

# 표면재 및 배후 다공질재의 유형에 따른 복합 흡음구조의 흡음특성

<sup>0</sup>김태훈\*, 주문기\*, 오양기\*\*

## An Effect Absorption Property of Compound Absorption Structure on the Membraneous and the Back Resonator type

Tae-hun Kim, Moon-gi Ju, Yang-ki Oh

### Abstract

Absorbers such as porous materials and panels have limited absorption characteristics to some frequency bands. There is a need for absorbers with high absorption coefficients in a wide frequency ranges to make good response of room acoustics. This is almost impossible for a single absorption material. Composite absorption structure with cover, porous material, and air gap is known to have those wide frequency characteristics. In this basis, various composite absorption structures are measured and investigated as wide range absorption structures. Measurements are performed according to an international standard, ISO 354. Various surface types such as wooden slits, wood/steel perforated panels are selected as surface covers, and also various porous materials such as polyurethanes, polyesters, and glasswools are used inside the covers. Result shows that the area of void parts of surface materials is critical to high frequency absorptions, and thickness of air gaps are critical factor of the peak absorptions of low frequency bands.

### 1. 서론

다공질 혹은 패널류의 흡음재는 그 흡음 원리의 한계에 의하여 저주파대역 혹은 중,고주파 대역의 음에너지를 특정적으로 흡음하는데 그치고 있다. 이러한 단일 흡음재료의 음향적 성능의 한계 및 배후 구조 또는 복합구조에 대한 적합한 데이터가 없어 이를 제대로 활용하기 어려운 것이 현재의 실정이다. 단일 흡음재료는 과도한 저음에너지를 흡수하기 힘들고, 복합 흡음구조에 관한 자료는 우리나라에서 거의 찾아보기 힘들다. 외국의 연구사례는 그 나라의 시공 디테일과 자재의 차이로 인해서 현재 우리 나라의 실정과는 다르다.

이 연구의 목표는 고음뿐만 아니라 저음에서도 흡음성능이 뛰어난 복합 흡음구조를 개발하는 데 있다. 예측 가능한 실내음향설계를 위해서 마감 재료의 정확한 자료를 알고 필요한 경우 그 디테일을 개발하는 일은 무엇보다 중요하기 때문이다.

### 2. 흡음재 및 복합 흡음구조의 유형<sup>(1)(2)(3)</sup>

#### 2.1 다공질형 흡음재(Porous Type)

Glass Wool, 암면, 섬유 및 화학제품으로 최근에 많이 사용되고 있는 추세이다. 다공질형 흡음재의 흡음재는 단일흡음구조시 저음역에서는 효과가 적고 고음역에서 크다. 재료의 밀도와도 관계가 깊어서 비중이 높을수록 흡음률이 높다.

#### 2.2 판(막) 진동형 흡음재

얇은 MDF나 합판과 같이 재료에 소리가 부딪지면 판은 막진동을 하며, 소리 에너지가 진동에너지로 변하여 열로 소비된다. 흡음특성은 저음역의 공진주파수에서 최대치를 갖지만 전반적인 흡음특성은 높게 나타나지 않는다. 판형 흡음재는 두께와 질량, 공기층의 영향을 받는다. 재료의 중량이 크거나 배후 공기층이 클수록 저음역에 속한다.

#### 2.3 유공판형 및 슬리트형 복합 흡음구조

유공판흡음구조는 표면재로서 합판이나 MDF등의 보드류를 사용하는 것과, 금속판을 사용하는 것 등이 있다. 유공금속판은 판의 두께가 얇고 강도상

\* 목포대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 목포대학교 건축공학과 교수

허용되는 개구율이 크다는 장점이 있지만, 상대적인 가격이 비싸다. 유공판 흡음구조는 배후에 공기층을 두어 시공하면 공기층이 아주 두터운 경우를 제외하고는 일반적으로 어느 주파수 영역을 중심으로 한 산형의 흡음특성을 보인다.

슬릿흡음구조는 표면판의 진동에 의한 흡음효과를 제외하고는 유공흡음구조와 거의 유사한 흡음특성을 보인다.

