

# 흡음형 방음벽의 내부 구성에 따른 흡음특성

## Sound Absorbing Characteristics

### According to Interior Configuration of Noise Barrier

박진규\* · 김상현\* · 김관주\*\* · 박희준\*\*

Jinkyu Park\* · Sanghun Kim\* · Kwanju Kim\*\* · Heejun Park\*\*

**Key Words** : Noise Barrier(방음벽), Absorption(흡음률), 흡음특성(Absorption Characteristics)

#### ABSTRACT

This study is put a focus on the identification of sound characteristics according to the interior configuration of sound absorption material and air gap. Noise barrier is general consists of front perforated panel, air layer, sound absorption material, air gap and back plate. Noise barrier is required to the NRC value of 0.7. The absorbing performance of the noise barrier relies on the opening ratio of the perforated panel and the efficiency of the absorbing material. This study has observed the effect of opening ratio and hole size, the increase of sound absorbing performance by the configurations of sound absorption material and air gap. New designed noise barrier is achieved the acoustical performance of 0.87 the measurement in a reveration room.

#### 1. 서 론

일반적으로 방음벽은 도로, 공항, 공장 등과 같이 소음이 발생하는 장소에 소음의 감소 또는 소멸의 목적으로 설치되는 설비로서, 도로, 철로변 또는 공항의 활주로에서는 방음벽을 소음원의 이동로와 평행하게 설치하고 공장 등과 같이 폐쇄된 장소에서는 소음원을 밀폐 또는 감싸는 형태로 설치하여 외부의 소음 유출을 방지하도록 유도하고 있다. 우리나라의 경우에는 도로소음을 줄이기 위하여 차단형 방음벽보다는 흡음형 방음벽을 설치하여 도로 소음을 줄이고 있다.

기존의 방음벽은 외부에는 알루미늄의 판재를 사용하고 내부에 유리섬유 등의 흡음재와 공기층을 두어 음을 흡수시키는 역할을 하고 있다. 이러한 기존의 방음벽에서 문제시되는 것은 알루미늄 외벽의 강도와 부식, 내부 흡음재로 사용되는 유리섬유는 비에 젖거나 비산하는 등의 인체에 미치는 영향과 환경의 파손 등이다.

본 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위하여 환경 친화적인 방음벽 개발 과정에서의 흡음형 방음벽의 내부 구성에 따른 흡음특성을 살펴보고자 한다. 또한 흡음형 방음벽을 제작하기 이전에 내부 구성에 대한 흡음률 측정을 통하여 흡음형 방음벽의 최적의 성능을 갖게 하는 것이 본 연구의 목적이다.

\* 산업기술시험원

E-mail : jkpark@ktl.re.kr

Tel : (02) 880-1305, Fax : (02) 880-1356

\*\* 홍익대학교 기계시스템디자인공학부

#### 2. 흡음률과 임피던스

##### (1) 임피던스 튜브를 이용한 흡음률

두 개의 마이크로폰을 이용한 흡음률 측정은 튜브의 한 쪽 끝에 스피커로 white noise를 발생시키

고 반대편에 측정하고자 하는 시편을 설치한다. 실험 방법은 ASTM E1050을 따라 수행하였다. 임피던스 튜브 안의 마이크로폰 1번, 2번 위치에서의 음압을 각각  $p_1$ ,  $p_2$ 라 할 때,  $p_1$ ,  $p_2$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_1 = (Ae^{-jkx_1} + Be^{-jkx_2})e^{j\omega t} \quad \text{식(1)}$$

$$p_2 = (Ae^{-jkx_2} + Be^{-jkx_1})e^{j\omega t} \quad \text{식(2)}$$

여기서 A, B는 입사파, 반사파의 크기,  $x_1$ ,  $x_2$ 는 마이크로폰 1번, 2번의 위치를 말한다.

