



## 노후 방음벽의 리모델링을 위한 타공형 리모델링 패널의 흡음성능 평가

### *Evaluation of the Sound Absorption Performance of Perforated Remodeling Panel for the Remodeling of Deteriorated Noise Barrier*

윤제원\* · 장태순\*\*

Yoon, Je-Won\* · Chang, Tae-Sun\*\*

\* Corresponding author, Unison Technology Co. Ltd., South Korea (jwoon@unisonstg.com)

\*\* Korea Expressway Corporation Research Institute, South Korea (tschang@ex.co.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study is to evaluate the sound absorption performance for the field application of perforated remodeling panel installed for remodeling of deteriorated absorptive soundproofing panel. **Method:** In order to evaluate the sound absorption performance of remodeling panel, the sound absorption performance of the double layer sound absorbing system attached with the perforated remodeling panel was predicted using 4 pole parameter, and the sound absorption coefficient was measured in reverberation room. And the evaluation of the sound absorption performance for the field application of the perforated remodeling panel was conducted through various design parameter analysis. **Result:** The perforated rate of the perforated remodeling panel should be at least 20% so that the sound absorption performance did not deteriorate even at a high frequency component of 4 kHz or more. In addition, the thickness of the air layer and the airflow resistivity of the polyester installed in place of the air cavity hardly affected the sound absorption performance. And, sound absorption performance can be improved even with high frequency components by installing a sound absorption materials between the deteriorated absorptive soundproofing panel and the perforated remodeling panel having more than 20% perforated rate.

#### KEYWORD

노후 방음벽  
타공형 리모델링 패널  
흡음계수

Deteriorated Noise Barrier  
Perforated Remodeling Panel  
Absorption Coefficient

#### ACCEPTANCE INFO

Received May 24, 2018  
Final revision received June 26, 2018  
Accepted June 30, 2018

© 2018 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

도로에서 발생하는 소음을 저감시키기 위해 설치되는 방음벽은 Fig. 1.과 같이 시간이 경과함에 따라 햇빛 및 제설 작업 등과 같은 원인으로 인해 노화가 진행되어 도로 경관을 훼손할 뿐만 아니라 도로에 인접하여 거주하는 사람들에게 심각한 안전 문제가 우려되기도 한다. 그러나, 노후 방음벽 중에는 구조적인 결함이 없고 단지 전면판의 노화에 따른 미관 요소만 저하된 현장도 많이 있다. 이러한 경우 단지 미관 개선을 위해 신규 방음판으로 교체하는 것은 경제적인 측면에서 바람직하지 않으며, 특히 고속도로 주변에 설치되는 비율이 강판이나 플라스틱에 비해 상대적으로 높은 알루미늄 방음판으로 교체하는 경우에는 제품 생산 시 다른 재질에 비해 탄소 배출량이 약 2배 정도로 높아 환경문제도 초래하게 된다 [1,2].

따라서, 구조적인 결함이 없는 노후 방음벽의 경우에는 미관 개선을 위해 노후 방음판을 신규 방음판으로 교체하는 대신에 리모델링 패널을 이용하여 기존 노후 방음벽 전면에 추가하여 설치하는 리모델링 방안이 Fig. 2.와 같이 시도되어지고 있다. 그러나, 흡음형 방음

판에 리모델링 패널을 설치하는 경우에는 기존 노후 방음판의 흡음 성능 저하가 발생하지 않도록 음향적인 요소를 고려하여 설치해야 하지만 아직까지 별도의 설치 지침이 없어 대부분 미관적인 요소만을 고려하고 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 노후된 흡음형 방음판의 리모델링을 위해 설치하는 여러 가지 방안 중에서 타공형 리모델링 패널의 현장 적용을 위한 흡음성능 평가를 수행하고자 한다.



Fig. 1. Deteriorated noise barrier

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 4단자 정수(four-pole parameter)를 이용하여 타공형 리모델링 패널이 부착된 이중 흡음시스템에 대한 흡음성능을 예측하고, 잔향실에서 흡음계수 측정을 수행하고자 한다. 그리고, 다양한 설계인자의 분석을 통하여 타공형 리모델링 패널의 현장 적

용을 위한 음향성능평가를 수행하고자 한다.

아울러 본 연구의 범위는 미관 개선을 위해 설치하는 리모델링 패널의 형태를 타공형으로 한정하였으며, 반사형 및 Fig. 1.과 같은 겔러리형 판넬은 본 연구에서 제외하였다.