위에서 언급한 바와 같이 일반적인 흡음재료는 저음을 효과적으로 흡음하기 힘들거나(다공질흡음재), 저음성분만을 약간 흡음하는(판상흡음재) 특성밖에 기대하기 힘들다. 따라서 보다 표면재의 판진동과 중간재의 다공질흡음, 그리고 공기층의 공명흡음을 기대하는 유공판 복합 흡음구조와 마감재료로서의 목재슬릿을 함께 구조화시켜서 특정한 주파수영역의 산형 피크를 저음대역으로 이동하여 전체적으로 고른 흡음률을 목표로 하는 복합 흡음구조이다.

Table 1. Absorptin Material from Absorption Priciples

흡음 원리	분류	종류	비고
점성 마찰	다공질계 (연속기포, 중공음역)	발포수지재료, 각종섬유재료	연속기포구조, 셀크기의 조합비율에 따라 최대흡음주파수가 달라짐
	유공판 (중음역)	유공목재, 유공철제등	$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{(t+0.8d) \cdot L}}$ P: 개구율(>0.2), t: 판두께 d: 홀직경, L: 강벽과의 거리
내부 마찰 (판의 진동)	판/얇은막 (저음역)	석고판, PVF, MDF, 합판등	$f = \frac{6000}{\sqrt{m \cdot d}}$ m: 면밀도 d: 강벽과의 거리[m]

### 3. 복합 흡음구조의 흡음률 측정

#### 3.1 목포대학교 건축음향 연구실내의 잔향실험실

##### 가. 잔향실험법 흡음률 측정방법

흡음재료 및 흡음구조의 특성을 평가하기 위해서는 잔향실험법 흡음률 측정방법을 사용하여야 한다. 폐관에서 정재파 발생을 이용한 폐관측정법이 표준화되어 있으나, 난입사하는 입사음들의 효과를 보지 못하고 오직 수직입사하는 음의 흡음률만을 측정할 수 있을뿐더러, 그 측정장비의 한계에 의해 10cm 내지 30cm 또는 그 이상의 배후공기층

을 갖는 저음흡음구조의 흡음율을 측정하는 데 사용할 수 없다. 따라서 다양한 내용의 복합 흡음구조에 대하여 잔향실험법 흡음률 측정방법에 관한 국내 및 국제 규정인 KS F 2805와 ISO 354를 적용하여 측정하였다.<sup>(4)</sup>

잔향실험법 흡음율은 읽어낸 잔향시간의 평균치로부터 다음식에 따라 구한다.<sup>(5)(6)</sup>

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

- α : 잔향실험법 흡음률
- T<sub>1</sub> : 시료를 넣은 상태의 잔향시간
- T<sub>2</sub> : 시료를 넣지 않은 상태의 잔향시간
- V : 잔향실의 용적

나. 목포대학교

Table 2. Shape of Mokpo Univ. Reverbration Room

평면 형상	부정형 5각형
단면 형상	부정형 사다리꼴
바닥 면적	32.75m <sup>2</sup>
시료설치 면적	9.72m <sup>2</sup>
용적	209.9m <sup>3</sup>
대각선 길이비	1.56
내부 면적	200.9m <sup>2</sup>

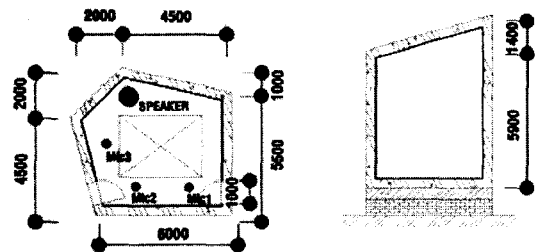


Fig.1 Type of Reverbration Room(Plan, Section)

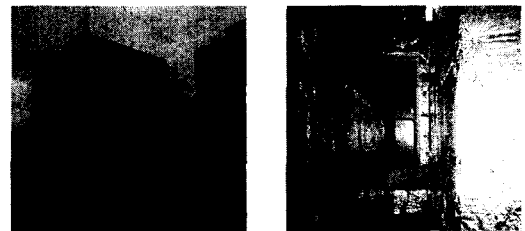


Fig.2 Picture of Reverbration Room(The inside and outside)

