

공장소음방지대책

②

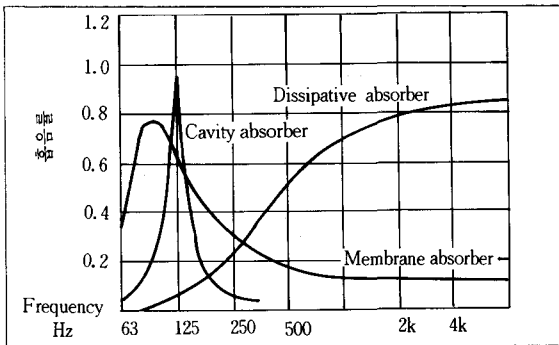
李得雄

〈(株)DB엔지니어링 대표이사·환경(소음·진동)기술사〉

흡수된 음향에너지는 다음식으로 사용되며 재료 및 주파수 마다 다른 특성을 갖지만 일반적인 재료형태별 흡음률은 다음 그림과 같다.

$$\alpha = \frac{\text{흡수에너지}}{\text{입사에너지}} = \frac{E_i - E_r}{E_i}$$

〈그림. 5〉 재료별 주파수별 흡음률 곡선



예를 들어 흡음력이 미치는 공장의 소음을 고려하면

공장크기 : $30^L \times 30^W \times 5^H$ (M)

공장내부의 기계 소음치 : 100dB

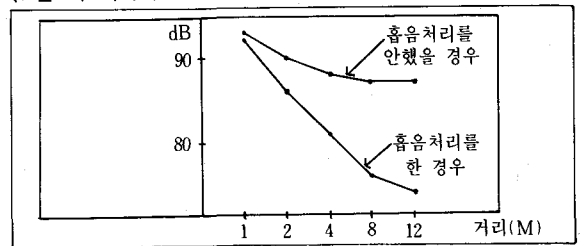
공장내부의 흡음률 : 바닥, 천정, 벽이 콘크리트로 $\alpha = 0.03$

벽, 천정을 흡음판넬로 흡음력 보강시 ($\alpha = 0.5$)

종류	기계에서의 거리				
	1M	2M	4M	8M	12M
직접음	92	86	80	74	70
반사음 ($\alpha=0.03$)	87	87	87	87	87
반사음 ($\alpha=0.5$)	72	72	72	72	72

상기 처리가 어느 정도 직접음 잔향음이 영향을 미치는 가를 보기 위하여 그림으로 나타내면

〈그림. 6〉 거리에 따른 흡음재 변경시 소음도 변화



흡음력을 보강했을시 소음원 근처에서는 직접음의 영향이 크므로 큰 효과가 나타나지 않지만 소음원에서 멀리 떨어질 수록 효과의 변화가 나타난다.

그러나 실제로 공장의 다수는 기계 배치가 점음원으로 볼 수 없으므로 위의 그래프와는 다른 양상을 나타내며 전반적으로 볼 때 흡음처리에 의한 감쇠 효과는 다음식으로 예측할 수 있다.

$$NR = 10 \log \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \text{ dB}$$

여기서 NR : 소음감쇠

A_1 : 흡음처리전 실내흡음력

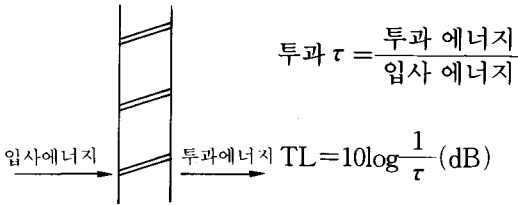
A_2 : 흡음처리후 실내흡음력

일반적인 흡음재의 특성은 다음과 같다.

- 유리섬유, 암면 등 섬유성 재료는 중 저주파에서 좋은 흡음 특성을 가진다.
- 부식, 훼손, 날리는 것을 방지하기 위해서 P. E. FILM, 천 등으로 보강한다.
- 훼손이 많은 경우 유공판 등으로 마감처리한다.
- 사용되는 위치에 따라 기계 및 공정이 갖는 특성을 갖춘 흡음재료의 선택이 중요하다.

