

1. Sound Absorption

실내 디자인에 있어서 주요한 점은 흡음의 서로 다른 효과들에 관한 것이다. 기본적으로 음향 에너지는 다른 형태로 전이될 때 '흡수'된다. 대부분의 경우 열이나 더 작은 범위로 동력에너지의 형태로 전환한다. 공기의 미립자와 다른 물질간의 마찰이나 다양한 물질들이 이동하거나 변형되는 것에 대한 저항으로서 에너지는 열의 형태로 전환한다. 발생하는 열의 양은 Watt로 생각해본다면 음향 에너지의 양이 매우 작은 것과 마찬가지로 극소량이다.

NOTE : 'absorption'이라는 용어의 사용은 음향 에너지가 경계에 충돌할 때 실질적으로는 열의 형태로 전환되는 것을 의미한다. 그러나 흡음률(absorption coefficient)¹⁾(a)은 그 경계에서 반사되지 않은 나머지 음향 에너지 모두를 의미한다. 이는 흡음률이 흡수된 요소들과 전도된 요소들까지도 포함하고 있음을 뜻한다.

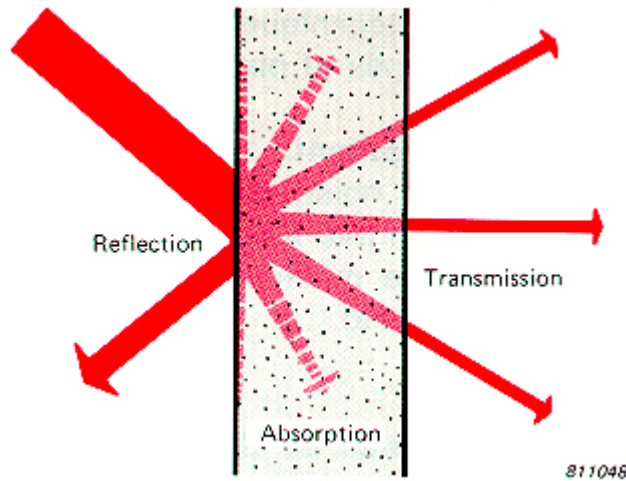


Figure 0 - 흡음 개념도

2. Different Types of Absorption and Absorbers

1) Porous Absorbers(다공질형 흡음재)

미네랄 울, 섬유판, 플라스틱 폼 등과 같은 다공질형 흡음재는 세공구조로 되어있다. 진동하는 공기 분자가 그 작은 구멍을 통과하도록 힘을 받았을 때 생기는 주변 벽과의 마찰에 의해 열에너지로의 전환이 일어난다. 이는 짧은 파장을 가진 고주파에서 효과적이다. 벽에 입사된 음파에서는 파장의 1/4, 3/4부분에서 최고의 분자속도(진폭)가 발생한다. 흡음재의

1) 흡음률(absorption coefficient) : 벽면에 사용한 건축 재료에 음이 흡수되어 반사되지 않는 비율. 입사에너지와 재료 표면에 흡수된 에너지와의 비율. 흡음률은 음의 주파수, 입사 각도에 따라서도 크게 다르며, 개방된 창외 경우에는 흡음률은 1.0(100%)이 된다.

$$A = \sum(S\alpha)$$

표면의 흡음력(A)

재료의 흡음율(α)

표면적(S)

흡음 : 재료 표면에 입사하는 음에너지가 마찰저항, 진동 등에 의하여 열에너지로 변하는 현상

두께가 파장의 1/4이하일 때는 효과가 거의 없다.