### 3.2 흡음률 측정시스템

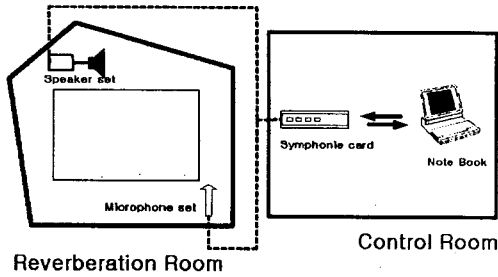


Fig.3 Diagram of System

Table 3. System of acoustic absorptivity measurement

측정기기	제작회사	모델명
System Analyzer	01 dB	Symphony
Analyzing Software	01 dB	dBbati II
Notebook Computer	삼성	Sense 650
Microphone	Gras	AP40
Microphone Power Supply	01 dB	Built-in
Microphone Preamplifier	Gras	AF26
Calibrator	B&K	Type 4230
Loudspeaker	Norsonic Boss	Type 229
Power Amplifier	Norsonic	Type 235

### 3.3 측정 구조

저음의 흡음에 효과적인 흡음천장과 흡음벽체의 구조를 찾기 위해서 다양한 측정을 하였다.

천장 및 후벽에 적용 가능한 두 가지의 저음흡음구조, 즉 유공판형 흡음구조와 슬리트 흡음구조 모두가 표면재와 다공질재 그리고 공기층의 3중 구조로 형성되어있으므로, 각각의 층에 대하여 다양한 재질, 형태 및 치수의 재료를 바꾸어가며 가장 효율적인 구조를 찾고자 하였다. 실험은 각각의 재료 즉 표면재, 흡음재에 대한 특성을 파악하는 1차 측정과 여기에 공기층을 더한 2차 측정의 순서로 시행하였다.

Table 4. Type of Porous Material

재료	두께	비중	코드명
폴리에스테르	25mm	40%	폴에1
	25mm	60%	폴에2
	50mm	40%	폴에3
	50mm	60%	폴에4
폴리우레탄	5mm	.	폴우1
	12mm	.	폴우2
	18mm	.	폴우3
글래스울	50mm	.	

Table 5. Type of Surface material

유형	재료	두께 (mm)	유공지름 (mm)	피치 (mm)	개구율 (%)	코드명
유공판	MDF	90	6	15	12	mdf1
			9	20	15	mdf2
			15	25	28	mdf3
	Steel	0.6	20	30	35	steel1
			20	30	35	steel2
			1.2	5	8	30
5				16	8	steel4
슬리트	목재	직사각형 단면	90	30	30	w1
			90	30	10	w2
			30	90	30	w3
			30	90	10	w4
			90	45	20	w5
			90	45	10	w5
	철재	직사각형 단면 원형 단면	30	20	10	s1
			20	30	20	s2
			Ø25.4(1.2T)		10	s3
			재료		두께	코드명
			MDF	6mm	m6	
				15mm	m5	
20mm	m20					
합판	5mm	h5				
	10mm	h10				
	12mm	h12				
	24mm	h24				
	18mm	h18				

### 3.4 측정 결과

#### 3.4.1 1차 측정결과

1차 측정은 표면재 및 다공질재의 흡음특성을 파악하기 위해서 표면재의 배후에 공기층 및 다공질재를 설치하여 측정하였다. 이러한 측정은 표면재의 고유한 흡음특성과 공기층 및 배후다공질재를 설치한 경우의 흡음특성의 변화를 알아보기 위한 측정이었다. 다공질재의 경우도 마찬가지로 공기층의 유무에 따라서 다공질재의 흡음특성의 변화를 알아보았다.

1차 측정의 결과값은 다음 3가지의 경우를 측정하여 얻은 결과값이다.

Table 6. Method of 1st measurement

1st	표면재, 다공질재 + 공기층 0cm, 흡음재없는 경우
2st	표면재, 다공질재 + 공기층 0cm, 흡음재있는 경우 (코드명 폴에2)
3st	표면재, 다공질재 + 공기층 17cm, 흡음재 없는 경우