2) 차음

기계 주위를 둘러싸는 차음벽 설치는 소음방지에 효과적이다. 차음에 의한 투과손실(TRANSMISSION LOSS)은 벽체의 재질에 의해 좌우된다.



고체벽을 매체로한 음파 전달의 효과는 입사된 에너지가 매체를 진동함으로써 발생하는 것이다. 그러므로 무거운 벽체가 투과 손실이 좋고, 에너지 손실은 고주파 성분일수록 손실이 크다.

(가) 강성효과 : 저주파 성분은 매질의 강성에 좌우된다.

강성이 2배가 될 때 투과 손실은 6dB 증가된다.

(나) 질량효과 : 중·고주파 성분은 질량에 비례한다.

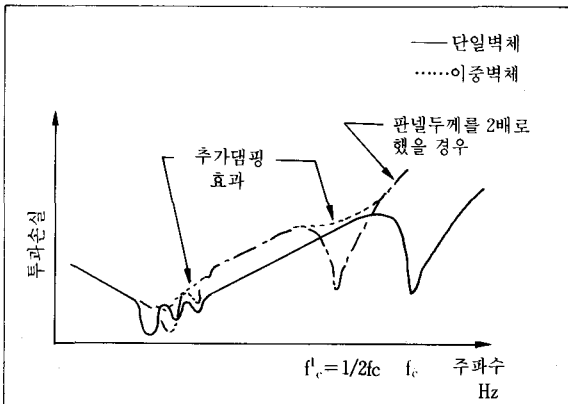
무게가 2배가 될 때 4-5dB 증가한다.

(다) 내부댐핑 : 내부에 발생하는 진동파의 진폭을 억제한다. 고주파 성분에 유효하다.

(라) 공진현상 : 벽체의 고유진동수와 일치할 때 발생하여 100Hz 이상의 경우가 있다.

투과 손실의 증가를 위해서는 단일 벽체를 두껍

<그림. 7> 벽체별 투과손실



게 하는 것보다, 중간에 공기층을 둔 2중 벽체로 설치하는 것이 훨씬 효율적이고 경제적이다.

차음에 의한 밀폐실은 위에서 언급한 투과손실 이외에 진동, 댐핑, 구조체 연결방법, 틈새처리, 환기구 등 여러가지에 영향을 받으므로 차음실 설계 및 시공에 보다 많은 주의가 필요하다.

특정 기계를 밀폐식 차음 벽으로 쌓았을 때 예측되는 소음감소(NOISE REDUCTION)는 다음과 같다.

$$NR = TL - 10 \log\left(\frac{1}{4} + \frac{SW}{R}\right)$$

여기서 SW=차음벽 면적,

R=차음실 내부 실정수

R(실정수, ROOM CONSTANT)는 다음과 같이 구한다.

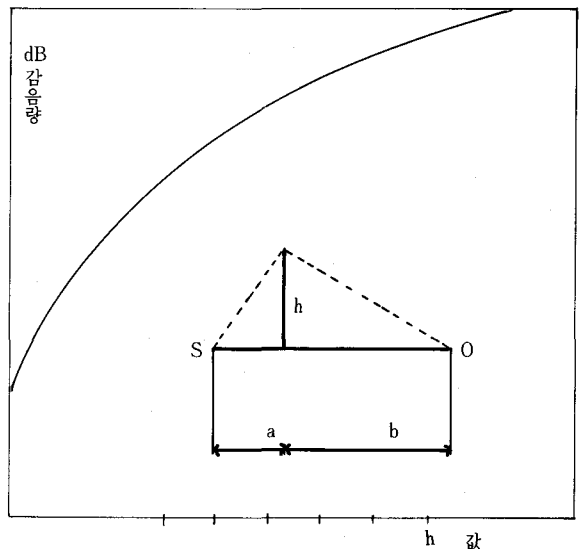
$$R = \frac{S\alpha}{1-\alpha}$$

여기서 S=실내 면적

α =실내 평균 흡음율

산업 원료의 운반과 직업의 용이를 위해서 완전 밀폐식 차음벽설치가 불가능 할 때 또는 넓은 옥외지역을 특정소음원로부터 보호하고자 할 때 효과적인 것이 방음벽이다. 방음벽은 벽체의 투과

<그림. 8> 방음벽에 의한 감음량



손실의 효과에 의하기 보다 음의 회절에 의한 경로차에 의한 소음감소효과를 보고자 설치하는 것으로써 대략 10dB의 효과가 있다.

