한국음향학회지 제42권 제2호 pp. 152~160 (2023)
The Journal of the Acoustical Society of Korea Vol.42, No.2 (2023)
https://doi.org/10.7776/ASK.2023.42.2.152

pISSN : 1225-4428
eISSN : 2287-3775

방음판의 흡음률 측정방법 제안을 위한 기초 연구

A preliminary study on the measurement method for determining the absorption coefficient of sound barrier panels

오양기,[1†] 김하근[2]

(Yang Ki Oh[1†] and Ha Geun Kim[2])

[1]국립목포대학교 건축학과, [2]한국환경설계(주)

(Received January 6, 2023; accepted February 27, 2023)

초 록: 방음벽은 도시 주거환경의 소음문제에 대응하기 위한 가장 기본적인 방법이다. 방음판의 가장 중요한 음향적 기능은 음향투과손실과 흡음률로 표시된다. 특히 주거시설이 밀집되어있는 도심구간의 철도나 간선도로에서 원하지 않는 반사음에 의한 2차 소음 문제를 최소화하기 위하여는 방음판의 흡음성능이 중요하다. 그러나 아직까지 우리나라는 방음판의 흡음률 측정방법에 관한 규격이 마련되어있지 않다. 또한 방음판의 전반적인 음향규격이 이미 만들어져 있는 유럽규격에서조차 흡음률에 관해서는 일반적인 건축마감재료의 흡음률 측정기준을 준용하고 있을 뿐, 방음벽과 방음판의 특성을 감안한 별도의 측정방법을 제시하지 못하고 있다. 흡음률은 재료의 내부로 흡수된 에너지 뿐 아니라 재료를 투과한 에너지까지 합산하여 평가되어야 하는데 현재의 유럽규격은 투과음 에너지를 감안하지 못하고 있는 문제를 안고 있다. 이 논문에서는 현재 제시되고 있는 방음판의 흡음률 측정 규격에 대해 고찰하고, 우리나라에서 실제 사용되고 있는 방음판을 대상으로 투과음을 감안한 새로운 측정방법과의 결과 차이를 검증하였다. 아울러 새로운 방음판 흡음률 측정규격의 마련을 위한 기초적 아이디어를 제시하였다.

핵심용어: 방음벽, 방음판, 흡음률, 흡음률 측정방법

ABSTRACT: Sound barrier walls are the most basic way to cope with noise problems in urban residential environments. The most important acoustic function of sound insulation board is represented by sound transmission loss and sound absorption coefficient. However, Korea has not yet established a standard for measuring the sound absorption rate of sound insulation boards. In addition, even in the European standard, where the overall acoustic standard of soundproofing boards has already been established, the sound absorption rate is applied only to the standard for measuring the sound absorption rate of general building finishing materials, and a separate measurement method considering the characteristics of soundproof walls and soundproofing boards is not presented. The sound absorption coefficient should be evaluated by summing up the energy absorbed into the material as well as the energy transmitted through the material, but the current European standard has a problem in that the transmitted sound energy is not taken into account. In this paper, we reviewed the sound absorption coefficient measurement standards of sound insulation boards currently being presented, and verified the difference between the results and the new measurement method considering transmission sound for sound insulation boards actually used in Korea.

Keywords: Sound barrier walls, Sound barrier panel, Absorption coefficient, Absorption measurement

PACS numbers: 43.55.Ti, 43.50.Rq

†**Corresponding author:** Yang Ki Oh (oh.duoh@gmail.com)
Department of Architecture, Mokpo National University, 1666 Yeongsan-ro, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Jeollanamdo 58554, Republic of Korea
(Tel: 82-61-450-2453, Fax: 82-61-454-0682)

"이 논문은 2022년도 한국음향학회 춘계학술대회에서 발표하였던 논문임."

Copyrightⓒ2023 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

방음판의 가장 기본적인 목표는 일정 수준 이상의 음향투과손실을 확보하는 것이다. 이를 통하여 방음벽의 적절한 삽입손실 성능을 달성할 수 있다. 방음판이 도심구간의 방음벽이나 방음터널에 설치되는 경우 주변 주거지역으로 지향하는 반사음을 제어하기 위해 일정 수준 이상의 흡음률을 확보하는 것도 중요하다. 이러한 배경에서 이 연구는 현행 방음판의 흡음률 측정법을 고찰하고 문제점을 제기하며 개선방안을 제안하고자 하는 목표를 갖고 있다.

