

효과적인 저음흡음구조의 설계 및 검증 (슬릿 및 유공판흡음구조의 표면마감재 유형에 관하여)

오 양 기 김 광 욱*

*... 목포대학교 공과대학 건축공학과

Design and Verification of an Effective Absorption Detail for Low Frequency Bands

Yangki Oh* Kwangwook Kim**

* "Department of Architectural Engineering, Mokpo National University
oh@intra.mokpo.ac.kr raynoise@hanmail.net

요약

흡음원리의 측면에서 저음의 흡음은 재료 자체에서의 효과보다는 그 재료의 배열에서 발생하는 공명등의 역할이 크다. 따라서 단일흡음재료 보다는 공명체나 판상재와 다공질 흡음재, 그리고 그 배후의 공기층에 의해 구성되는 복합적 흡음구조가 더욱 효과적인 저음흡음재가 될 수 있다.

본 연구에서는 여러 가지 목재나 철재의 슬릿, 그리고 철재나 MDF 재질의 유공판을 표면재로 하는 저음흡음구조를 설계하기 위한 준비단계로서 저음흡음구조에서 표면재료의 변화가 가져올 수 있는 흡음특성의 차이를 알아보려고 한다.

1. 서론

음향설계에 있어서 가장 중요한 자료는 실내공간 마감재료의 음향성능에 관한 것이다. 단일흡음재료는 과도한 저음에너지를 흡수하기 힘들고, 복합적인 흡음구조에 관한 자료는 충분하지 않다. 현재 국내 실정을 살펴보면 미국이나 일본 등에서의 연구결과로 제시된 저음(복합)흡음구조의 데이터를 부분 적용하는 경우도 있으나, 사용 재료나 치수, 시공 디테일 등이 서로 다르기 때문에 그 자료의 정확성을 신뢰하기 힘든 것이 사실이다. 따라서 예측가능한 실내음향설계를 위해서 사용 마감재료의 정확한 자료를 알고, 필요할 경우 그 디테일을 개발하는 일은 신뢰성있는 음향설계를 위하여 무엇보다 중요한 과정이다. 이에 본 연구에서는 효과적인 저음흡음구조를 설계하기 전 단계로서 표면재와 다공질 흡음재, 그리고 공기층에 의해 구성되는 복합 흡음구조에서 유공판 및 다양한 슬릿을 사용한 표면재의 변화에 따른 저음흡음특성의 변화를 고찰하고자 한다.

2. 흡음재 및 흡음 구조

가. 다공질 흡음재

다공질 흡음재의 흡음원리는 재료의 표면 및 내부로 연결된 기공에 의하여 소리에너지가 마찰에 의한 열에너지로 바뀌어 나가는 데 있다. 특성은 저음보다는 중·고음에너지를 효과적으로 흡수하고 재료의 두께, 비중(밀도), 배후공기층의 유무, 표면 마감재료의 유형등에 크게 좌우된다. 하지만 이러한 특성들이 다공질흡음재를 저음흡음재로 만들어주지는 못한다. 대표적인 다공질흡음재로는 미네랄 울(Glasswool, Rockwool), 폴리에스테르, 폴리우레탄, 경량기포콘크리트등을 들 수 있다.

나. 판(막)상 흡음재

합판이나 석고보드 등의 판형 재료를 배후에 공기층을 두고 패널러 주변만을 고정하면 판의 공명진동에 의해 소리에너지가 운동에너지로 바뀔으로써 특히, 저음에 효과적인 흡음구조가 된다. 이 판진동은 질량으로서의 판의 역할 뿐 아니라, 스프링으로서의 배후공기층의 역할과 강성등이 복합적으로 작용하는 것으로, 따라서 판형흡음재의 최대흡음주파수(공명주파수)는 판의 치수와 중량, 강성, 배후공기층의 두께 등에 따라 달라진다. 판형흡음재는 재료 그 자체로 저음흡음에 효과적이거나, 그 흡음률이 높지 않고 특히 중·고음에서의 흡음률이 매우 낮기 때문에 이를 보완할 수 있는 흡음구조를 갖추도록 일반적으로 요구된다.

다. 헬름홀츠 공명체(Helmholtz Resonator)

헬름홀츠 공명체는 공기가 통하는 구멍과 그

뒷부분의 용적으로 구성되는 흡음구조를 말한다. 다공질재나 판상재와 같이 일정한 범위의 주파수 대역음을 흡음하는 것이 아니라, 구멍의 단면적과 길이, 내부의 용적 등의 변수에 의해 결정되는 특정 주파수음을 집중적으로 흡음한다. 따라서 헬름홀츠 공명체는 실내에 존재하는 특정 주파수음에 대하여 공명현상이 생길 때, 실외 전반적인 평균잔향시간에 영향을 미치지 않고서 그 공명음만을 흡음하는 방식으로 매우 유용하게 사용된다.