Fig. 2. Remodeling of deteriorated noise barrier

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. 잔향실법 흡음계수 측정방법

잔향실(reverberation room)에서의 흡음계수( $\alpha$ )는 (식 1)과 같이 방음판 설치 전·후의 잔향시간 측정결과를 이용하여 구할 수 있다 [3]. 그리고, 흡음계수 측정결과를 (식 2)와 같이 소음저감성능(NRC, Noise reduction coefficient)를 이용하여 단일값으로 나타낼 수 있다. 식에서  $T_2$  및  $T_1$ 은 각각 방음판 설치 전·후의 잔향시간(s),  $V$ 는 잔향실 체적( $m^3$ ),  $S$ 는 방음판의 설치 면적( $m^2$ ),  $c$ 는 음속( $m/s$ )을 의미한다.

$$\alpha = \frac{55.3V}{cS} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \dots\dots\dots (식1)$$

$$NRC = \frac{\alpha_{250Hz} + \alpha_{500Hz} + \alpha_{1kHz} + \alpha_{2kHz}}{4} \dots\dots\dots (식2)$$

참고로, 잔향실 측정방법은 음파가 3차원으로 전파되는 확산 음장(diffuse field)에서의 난입사(random incidence) 조건이며, 4단자 정수를 이용한 흡음률 예측은 1차원으로 전파되는 수직입사(normal incidence) 조건이므로 두 경우의 흡음성능 측정결과를 상호간에 절대적인 값으로 비교할 수는 없다.

### 2.2. 4단자 정수를 이용한 흡음시스템의 흡음률 예측

Fig. 3.과 같이 1차원 음향시스템을 구성하는 각 음향요소의 특성은 입출구단의 음압( $P_1, P_n$ ) 및 전달행렬( $T_n$ )을 이용하여 (식 3)과 같이  $[2 \times 2]$  전달행렬 요소인 4단자 정수로 표현 가능하다. 그리고, 음향 시스템의 출구단이 무반사 조건(anechoic condition)인 경우 (식 6)과 같이 전달행렬 요소로부터 반사계수( $R_{ref}$ )를 구한 후 (식 7)

과 같이 수직입사 흡음률( $\alpha$ )을 계산할 수 있다 [4]. 예를 들어, Fig. 4.와 같이 (타공판+공기층+타공판+흡음재)로 구성된 이중 흡음시스템을 4단자 정수로 표현하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다 [5]. 이때, 타공판의 음향임피던스( $Z_p$ , acoustic impedance)는 (식 4)와 같이 타공판의 두께 및 타공률을 이용하여, 그리고 흡음재의 음향특성을 정의하는 특성임피던스( $Z_c$ , characteristic impedance) 및 전파상수( $\gamma$ , propagation constant)는 (식 5)와 같이 유동저항( $\Omega$ , airflow resistivity,  $Pa \cdot s/m^2$ )을 이용하여 계산할 수 있다 [4, 6]. 식에서, 첨자 '1' 및 '2'는 순차적으로 소음원으로부터 가까운 지점을 의미하며,  $\rho$ 는 공기 밀도( $kg/m^3$ ),  $\rho_m$ 은 흡음재 밀도( $kg/m^3$ ),  $k$ 는 파수(wave number),  $\omega$ 는 각주파수( $=2\pi f$ ),  $d_s$ 는 흡음재의 두께(m),  $A_g$ 는 공기층의 두께(m),  $\sigma$ 는 타공판의 타공률(%),  $f$ 는 주파수(Hz),  $t$ 는 타공판의 두께(m),  $d_p$ 는 타공판의 타공 지름(m)을 의미한다. 또한, (식 4)에서 흡음재의 특성임피던스 및 전파상수를 정의하는 해당 상수는 Table 1., (식 5)에서 유동저항을 정의하는 해당 상수는 Table 2.와 같고, 흡음재의 종류를 구분하여 식에 적용한다 [6].

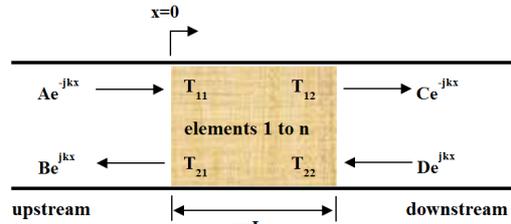


Fig. 3. Transfer matrix representation of an acoustic system



Fig. 4. Absorption system (perforated plate + air gap + perforated plate + sound absorbing materials)

$$P_1 = T_n P_n, T_n = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (식3)$$