아직 우리나라에는 방음판의 흡음률 측정법이나 평가법 규격 체계가 만들어져 있지 않다. 우리나라의 방음시설 성능 기준은 환경부 고시[1] 및 KS F 4770 시리즈[2-5]에서 다루고 있다. 그러나 이 기준들은 기본적으로 방음판의 재질 등 물리적 조건을 규정하기 위해 만들어진 것으로 음향투과손실이나 흡음률 과 같은 방음판의 기본적 속성에 대해서는 자세히 규정하고 있지 않다. 특히 흡음률의 측정 및 표시에 관해서는 일반적인 건축 실내 마감재료에 관한 측정 기준을 준용하도록 하고 있을 따름이다.[6] 이 연구에서는 현재 준용하고 있는 흡음률 측정 규격에 대해 고찰하고, 실내의 두터운 바탕벽 위에 설치되는 실내 마감재료와는 달리 외부공간(자유음장)에 독립적으로 설치되는 방음벽의 특성을 감안하여 투과음까지 고려하는 새로운 방음판 흡음률 측정방법을 제안하였다. 이 새로운 방법의 타당성을 검증하기 위해 우리나라에서 실제 사용되고 있는 방음판을 대상으로 현행의 방음판 성능 기준에서 준용하고 있는 방법과 새로운 측정방법과의 결과 차이를 확인하고 분석하였다.

II. 방음판의 흡음률 측정기준 및 규격

2.1 우리나라의 방음판 일반규격

우리나라 방음벽의 성능 및 설치기준은 1999년 1월 환경부고시로 최초 제정되었다. 이 고시에는 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz 주파수대역에서의 Noise Reduction Coefficient(NRC) 0.7 이상의 흡음률 규정이 명시되었다.[7] 고시에서의 흡음률 측정방법은 두터운 바탕벽 위에 설치되는 실내 마감재료의 흡음률 측정 규격인 KS F 2805를 적용하도록 규정되어 있다. 그러나 이 환경부 기준의 최소흡음률에 관한 규정은 2014년의 개정부터 삭제되어 더 이상 이 기준에 남아 있지 않다.[8]

Table 1. Sound absorption in KS F 4770 series.

Standards	Title	Contents
KS F 4770-1:2017	Sound barrier panel- metal	The average absorption coefficient through 4 octave bands from 250 Hz to 2,000 Hz should be 0.7 or higher.
KS F 4770-2:2015	Sound barrier panel - color metal	
KS F 4770-3:2018	Sound barrier panel - color non metal	
KS F 4770-4:2018	Sound barrier panel- wood	

2001년에는 환경부의 고시 내용을 근거로 방음판에 관한 우리나라 산업표준 KS F 4770 시리즈가 제정되었다. 이 표준은 금속, 목재, 색상 유무 등 재료의 성격 이외에는 세부적인 조건이나 물리적 속성에 대해 명확하게 규정하고 있지 않지만, 같은 재료라도 방음 원리에 따라 발생할 수 있는 다양한 성능을 수용하기 위한 것으로 생각할 수 있다. 그 일부로 방음판의 흡음률에 대하여 KS F 2805에 의해 측정할 것과 ASTM C423의 옛 규격에 의한 NRC 0.7 이상의 값을 갖도록 규정되어 있다. 특히 환경부 고시에서 2014년 9월 이후 흡음률에 관한 최소성능 기준이 삭제되었음에도 불구하고 Table 1에서와 같이 NRC 0.7 이상의 흡음률 기준 성능이 여전히 남아있다.

위의 고찰로부터 우리나라의 국가표준인 KS와 방음벽-방음판의 법적 기준 사이의 불일치 문제 뿐 아니라 방음벽의 설치 조건과는 전혀 다른 실내 마감재료의 흡음률 측정 기준을 준용하도록 규정하고 있다는 데 문제를 제기할 수 있다.

2.2 유럽의 방음판 음향규격

우리나라의 방음판 흡음률 규격 체계는 방음판의 재료에 따른 전반적 요구성능 중 일부로 규정되어 있을 뿐이다. 반면 EU의 방음시설 관련 측정 및 평가 규격은 교통소음과 철도소음의 소음원별로 방음판의 흡음률에 대해 별도로 규정하고 있다. 예를 들어

도로변 방음시설에 사용되는 방음판에 관한 흡음률 규정 EN 1793-1:2017[9]으로 표준화되어 있다. 이 규격의 개요에서는 방음판의 흡음률이 측정되고 표시되어야 할 4 가지의 상황에 대하여 자세히 언급하고 있다. 첫째 보호되어야 할 구역으로 반사음이 지향할 우려가 있는 경우, 둘째 방음시설의 양쪽면이 서로 마주보게 설치되는 경우, 셋째 터널과 터널 진입 공간에 대하여, 그리고 마지막으로 차량이 방음벽으로부터 근접하여 지나칠 경우 반사음에 의해 방음효율이 떨어질 우려가 있는 경우 등이다. 이 상황에서는 흡음형방음판을 사용하여야 한다는 뜻이다.

이 규격에서는 확산음장의 마감재료 흡음률 측정법인 ISO354를 기본적으로 적용하지만 다음과 같은 추가 조건을 만족해야 한다는 점을 규정하고 있다.