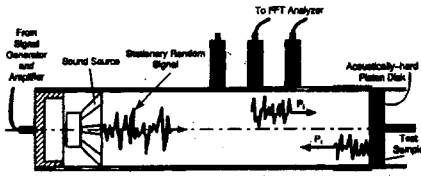


그림 1. 임피던스 튜브 장치의 구성

$p_1$ 과  $p_2$ 사이의 관계를 전달함수  $H_{21}$ 으로 정의하고 이로부터 입사파의 크기 A와 반사파의 크기 B의 비를 계산할 수 있다.

$$H_{21} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{Ae^{-jkx_2} + Be^{jkx_2}}{Ae^{-jkx_1} + Be^{jkx_1}} \quad \text{식(3)}$$

전달함수( $H_{21}$ )로부터 반사 계수(R)는

$$R = \frac{H_{21}e^{-jkx_1} - e^{-jkx_2}}{e^{jkx_2} - H_{21}e^{jkx_1}} \quad \text{식(4)}$$

흡음률( $\alpha$ )과 임피던스(Z)는 다음과 같다.

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad \text{식(5)}$$

$$\frac{Z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad \text{식(6)}$$

각 마이크로폰의 위상 불일치로 인하여 측정된 전달함수는 오차를 갖게 된다. 두 마이크로폰의 위치를 바꾸어서 다른 전달함수를 구하고, 두 개의 전달함수로부터 보정 값을 얻어내서 결과를 얻어야 한다. 두 마이크로폰에서 나온 전달 함수의 결과를 갖고 보정하는 식은 다음과 같다.

$$H_{21} = (H_{21}^o \cdot H_{21}^s)^{1/2} \quad \text{식(7)}$$

여기서  $H_{21}^o$ 는 원래의 마이크로폰으로 구한 전달함수이고  $H_{21}^s$ 는 두 마이크로폰의 위치를 바꾸어서 얻어진 전달함수이다. 식 7에서 얻어진 전달함수를 식 4에 적용하여 흡음률을 측정한다.

## (2) 타공판의 임피던스

타공판에서는 x축과 z축에서의 2차원 평면계로 나타내면 그림 2와 같으며 입사음을  $P_i$ , 반사음을  $P_r$ , 투과음을  $P_t$ 라 하면 식 8 및 식 9로 나타낼 수 있다.

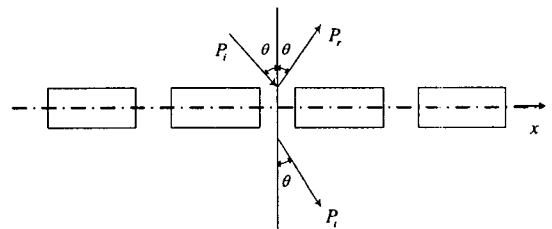


그림 2. 타공판을 통한 소리의 반사과 투과

$$p_1(x, z, t) = p_i e^{j(\omega t - k_x x - k_z z)} + p_r e^{j(\omega t - k_x x + k_z z)} \quad \text{식(8)}$$

$$p_2(x, z, t) = p_t e^{j(\omega t - k_x x - k_z z)} \quad \text{식(9)}$$

여기서  $p_1$ 과  $p_2$ 는 타공판 전,후의 입사음과 투과음에 음압을 나타낸다. 타공판 전,후의 입사속도

는 식 10, 식 11 과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_{1z} = \frac{\cos\theta}{\rho c} [p_i e^{-j(k_x x + k_z z)} - p_r e^{-j(k_x x - k_z z)}] e^{j\omega t} \quad \text{식(10)}$$

$$u_{2z} = \frac{\cos\theta}{\rho c} p_t e^{-j(k_x x + k_z z)} e^{j\omega t} \quad \text{식(11)}$$

그림 3은 타공판의 형상을 나타내는데 여기서  $r_0$ 는 타공구멍의 반지름,  $S$ 는 타공판의 전체 면적,  $S_p$ 는 타공된 면적을 나타낸다.