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_{p1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(kA_g) & (j\rho c)\sin(kA_g) \\ (j/\rho c)\sin(kA_g) & \cos(kA_g) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_{p2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cosh(\gamma d) & Z_c \sinh(\gamma d) \\ \sinh(\gamma d)/Z_c & \cosh(\gamma d) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (식4)$$

$$Z_p = (7.337 \times 10^{-3})/\sigma + j[2.8919 \times 10^{-5} f(1 + 51t)(1 + 204d_p)]/\sigma$$

$$Z_c = R + jX, \quad \gamma = \alpha + j\beta$$

$$R = \rho c [1 + C_1 (\frac{\rho f}{\Omega})^{-C_2}], \quad X = -\rho c [C_3 (\frac{\rho f}{\Omega})^{-C_4}]$$

$$\alpha = \frac{w}{c} [C_5 (\frac{\rho f}{\Omega})^{-C_6}] , \beta = \frac{w}{c} [1 + C_7 (\frac{\rho f}{\Omega})^{-C_8}]$$

$$\Omega = A \rho_m^B \dots\dots\dots (식5)$$

$$R_{ref} = \frac{T_{11} + T_{12} - T_{21} - T_{22}}{T_{11} + T_{12} + T_{21} + T_{22}} \dots\dots\dots (식6)$$

$$\alpha = 1 - |R_{ref}|^2 \dots\dots\dots (식7)$$

Table 1. Coefficient for the calculation of characteristic impedance and propagation constant

Coefficient	Material type	
	Rockwool / Fiberglass	Polyester
C1	0.057	0.078
C2	0.754	0.623
C3	0.087	0.074
C4	0.732	0.660
C5	0.189	0.159
C6	0.595	0.571
C7	0.098	0.121
C8	0.700	0.530

Table 2. Coefficient for the calculation of airflow resistivity

Coefficient	Material type	
	Rockwool / Fiberglass	Polyester
A	2.920	25.989
B	1.530	1.404

### 3. 흡음성능 예측

리모델링 패널의 음향특성을 분석하기 위해 Fig. 5와 같이 타공판 및 흡음재로 구성된 단일(타공판+흡음재) 흡음시스템 및 이중(타공형 리모델링 패널+공기층+타공판+흡음재 또는 '타공형 리모델링 패널+흡음재+타공판+흡음재') 흡음시스템에 대한 음향성능 예측을 수행하였다.

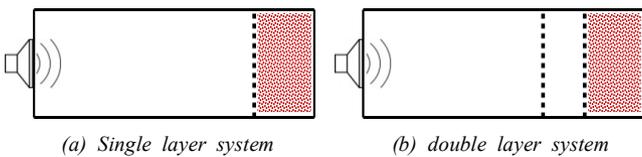


Fig. 5. Prediction model of sound absorption performance

우선, 기존 연구에 의하면 타공판과 흡음재로 구성되는 단일 흡음시스템의 경우 타공판의 타공률이 20% 이상 확보되어야 후면부의 흡음재에 의한 흡음성능이 확보됨을 언급한 바 있다 [7]. 따라서, 이를 검토하기 위해 단일 타공판 및 흡음재로 구성되는 단일 흡음시스템에서 타공판의 타공률 변화에 따른 흡음성능을 예측하였다. 해석을 위한 타공판의 두께는 0.8 mm, 타공 지름은 6 mm, 흡음재의 두께는 50 mm, 흡음재의 밀도는 64 kg/m<sup>2</sup>으로 가정하였고, 타공판의 타공률은 5~40%까지 5% 간격으로 예측하였다. 그리고, 흡음성능에 대한 단일값은 10~3,200 Hz까지 10 Hz 간격으로 예측한 흡음률 값을 전체 주파수에 대해 산술평균하여 나타내었다. 단일 흡음시스템에 대한 예측결과를 Table 3. 및 Fig. 6.에 나타내었는데, 타공판

의 타공률이 10% 이하인 경우에는 공명주파수에서 뚜렷하게 피크를 나타내는 흡음특성을 갖는 반면에 타공률이 20% 이상인 경우에는 비교적 넓은 주파수 범위에서 고른 흡음성능을 갖는 것으로 예측되었다. 또한, 타공률이 20% 이상부터는 단일평균값으로 평가 시 타공률 변화에 따른 흡음성능의 차이가 크지 않은 것으로 분석되어 기존 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

추가적으로, 본 논문에서는 이중 흡음시스템에 대한 흡음성능을 예측하기 위해 리모델링 패널을 단일 흡음시스템에 20 mm의 공기층을 두고 전면에 설치하는 경우를 고려하였다. 해석조건은 단일 흡음시스템의 타공판에 대한 타공률은 40%로 고정시킨 후 리모델링 패널의 타공률을 5~40%까지 5% 간격으로 변경하였고, 리모델링 패널의 두께 및 타공 지름은 단일 흡음시스템 예측 시와 동일한 입력값을 적용하였다. 이중 흡음시스템에 대한 흡음성능 예측결과를 Table 4. 및 Fig. 7.에 나타내었는데, 단일 흡음시스템의 경우와 마찬가지로 리모델링 패널의 타공률이 10% 이하인 경우에는 공명주파수에서 뚜렷하게 피크를 나타내는 흡음특성을 갖는 반면에, 타공률이 20% 이상인 경우에는 비교적 넓은 범위에서 고른 흡음성능을 갖는 것으로 예측되었다. 또한, 타공률 20%의 단일 흡음시스템에 대한 평균흡음률이 0.70임을 고려하면 이 값보다 높은 흡음성능을 갖기 위해서는 타공형 리모델링 패널의 타공률은 최소 20% 이상이어야 할 것으로 판단된다.