Table 7. 1st Result of Absorption Material

MDF Panel								
코드명	흡음재	공기층	Hz					
			125	250	500	1k	2k	4k
m6	X	X	0.17	0.25	0.19	0.14	0.12	0.15
m15	X	X	0.21	0.22	0.18	0.17	0.16	0.24
m20	X	X	0.18	0.17	0.15	0.15	0.15	0.13
m6	0	X	0.32	0.51	0.41	0.30	0.23	0.24
m15	0	X	0.33	0.42	0.40	0.32	0.27	0.32
m20	0	X	0.30	0.38	0.39	0.31	0.28	0.27
m6	X	0	0.27	0.17	0.11	0.08	0.07	0.09
m15	X	0	0.18	0.14	0.12	0.10	0.10	0.17
m20	X	0	0.14	0.11	0.09	0.09	0.13	0.12

Plywood Panel								
코드명	흡음재	공기층	Hz					
			125	250	500	1k	2k	4k
h5	X	X	0.13	0.21	0.15	0.12	0.09	0.08
h10	X	X	0.15	0.19	0.16	0.14	0.17	0.21
h12	X	X	0.16	0.18	0.14	0.12	0.12	0.12
h18	X	X	0.16	0.15	0.13	0.13	0.13	0.10
h24	X	X	0.16	0.17	0.15	0.18	0.17	0.15
h5	0	X	0.27	0.50	0.39	0.29	0.21	0.23
h10	0	X	0.32	0.41	0.38	0.32	0.29	0.28
h12	0	X	0.30	0.42	0.37	0.27	0.23	0.26
h18	0	X	0.29	0.38	0.37	0.30	0.26	0.23
h24	0	X	0.29	0.38	0.37	0.33	0.28	0.26
h5	X	0	0.26	0.17	0.11	0.08	0.06	0.07
h10	X	0	0.19	0.13	0.10	0.10	0.13	0.12
h12	X	0	0.18	0.13	0.09	0.07	0.08	0.12
h18	X	0	0.15	0.11	0.10	0.11	0.12	0.14
h24	X	0	0.14	0.10	0.08	0.08	0.10	0.09

Polyester								
코드명	공기층	Hz						
		125	250	500	1k	2k	4k	
폴에1	X	0.13	0.35	0.85	0.87	0.97	1.14	
폴에2	X	0.26	0.69	1.20	0.97	1.04	1.06	
폴에3	X	0.26	0.63	0.99	0.85	0.93	1.05	
폴에4	X	0.20	0.41	0.81	0.80	0.85	0.99	
폴에1	0	0.31	0.78	0.95	0.79	0.80	0.91	
폴에2	0	0.47	0.96	1.02	0.86	0.88	0.99	
폴에3	0	0.37	0.71	0.76	0.72	0.78	0.92	
폴에4	0	0.31	0.62	0.73	0.68	0.75	0.86	

Polyurethane								
코드명	공기층	Hz						
		125	250	500	1k	2k	4k	
폴우1	X	0.06	0.13	0.28	0.41	0.49	0.86	
폴우2	X	0.09	0.17	0.37	0.58	0.72	1.04	
폴우3	X	0.15	0.31	0.93	0.92	0.92	1.04	
폴우1	0	0.15	0.33	0.55	0.56	0.67	0.74	
폴우2	0	0.19	0.48	0.73	0.69	0.79	0.81	
폴우3	0	0.35	0.80	0.91	0.86	0.89	0.87	

\* 공기층 17cm 고정

흡음재: 폴리에스테르 25mm(비중60K), 공기층: 17cm 고정

\* 지면 여건상 부분만 발취

3.4.2 2차 측정결과

1차 측정에서 얻어진 결과를 바탕으로 표면재와

다공질재의 종류중에서 저음 흡음능력이 높고, 전대역에 걸쳐서 흡음이 고르게 나타나는 재료를 선정하였다. 이러한 재료와 함께 배후 공기층을 17cm와 35cm로 설치하여 아래에서 추출한 재료를 조합 측정하였다.