- 현장 상황과 같은 시편의 설치조건
- 도로에 면하는 표면에 대해 측정할 것
- 설치시에 지지용 기둥이 필요할 경우 시편 구성에 적어도 한 개 이상의 기둥을 포함해야 함
- 기둥은 시편의 크기 이내로 잘라내서 사용함
- 기둥의 크기가 흡음면보다 클 경우 이를 반영하여 시편을 제작함
- 프레임과 시편 사이의 갭을 충분히 밀봉할 것
- 측정구조 내에 공간이 있다면 이를 반영하고 결과 보고서에 기록하여야 함
- 측정 시편과 측정실 표면 사이에 틈새나 공간이 생기지 않도록 유의하여야 함

아울러 EN 1793-1은 확산음장 상황에서의 흡음률 측정규격인 ISO 354를 기본으로 하고있기 때문에 현장 측정방법인 EN 1793-5:2003과는 그 결과를 비교할 수 없다는 점이 명시되어 있다.[9] 사실 EN 1793-5에서는 흡음률 자체에 관해 규정하고 있지는 않지만 만약 EN1793-1의 규격에서 현장의 자유음장 상황을 반영하고자 한다면, 그래서 EN 1793-5에서 측정된 '반사율지표'에 의한 흡음률 환산값과 비교하고자 한다면 ISO354와는 다른 자유음장 환경의 실험실 측정방법을 새로 제안하면 될 일이다. 그러나 반사형 방음벽이나 구조체 위에 흡음형 방음벽을 다중 레이어로 사용할 경우 바닥 위에서 측정하는 현재의 측정법이 효과적일 수도 있다.

250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz 주파수대역에서의 산술평균인 NRC를 단일수치 평가값으로 활용하는 우리나라와 달리 EN 규격에서는 도로변 방음벽용 방음판의 흡음률 단일수치 평가값($DL_{\alpha,NRD}$) 계산을 위해 EN 1793-3의 도로교통소음 기준스펙트럼(Reference spectrum)을 적용한다[Eq. (1)].

$$DL_{\alpha,NRD} = -10\lg\left|1-\frac{\sum_{i=1}^{18}\alpha_{NRDi}10^{0.1L_i}}{\sum_{i=1}^{18}10^{0.1L_i}}\right|. \quad (1)$$

$DL_{\alpha,NRD}$ 기준스펙트럼을 감안하여 흡음성능을 음압레벨로 단일수치 평가한 값(dBA)

α_{NRDi} i 번째 1/3 주파수대역의 흡음률

L_i i 번째 1/3 주파수대역의 기준스펙트럼

2.3 재료의 흡음률 측정규격

우리나라의 방음판 일반규격과 유럽의 방음판 음향규격 모두에서 재료의 흡음률 측정은 KS F 2805:2014[10] 및 ISO 354:2003[11]을 적용한다. 이 둘은 실제 같은 내용을 갖고 있으며 첫 번째 조항에서이 규격의 적용 범위에 대해서 "음향 재료의 흡음계 수 또는 가구, 사람, 흡음체"(KS F 2805) 및 "wall or ceiling treatments, or the equivalent sound absorption area of objects, such as furniture, persons or space absorbers"(ISO 354) 으로 규정되어 있다. 즉 방음벽과 같이 외부의 자유음장 환경에 세워지는 구조물이 아니라 건축물의 실내 마감면이나 실내에 놓여지는 물건의 흡음률을 측정하기 위한 규격이라는 점을 명확히 하고 있다. 이 규격에서 주목하여야 할 점은, 위의 적용 범위에서 드러나듯, 실내공간의 마감재를 측정대상으로 하기 때문에 시편을 투과하는 에너지를 반영하지 못한다는 사실이다(Fig. 1).

그러나 천장판이나 외벽, 방음판, 방음벽 등과 같이 자유음장으로 투과하는 음에너지가 있는 재료나 부재가 분명히 존재한다. 이 경우 위의 측정규격에 의해 흡음률이 측정되고 평가된다면 실제의 활용조건과 다른 결과를 표시하게 되는 문제가 있다. 따라

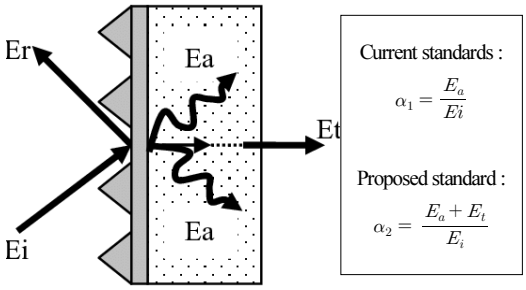


Fig. 1. Comparison of the measurement arrangements.

Table 2. Comparison of the measurement arrangements.