또한, 단일 흡음시스템(방음판) 전면에 공기층을 두고 설치하는 리모델링 패널의 경우, 공기층 변화에 따른 흡음성능을 예측하기 위해 방음판과 리모델링 패널 사이의 공기층 두께를 10~50 mm까지 10 mm 간격으로 변경해 가며 흡음성능 예측을 수행하였다. 해석 시 공기층을 제외한 기타 입력값은 모두 이전과 동일하게 적용하였고, 방음판 및 리모델링 패널의 타공률은 모두 40%로 고정하였다. 흡음성능 예측결과를 Table 5. 및 Fig. 8.에 나타내었는데, 공기층이 증가할수록 흡음성능의 피크값이 기존 선행 연구와 동일하게 고주파에서 점차 저주파로 이동하고 있음을 알 수 있으며 [8], 공기층이 20 mm인 경우가 가장 높은 흡음성능을 갖는 것으로 분석되었다. 참고로, 공기층 두께를 상기와 같이 정한 이유는 현장에서 사각 파이프 등을 이용하여 리모델링 패널을 고정하게 되는데 이때 형성되는 공기층이 대부분 50 mm 이내이기 때문이다.

또한, 이중 흡음시스템에서 공기층 대신에 흡음재를 삽입하는 경우에 대한 흡음성능을 예측하기 위해 단일 흡음시스템에서 적용한 입력값을 모두 동일하게 적용하되 공기층 대신에 두께 20 mm의 흡음재로 교체하여 해석을 수행하였고, 그 결과를 Table 6. 및 Fig. 9.에 나타내었다. 해석결과, 공기층 대신에 흡음재를 삽입하는 경우 흡음성능이 평균적으로 약 0.07 정도 개선되는 것으로 분석되었다.

또한, 다양한 밀도의 흡음재 설치를 고려하기 위해 공기층 대신에 설치되는 흡음재의 유동저항 변화에 따른 흡음성능 예측을 수행하여 Table 7. 및 Fig. 10.에 해석결과를 나타내었다. 해석 시 공기층 대신에 설치되는 20 mm 두께의 폴리에스터 흡음재에 대한 유동저항을 제외한 기타 입력값은 모두 이전과 동일하게 적용하였고, 방음판 및 리모델링 패널의 타공률은 40%로 고정하였으며, 폴리에스터 흡음재의 유동저항은 1,000~5,000까지 1,000 간격으로 변경하였다. 흡음성능 예측결과, 흡음재의 유동저항 변화에 따른 흡음성능 변화

는 거의 없는 것으로 분석되었다. 참고로, 노후 방음벽의 리모델링 시에 사용되는 흡음재는 거의 대부분 폴리에스터를 사용하는데, 폴리에스터 흡음재의 유동저항은 밀도 및 두께에 따라 달라지며 고밀도(100K 이상)의 흡음 보드판을 제외하면 대부분이  $5,000 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}^2$  이하의 값을 갖는 것으로 조사되었다 [6].

Table 3. Averaged value of predicted absorption coefficient of single layer absorption system(perforated plate + sound absorbing materials)

Perforated rate( $\sigma$ ) [%]	5	10	15	20	25	30	35	40
Averaged value	0.37	0.56	0.65	0.70	0.72	0.74	0.75	0.75

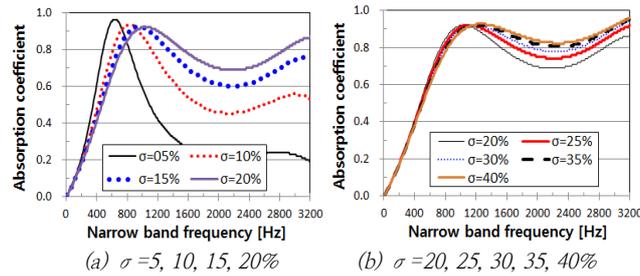


Fig. 6. Predicted absorption coefficient of single layer absorption system(perforated plate + sound absorbing materials)

Table 4. Averaged value of predicted absorption coefficient of double layer absorption system(RP(remodeling panel) + air gap(20T) + perforated plate + sound absorbing materials)