Table 8. Materials Choice of 2st Measurement

공기층	다공질재료 (코드명)	표면재 (코드명)
17cm	폴에4	mdf1
35cm	폴우3	steel4
	글래스울	s3
		w5
		m6
		h5

Table 9. 2st Result of Absorption Material

배후 공기층 17cm							
배후 다공질재 : 글래스울 50mm							
코드명	Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	
s3	0.74	1.07	1.10	0.82	0.67	0.65	
mdf1	0.69	1.10	1.12	0.83	0.69	0.71	
w6	0.69	1.05	0.78	0.51	0.46	0.70	
steel4	0.61	1.08	1.11	0.83	0.69	0.52	
h5	0.51	0.42	0.23	0.21	0.19	0.16	
mdf6	0.48	0.40	0.25	0.22	0.19	0.16	

배후 공기층 35cm							
배후 다공질재 : 폴리에스테르 50mm(비중60K)							
코드명	Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	
s3	0.78	0.91	0.58	0.44	0.41	0.64	
mdf1	0.61	0.96	0.96	0.76	0.69	0.74	
w6	0.58	0.98	0.93	0.76	0.68	0.69	
steel4	0.58	0.43	0.21	0.19	0.15	0.10	
h5	0.53	0.94	0.95	0.75	0.65	0.54	
mdf6	0.49	0.37	0.21	0.19	0.17	0.12	

배후 공기층 35cm							
배후 다공질재 : 글래스울 50mm							
코드명	Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	
s3	0.69	0.83	1.16	0.80	0.64	0.63	
mdf1	0.66	0.83	1.15	0.82	0.70	0.68	
w6	0.68	0.87	1.16	0.81	0.63	0.45	
steel4	0.66	0.82	0.75	0.45	0.41	0.62	
h5	0.38	0.32	0.19	0.15	0.10	0.06	
mdf6	0.35	0.27	0.19	0.16	0.11	0.06	

배후 다공질재 : 폴리우레탄 18mm							
코드명	Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	
s3	0.61	0.71	0.81	0.85	0.70	0.65	
mdf1	0.53	0.72	0.85	0.86	0.69	0.61	
w6	0.54	0.72	0.80	0.87	0.72	0.43	
steel4	0.47	0.60	0.71	0.50	0.43	0.61	
h5	0.25	0.21	0.18	0.14	0.07	0.04	
mdf6	0.24	0.20	0.18	0.16	0.09	0.06	

\* 지면 여건상 부분만 발취

#### 4. 표면재 유형에 따른 특성

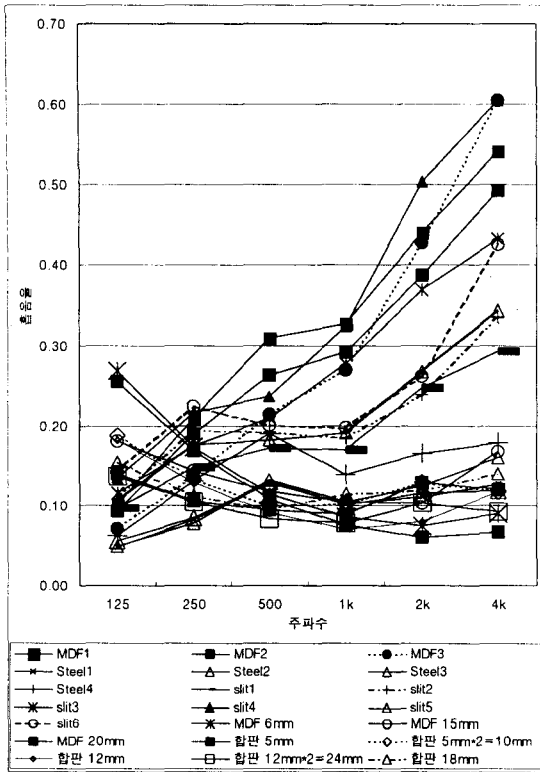


Fig 4. Result of Surface Material(Air layres 17cm)

Fig 4는 1차 측정의 전체 표면재의 흡음특성을 나타내는 그림이다. 조건은 공기층을 17cm로 하고, 배후 다공질재는 넣지 않아서 표면재 자체의 흡음특성을 파악할 수 있었다. slit 구조와 목재 유공판 구조는 중고주파대역에서 표면재 흡음만으로도 높은 흡음률을 가진 반면에 저주파대역에서는 흡음률이 낮게 측정되었다. 반대로 MDF와 합판의 판형구조는 저주파대역에서의 흡음률은 다른 재료보다 높지만 중고주파대역 이상의 흡음률은 낮게 측정되었다. 이러한 결과는 단지 표면재만의 결과이므로 배후 흡음구조와 배후 다공질재의 조합으로 어떻게 변하는지 분석하였다.