방음벽의 감음효과는 많은 학자들에 의해 연구되었는데 다음과 같은 식을 사용할 수 있다.

$$IL \approx 10 \log\left(\frac{10h^2}{\lambda a}\right)$$

여기서 λ : 파장, IL : 감음량

단지 여기서는 $b \gg a \geq h$ 로 가정했다.

방음벽 설치시 주의점

1. 위의 이론치는 음원을 점음원으로 가정했으므로 실제 값은 보다 작게 나타 난다.
2. 벽의 투과손실은 회절 손실치보다 5 dB 이상 큰 것으로 한다.
이때, 틈새 처리에 유의한다.
3. 벽의 길이는 높이의 5배 이상이 효과적이다.
4. 벽의 내측은 흡음성을 갖게하여 반사음을 방지 한다.

2) 차음

방음효과를 높이기 위해서는 차음재를 이용하여 음파의 전파경로에서 그 에너지를 차단하는 방법이 이용된다. 즉 음향투과손실을 크게하는 것이다. 정상적인 확산 상태에 있는 입사파가 충분히 넓은 벽면에 입사하면 일부는 투과된다. 따라서 개개의 재료를 방음설계에서 설명한 바와 같이 조합시켜 음향투과손실이 어떻게 변화하는 가를 이론적, 실험적으로 조합해서 설계, 시공하고 있으므로 차음이론과 기초적인 음의 특성을 이해하면 음향 투과손실 자료를 응용하여 주파수 특성을 이용한 재료의 조합, 치수를 결정하여 적당한 차음설계가 가능하다.

(가) 투과손실

차음에 의한 투과손실(Transmission Loss)은 벽체의 재질에 의해 좌우된다. 입사음 강도를 I_i , 투과음의 강도를 I_t 라 하면,

$$\text{투과률 } \tau = \frac{I_t}{I_i}$$

$$\text{투과손실 } TL = 10 \log I_i / I_t \text{ dB}$$

고체벽을 매체로한 음파가 음파의 전달방향으로 음속 330 m/sec 속도로 운동하면서 연속적인

소밀파에 의해 물질의 진동을 일으킴으로서 굽힘진동이 발생된다.

(나) 단일벽의 투과손실

벽에 음파가 입사하면 벽 양면의 압력차에 의해 피스톤 진동을 한다.

면밀도(m)kg/m², 주파수(f)Hz 라 하면
수직입사의 경우

$$TL = 20 \log(mf) - 43$$

일반적으로 단위면적당 질량이 2배가 되면 차음량은 5dB 정도 차음량 증가를 볼 수 있다.

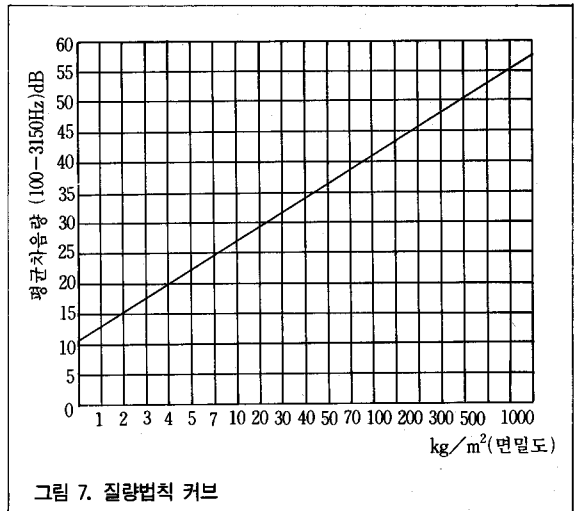


그림 7. 질량법칙 커브

질량법칙을 이해하기 위한 쉬운 방법은 간단한 단일 블록벽의 차음을 보면 115mm 블록에서는 45dB, 두께가 2배인 230mm블록에서는 5dB 증가하므로 50dB의 차음량으로 계산 할 수 있다.

벽체의 평균차음량은 500Hz에서의 차음량과 거의 같기 때문에 차음량만 알면 주파수가 2배 증가할때 5dB 차음량 증가 방법으로 다른 주파수대의 차음량은 계산할 수 있다.