Perforated rate( $\sigma$ ) of remodeling panel [%]	5	10	15	20	25	30	35	40
Averaged value	0.37	0.59	0.69	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78

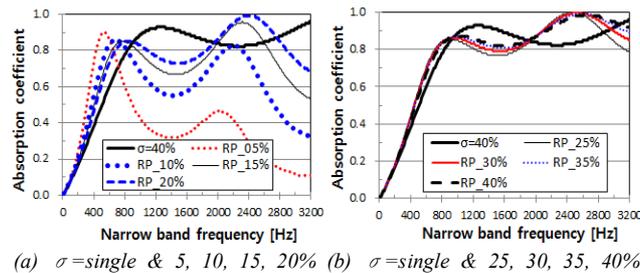


Fig. 7. Predicted absorption coefficient of double layer absorption system(RP(remodeling panel) + air gap(20T) + perforated plate + sound absorbing materials)

Table 5. Averaged value of predicted absorption coefficient of double layer absorption system(RP(remodeling panel) + air gap(10-50T) + perforated plate + sound absorbing materials)

Air gap between remodeling panel and soundproofing panel [mm]	10	20	30	40	50
Averaged value	0.75	0.78	0.76	0.73	0.71

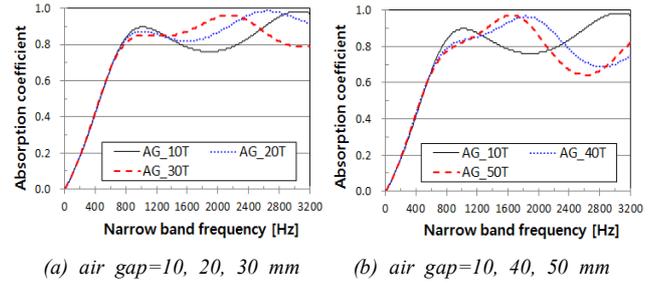


Fig. 8. Predicted absorption coefficient of double layer absorption system(RP(remodeling panel) + air gap(10-50T) + perforated plate + sound absorbing materials)

Table 6. Averaged value of predicted absorption coefficient of double layer absorption system(RP(remodeling panel) + sound absorbing materials(20T) + perforated plate + sound absorbing materials)

Perforated rate( $\sigma$ ) of remodeling panel [%]	5	10	15	20	25	30	35	40
Averaged value	0.43	0.65	0.76	0.80	0.83	0.84	0.84	0.85

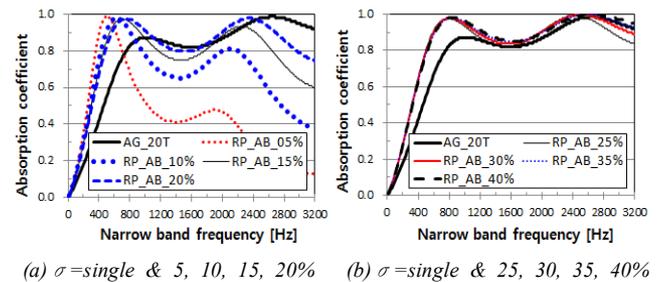


Fig. 9. Predicted absorption coefficient of double layer absorption system(RP(remodeling panel) + sound absorbing materials(20T) + perforated plate + sound absorbing materials), RP\_AB : with sound absorbing materials

Table 7. Averaged value of predicted absorption coefficient of double layer absorption system according to airflow resistivity of sound absorbing materials

airflow resistivity( $\Omega$ ) [ $\text{Pa} \cdot \text{s/m}^2$ ]	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
Averaged value	0.80	0.81	0.82	0.83	0.83

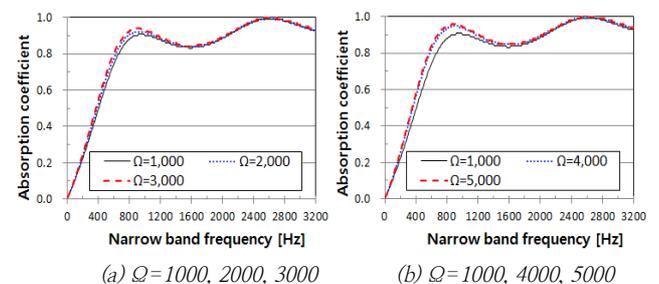
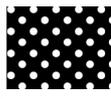
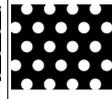
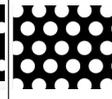
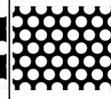


Fig. 10. Predicted absorption coefficient of double layer absorption system according to airflow resistivity of sound absorbing materials