##### 4.1 유공판형 흡음구조

Fig 5의 그림은 유공판형 흡음구조(mdf1)의 흡음특성을 나타내는 그림이다. A는 유공판형 흡음구조(mdf1)의 고유특성 즉 배후 공기층과 배후 다공질재가 없는 경우인데 1Kz에서 피크치가 산형울

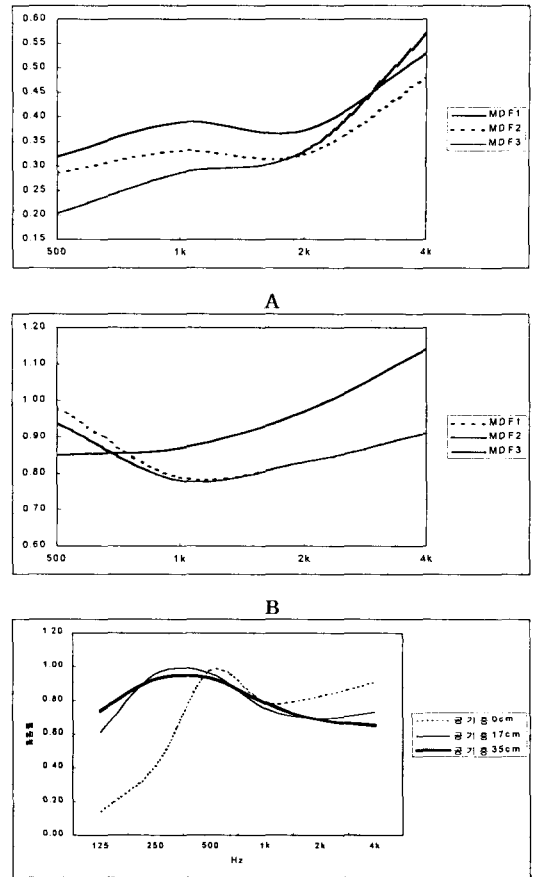


Fig 5. Property of Perforation Board Type

이루고 개구율이 낮을수록 중저주파 대역에서 약간 높은 흡음률을 가지고 있다. 이러한 경향이 B에서 배후 다공질재(폴에1)를 설치하면 1Kz 이상의 주파수 대역에서는 높은 흡음률을 가지고 있다. 그림 C는 mdf1과 배후 공기층, 그리고 다공질재료(폴에3)를 복합흡음구조로 설치한 흡음특성과 그 밖의 구조와 비교하고 있다. 이 그림(C)에서 볼 수 있듯이 흡음특성이 단일 흡음구조보다도 더 넓은 흡음특성 범위를 가지고 있다. 그리고 개구율이 낮으면 판진동이 함께 일어나서 흡음율이 높은 반면에, 개구율이 높으면(유공지름이 크면) 배후 다공질재의 흡음특성에 의해서 고주파 대역이 높게 측정되었다. 유공판 재료로 Steel을 사용하여도 비슷한 특성을 얻었다.( 3.4 측정결과의 결과값 참조)