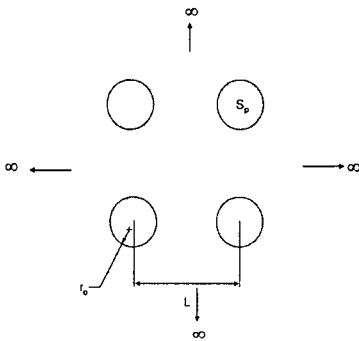


그림 3. 타공판의 구성

전체 면적대비 개구율은 식 12와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Omega_s = \frac{S_p}{S} \quad \text{식(12)}$$

식 8, 식 9, 식 10, 식 11을 통해 타공된 곳에서의 운동방정식을 적용하여 타공판의 임피던스 식을 유도하면 식 13과 같다.

$$Z_m = j\omega p h' S \quad \text{식(13)}$$

식 13에서  $h'$ 는 타공판의 효과두께로 보정값과 실제 두께의 합으로 구성된다.

## (2) 배후 공기층을 가진 흡음재 표면의 임피던스 영향

흡음재의 두께가  $d$ 이면서 배후에 공기층이 없는 경우(즉  $L=0$ )와 공기층이 있는 경우에 대해서 수직입사 흡음률은 흡음재 자체의 특성에 의한 흡음재 표면에서의 임피던스, 즉 표면 임피던스(surface impedance)는 식 14와 같다.

$$Z_s = -jZ_c \cot(\gamma d) \quad \text{식(14)}$$

흡음재의 배후에 공기층이 있을 경우에는 식 15와 같이 공기층의 임피던스를 나타낼 수 있다.

$$Z_{air} = -jZ_o \cot(\gamma L) \quad \text{식(15)}$$

흡음재 배후의 공기의 임피던스를 고려하여 흡음재에서의 표면 임피던스를 나타내면 식 16과 같이 나타내고,

$$Z_s = Z_c \frac{-jZ_{air} \cot(kd) + Z_c}{Z_{air} - jZ_c \cot(kd)} \quad \text{식(16)}$$

여기서  $Z_o = \rho_o c_o$ 로서 공기의 특성임피던스를 나타낸다. 그러면 흡음재 표면에서의 반사계수(reflection coefficient)  $R$ , 수직입사 흡음률  $\alpha$ 는 식 17, 식 18과 같은 관계가 된다.

$$R = (Z_s - Z_o)/(Z_s + Z_o) \quad \text{식(17)}$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad \text{식(18)}$$

## 3. 음향특성 실험을 통한 방음패널 내부 구조의 특성분석

성능 실험 대상인 흡음형 방음벽은 그 구성을 타공판+공기층+흡음재+공기층+후면 판재로 구성을 하였다. 흡음성능은 임피던스 튜브를 통하여 측정하였다. 흡음재는 환경친화형 흡음재의 선정에 위하여 제한된 몇 가지 샘플에 대하여 흡음재의 흡음성능 평가를 하였고, 타공판의 경우에는 타공판에서의 개구율을 대상으로 개구율에 따른 흡음성능 변화를 관찰하였다.

### (1) 흡음재의 선정

본 연구에서는 친환경 소재를 사용한 흡음재를

적용하고자 하였다. 즉 합성수지이며 재활용 대상 품이거나 재활용이 가능한 흡음재를 선정하고자 하였다.

비교 대상이 된 흡음재는 현재 개발중인 재활용 PE 흡음재 3종과 재활용이 가능한 폴리에스테르 흡음재를 대상으로 흡음률 측정하였다. 시험에 사용된 흡음재의 밀도와 두께는 동일한 것을 사용하였다. 그 결과는 그림 4와 같이 나타난다.