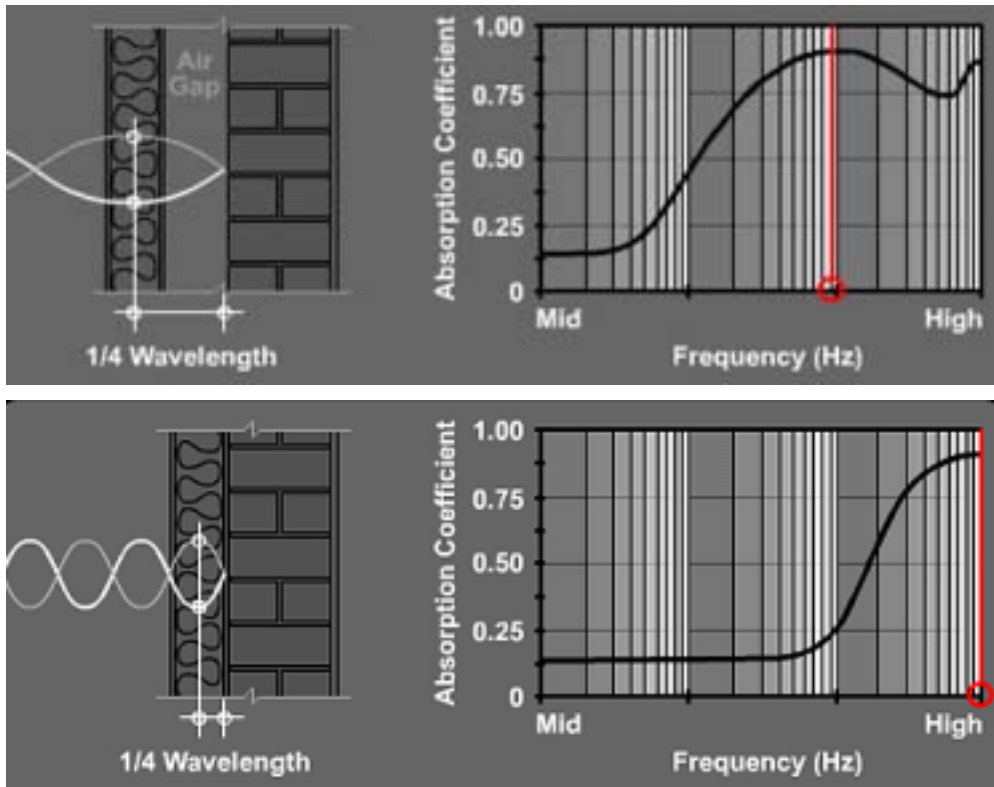


Figure1 - 흡음재의 깊이와 주파수 반응간의 관계

벽에서 얼마간의 거리를 띄우고 있는 다공성 박판은 두꺼운 흡음재와 거의 유사한 효과를 갖는다. 흡음재의 중앙에서 벽 표면까지의 거리가 파장의 1/4($\lambda/4$)과 일치할 때 효과는 최대화되며 이는 비교적 좁은 주파수대에 한정되어 있다. 입사 파장과 반사 파장의 최대 분자속도는 다공성 물질 내에서 발생하기 때문이다.

※ 보충

- ① 다공질 흡음재의 경우 고주파수에서의 흡음률은 크지만 저주파수에서는 급격히 저하된다. 그러나 흡음재료의 두께나 바탕재와의 공기층 두께를 증가시키면 저주파수의 흡음률을 증가시킬 수 있다.
- ② 다공질형 흡음특성에 대한 시공의 영향
 - 금속망과 Saran, 한냉사 등 영성하고 얇은 직물은 음에 대해 투명하므로 영향은 없다.
 - 구멍 뚫은판은 판의 두께가 얇고 작은(직경의) 구멍이 많이 뚫어져 있어 개공률이 작아지면 고음역일수록 흡음율은 저하하며, 또한 배후공기층에 따라 뒤에 논하는 공명기형 특성으로 변한다.
 - 비닐레저, 캔버스 등 기밀한 것으로서 다공질재를 피복하는 경우, 다공질재가 단단한 때는 고음역의 흡음능력이 현저하게 저하되지만, 유연한 스폰지나 면과 같은 경우는 막진동이 동시에 일어나 저음역의 흡수가 일어나 광대역의 흡음특성을 갖는 것으로 변화된다.
 - 도장, 유성페인트등과 같이 피막을 만들어 적은 구멍을 막는 경우는, 특히 고음역에서 현저하게 흡음능력이 저하된다. 피막이 생기지 않는 수성페인트를 뿔칠하는 정도로 하면 영향

은 적어진다.

-흡음 tex와 같이 판상태의 다공질재는 배후 공기층을 충분히 두어 판진동을 할 수 있는 구조로 시공하면 판진동형의 특성이 더해져 저음역의 흡음이 증가한다.