Existing method	New method
KS F 2805/ISO 354	-
Finishing materials	Sound barrier panels
Reverberation chamber	Adjacent reverberant room and anechoic chamber with a test opening between them
Test specimen laid on room surface	Test specimen installed in the test opening between the reverberant room and acechoic chamber
$\alpha_1 = \frac{E_a}{E_i}$	$\alpha_2 = \frac{E_i - (E_a + E_{tr})}{E_i}$

서 투과음을 고려하지 않고 실내마감재료의 흡음률을 측정하는 현재의 방법을 대체할 수 있는 새로운 방음판 흡음률 측정방법을 제안하고자 한다. 현재와 같이 두터운 바탕벽 위에 시편을 고정하여 측정하는 대신 잔향실과 무향실 사이의 개구부에 시편을 설치함으로써 자유음장으로의 투과음에너지를 감안하는 방법이 그것이다(Table 2).

III. 방음판의 흡음률 측정

3.1 측정조건

현재 방음판 흡음률 측정에 적용하도록 규정되어 있는 KS F 2805에 의하여 다수 방음판의 흡음률을 측정하였다. 이와 더불어 자유음장으로 투과하는 투과음을 포함하여 방음판의 흡음률을 측정할 수 있는 새로운 측정방법을 제안하고 이에 의한 흡음률 측정을 수행하였다. 측정은 KOLAS 인증기관이면서 KS F ISO 10140-2에 의한 잔향실-잔향실 사이의 시편설치 개구부 및 새로 제안된 측정법에 필요한 잔향실-무향실 사이의 시편 설치용 개구부가 구비된 대우건설기술연구소 음향시험동에서 수행하였다. 이 실험시설이 완벽한 자유음장을 구현하지는 못하지만, 두 개의 무향실을 인접하여 설치하고 그 사이에 개구부가 설치되어 있는 실험시설은 없기 때문에 가장 근사한 해결책을 찾은 것이다. 이 측정은 방음판의 투과손실 측정규격 연구와 측정실 및 측정시스템의 상당 부분을 공유하였다.[12] 위 잔향실험실 및 무향실의 사양은 Tables 3과 4에, 측정에 사용된 기기의 내역은 Table 5에 정리하였다. Figs. 2와 3은 각 측정실의 배치와 측정 시편의 설치 장면을 나타낸 것이다. 측정시편 4개 (S1 ~ S4)는 금속제 방음판이고 1개(S5)는 비금속제 방음판이다. 이 비금속제 방음판(S5)은 Fig.

Table 3. Reverberant chambers.

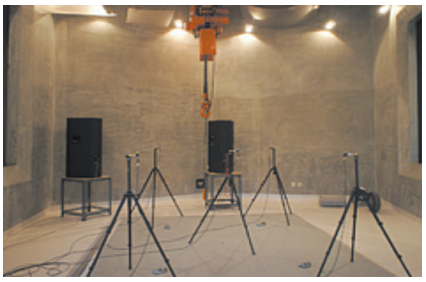
RCs (Small reverberant chamber)

Volume: 249 m^3 Floor area : 43.7 m^2 Cut off frequency : 100 Hz Background noise : 20 dBA Std. Dev : ±1.5 dB/100 Hz

Table 4. Anechoic chamber.

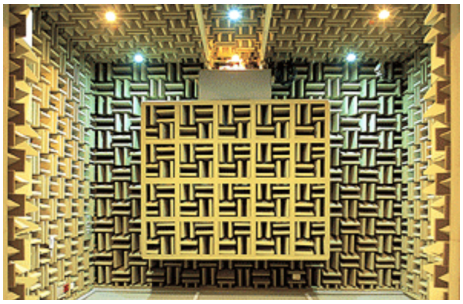
Anechoic chamber

Demension (m) : 6.2×6.8×6.0 (height) Absorber : Polyurethane Cut off frequency : 100 Hz Background noise : 12 dBA Door sound insulation : 70 dB/500 Hz

Table 5. Measurement system.

Measurement system	Products
Real time analyzer	PAK MK II (12 channel), Müller-BBM, Germany
Microphone	46AE (1/2“), GRAS, Denmark
Sound level calibrator	NC-74, RION, Japan
Loudspeaker	SRX-725, JBL, USA

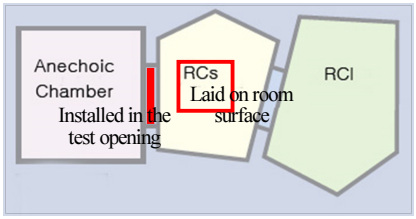
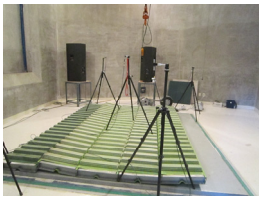


Fig. 2. (Color available online) Layout of chambers and the installation of specimen.



(a) specimen on floor

(b) installation in cassette

(c) specimen cassette completed

(d) specimen cassette filled in opening(S5)

Fig. 3. (Color available online) Test specimen laid on surface and move to the test opening with installed in the cassette.

Specimen No 1 (S1)	Specimen No 2 (S2)	Specimen No 3 (S3)
Specimen No 4 (S4)	Specimen No 5 (S5)	

Fig. 4. (Color available online) Test specimens.