### 4. 흡음성능 측정 및 분석

타공형 리모델링 패널의 타공률 및 공기층 변화에 따른 흡음계수 측정 및 분석을 위해 225 m<sup>3</sup>의 체적을 갖는 잔향실에서 10 m<sup>2</sup>의 신규 및 손상 방음판을 설치하여 측정을 수행하였다. 여기서, 손상 방음판이란 신규 흡음형 알루미늄 방음판 내부의 흡음재를 인위적으로 40% 제거한 방음판을 의미하며, 흡음재가 손상되었다고 가정된 노후 방음판의 흡음성능을 파악하기 위해 측정에 포함시켰다. 그리고, Table 8.과 같이 신규 흡음형 방음판과 리모델링 패널 사이에 설치하는 흡음재는 폴리에스터(24K, 20T)를 사용하였고, 금속재(아연도 강판) 타공형 리모델링 패널은 두께가 0.8 mm이고, 타공률이 각각 14, 23, 33, 46%인 타공판을 사용하였다. 음원은 스피커를 이용하여 백색잡음을 발생시켰고, 흡음계수는 1/3 옥타브밴드 중심주파수로 분석하였으며, 신규 방음판 상부에 공기층을 10 및 20 mm로 바꾸어가며 설치하였다. 그리고, Fig. 11.과 같이 4개의 마이크로폰을 설치하여 잔향시간을 동시에 측정하되, 스피커의 위치를 S1에서 S3로 바꾸어 가며 측정을 수행하였다. 그리고, 흡음계수 측정을 위한 시험체는 Table 9.와 같이 구성하였는데, 우선 신규 방음판 및 손상 방음판에 대한 흡음계수를 측정하였고, 리모델링 패널의 타공률 및 공기층 변화, 또한 신규 및 손상 방음판 상부에 흡음재 추가 설치 시에 대한 흡음계수 변화를 측정· 분석하였다. 측정에 사용한 주요 장비 사양은 Table 10.과 같다.

Table 8. Specification of test specimen

Item	New Soundproofing panel	Perforated rate( $\sigma$ ) of perforated plate	Sound absorbing material	
Description	Absorptive aluminum panel	4 types(0.8T) (14, 23, 33, 46%)	Polyester (24K, 20T)	
Perforated plate	14% (3 $\Phi$ , 10p)	23% (5 $\Phi$ , 10p)	33% (6 $\Phi$ , 10p)	46% (5 $\Phi$ , 7p)
Description				

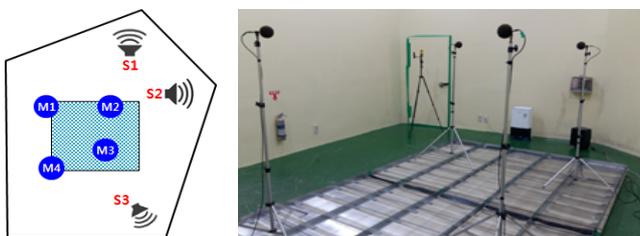


Fig. 11. Measurement setup

Table 9. Measurement cases in reverberation room

Case	Description of measurement cases
Case01	New Aluminum soundproofing panel
Case02	New Aluminum soundproofing panel + Air gap(20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 46%)
Case03	New Aluminum soundproofing panel + Air gap(10T) + Remodeling panel(Perforated rate : 33%)

Case	Description of measurement cases
Case04	New Aluminum soundproofing panel + Air gap(20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 33%)
Case05	New Aluminum soundproofing panel + Air gap(20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 23%)
Case06	New Aluminum soundproofing panel + Air gap(10T) + Remodeling panel(Perforated rate : 14%)
Case07	New Aluminum soundproofing panel + Air gap(20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 14%)
Case08	New Aluminum soundproofing panel + sound absorbing materials (24K,20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 46%)
Case09	New Aluminum soundproofing panel + sound absorbing materials (24K,20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 14%)
Case10	Old Aluminum soundproofing panel (40% removal of absorbing material inside the new aluminum soundproofing panel)
Case11	Old Aluminum soundproofing panel + sound absorbing materials (24K,20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 46%)
Case12	Old Aluminum soundproofing panel + sound absorbing materials (24K,20T) + Remodeling panel(Perforated rate : 14%)

Table 10. Test instruments

Item	FFT Analyzer	Microphone	Speaker
Description	B&K Pulse 3560C	PCB 50mV/Pa	Look Line DL-302

우선, Table 11.은 각 시험체 종류별 흡음계수 측정결과를 산술평균값 및 소음저감성능(NRC)으로 정리하여 나타낸 것이다. 산술평균값은 160~5k Hz까지 측정한 1/3옥타브밴드 중심주파수별 흡음계수 측정결과를 산술평균하여 나타낸 값이다.

