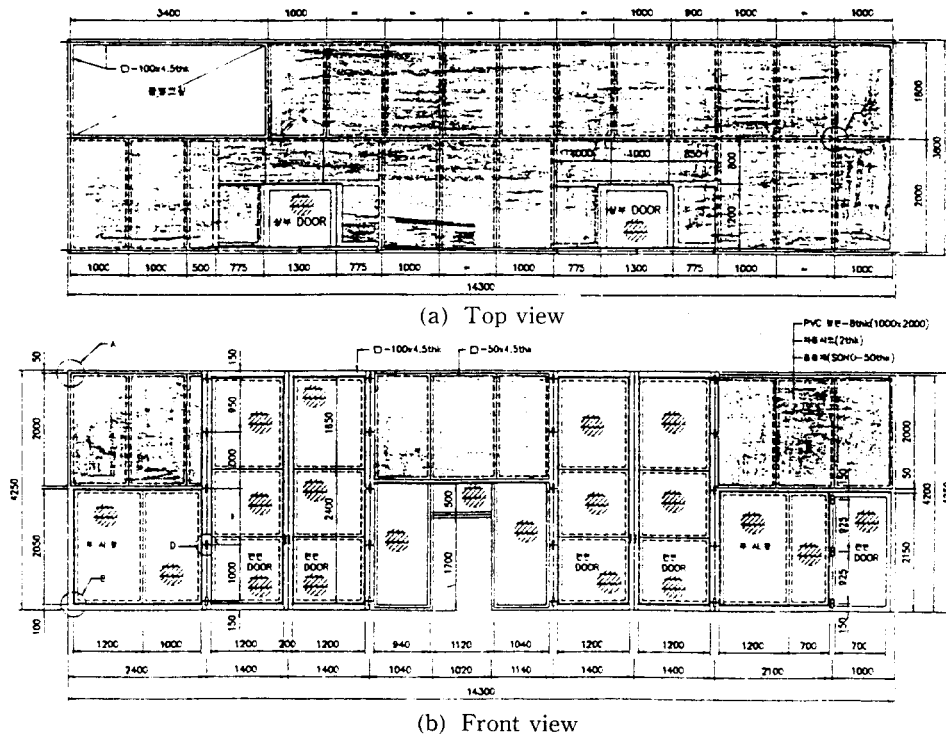


Fig. 2 Detail drawing of enclosure A

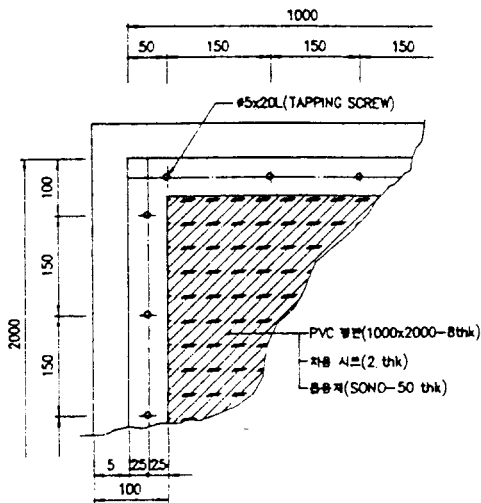


Fig. 3 Detail drawing of PVC panel with absorption materials

$$SPL_2 = SPL_0 - NR[dB] \quad (2)$$

음파가 벽체에 따라 입사하면 일부는 벽체를 투과하고 일부는 벽체에 흡수되며 일부는 반사될 때, 한 가지 재료로 구성된 벽체의 경우 입사에너지에 대한 흡수에너지와 투과에너지 합인 흡음율은 다

음과 같다.

$$\alpha_i = \frac{E_t + E_a}{E_i} \quad (3)$$

여기서  $E_i, E_t, E_a$ 는 각각 음의 입사에너지, 투과에너지, 흡수에너지를 나타낸다. 여러 재료로 이루어진 실내에서 각 재료의 면적을  $S_i$ 라 하면 평균흡음율은 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} \quad (4)$$