예를 들면 115mm 단일 블록벽의 차음량은 45dB이므로 1000Hz에서는 45+5dB=50dB, 250Hz에서는 45-5dB=40dB로 계산할 수 있으며 다른 주파수는 같은 방법으로 구할 수 있다.

차음량의 개선은 복잡한 불연속성을 갖는 방법으로 구할 수 있다

차음량의 개선은 복잡한 불연속성을 갖는 벽구조로부터 구해질 수 있지만 고성능의 음향성능을 갖는 초경량 벽체는 존재하지 않는다는 것을 알아야 한다. 차음계산에서는 우선적으로 고려할 사항은 벽체의 중량이다. 빌딩구조물에서 차음재료로 사용시에는 벽체의 중량을 간과해서는 안되며 그 중량을 지지하기 위한 제반 규정이 초기 계획단계에서 고려되어야 한다.

난입사의 경우 $TL=18 \log(mf)-44$ 이다.

(다) 일치효과(COINCIDENCE EFFECT)

질량법칙(MASS LAW)은 벽면의 피스톤 운동을 한다고 생각하지만 실제에는 굴곡운동을 한다.

음파의 소밀파가 벽면에 발생하고 벽의 굴곡운동의 파장이 일치하면 벽면의 굴곡진동파는 공진이 되어 차음성능이 현저하게 저하하는 현상을 일치효과라고 하며, 일치 주파수 f 는 다음과 같이 결정된다.

$$f = \frac{C^2}{2\pi h \sin^2 \theta} \cdot \sqrt{12r(1-\sigma^2)/E}$$

- 여기서 C:음속
 σ : 포아손비
 E : 영률
 γ :밀도
 h : 판두께
 θ : 입사각

(라) 차음효과 4요소

차음구조에 영향을 미치는 요소는 질량, 균일성, 강성, 불연속성 또는 분리 4가지 요소가 중요한 영향을 미친다.

A. 중량

음향적인 질량법칙은 음향감소요소와 관련하여 차음재의 질량과 상관관계를 가지며 단위면적당 질량 즉 면밀도와 평균차음량은 다음 그림7과 같다.

B. 균일성

차음의 효과는 질량에 비례할 뿐 아니라 구조의 균일성과 완전성에 좌우된다. 만일 벽체에 구멍이 있다면 음향에너지는 구멍을 통하여 전달되어 벽체의 음향성능의 현저한 저하를 가져다 줄 것이다. 예를 들면 40dB차음판넬이 음향에너지의 0.

01%가 간극을 통해 전달되고 간극이 10m×10m 판넬의 가장자리를 1mm라 하면 벽체를 따라 3dB의 차음량 감소를 가져올 것이다. 많은 차음효과가 요구되는 곳에서는 밀폐에 관련된 성능의 감소가 더 현저하게 발생할 수 있다.

C. 강성

다음 그림은 이상적인 형태로 특정한 벽체에 대해 주파수별 특성을 나타내며 특성은 강성 및 공진영역, 질량영역, 파형일치영역으로 나누어진다.

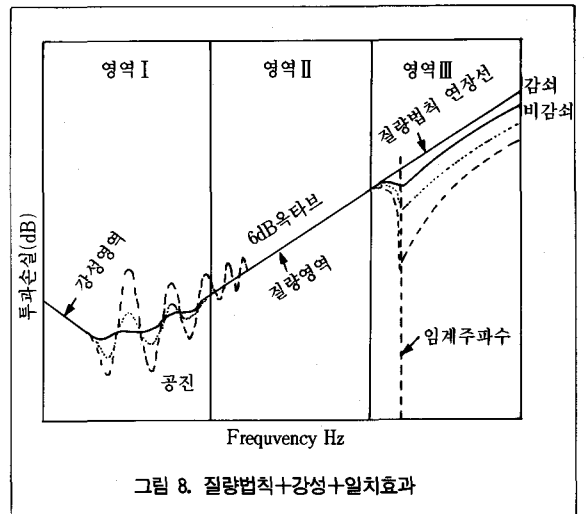


그림 8. 질량법칙+강성+일치효과

벽체의 강성은 그림 I, II 영역의 성능 특성을 갖고 있으며, I 영역 저주파에서는 막이 진동하는 것처럼 굽힘운동을 나타내는 경향이 있다. 분명하게 막진동크기에 따라 큰 저항이 발생되면 저주파에 큰 효과를 발생한다. 복잡한 경량구조의 벽체는 단단한 플라스틱 형태의 구조 또는 호니콤 구조는 강성 때문에 저주파에서 좋은 성능을 나타낸다. 그러나 중파에서는 성능 감소를 가져다 주는 자연 공진 때문에 성능이 낮아진다.