라. 복합흡음구조

a. 유공판흡음구조

유공판흡음구조는 그 표면재로서 합판이나 MDF 등의 보드류를 사용하는 것과, 금속판을 사용하는 것 등이 있다. 유공금속판은 판의 두께가 얇고 강도상 허용되는 개구율이 큰 것 등이 장점이지만, 상대적으로 가격이 비싸게 되는 단점이 있다. 유공판흡음구조는 배후에 공기층을 두어 시공하면 공기층이 아주 두터운 경우를 제외하고는 일반적으로 어느 주파수 영역을 중심으로 한 산형의 흡음특성을 보인다. 이것은 유공부분의 공기와 배후공기층이 헬름홀츠 공명체로서의 질량과 탄성을 갖는 하나의 공진계를 구성하고, 그 공명주파수의 음이 입사하면 질량에 상당하는 유공부분의 공기가 진동하여 그 마찰손실이 흡음으로 나타나게 됨과 동시에 산형의 흡음 특성을 갖게 되는 것이다. 일반적으로 이 산형의 피크부분은 배후공기층의 두께가 두꺼워질수록(계산상 입사음 파장의 1/4에서) 낮은 주파수대역으로 이동하게 된다. 저음역에 치우치는 유공판 + 배후공기층의 흡음특성을 보다 폭넓은 대역으로 확장하기 위하여 유공판과 배후공기층의 사이에 다공질흡음재를 첨가하게 된다. 가급적 유공판 쪽으로 설치된 충분한 흡음력의 다공질흡음재는 산형의 흡음특성을, 특히 중·고주파 영역으로 크게 확장함으로써 유공판흡음구조의 흡음특성을 전 주파수 대역에 대해 효과적인 것으로 만든다.

b. 슬릿흡음구조

측벽면의 흡음처리재료는 본래의 흡음특성 이외에 의장적인 요소나 강도, 보수의 용이성 등과 같은 조건이 중요하므로 마감재료의 선택 범위에 크게 제한을 받게 된다. 특히, 다공질흡음재는 흡음특성이 저음에너지를 흡음하기 힘들뿐더러 표면의 강도나 재료의 강성이 약한 것이 일반적

이므로, 이 경우에 공명흡음 효과를 추가할 수 있는 목재의 슬릿을 표면에 설치함으로써 저음흡음력을 보강함과 동시에 마감재료로서의 타당한 건축적 성질을 갖도록 하는 것이 좋다. 슬릿흡음구조는 표면판의 진동에 의한 흡음효과를 제외하고는 유공판흡음구조와 거의 유사한 흡음특성을 보인다. 즉, 특정한 주파수영역의 산형 피크를 중심으로 중간층인 다공질재에서의 중·고음 흡음과 배후공기층의 두께에 의한 피크의 저음대역으로의 이동 등이 주된 흡음특성이다.

3. 저음흡음구조 실험

흡음재료 및 흡음구조의 특성을 평가하기 위해서는 잔향실법 흡음률 측정방법을 사용하여야 한다. 폐관에서의 정재파(Standing Wave)발생을 이용한 폐관측정법(Impedance Tube Method)이 표준화되어 있으나, 이는 여러 각도에서 입사하는 입사음들의 효과를 보지 못하고 오직 수직입사하는 음의 흡음률만을 측정할 수 있을뿐더러, 그 측정장비의 한계에 의해 10cm 내지 30cm, 혹은 그 이상의 배후공기층을 갖는 저음흡음구조의 흡음률을 측정하는 데 사용할 수 없다. 따라서 다양한 내용의 유공판흡음구조 및 슬릿흡음구조에 대하여 잔향실법 흡음률 측정방법에 관한 국내 및 국제 규정인 KS F 2805 와 ISO 354를 적용하여 표면재료의 다양한 변화에 따른 흡음특성의 변화를 잔향실법 흡음률 측정방법에 의해 측정하였다.