4에서와 같이 플라스틱 계열의 패널과 다공질 흡음재로 이루어진 것으로 금속재 방음판과는 다른 흡음률 패턴을 보일 것으로 예상된다. 4 종류의 금속재 방음판은 표면 슬릿 방향과 충진 다공질재의 종류 및 두께에 차이를 두어 선정하였다.

3.2 KS F 2805 규격에 의한 흡음률 측정

현행 KS F4770 시리즈 및 환경부 고시에서의 방음판 흡음률 성능표시는 KS F 2805/ISO 354 규격을 적용하도록 규정하고 있다. 이는 유럽규격인 EN에서도 마찬가지이다. 작은 잔향실의[(Fig. 2) RCs] 두꺼운 콘크리트 바닥에 Fig. 3의 실험사진 (a)와 같이 3 m × 4 m의 시편을 설치하고 KS F 2805(ISO 354) 규격에

Table 6. Absorption coefficient measured by ISO 354.

Frequency bands	S1	S2	S3	S4	S5
100 Hz	0.23	0.26	0.24	0.25	0.27
125 Hz	0.36	0.33	0.32	0.33	0.30
160 Hz	0.49	0.52	0.56	0.56	0.43
200 Hz	0.67	0.67	0.76	0.69	0.53
250 Hz	0.89	0.87	0.87	0.93	0.70
315 Hz	1.01	1.03	1.00	0.97	0.81
400 Hz	1.08	1.06	1.05	1.11	0.91
500 Hz	1.08	1.03	1.03	1.03	0.87
630 Hz	1.01	0.97	0.97	0.96	0.84
800 Hz	0.90	0.91	0.93	0.85	0.80
1 KHz	0.86	0.81	0.83	0.78	0.75
1.25 KHz	0.76	0.72	0.78	0.72	0.69
1.6 KHz	0.67	0.69	0.71	0.68	0.68
2 KHz	0.62	0.63	0.68	0.63	0.68
2.5 KHz	0.58	0.55	0.61	0.57	0.62
3.15. KHz	0.53	0.52	0.59	0.56	0.59
4 KHz	0.51	0.49	0.57	0.56	0.59
5 KHz	0.51	0.50	0.59	0.58	0.53

Empty room measurement	Specimen measurement

Fig. 5. (Color available online) ISO 354 measurement.

의한 흡음률 측정을 수행하였다. 측정 결과는 Table 6와 나타낸 것과 같다. 공실 및 시편 설치 후의 실험 장면은 Fig. 5와 같다.

3.3 자유음장으로의 투과를 고려한 새로운 흡음률 측정

Fig. 2의 잔향실-무향실 레이아웃에서 Fig. 3(d)와 같이 두 방 사이의 시험편 설치용 개구부에 시험체를 설치하였다. 인접실은 Fig. 2의 가장 좌측에 위치한 무향실로서 투과음의 에너지가 측정실로 재투과되지 않는 자유음장 환경이다. 이러한 실험실 셋업에 의해 방음판을 투과한 음에너지가 Table 2의 계산식 $\alpha_2 = \frac{E_i - (E_a + E_{tr})}{E_i}$ 와 같이 방음판의 전체 흡음률에 기여하게 된다. 공실에서의 실험 장면은 위의 Fig. 5에서와 같고, 시편 설치후 방음판의 흡음표면(잔향실측) 및 배면(무향실측) 실험 장면은 Fig. 6과 같다. 야외의 자유음장 환경에 설치되는 방음벽의 특성을 감안한 방음판의 새로운 측정법에 의한 측정결과를 Table 7에 정리하였다. ISO354에 의한 측정 결과(Table 5)나 제안 방식의 측정결과(Table 6)에서 400 Hz ~ 630 Hz 1/3주파수대역의 흡음률 측정값이 1을 넘고 있다. 이는 두터운 흡음재의 흡음률 측정시 간혹 나타나는 현상이지만 '분석'으로 명확한 답변을 내리기는 매우 어렵다.

Fig. 6. (Color available online) Proposed measurement.

Table 7. Absorption coefficient measured by the proposed method.

Frequency bands	S1	S2	S3	S4	S5
100 Hz	0.31	0.29	0.32	0.32	0.32
125 Hz	0.46	0.42	0.51	0.36	0.36
160 Hz	0.68	0.56	0.68	0.51	0.51
200 Hz	0.85	0.79	0.77	0.63	0.63
250 Hz	0.88	0.92	0.92	0.68	0.68
315 Hz	0.90	0.95	0.95	0.74	0.74
400 Hz	1.08	1.06	1.10	0.89	0.89
500 Hz	1.13	1.12	1.09	0.90	0.90
630 Hz	1.12	1.11	1.07	0.90	0.90
800 Hz	1.04	1.03	1.02	0.93	0.93
1 KHz	0.91	0.90	0.93	0.86	0.86
1.25 KHz	0.87	0.84	0.91	0.76	0.76
1.6 KHz	0.84	0.83	0.89	0.78	0.78
2 KHz	0.75	0.76	0.84	0.80	0.80
2.5 KHz	0.68	0.68	0.77	0.77	0.77
3.15. KHz	0.65	0.65	0.77	0.75	0.75
4 KHz	0.62	0.65	0.76	0.71	0.71
5 KHz	0.67	0.65	0.77	0.68	0.68