Fig. 12.의 (a)에는 신규(Case01) 및 손상(Case10) 방음판에 대한 흡음계수 측정결과를 나타낸 것으로, 흡음률의 산술평균값으로 각각 0.70 및 0.49로 측정되었다. Fig. 12.의 (b)에는 서로 다른 타공률을 갖는 리모델링 패널을 신규 방음판 상부에 공기층 20 mm를 두고 설치하는 경우에 대한 흡음계수 측정결과를 나타낸 것으로, 리모델링 패널의 타공률에 따른 흡음계수의 차이가 거의 없으나 타공률이 14%인 Case07의 경우 흡음률의 산술평균값이 가장 낮은 0.68임을 감안하면 타공형 리모델링 패널의 타공률은 최소 20% 이상이어야 할 것으로 판단되며, 이는 Table 4.에서 검토된 내용과 유사한 결론임을 알 수 있다. Fig. 12.의 (c)에는 동일한 타공률을 갖는 리모델링 패널을 신규 방음판 상부에 설치하되 공기층 두께가 각각 10 및 20 mm인 경우에 대한 측정결과를 나타낸 것으로, 흡음성능의 차이가 거의 발생하지 않고 있다. 이는 Table 5.에서 검토된 내용과 약간 상이한데, 이것은 예측 시에는 리모델링 패널과 방음판이 완전히 밀착되어 타공된 부분으로만 소음이 유입된다고 가정되나, 실제로는 완전 밀착이 어려우므로 상호간의 틈새로 소음이 유입되어 공기층 효과가 명확하게 나타나고 있지 않기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 12.의 (d)에는 리모델링 패널과 신규 방음판과의 사이에 흡음재를 삽입하여 설치하는 경우에 대한 측정결과를 나타낸 것으로, 흡음계수가 전체적으로 향

상되어지며 이는 Table 6.에서 검토된 내용과 유사한 결론임을 알 수 있다. 추가적으로, Fig. 12.의 (e)~(f)에는 리모델링 패널의 타공률이 각각 46%와 14%인 경우에 대한 흡음계수 측정결과를 나타낸 것으로, 타공률이 낮으면 특히 4 kHz 부근의 고주파성분에서 흡음성능도 다소간 저하되고 있음을 알 수 있으며, 이는 Fig. 7. 및 Fig. 9.에서 검토된 내용과 유사한 결론임을 알 수 있다.

Fig. 13.은 손상 방음판과 리모델링 패널 사이에 흡음재를 삽입하여 설치하는 경우에 대한 측정결과를 손상 방음판만 설치하는 경우와 비교하여 나타낸 것으로 전체적으로 흡음성능이 향상됨을 알 수 있다. 따라서, 방음판 내부의 흡음재 손상으로 인해 흡음률이 현저히 저하된 노후 방음판의 경우, 타공률이 최소 20% 이상인 리모델링 패널과 노후 방음판 사이에 흡음재를 설치하면 노후 방음판의 흡음성능을 고주파 영역까지도 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 11. Measurement results of absorption coefficient in reverberation room

Case	Case01	Case02	Case03	Case04	Case05	Case06
Averaged value	0.70	0.71	0.69	0.69	0.70	0.69
NRC	0.77	0.77	0.74	0.76	0.75	0.77

Case	Case07	Case08	Case09	Case10	Case11	Case12
Averaged value	0.68	0.84	0.74	0.49	0.71	0.71
NRC	0.75	0.90	0.84	0.54	0.76	0.77