2) Membrane Absorbers(판 진동형 흡음재)

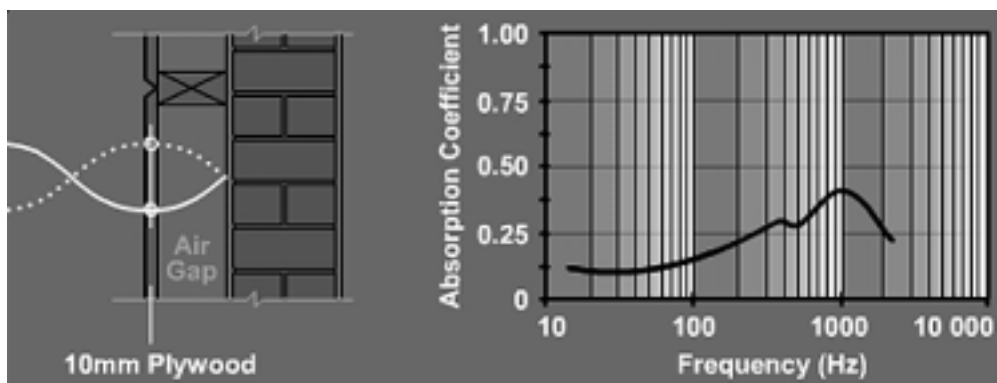
판 진동형 흡음재는 변형이 가능한 얇은 판을 딱딱한 패널이나 지지대 위에 팽팽하게 늘이거나 견고한 벽 앞쪽에 약간의 거리를 두고 고정시킨 것이다. 열전환은 급한 굴곡을 만들어내는 판과 압축을 하기위한 배후 공기층의 저항을 통해 일어난다. 이들은 표면 밀도와 배후 공간 폭에 따라 공명주파수²⁾ 부근에서 가장 효과적이다.

$$F_r = \frac{60}{\sqrt{M \times b}}$$

F_r = 공명 주파수 (Hz)

M = 패널 1m²당 중량 (kg/m²)

b = 배후 공기층의 폭 또는 깊이 (m)



2) 공명주파수(resonant frequency) : 공명(resonance)은 어떤 물체의 고유 주파수가 이 물체에 가해진 진동의 주파수와 일치할 때 발생한다. 공명이 일어나면 이 주파수에서 더 큰 진동이 생기게 된다. 공명은 간벽과 중공층(cavity)에서의 소리의 투과와 흡수에 영향을 끼친다. 공명 주파수의 범위는 보통 80 ~ 300Hz에 있으며 재료의 중량이 크거나 배후 공기층이 얇수록 공명주파수 범위가 저음역으로 더 이동한다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{mL}} = \frac{60}{\sqrt{ml}} \text{ (Hz)}$$

f_r = 공명주파수(Hz)

ρ = 공기 밀도(kg/m³)

c = 음속(m/sec)

m = 판의 단위 면적당 질량(kg/m²)

L = 공기층 두께(m)