따라서 A부분의 절단기계 2대가 동시에 가동하는 경우, 측정에서 얻어진 각 절단기의 음압레벨로부터 합성 음향출력 레벨 및 방음실이 없을 때의 직접음에 의한 합성 음압 레벨을 계산할 수 있다. 또한 식 (1)을 이용하면 방음실을 설치하였을 때의 방음실 내부 음압레벨을 예측할 수 있으므로 직접음에 의한 음압레벨과의 차이와 비교하면 방음실 설치에 따른 음압레벨 상승치를 구할 수 있다. 또한 방음실의 투과손실을 고려하면 방음실 외벽 부근에서의 음압레벨을 계산할 수 있다. 같은 방법으로 B부분에 대해서도 음압레벨을 예측하여 A부분에서의 음압레벨과

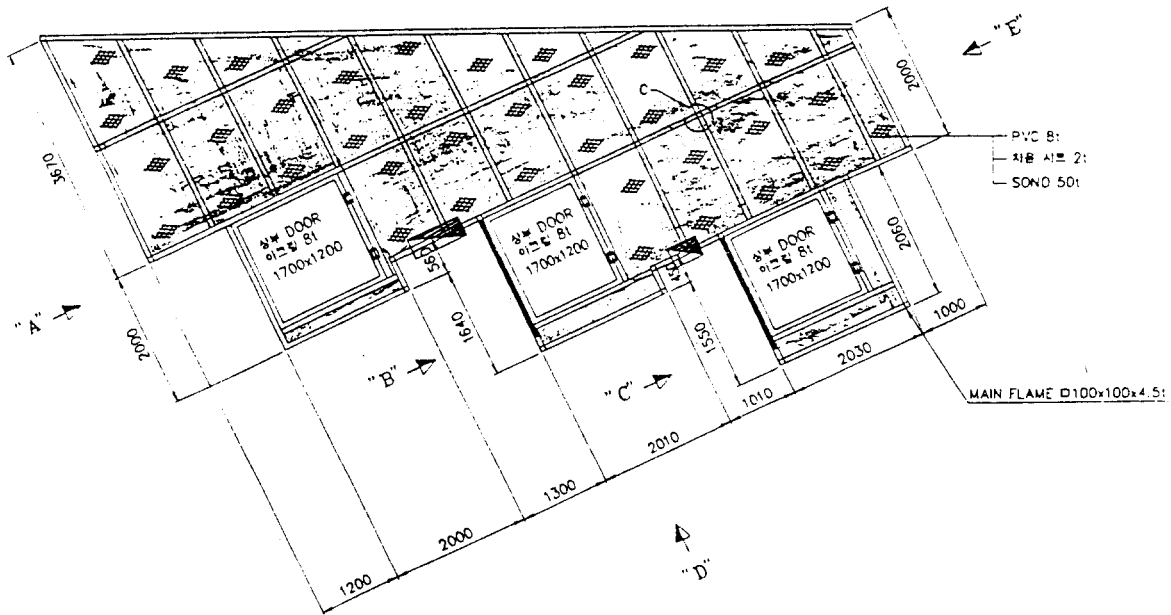


Fig. 4 Detail drawing of enclosure B : Top view

Table 3 Average absorption coefficients for enclosure A

Location	Materials	Area	1/1 Octave band center frequency [Hz]							
			63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
FB, D	Acryl	34.5	0.2	0.22	0.09	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04
FT, C	SO-NO 50	63.	0.1	0.1	0.25	0.6	0.9	0.95	0.95	0.9
F, B&S W	Concrete	147.5	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
Average absorption coef. $\alpha$			0.06	0.17	0.09	0.17	0.25	0.27	0.27	0.27

FB ; Front bottom D ; Door FT ; Front top C ; Ceiling F ; Floor B&S W ; Back & side wall

Table 4 Average Absorption Coefficients for Enclosure B

Location	Materials	Area	1/1 Octave band center frequency [Hz]							
			63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
F&S B, D	Acryl	56.0	0.2	0.22	0.09	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04
F&S T, C	SO-NO 50	65.7	0.1	0.1	0.25	0.6	0.9	0.95	0.95	0.9
F	Concrete	66.0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
B	Steel	33.8	0.04	0.06	0.06	0.05	0.04	0.02	0.01	0.01
Average absorption coef.			0.09	0.10	0.11	0.21	0.29	0.31	0.31	0.29

F&S B ; Front & side bottom D ; Door C ; Ceiling F&S T ; Front & side top F ; Floor B ; Steel

더하여 합성 음압레벨을 근사적으로 예측할 수 있다. 작업장 내부의 반사음에 의한 효과로 인해 음압이 증가하는 것도 고려하였다. 자세한 계산 과정은 부록에 수록하였다.