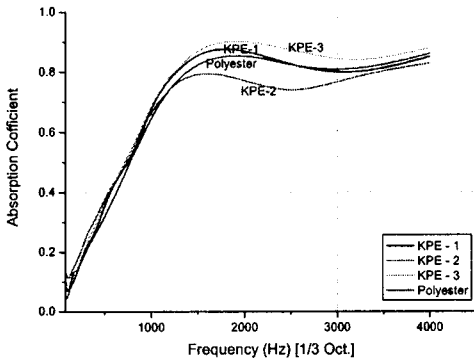


그림 4. 흡음재 종류에 따른 흡음률

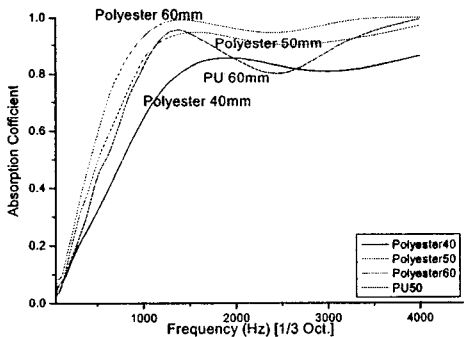


그림 5. 흡음재 두께에 따른 흡음률

밀도가 일정한 흡음재의 두께에 따른 영향을 살펴보기 위하여 흡음재의 두께를 40mm, 50mm, 60mm에 대해서 측정한 흡음률 결과는 그림 5와 같다.

## (2) 타공판의 개구율 선정 및 타공지름 선정

타공판의 개구율은 면적의 변화로 표시를 한다. 타공판의 개구율에 따라서 음향학적으로 흡음률의

많은 변화를 일으킨다. 타공판의 개구율이 5% 미만일 경우에는 Helmholtz 공명기와 같은 특성을 나타내며 흡음재를 적용하지 않아도 저주파수의 흡음률을 높이는데 사용할 수 있다.

본 연구에서는 방음벽의 전면을 구성하는 타공판의 타공율의 변화와 타공의 크기의 변화에 따른 영향을 관찰해 보았다.

타공지름의 크기가 4mm이고, 흡음재 전면에 타공판이 부착되어 개구율이 변화할 때의 흡음률을 살펴보면 그림 6과 같다.

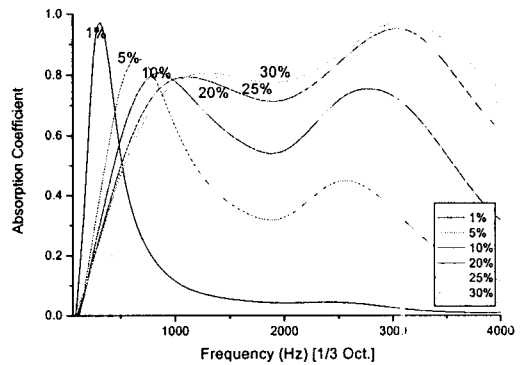


그림 6. 타공율에 따른 흡음률의 변화

개구율에 따른 흡음률의 변화를 살펴보면 개구율이 25% 이상부터는 흡음률의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

다음은 타공판의 타공율을 25%로 고정하고 타공판의 타공지름을 2mm부터 6mm까지 증가시키면서 타공 지름에 따른 흡음률 변화를 살펴보았다. 타공지름이 증가함에 따라서 흡음률은 거의 유사하지만 2.5kHz 영역에서의 흡음률은 타공지름이 증가함에 따라서 작은 차이지만 감소하는 것을 알 수 있다.(그림 7)

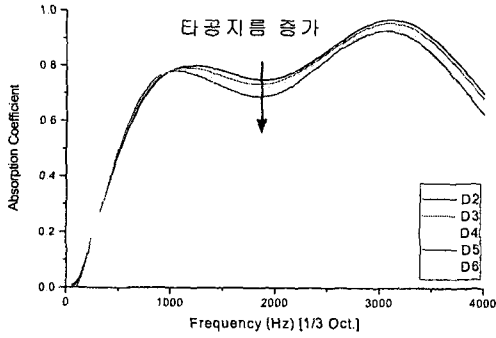


그림 7. 타공지를 증가에 따른 흡음률 변화

그림 7을 살펴보면 타공율이 25% 이고 타공지름 2mm~6mm 사이로 구성이 될 때 흡음률의 차이는 거의 없다.