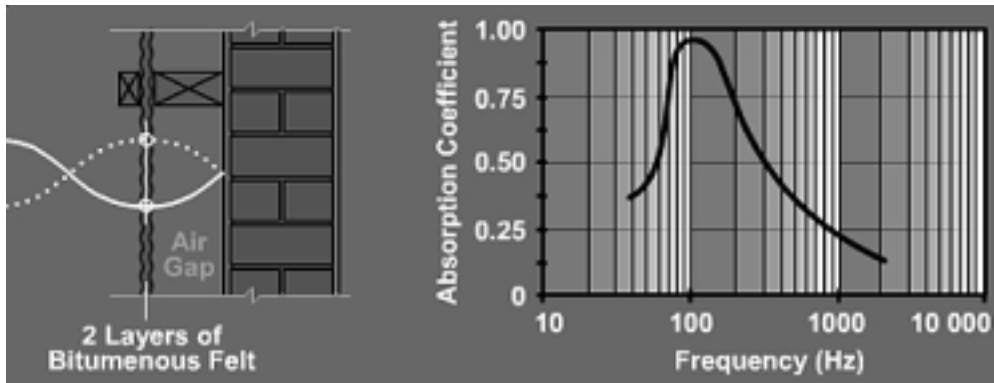


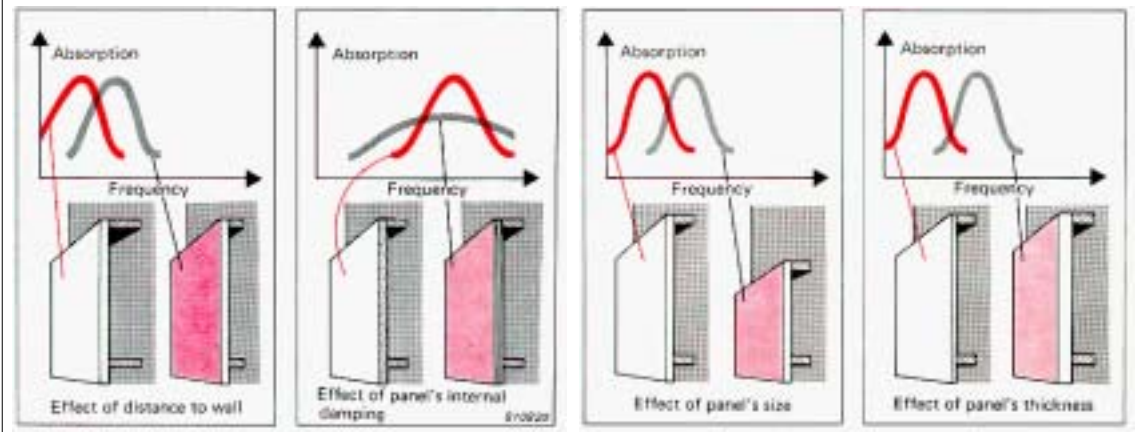
Figure 2a & b - 판 진동형 흡음체의 주파수 반응

실질적으로 고정 방법과 패널의 기밀성은 패널 자체가 진동하는 경향에 따라 얼마간의 영향을 끼친다. 이것은 패널이 음향방사체³⁾의 역할을 하고 있으며 0.5를 넘는 효과적인 흡음률을 가진 시스템은 거의 없다는 것을 의미한다. 판 진동형 흡음체는 낮은 주파수대역에서 가장 효과적이며 그것이 이 흡음체를 사용하는 이유이다.

※ 보충

①주의할 점

- 보드류는 막진동하기 쉽다. 즉, 얇은 판일수록 흡음율이 높다. 또한 같은 보드라 하더라도 단단하게 풀로 접착하는 것보다 못으로 붙이는 쪽이 진동하기 쉬우므로 흡음율이 높아진다.
- 흡음율의 피크는 대체로 200~300Hz 이하이며, 재료의 중량이 무겁고, 배후공기층이 두꺼울수록 저음역으로 이동한다. 배후공기층에 다공질 흡음재를 넣으면 흡음율의 피크가 매우 높게 된다.
- 막 또는 판진동의 영향이 없는 한은 자유이다.
- 흡음용 소프트 텍스와 같은 다공질보드는 배후공기층을 두고서 설치하면 다공질형의 특성과 판진동형의 특성을 합한 흡음특성이 된다.



3) 음향 방사체(sound radiator):

sound radiation (음향 방사) : 음파의 음에너지가 음원으로부터 매질 중으로 방출되는 현상

3) Cavity Absorbers

헬름홀츠 공명기로 알려진 바와 같이 이 흡음재는 좁은 입구(neck)를 가진 간단한 용기(容器)이다. 작은 공동 속의 공기는 배후 공기 부피의 공명주파수 부근에서 스프링 작용을 한다. (구멍 부분의 공기가 심하게 진동하여 그때 마찰열로서 음에너지가 소비된다.)

$$F_r = \frac{340}{2\pi} \times \frac{S/VL}$$

S = neck의 단면적 (m²)

V = 구멍의 부피 (m³)

L = neck의 길이 (m)

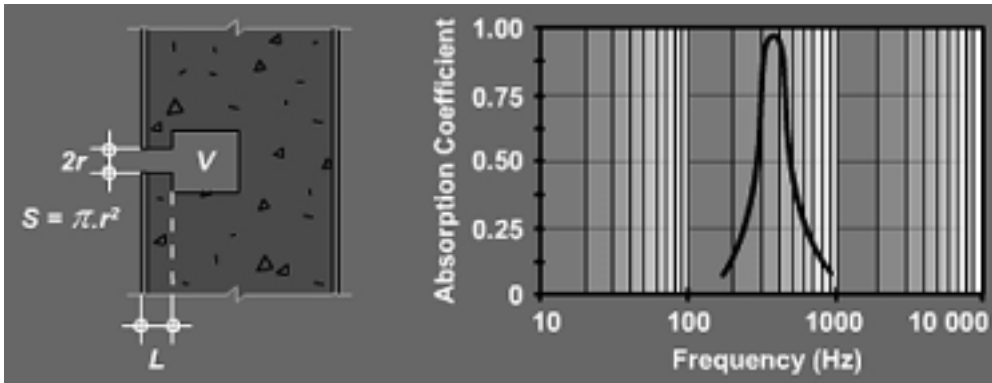


Figure 3 - 공명기형 흡음재에서의 주파수 반응

이 흡음재는 극히 작은 범위의 주파수대역 안에서 매우 높은 흡음률을 보인다. 구멍의 안쪽에 다공질의 재료를 붙임으로서 이 범위를 조금 넓힐 수 있다.