### 3. 실험 방법

소음방지대책 실시전후의 환경소음을 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

3.1 측정지점

Fig. 1과 같이 크기가 30 m×15 m되는 작업실 내부에 모두 8대의 석재절단기가 있으며 절단기 내부에 지름이 다른 회전톱이 내장되어 있다. 회전톱의 지름이 각각 86"와 72"인 절단기는 A부분에, 54", 50" 그리고 44" 절단기는 B부분에 위치해 있다. 자주 사용하지 않는 기계는 고려 대상에서 제외하였다. 모든 측정지점은 소음 발생부위에서 2m 떨어진 곳으로서 작업자들이 주로 위치하는 장소이며 일련 번호로써 표시하였다.

3.2 측정방법

석재절단기에 의한 소음을 측정하기 위하여 B & K 2230 소음계와 B & K 2317 기록계를 사용하였다<sup>(6)</sup>. 상대적으로 큰 소음을 발생하는 기계를 파악하기 위하여 먼저 절단기 1대씩 가동하여 개별적인 소음을 측정하였으며 후에 5대 모두 가동시켜서 작업장 중앙에서 데이터를 수집하였다. 또한 주파수 분석기를 이용하여 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz 등의 주파수 대역에서 각각의 소음을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

소음의 허용기준치로 미국의 노동안전위생법(OSHA)에서는 하루에 8시간 정도 소음에 노출되는 경우 90 dB(A)로 정하고 있다. 일본 산업위생학회<sup>(7)</sup>에서는 Fig. 5에 나타난 값을 기준으로 하고 있으며 이 기준이하로 되면 하루 8시간 이내의 폭로가 주 5일 이상에서 10년 이상 계속되는 경우에도 영구적 청력손실은 1 kHz에서 10 dB이하, 2 kHz에서 15 dB이하, 3 kHz에서 20 dB이하로 유지된다. 이는 하루

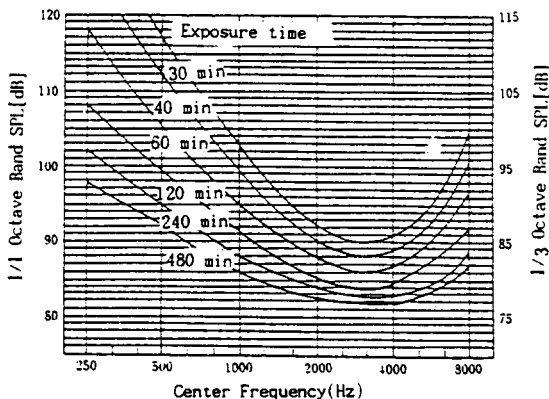


Fig. 5 Permissible noise level

8시간 소음에 노출된 경우 90 dB(A)에 상당한 것으로 나타나 있다. 따라서 본 연구에서도 허용기준치로서 90 dB(A)를 사용하였다.

석재의 가공은 보통 활석-절단-연마-세공등의 공정을 거치며 소음은 주로 절단공정에서 발생하고 있다. 방음대책을 실시하기 전에 절단공정에서 발생하는 소음의 측정결과는 Fig. 6과 같으며 5개의 선은 절단기 한대만 사용할때 발생한 소음을 음압레벨로 나타낸 것이며 전체 소음은 5대의 기계를 동시에 사용할 때 작업장 중앙에서 측정한 음압레벨이다. 이 중 72" 회전톱에 의한 소음과 전체 기계에 의한 소음의 측정그래프를 Fig. 7과 8에 각각 나타내었다.

측정결과로부터 절삭공정 시의 소음은 Overall 값으로 표시할 때 96~104 dB 정도로서 허용기준치를 상회하고 있다. 특히 72" 회전톱과 50" 회전톱을 이용한 절삭과정에서 104 dB의 측정치를 나타내어 상대적으로 큰 소음이 발생함을 알 수 있으며 모든 기계를 동시에 가동시켜서 작업을 하는 경우 측정치는 101 dB을 나타낸다. 이것은 소음레벨로 환산하면 103 dB(A)이다. 기계 한대씩을 이용해서 절삭을 할 때 보다 소음이 낮은 이유는 작업장 중앙에서의 측정에 따른 소음의 거리감쇠 효과 때문이다.