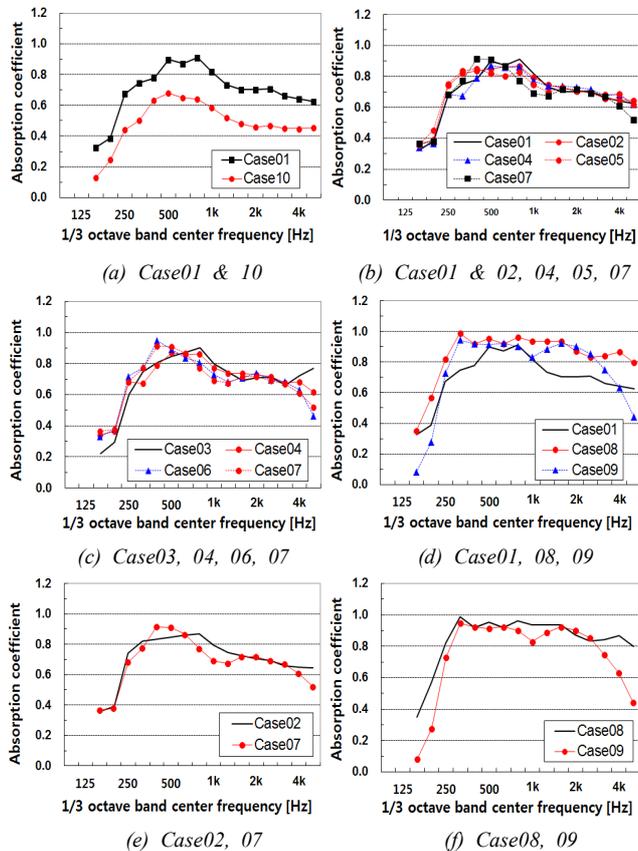


Fig. 12. Measurement results of absorption coefficient in reverberation room

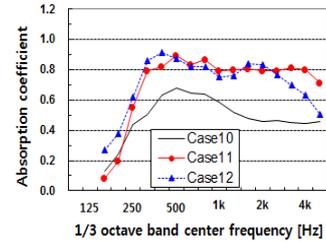


Fig. 13. Measurement results of absorption coefficient for old aluminum soundproofing panel(Case10, 11, 12)

### 5. 결론

본 논문에서는 노후된 흡음형 방음판의 리모델링을 위해 설치하는 타공형 리모델링 패널의 현장 적용을 위한 흡음성능 평가를 수행하였으며, 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 기존 방음판에 비해 4 kHz 이상의 고주파성분까지도 흡음성능의 저하가 발생하지 않기 위해서는 타공형 리모델링 패널의 타공률은 최소 20% 이상이 요구된다.
- 2) 리모델링 패널 설치 시 기존 노후 방음판과 형성되는 공기층 두께가 일반적으로 최대 50 mm 이내로 가정하는 경우, 공기층 변화에 따른 흡음성능의 변화는 거의 발생하지 않았다.
- 3) 기존 방음판과 리모델링 패널 사이에 폴리에스터 흡음재를 설치하는 경우 흡음재의 유동저항은 흡음성능에 거의 영향을 미치지 않는다.
- 4) 흡음재 손상 등으로 인해 노후 방음판의 흡음률이 현저히 저하된 경우, 노후 방음판과 타공률이 최소 20% 이상인 리모델링 패널 사이에 흡음재를 충전하여 설치하면 노후 방음판의 흡음성능 개선이 가능하다.

### Reference

- [1] 도로교통연구원, 유지관리를 고려한 방음자재 품질기준 개선 연구, 한국, 2014 // (Korea Expressway Corporation, A study on quality criteria and management for noise barrier panels, Korea; 2014)
- [2] ICCA, Innovations for greenhouse gas reduction, 2009
- [3] KS F 2805, 간향실법 흡음성능 측정방법, 2014
- [4] 이동훈, 서성원, 홍병국, 송희영, 다중 다공판 시스템의 흡음성능 향상에 관한 연구, 한국소음진동공학회논문집, 제 15권 제 5호, 2005, pp.571~577 // (Lee, Dong-Hoon, Seo, Seong-Won, Hong, Byung-Kuk, Song, Hwa-Young, A study on the improvement of acoustic absorption of multiple layer perforated panel system, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Korea, Vol. 15, No. 5, 2005. pp.571~577)
- [5] 윤제원, 장강석, 조용성, 고밀도 폴리에스터 흡음재를 이용한 이중 흡음 시스템의 음향특성 및 흡음성능 향상 방안에 관한 연구, 한국소음진동공학회논문집, 제 26권 제 3호, 2016, pp.331~339 // (Yoon, Je-Won, Jang, Kang-Seok, Cho, Yong-Thung, A study on the acoustic characteristics and absorption performance improvement method of double layered sound absorption system using high density polyester absorbing materials, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Korea, Vol. 26, No. 3, 2016. pp.331~339)
- [6] Massimo Garia, Francesco Pompili, A simple empirical model of polyester fiber materials for acoustical application, Applied acoustics, Vol. 66, 2005, pp.1383~1398

- [7] 김관주, 이준현, 김상현, 박진규, 철도 방음벽의 전면 타공판과 흡음재 변화에 의한 흡음성능 고찰, 한국소음진동공학회논문집, 제 24권 제 4호, 2014, pp.275~281 // (Kim, Kwan-Ju, Lee, Jun-Heon, Kim, Sang-Hun, Park, Jin-Kyu A study of sound absorbing characteristics of the railway noise barrier with respect to front perforated panel and absorbing material, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Korea, Vol. 24, No. 4, 2014. pp.275-281)
- [8] 이동훈, 허성춘, 권영필, 전달행렬법을 이용한 다중 다공판 시스템의 흡음성능 예측, 한국소음진동공학회논문집, 제 12권 제 9호, 2002, pp.709~716 // (Lee, Dong-Hoon, Hur, Sung-Chun, Kwon, Young-Pil, Estimation of the sound absorption performance for multiple layer perforated plate system by transfer matrix method, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Korea, Vol. 12, No. 9, 2002. pp.709-716)