IV. 분석 및 토의

4.1 측정값의 의미와 경향

같은 측정실(RCs)에서 측정하였지만 시편을 두꺼운 콘크리트 바닥 위에 설치했을 경우(Floor)와 잔향실-무향실의 사이의 시험편 설치용 개구부(Cassette)에 설치했을 경우의 흡음률 환산값에 상당한 차이를 보이고 있다. KS F 4771 시리즈에서 일관되게 규정하고 있는 흡음률 표기방식인 NRC[13]로 평균한 값과 일반적인 음향성능 표기 대역인 100 Hz ~ 5kHz 1/3 주파수대역 평균값을 Table 8에 표시하였다.

모든 시편에 대해서 바닥 설치 보다 개구부 설치의 경우에 흡음률이 높게 나타난다. NRC 값으로는 0.83(바닥)과 0.91(개구부)로 0.08 정도 차이로서 전체 흡음률의 약 10 % 정도에 해당한다. 흡음의 표준편차는 0.04에서 0.06 사이로 시편의 설치방식과 무관하게 유사한 흐름을 보인다. 전대역 흡음률 평균값은 더 큰 차이를 보이는데 0.54(바닥) 및 0.69(개구부)로서 0.15 수준의 편차 즉 25 % 정도로 나타난다. 즉 측정방식 뿐 아니라 측정결과값의 표시 방법에 따라서도 흡음률의 수준이 달라질 수 있다는 사실을 알 수 있다. KS F 4770 시리즈의 최소성능 기준인 평균 흡음률 0.7 수준으로 평가한다면 NRC 값으로는 모두 합격이지만 전대역 평균값으로는 모든 시편이 불합격 수준이어서 실제 큰 차이가 발생된다.

Table 8. Summary of the two measurement results.

α	Specimen	Floor	Cassette	Difference
NRC	S1	0.86	0.92	0.06
	S2	0.83	0.93	0.10
	S3	0.85	0.94	0.09
	S4	0.84	0.95	0.11
	S5	0.75	0.81	0.06
	Average	0.83	0.91	0.08
	Std. Dev.	0.05	0.06	
100 Hz to 4 kHz	S1	0.51	0.67	0.16
	S2	0.50	0.65	0.15
	S3	0.59	0.77	0.18
	S4	0.58	0.66	0.08
	S5	0.53	0.68	0.15
	Average	0.54	0.69	0.15
	Std. Dev.	0.04	0.05	

4.2 측정법에 따른 차이

Fig. 7에 다섯 개 시편의 측정 결과를 표시하였다. 투과음 에너지를 흡음률에 반영하게 되므로 새로운 측정법의 흡음률 그래프가 전체 주파수 대역에서 전반적으로 높은 쪽에 분포하는 것을 확인할 수 있다. 비금속제 방음판의 주파수별 흡음률은 ISO 354와 새로운 측정법 모두에서 금속제 방음판과 다른 경향을 나타내고 있으나 500 Hz ~ 1 kHz 대역의 중간 주파수 대역에서 특히 차별화되는 모습을 보이고 있다. 특이한 점은 같은 금속제 방음판이면서도 S3 의 경우 고음 대역에서 새로운 측정법의 흡음률이 매우 높아지는 것을 볼 수 있다. S3 방음판은 S1, S2, S4 방음판에 비해 고주파수 대역의 차음성능이 떨어진다는 점, 즉 투과손실에 의한 흡음량이 많다는 점을 나타낸다.

현행의 KS F 2805/ISO 354 규격에 측정 결과와 잔향실-무향실 사이에 시편을 설치한 새로운 흡음률 측정방법을 적용했을 경우의 주파수별 경향을 Fig. 8에서 비교하였다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 특히 500 Hz 이상의 중-고음 대역에서 두 측정값의 차이가 크게 벌어진다. 도시 간선도로변에서의 교통소음 레벨에 관한 연구결과[14]에 따르면 교통소음 에너지는 500 Hz ~ 2,000 Hz 대역이 가장 지배적이기 때문에 위 그래프에서의 500 Hz 대역 이상의 중고음 흡음률 차이는 더욱 그 의미가 크다.