주파수 분석 결과로 부터 절단기 한 대씩 작동시켰을 경우 86", 72", 44" 회전톱에 의한 소음은 8 kHz에서, 50"는 4 kHz에서, 그리고 54"는 2 kHz에서 최대값을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 기계를 동시에 작동시키는 경우에는 2 kHz에서 최대값을 나타내는 것으로 보아 절단기의 회전톱과 석재의 마찰에서 기인되는 고주파 성분이 절삭공정에서의 소음을 지배하고 있는 것으로 판단되며 직업성 난청을 유발할 위험이 아주 높다.

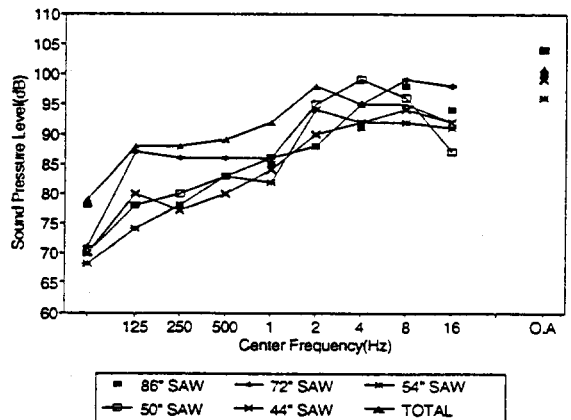


Fig. 6 Measured SPL of cutting machines

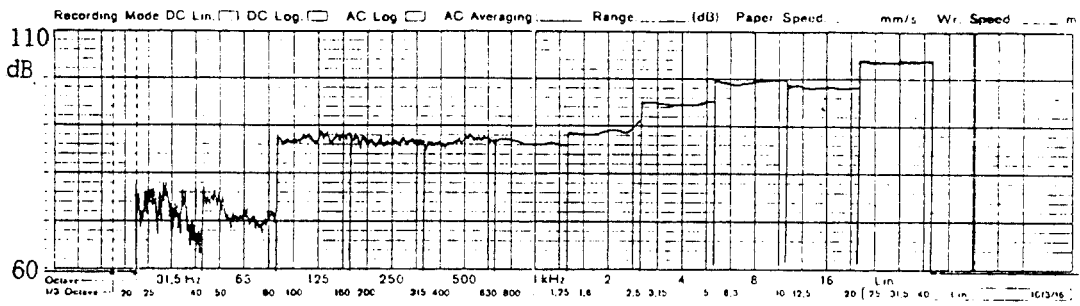


Fig. 7 Measured SPL of 72" cutting machine

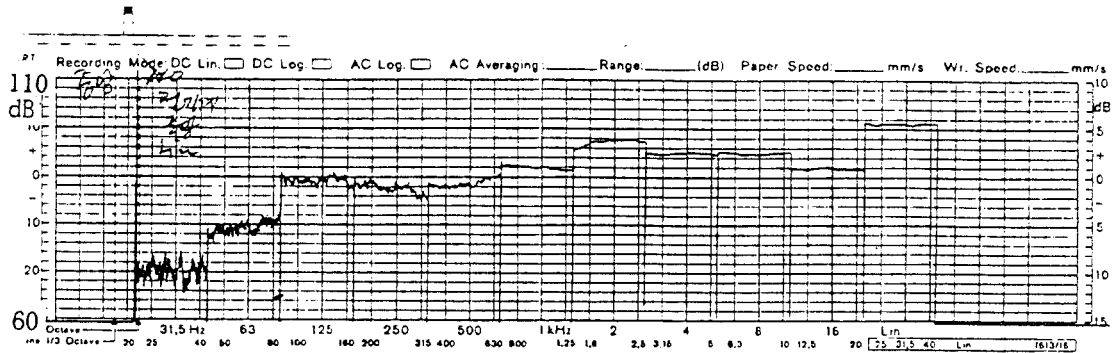


Fig. 8 Measured SPL of all cutting machines w/o enclosure

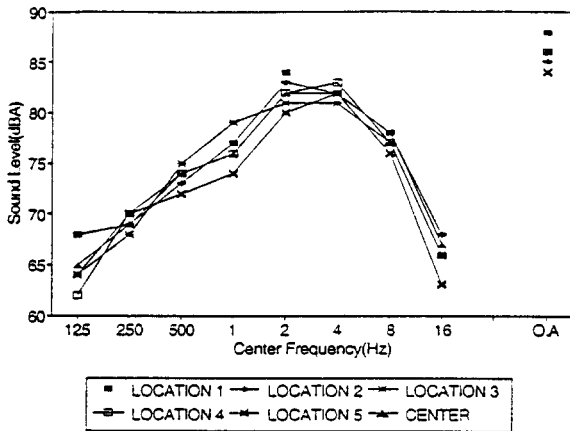


Fig. 9 Measured SPL of all cutting machines with enclosure

Table 5는 A부분에서 86"와 72"절단기를 사용할 때 방음실 A에 의한 감음효과를 위의 측정데이터를 기초로 하여 예측한 결과이다. 두 절단기에 의한 소음은 overall 값으로 105 dB이며 8 mm 아크릴 투명 판의 투과손실을 고려하면, 방음장치 A 외벽 부근에서의 음압레벨은 79dB가 된다. 이 값은 A 특성보정 한 음압레벨로 69(A) 이다. 방음실 내부의 반사음에 의한 음압상승치 6dB를 고려하면 약 75 dB(A)로 예측할 수 있다. 같은 방법을 이용하면 B부분에 설치되어 있는 3대의 절단기를 작동시킬 경우 Table 6을 얻는다. A 특성 보정후의 음압레벨은 70(A)이며 방음실 B 내부에서의 반사음의 효과는 5dB 이므로 약 75 dB(A) 의 소음레벨을 얻는다. 따라서 5