가. 목포대학교 건축음향연구실내 잔향실험실

[표 1] 목포대학교 잔향실험실의 제원

평면형상	부정형5각형
단면형상	부정형 사다리꼴
바닥면적	32.75 m ²
시료설치면적	9.72 m ²
용적	209.6 m ³
대각선의 길이비	1.55
내부면적	200.9 m ²



[그림 1, 2] 목포대학교 잔향실의 형태

나. 측정장비

[표 2] 측정장비

	용도	장비명	제조사	모델번호
실험장비	Recording 장치	Condenser Microphone	G.R.A.S	40AP
		Microphone Pre Amplifier	G.R.A.S	26AF
	Analyzer System	Symphonic	01dB	
		Computer	삼성	Sens 650
	Analyzer Software	dB BATI2	01dB	
		dB FA	01dB	
Speaker	Loud Speaker	Norsonic	Nor 229	
	Power Amplifier	Norsonic	Nor 260	

다. 실험

앞에서 언급한 바와 같이 일반적인 흡음재로는 저음을 효과적으로 흡음하기 힘들거나(다공질 흡음재), 저음성분만을 집중적으로 흡음하는(판상흡음재) 특성밖에 기대하기 힘들다. 따라서 효과적인 저음흡음을 하기 위해서는 표면재의 판진동과 중간재의 다공질흡음, 그리고 공기층의 공명흡음을 갖는 유공판 흡음구조와 마감재료로서의 목재 슬릿의 타당성과 함께 중간재의 다공질흡음, 그리고 공기층의 공명흡음을 기대하는 슬릿(Slit)흡음구조의 두 가지가 타당성을 갖는다.

본 연구에서는 중간재인 다공질 흡음재와 공기층을 기준으로 하여 표면재를 변화시켜 가며 표면재에 의한 잔향시간의 변화를 측정하였다. 표면재로서는 크게 유공판과 슬릿, 그리고 일반 판재를 사용하였다. 유공판은 그 재질과 개구부의 형태 및 면적에 따라 모두 7종을 사용하였고, 슬릿은 재질과 슬릿재의 칫수, 개구부의 크기 등에 따라 모두 6종을 사용하였으며 일반판재는 재질과 두께 등에 따라 6종을 사용하였다.

[표 3] 실험에 사용한 표면재의 유형(유공판)

재료	두께	유공지름	피치	코드명
MDF	90mm	6mm	15mm	mdfaa
		9mm	20mm	mdfab
		15mm	25mm	mdfac
Steel	0.6mm	20mm	30mm	st06b
		5mm	8mm	st12a
	1.2mm	5mm	mm	st12b
		20mm	30mm	st12c

다공질재는 밀도 40K와 두께 50mm의 폴리에스테르 흡음재를 사용하였고, 공기층은 100mm의 간격을 두고 측정하였다.

[표 4] 실험에 사용한 표면재의 유형(슬릿)

재료	단면 형태	재료 높이	재료 폭	슬릿 폭	코드명
목재	직사각형	90mm	30mm	30mm	slaa
		90mm	30mm	10mm	slac
	단면	30mm	90mm	30mm	slab
		30mm	90mm	10mm	slad
철재	직사각형	30mm	20mm	20mm	slba
		20mm	30mm	20mm	slbb

[표 5] 실험에 사용한 판상재의 유형

재료	두께	코드명
MDF	5mm	mdfba
	12mm	mdfbb
	20mm	mdfbc
합판	4mm	v04
	12mm	v12
	18mm	v18

라. 흡음률의 산출

재료별 흡음률은 측정된 잔향시간의 평균치로부터 KS F 2805에 제시되어 있는 다음식에 따라 구한다.

$$\alpha = \frac{55.3V}{cS} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

- α : 잔향실법 흡음률
- T_1 : 시료를 넣은 상태에 있어서의 잔향시간(sec)
- T_2 : 시료를 넣지 않은 상태에 있어서의 잔향시간(sec)
- V : 잔향실험실의 용적

4. 표면재의 유형에 따른 흡음특성

가. 유공판 재료의 변화에 따른 음향특성

유공판 재료를 변화시켜 가며 실험한 결과, 유공판의 경우 모두 저음흡음에서는 큰 변동폭을 보여주지 않고 다만 중·고음흡음에서 피치(Pitch)가 좁고 개구부의 크기가 작을수록 흡음이 효과가 더 커지는 결과를 보여줌을 알 수 있었다.