※ 보충

- ① 단일 공명기는 그 공진주파수 부근의 아주 좁은 주파수 범위에서만 현저하게 흡음작용을 하기 때문에 일반 흡음처리에는 사용하기 불편하고, 실내 고유진동에 의해 저주파수에서 울림현상이 생길 때 이를 제어하기 위해 유효하게 사용되고 있다.
- ② 재료 : 목재로 된 것도 있으나 강하고 기밀하지 않으면 안되므로 구멍을 뚫은 타일, 벽돌 또는 토기로 된 단지나 유리병을 콘크리트에 매입하는 수가 많다.
- ③ neck는 파이프를 사용하여 그 길이를 조절하므로써 f를 조절할 수 있다. 흡음력을 크게 하는데는 V를 크게하면 좋으나, 어느 부분의 치수든 λ/6정도 이하로 해야만 한다.

4) Perforated Panel Absorbers (천공패널 흡음재)

세 가지 개념이 모두 조합된 형태이다. 패널은 플라이우드, 하드보드, 플라스틱보드나 금속재등의 사용이 가능하며 판 진동형 흡음재와 마찬가지로 역할을 한다. 뒤쪽에 공기층을 갖는 일반적인 구멍이나 가늘고 긴 형태의 슬릿은 다공질 재료로 충전된 수많은 공명기의 역할을 한다. 상업적으로 사용되는 음향 재료의 광범위한 스펙트럼 대부분이 이 범주에 속한다.

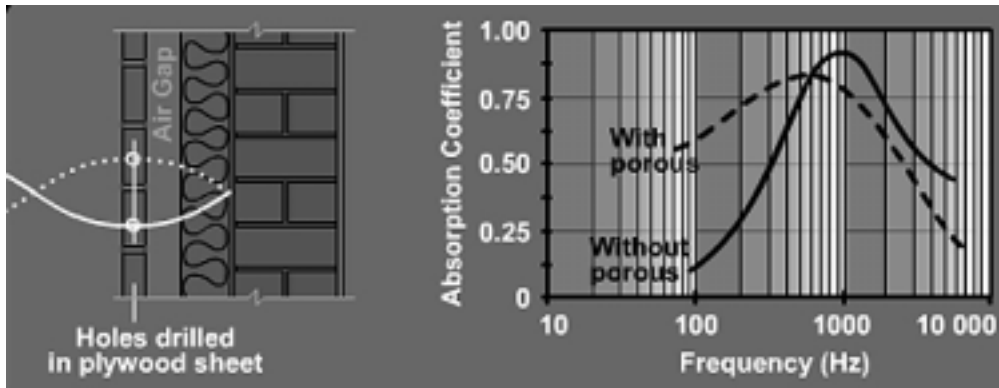


Figure 4 - 천공 패널 흡음재에서의 주파수 반응

NOTE : 파동 이론에 따르면, 흡음재는 방의 코너에 위치할 때 가장 효과적이다. 그 위치에서는 일반적인 상태에서 가장 압력이 높기 때문이다.

5) 현수 흡음체

벽이나 천정을 보통 흡음처리 했을 때, 흡음 면적이 충분하지 못하거나 곤란할 경우 사용된다. 동, 알루미늄, 하드보드 등의 구멍 뚫린 판으로 패널, 입방체, 구, 원통, 원추형 등의 모양을 만들고 그 내부에 암면, 유리면 등의 흡음재를 넣어 천정에 매단 구조이다. 매달은 흡음체의 흡음은 개당 세이빈 수로 표시되며, 그 효과는 달아매는 간격에 따라 변한다.

6) 가변 흡음구조

가변 흡음구조는 실의 용도에 따라 잔향시간을 조절 할 수 있으므로 다목적용 오디토리엄과 방송스튜디오, 시청각실 등 특수실의 경우에 실제 이용되고 있다.

실의 내용물	주파수(Hz)		
	125	500	2000
통기성 있는 의자 + 사람	0.25	0.55	0.65
가죽 또는 비닐 마감의자 + 사람	0.15	0.45	0.45
나무의자 + 사람	0.16	0.4	0.44
통기성 있는 의자	0.15	0.4	0.45
가죽 또는 비닐 마감의자	0.1	0.25	0.25
나무의자	0.08	0.15	0.18
사람이 밀집해 있는 경우(1m ² 당)	0.4	0.8	0.9
악기를 가진 연주자(평균)	0.37	1.07	1.21
공기(m ² 당)	-		0.007