### (3) 타공판 후면의 공기층에 의한 흡음재에 의한 흡음률

그림 8은 타공판, 공기층, 흡음재 구성에 따른 흡음률을 나타낸다. 타공판의 타공율은 25%로 흡음재의 두께는 60mm로 고정하고 공기층의 변화를 5mm부터 50mm까지 변화하면서의 흡음률을 측정하였다.

공기층의 넓어질수록 공기층 안에서의 음장 형성으로 인하여 피크값이 저주파수로 이동하는 것을 알 수 있다.

실험 결과 저주파수의 흡음률을 높이기 위하여 타공판 후면의 공기층이 30mm 이상은 됨이 적합함을 알 수 있었다.

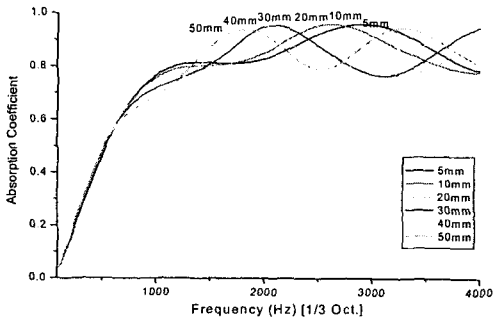


그림 8. 타공판 후면 공기층 두께에 따른 흡음률

### (4) 흡음재 후면의 공기층의 영향

그림 9는 흡음재 후면의 공기층의 영향을 살펴보기 위하여 두께 60mm 흡음재 후면에 존재하는 공기층의 두께 변화에 따른 흡음률을 살펴보았다.

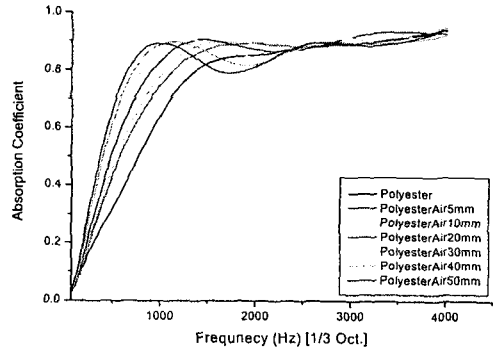


그림 9. 흡음재 후면의 공기층 변화에 따른 흡음률

흡음재 배후의 공기층이 존재하는 경우 저주파수의 흡음률은 높아지지만 부분적으로 낮아지는 영역이 발생한다. 이것은 공기층의 영향으로 인하여 낮아지는 영역이 나타나는 것이다. 흡음재 배후의 공기층의 두께가 증가할수록 저주파수의 흡음률은 증가함을 알 수 있다.

합성수지를 이용한 흡음형 방음벽은 타공판, 공기층, 흡음재, 공기층 구성을 갖는 구조를 갖게 된다. 타공판과 흡음재 후면의 공기층으로 인한 저주파수의 흡음률 보강을 통해서 흡음성능이 우수한 흡음형 방음패널을 개발하고자 한다.

### (5) 방음벽의 구성에 따른 흡음률 측정 결과

합성수지를 이용한 방음벽의 구조는 타공판+공기층+흡음재+공기층+후면판의 구성을 갖게 된다. 흡음재 전 후면의 공기층을 50mm로 흡음재의 두께를 40mm, 50mm, 60mm 로 변화하면서 임피던스 튜브를 통하여 흡음률을 측정하였다. 그림 10을 살펴보면 흡음재의 두께가 40mm일 때는 NRC(250 Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz 에서의 흡음률 평균값)0.52, 50mm일 때는 NRC 0.61, 60mm일 때는 NRC 0.7을 갖게 된다.