## 4.2 슬리트형 흡음구조

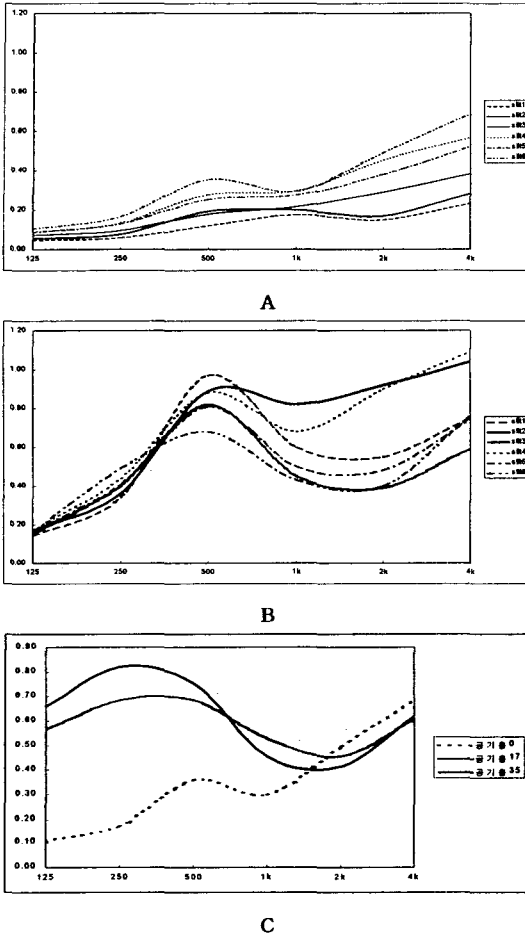


Fig 6. Property of Slit Type

Fig 6의 그림은 목재 슬리트형 흡음구조의 특성을 나타내는 그림이다. A는 슬리트형 흡음구조의 고유특성인데 슬리트의 폭이 좁을수록 고주파대역에서 흡음이 높아졌다. 이는 파장이 짧은 고주파대역은 슬리트간격 통과시 좁은통로와 마찰에 의해서 소리가 감쇠된 것 같다. 또한 단면의 가로축과 세로축을 보았을 때 가로축이 크고 두께가 큰 경우에 흡음률이 높았다. B는 배후 다공질재를 설치한 경우인데 500Hz에서 피크치를 이루고 슬리트 폭이 클수록 소리가 내부 다공질재까지 닿으므로 흡음효과는 더욱 커졌다. C는 공기층의 변화에 의한 흡음특성을 살펴보았는데, 공기층의 커질수록 고주파의 변화보다는 저주파대역의 흡음성능의 변화가 확연하게 들어나고 있다. 또한 전체적인 흡음성능도 높아졌다.

철제 슬리트형 구조는 슬리트 자체의 특성이 공기층의 이동에 따른 특성변화가 거의 없고, 단지 슬리트 폭이 넓고, 난입사에 대한 소리의 투과가 더 잘 되는 재료가 흡음성능이 높았다. 이는 슬리트의 흡음특성이라기 보다 내부의 다공질재에 의한 흡음이라고 생각된다.

## 4.3 판형 흡음구조

앞에서도 언급했듯이 판형 흡음구조는 저음 즉 저주파대역을 위한 흡음구조인데, 배후 공기층의 이동과변화와 배후 다공질재의 추가설치에 의한 변화에서 저주파대역의 흡음률만 약간 높아지고 별다른 효과를 주지 못하였다. 이는 판형 흡음구조가 소리를 내부로 전달하지 못해 단지 판진동에 의한 흡음만 이루어졌다.

## 5. 배후 다공질재의 유형에 따른 분석

### 5.1 배후 공기층에 의한 변화

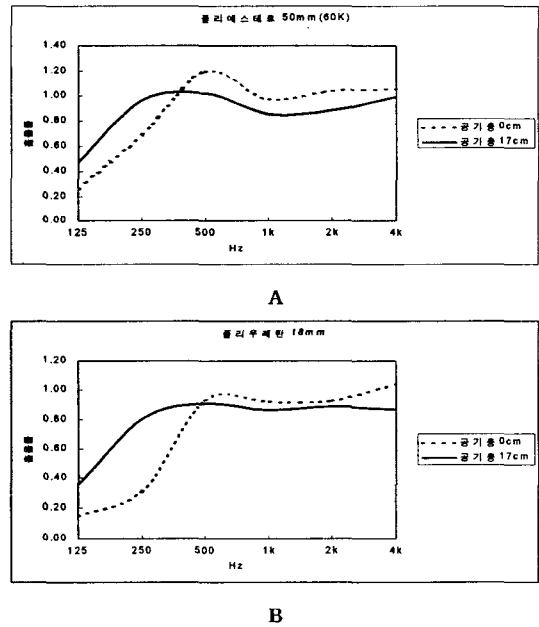


Fig 7. Change of The Back Air Layers

Fig 7의 A와 B에서 알 수 있듯이 500Hz대역에서의 산형 피크치가 저주파대역으로 이동하면서 완만해졌다. 그리고 중고주파대역의 흡음률은 약간 낮아졌지만 대체로 고르게 나타나고 있다.