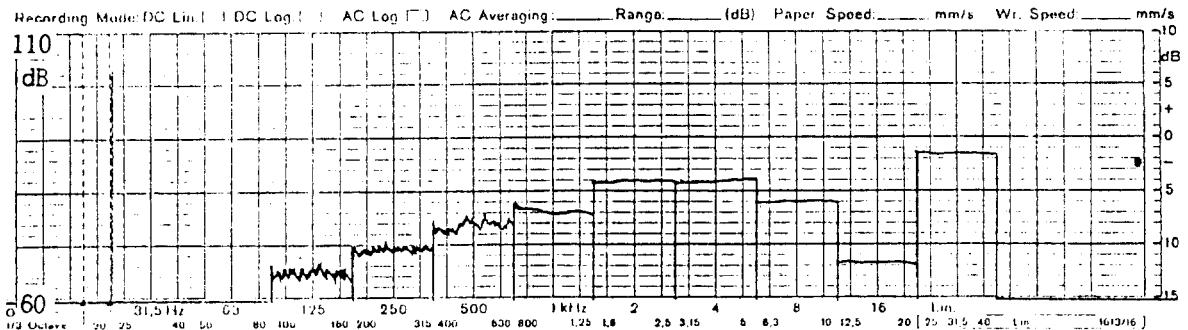


Fig. 10 Measured SL of all cutting machines with enclosure

**Table 5** Sound pressure level with enclosure A

Contents	1/1 Octave band center frequency [Hz]									
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	o.A
SPL <i>w/o</i> enclosure ①	79	87.5	87	87	88	91	96.5	101.5	99.5	105
TL of enclosure ②	6	11	16	22	27	33	38	44	49	26
SPL with enclosure ①-②	73	76.5	71	65	61	58	58.5	58.5	50.5	79
A weighted SPL with enclos.	47	60.5	62	62	61	59	59.5	56.5	49.5	69

**Table 6** Sound pressure level with enclosure B

Contents	1/1 Octave band center frequency [Hz]									
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	o.A
SPL <i>w/o</i> enclosure ①	74	83	83	87	89	98	100	99	95	106
TL of enclosure ②	6	11	16	22	27	33	38	44	49	26
SPL with enclosure ①-②	68	72	67	65	62	65	62	55	46	76
A weighted SPL with enclos.	42	56	58	62	62	66	63	54	45	70

대의 기계를 모두 가동할 경우 방음실 A와 B가 인접한 부분에서의 소음도는 약 78 dB(A) 정도이며 작업장 실내 반사음에 의한 소음레벨 증가치 4dB를 추가하면 근사적으로 82 dB(A)를 예측할 수 있다.