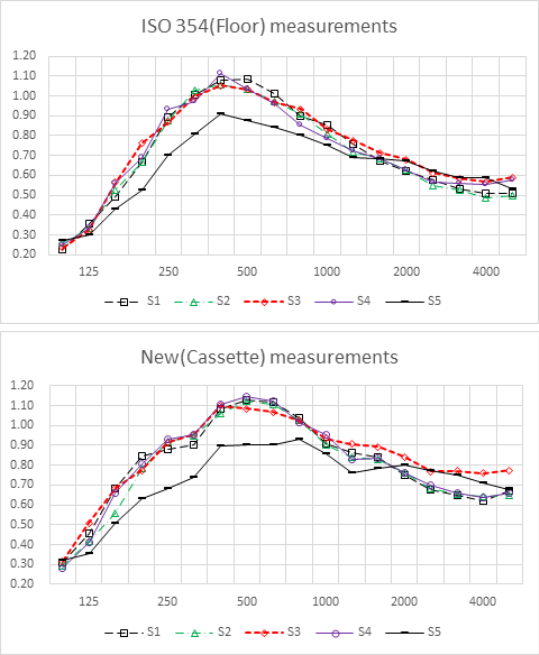


Fig. 7. (Color available online) Result of absorption measurements.

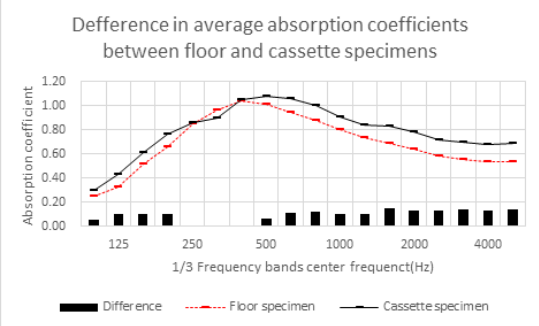


Fig. 8. (Color available online) Difference in the absorption coefficients.

4.3 방음판 흡음성능과 도로교통소음 특성

위 Fig. 8에서와 같이 대부분의 방음패널은 500 Hz 부근에서 가장 좋은 흡음률을 나타내고 있으며 고음 대역으로 갈수록 낮아지는 패턴을 보이고 있다. 반면 Fig. 7에서와 같이 현행 ISO 354 방식의 흡음률 측정에서는 잘 드러나지 않지만 투과음을 감안한 새로운 측정 방식에서는 시편 S3 처럼 500 Hz 이상의 고주파 흡음률이 다른 시편과는 상당히 다른 패턴을 보이는 경우도 있다. 이상적으로는 방음패널의 이러한 주파수별 흡음특성이 도로교통소음의 특성과 잘 어울려야 하는데 실제 도로교통 소음의 스펙트럼은

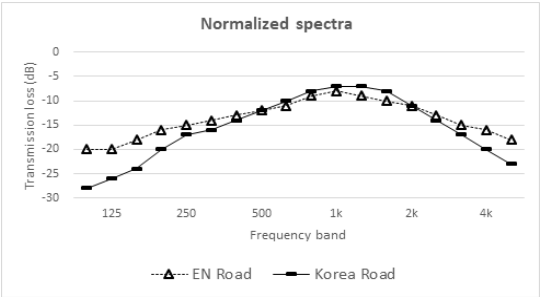


Fig. 9. Normalized spectra in Europe and Korea and absorption coefficient of 5 specimens.

Table 9. NRC and single number rating in decibels.

Specimen	NRC		Single number SPL (dBA)	
	Floor	Cassette	Floor	Cassette
S1	0.86	0.92	7.4	10.7
S2	0.83	0.93	6.9	10.3
S3	0.85	0.94	7.6	12.3
S4	0.84	0.95	6.7	10.8
S5	0.75	0.81	5.8	7.6
Average	0.83	0.91	6.9	10.3
Std. Dev.	0.05	0.06	0.7	1.7

500 Hz 대역 부근에서 피크가 나타나지 않는다. Fig. 9에서 유럽과 한국의 도로교통 소음의 주파수별 특성을 나타냈다. 유럽은 EN 1793-3:1998[15]으로 도로교통소음의 기준 스펙트럼을 표준화하고 있는 반면 우리나라에는 그런 표준이 마련되어있지 않아서 도로교통 소음 주파수특성에 관한 기존의 논문[14]을 인용하였다. Fig. 9에서와 같이 우리나라나 유럽 모두에서 500 Hz보다는 1,000 Hz 및 그 이상의 주파수대역의 소음레벨이 크게 나타난다. 도로조건이나 주행패턴 등의 영향으로 유럽에 비해 우리나라의 도로교통소음이 약간 높은 주파수대역에서 피크가 나타나는 것으로 보여진다.

전대역 흡음률이나 NRC 값이 높다고 해서 좋은 방음판이 되는 것은 아니다. 도로교통소음의 특성을 잘 파악하여 효과적으로 도로교통 소음을 차단하거나 흡음할 수 있는 성능을 갖추어야 한다. 같은 방음판이라 할 지라도 500 Hz 주파수 대역 이상의 고음 흡음률이 높은 방음판을 적용하는 편이 도로교통소음 피크와 잘 대응하여 더욱 정온한 주변 소음환경을 조성할 수 있게 되는 셈이다. 2-2 절에서 기술한 바 있듯이 도로교통소음의 기준스펙트럼을 반영한 방음판의 흡음 효율을 표시하기 위해 유럽표준[9]에서는 주파수대역별 가중값을 Eq. (1)과 같이 반영하도록 규정하고 있다.