나. 슬릿 재료의 변화에 따른 음향특성

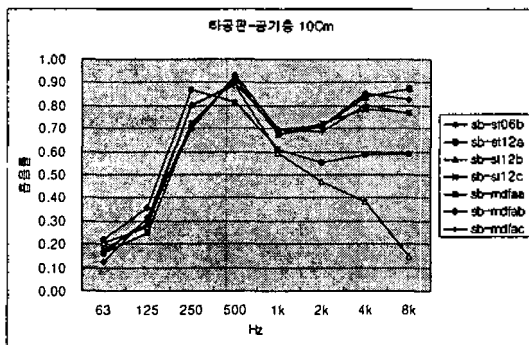
슬릿 재료를 변화시켜 가며 실험한 결과, 슬릿 구조를 구성할 때 재료를 세워서 깊이를 깊게 주었을 경우에는 흡음효과가 크지만 재료를

넓혀서 폭을 넓게 하였을 경우 중간제인 다공질 재가 노출되는 면적이 적어져 음에너지가 슬리트 재료에서 표면반사를 일으키며 오히려 흡음효과가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

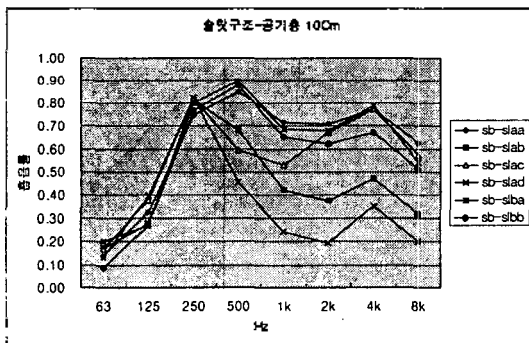
다. 판상재의 재료변화에 따른 음향특성

판상재료를 변화시키며 실험한 결과 MDF와 합판 두 종류 모두 재료의 두께가 가장 얇을 때 저음에서의 흡음효과가 피크를 이루고 있음을 알 수 있었다. 이는 재료가 얇을수록 판진동이 크게 일어나 이에 따른 마찰에너지에 의해 흡음효과가 커지는 것을 확인하였다. 하지만 중·고음에서는 오히려 흡음효과가 떨어짐을 알 수 있었다.

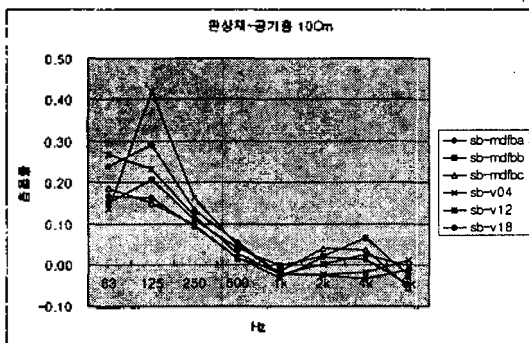
[그림 3] 타공판 재료변화에 따른 음향특성 차이



[그림 4] 슬릿 재료변화에 따른 음향특성 차이



[그림 5] 판상재 재료변화에 따른 음향특성 차이



5. 결론

본 연구에서는 여러가지 표면재료를 바꿔가며 표면재료와 다공질 재료, 그리고 공기층으로 구성되는 복합 흡음구조에서 표면재료가 저음흡음을 하는데 미치는 영향을 몇 가지 알아낼 수 있었다. 재료의 유형별로 정리하면 다음과 같다.

가. 유공판

- 재료의 두께보다는 유공부분의 크기와 피치가 흡음효과에 더 큰 영향을 미친다.
- 유공부분의 크기가 같은 경우에는 피치가 넓을수록 저음에서 더욱 큰 효과를 볼 수 있다.

나. 슬리트

- 재료의 설치시 중간제인 다공질재료의 상부에 충분한 공기층이 형성될 수 있도록 설치하여야 기대한 만큼의 저음 흡음효과를 낼 수 있다.
- 슬리트 재료간의 간격이 좁을수록 저음흡음효과는 더욱 커지지만 중·고음에서는 오히려 흡음효과가 떨어진다.

다. 판상재

- 두께가 얇을수록 저음에서 흡음효과가 커진다.
- 고음역에서의 흡음효과를 기대하기 어렵다.

표면재료를 유형별로 살펴보았을 때 판상재보다는 유공판이나 슬리트로 다공질재와 공기층이 조합된 복합구조를 구성하였을 때 더욱 효과적인 저음흡음구조가 된다는 사실을 실험을 통하여 검증할 수 있었다. 하지만 이러한 복합구조에서 다공질재의 종류에 의한 흡음효과의 차이나 공기층의 두께에 따른 흡음효과의 차이에 대한 실험이 계속 이루어져야만 전체적으로 가장 효과적인 저음흡음구조를 설계할 수 있을 것이다.

<참고문헌>

1. KS F 2805 잔향실내의 흡음을 측정방법 1981
2. ISO 354 Acoustics-Measurement of sound absorption in a reverberation room 1985
3. 광주광역시 신청사 대회의실의 건축음향 보완 설계(실계결과보고서) 2000.10