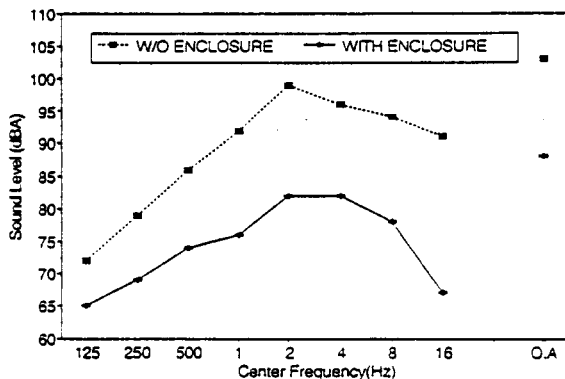
방음실 A와 B를 설치한 후에 방음실 외부에서 측정된 소음레벨을 Fig. 9에 나타내었다. 측정위치는 방음실 설치 전과 동일하나 작업조건상 5대의 절단기 모두를 작동시킨 상태에서 데이터를 수집하였다. Fig. 10은 방음실 설치후에 실험실 중앙에서 측정된 그래프이며 설치전과 비교하여 Fig. 11에 나타내었다. 대부분의 주파수 대역에서 10 dB 이상, 1 kHz에서 8 kHz 사이에서는 15 dB 이상 감소효과를 나

타내고 있으며 특히 16 kHz의 고주파성분은 25 dB 정도 감소하였다. 소음레벨의 Overall 값은 88 dB(A)로 예측치 보다는 높으며 그 원인은 방음실 제작시 투명아크릴 문에 틈새가 존재하여 완전히 밀폐시키기 어려우므로 소음이 유출되기 때문이라고 생각된다. 틈새를 약 3 mm 정도라고 가정하면 부록에 나타난 바와 같이 약 5 dB 정도의 소음증가가 예상된다. 아울러 실험실 바닥과 측벽이 콘크리이트로, 실험실 천정은 슬레이트로 되어 실내에서의 반사음 효과가 있어 소음레벨의 증가의 한 요인이 되고 있다. 그러나 방음실 설치전보다 약 15 dB 낮아져서 허용 기준 90 dB(A)를 만족시킴을 알 수 있다.

### 5. 결론

석재 절단공정에서 발생하는 절단기와 석재의 마찰음은 작업자들에게 난청 등의 직업병을 유발시키므로 이러한 소음을 저감시키기 위해서 석재절단기의 음향특성을 분석하고 밀폐형 방음실을 설계하여 소음의 전파경로에 설치함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 대부분의 석재절단기는 절단작업시 96 dB에서 104 dB 정도의 소음을 발생시키며 주파수 성분은 2 kHz에서 8 kHz 사이의 고주파로서 직업성 난청을 유발할 위험이 아주 높다.



**Fig. 11** Measured SL of all cutting machines at ⑥ with/without enclosure



(2) 방음장치 설치후에 측정된 소음레벨은 88 dB (A)로서 예측치보다 높은 원인은 방음실 문틈으로 새어나오는 소음이나 실험실 바닥과 천정에서의 반사음 효과 때문인 것으로 생각된다.

(3) 투명아크릴과 PVC판재를 이용한 밀폐형방음실을 설계하여 설치함으로써 설치전보다 소음을 15 dB정도 감소시켜 허용기준 90 dB(A)를 만족시켰다. 따라서 이러한 형태의 방음실은 추후 타 석재가공공장에 적용시킬 수 있는 표준모델로서의 가능성을 제시하였다.

## 후 기

이 연구가 가능하도록 협조해주신 한국산업안전공단, 유니슨기술연구소 및 원진 엔지니어링에 감사드립니다.

## 부 록

### 1. 방음실 설치에 따른 음압레벨 상승치 계산

#### (1) 음원의 음향출력 레벨 계산

방음실 A 설치전 86"와 72" 절단기에서 2 m 떨어진 위치에서 측정된 직접음에 의한 음압레벨이 각각 100 dB, 104 dB 이므로 음향출력 레벨은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}PWL_{86} &= SPL_{86} + 20\log r_{86} + 11 \\ &= 100 + 20\log 2 + 11 \\ &= 117\text{dB}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}PWL_{72} &= SPL_{72} + 20\log r_{72} + 11 \\ &= 104 + 20\log 2 + 11 \\ &= 121\text{dB}\end{aligned}$$

따라서 합성 음압레벨과 합성 음향출력 레벨은 각각 105 dB 와 122.5 dB이다.