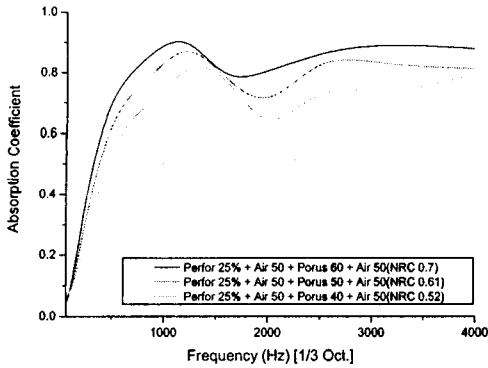


그림 10. 내부 흡음재 두께 변화에 따른 흡음률

#### (6) 방음벽의 잔향실법에 의한 흡음률 실험

합성수지를 이용한 방음벽의 구조를 타공판(25% 개구율)+공기층(50mm)+흡음재(60mm)+공기층(50mm)+후면판(3mm)으로 구성을 하였다. 그림 11은 이러한 방음벽에 대해서 잔향실법에 의한 흡음률 측정하였고, 기존의 알루미늄 방음벽의 흡음성능과 비교하였다.

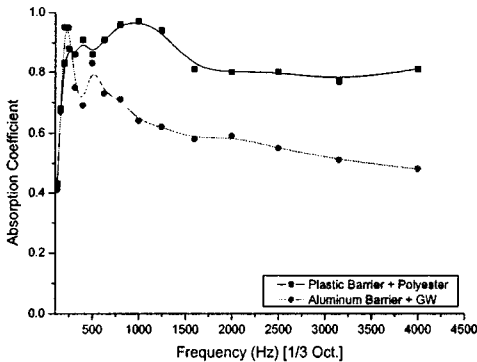


그림 11. 잔향실법에 의한 흡음률 비교

본 실험을 통하여 적절한 타공율, 공기층, 흡음재의 두께를 통한 최적 설계 결과 기존 방음벽의 흡음성능 보다 우수한 방음벽의 설계를 하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 흡음형 방음벽을 설계하기 위하여 우선 전면부 타공판의 개구율을 결정하였다. 타공율이 작을 때는 Helmholtz 공명기와 같이 배후의 흡음재의 영향이 거의 없이 저주파수의 흡음률을 높일 수 있었지만, 흡음형 방음벽의 전면 타공판은 가능한 많은 음을 통과시키는 목적이 있으므로 개구율이 25% 이상이 되어 함을 알 수 있었다. 저주파수 영역에서의 흡음률을 높이기 위하여 흡음재 전, 후면에 공기층을 삽입하였다. 흡음재의 경우에는 두께 60mm 이상의 흡음재를 적용하여 방음벽의 흡음성능이 NRC 0.7 이상을 만족할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 과기부에서 지원하는 엔지니어링 핵심 공동기술개발 사업의 지원으로 연구되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 환경부 고시 제 1998-150호, 방음시설의 성능 및 설치기준, 제2장 방음벽의 음향성능 및 재질
- (2) F. J. Fahy, D. G. Ramble, J. G. Walker, 1995, "Development of a Novel Modular Form of Sound Absorbent Facing for Traffic Noise Barriers", Applied Acoustics. 44, pp. 39-51
- (3) Kuo-Tsai Chen, 1996, "Study on the Acoustics Transmission Loss of a Rigid Perforated Screen", Applied Acoustics. Vol. 47, pp. 303-318
- (4) K. U. Ingard, 1994, Notes on Sound Absorption Technology"
- (5) Frank Fahy, 2001, "Foundations of Engineering Acoustics", Academy Press, New York
- (6) 김 경우 등, 2002, "흡음재 구성방법에 따른 방음벽의 흡음특성에 관한 연구", 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 1222-1227.