## 5.2 두께와 밀도에 의한 변화

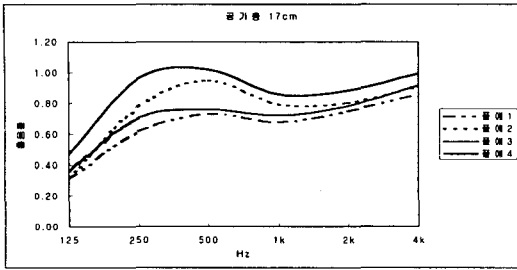
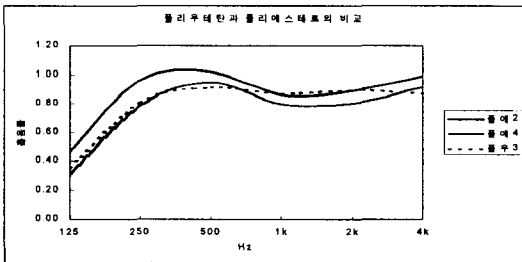


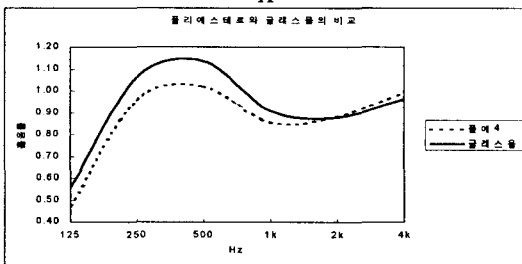
Fig 8. Change of Thickness and Density

Fig 8은 다공질재료의 두께와 밀도를 비교한 그림이다. 두께가 커질수록 그리고 밀도(비중)이 높아질수록 흡음률은 높게 나타나고 있다. 밀도가 크면 재료자체의 흐름이 저항이 커지므로 고주파대역은 약간 낮아지지만 저주파대역은 반대로 흡음률이 높아진다.

## 5.3 다공질 재료의 비교



A



B

Fig 9. comparison of Porous type

Fig 9의 A는 폴리우레탄과 폴리우레탄을 비교한 그림이다. 각 재료의 두께가 일치하지는 않지만, 재료의 흡음률 결과만으로 비교하면 폴리우레탄은 18mm로 폴리우레탄 25mm(비중60K)와 비슷한 흡음특성을 발휘하였다. 이는 폴리우레탄 자체의 밀도와 관련되어지고, 작은 두께로도 유효한

흡음효과를 낼수 있다.

## 6. 결론

가장 이상적인 흡음구조 또는 흡음재는 목적에 맞는 주파수대역의 흡음을 하는 것이다. 현실적으로 전 대역에 걸쳐서 고른 흡음구조를 가진 단일 흡음재는 존재하지 않으므로 이 연구를 통해서 저음흡음구조의 모델이 전대역에 흡음특성이 고르다는 것을 알 수 있다.

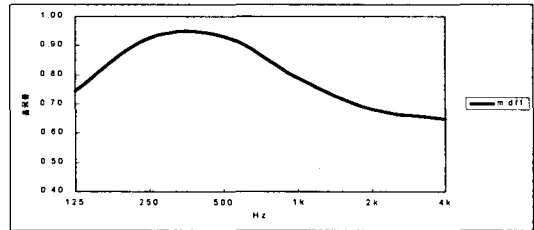


Fig 10. Absorption Specificity of Wood Perforation Board (Change of The Back An Air Layers, code name : mdf1)

Fig 10. 그림은 유공판형 흡음구조 + 폴리우레탄 50mm(비중60K) + 공기층 35cm의 흡음특성을 나타내는 그림이다. 위의 그림과 같이 복합흡음구조는 단일흡음구조의 단점인 국소적인 흡음(고주파수대역)을 보완하고, 전대역에 걸친 고른 흡음특성을 나타내고 있다.

## [ 참고 문헌 ]

- 1) 김현태, 1998, "다공성 흡음재의 흡음율에 영향을 주는 요소에 관한 고찰", 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제17권, 제2(s)호, pp. 53~56.
- 2) 김연수, 김옥희, 1994, "음향블럭의 흡음특성", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 196~201.
- 3) 차일환, 1980, 음향공학개론, 한신문화사, 서울, pp. 285~295.
- 4) 오양기, 2000, 광주광역시 신청사 대회의실의 건축음향 보완설계(설계결과보고서)
- 5) 잔향실내의 흡음률 측정방법, KS F 2805
- 6) Measurement of sound absorption in reverberation room, ISO 354