영역 III에서는 벽체의 성능을 감소시키는 요인은 일치효과에 의한 손실이다. 그림 8(일치효과)에서 평면파가 사선 각도로 큰 파장을 갖는 벽체에 일반적으로 벽에 입사되는 음장은 확산된다고 간주되며 모든 가능한 방향에서 벽에 접근하는 다경평면파로 구성되어 있다는 것을 볼 수 있다. 음

장의 특정 입사각으로 부딪치며 주어진 주파수 범위내에서 일치효과에 의한 감쇠를 가져온다. 강성과 일치효과에 의한 감쇠효과는 벽체에 댄핑을 증가시킴으로 감소시킬 수 있다. 많은 차음량이 요구되는 설계에서는 벽체는 무겁게, 저장성, 고댄핑 구조가 좋으며, 이러한 특성 중에 가장 좋은 재료 중에서는 납판이 그 좋은 예이다.

D. 고체전달음

소음의 감쇠는 한 공간에서 다른 공간으로 벽체를 통하여 직접 음향에너지가 전달되지만 수음점까지 도달되는 음은 많은 우회경로로 전달되는 데 이를 간접음 전달 또는 고체 전달음이라고 한다.

예를들자면 차음벽을 통한 공기 간극, 조립식 칸막이 간격, 문, 창문, 잘 채워지지 않는 조립 틈, 천정, 통기 닥트, 기타 개구부 등을 들 수 있다.

칸막이를 통하여 직접적으로 음이 전달되지만

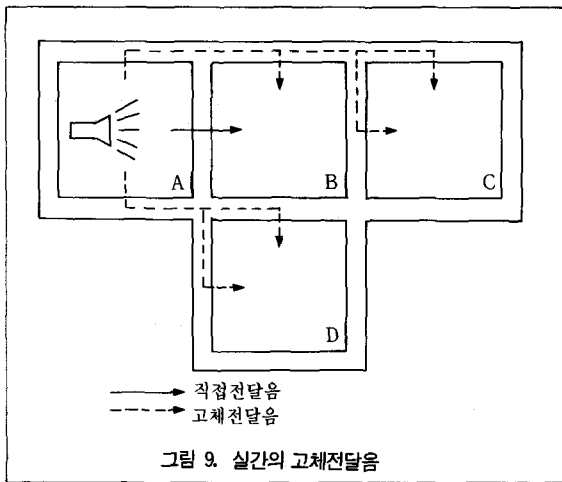


그림 9에서 보는 바와 같이 음원실 A에서 발생한 음장은 실내부 표면에 진동이 발생되고 구조체를 통하여 B실로 전달될 뿐만 아니라 A실과 공유하고 있지 않는 벽면을 통하여 C, D 실로도 전달된다. 실제로 구조를 타고 전달되는 에너지는 A와 B 실은 50-55dB 차음을 나타내지만 실제 차음량은 이 값보다 높은 차음량을 갖는다. 고체를 타고 오는 고체소음을 차단하기 위해 면을 진동 절연시킴으로 약 10-15dB 차음량 증가를 가져올 수

있다.

(마) 벽체간의 공간 이용

칸막이 차음은 질량을 갖는 벽체간에 공간을 가짐으로 향상시킬 수 있으며 그림 10에서 보는 바와 같이 두벽이 충분히 떨어져 있으면 $45+45=90\text{dB}$, 단면 벽구조로는 $45+5=50\text{dB}$, 일부 공간을 두었을 때 고체전달음을 고려하면 실제로는 53dB의 차음량을 갖는다. (다음호에 계속)

상당 및 문의전화 586-1161