#### (2) 방음실 평균 흡음률

2 kHz에서의 소음이 제일 크므로 2 kHz에서의 흡음율을 기준하면 평균흡음율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} \\ &= \frac{(0.05)(34.5) + (0.95)(63) + (0.03)(147.5)}{245} \\ &= 0.27\end{aligned}$$

#### (3) 방음실 실정수

$$\begin{aligned}R &= \frac{\alpha S}{1 - \alpha} \\ &= \frac{0.27(245)}{(1 - 0.27)} = 90.5\end{aligned}$$

(4) 방음실 설치후 방음실 내부에서의 음압레벨은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}SPL_0 &= PWL_0 + 10\log\left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \\ &= 122.5 + 10\log\left(\frac{1}{(4\pi)(4)} + \frac{4}{90.5}\right) \\ &= 111(\text{dB})\end{aligned}$$

따라서 (1)의 합성 음압레벨 105 dB와 비교하면 방음실 설치후 방음실 내부 동일한 위치에서의 음압레벨은 6 dB정도 상승함을 알 수 있다. 이는 방음실 내부에서의 반사음에 의한 영향 때문이다. 마찬가지로 계산하면 방음실 B에서의 상승치는 5 dB 정도임을 알 수 있다.

### 2. 작업장 실내 반사음에 의한 소음레벨 증가량

A를 흡음력, S를 방음실에 의한 소음 방사 면적이라 하면 작업장 실내 반사음에 의한 소음레벨 증가량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}\Delta SPL &= -10\log\left(\frac{A}{S}\right) \\ &= -10\log\left[\frac{(\text{작업실면적})(\text{평균흡음력})}{(\text{방음실소음방사면적})}\right] \\ &= -10\log\left[\frac{(1414)(0.06)}{231}\right] = 4\text{dB}\end{aligned}$$

### 3. 방음실 문 틈새에 의한 음압레벨 증가 예측

8 t 두께의 아크릴에 의한 투과손실이 26 dB 이므로 투과손실 TL과 투과율  $\tau$ 에 관한 다음식으로 부터 틈새에 의한 음압레벨 증가치를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{1}{10^{TL/10}} \\ &= \frac{1}{10^{26/10}} = 0.0025\end{aligned}$$

가 된다. 방음실 문 전체면적은

$$S_1 = (2.8)(4.25) = 11.9\text{m}^2$$

이고 문의 크기 및 개폐 방법으로 보아 틈새는 3 mm 가량 생길 것으로 예상되므로 틈새면적은

$$\begin{aligned}S_2 &= (2.8)(2)(0.003) + (4.25)(3)(0.003) \\ &= 0.055\text{m}^2\end{aligned}$$

가 된다. 틈새 투과율은 1 이므로 다음의 총합투과손실 공식으로부터 문틈의 영향을 고려한 총합투과손실을 계산하면

$$TL = 10\log\left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i \tau_i}\right)$$

$$=10\log\left[\frac{11.9+0.055}{(11.9)(0.0025)+(0.055)(1)}\right]=21\text{ dB}$$

이다. 이는 아크릴로 완전히 밀폐된 경우의 투과손실 26 dB 보다 5 dB 낮은 값이며 따라서 문틈의 영향으로 인한 음압레벨 증가는 5 dB 정도로 예상된다.

#### 참고 문헌

- (1) 김희강 외, 1992, 최신 소음진동학, 동화기술, 서울.
- (2) 차봉석, 권숙표, 1977, "기계소음과 회전속도", 예방의학회지, 제10권, 제1호, pp.109~116.
- (3) Kurze, V.J., 1974, "Noise Reduction by Barriers", J of Acoust. Soc. Am. 55.3.
- (4) Davern W.A. and Lhuede E.P., 1978, "Enclosures and Screens for Saw Operators", Applied Ergonomics, 9, 1, pp. 2~6.
- (5) Irwin, J. D., and Graf, E. R., 1978, Industrial Noise and Vibration Control, Prentice-Hall.
- (6) Bruel & Kjaer, 1986, NOISE CONTROL, Bruel & Kjaer, Denmark.
- (7) 山本剛夫 외, 1980, 衛生工學 핸드북 騒音·振動編, 朝倉書店.