우리나라 도로교통소음 스펙트럼에 관한 연구 결과를 인용하여[14] 적용한 다섯 개 시편의 흡음성능은 Table 9와 같다. 표에서 나타낸 바와 같이 단일수치 평가량은 단순히 NRC를 적용하는 것보다는 훨씬 변별력 있는 결과를 보여준다. S5의 비금속재 방음판의 평가량이 7.6 dBA(Cassette 측정 기준) 로 현저하게 낮은 흡음성능을 갖고 있음이 드러나고 있다. 또한 Fig. 8의 Cassette measurement 그래프에서 나타나는 1,000 Hz 이상 대역에서 높은 흡음률을 보이는 S3 시편의 흡음성능도 Cassette 측정에서 12.3 dBA로 다른 시편과 차별화되어 보여진다. 표에서 확인할 수 있듯이 기존 흡음률 측정방식(Floor) 및 평가방식(NRC)에서는 잘 드러나지 않는 특성이다.

V. 결 론

이 연구에서는 건축재료나 건축부재의 규격과는 다른 방음판 음향투과손실 측정 방법을 제안하였다. 다섯 종류의 방음판을 대상으로 기존의 방식(잔향실 바닥 설치방식)과 새로운 제안 방식(잔향실-무향실 사이 개구부 설치 방식)에 의해 실험한 결과 두 가지 측정 결과는 상당한 차이를 드러내고 있음이 밝혀졌다. 우선, 모든 시편에 대해서 바닥 설치 보다 개구부 설치의 경우에 흡음률이 높게 나타난다. NRC 값 보다 전대역 평균값(100 Hz ~ 4 kHz)에서 더 큰 차이를 보이는데 0.54(바닥) 및 0.69(개구부)로서 25 % 정도 개구부 설치방식의 흡음률이 높게 나타난다. 주파수 대역별로 분석하면 특히 500 Hz 이상의 중-고음 대역에서 두 측정값의 차이가 크게 벌어진다. 도로교통소음 에너지는 500 Hz ~ 2 kHz 대역이 가장 지배적이기 때문에 500 Hz 대역 이상의 중고음 흡음률 차이는 더욱 그 의미가 크다. 그렇지만 전대역 흡음률이나 NRC 값이 높다고 해서 좋은 방음판이 되는 것은 아니다. 도로교통소음의 특성을 잘 파악하여 효과적으로 도로교통 소음을 차단하거나 흡음할 수 있는 성능을 갖추어야 한다. 같은 방음판이라 할 지

라도 500 Hz 주파수 대역 이상의 고음 흡음률이 높은 방음판을 적용하는 편이 도로교통소음 피크와 잘 대응하여 더욱 정온한 주변 소음환경을 조성할 수 있게 되는 셈이다. Kim 과 Lee[16]는 방음판 단일수치 흡음등급을 비교하는 연구에서 흡음 등급의 가중 방식에 따라 그 성능표시 수준이 달라질 수 있음을 밝힌 바 있다. 간선도로변 방음판의 경우 그 가중 방식을 도로교통소음의 기준스펙트럼을 반영하는 유럽표준[9] 방식이 적용되어야 할 것으로 보인다. 이 방식에 따라 우리나라의 도로교통소음 스펙트럼[14]을 적용하여 dBA로 평가한 다섯 개 시편의 흡음성능 단일수치 평가량은 단순히 NRC를 적용하는 것보다는 훨씬 변별력 있는 결과를 보여준다.

이 연구의 결과는 적절하고 새로운 방음판 흡음률 측정법을 개발하는 데 활용될 수 있을 것이다. 다만 방음판의 흡음률 표시에 기준 스펙트럼을 적용하기 위해서는 우리나라 도교통 소음의 현황에 관한 광범위한 연구가 필요하다. 또한 국내 현실상 잔향실-무향실 구조의 실험실을 갖추고 있는 실험기관이 거의 없기 때문에 잔향실-잔향실의 환경에서 실험 환경에 대한 연구를 추가할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 2022학년도 목포대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음

References

1. Ministry of Environment, *Performance and Installation Standards of Sound Barrier Facilities*, No.2021-56, 2021.
2. KS F 4770-1, *Sound Barrier Panel –Metal*, 2001.
3. KS F 4770-2, *Sound Barrier Panel – Color Metal*, 2001.
4. KS F 4770-3, *Sound Barrier Panel –Non Metal*, 2001.
5. KS F 4770-4, *Sound Barrier Panel –Wood*, 2001.
6. KS F 2805:2014, *Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room*, 2019.
7. Ministry of Environment, *Performance and Installation Standards of Sound Barrier Facilities*, No.1999-150, 1999.
8. Ministry of Environment, *Performance and Installation Standards of Sound Barrier Facilities*, No.2014-196, 2014.
9. EN 1793-1:2017, *Road Traffic Noise Reducing Devices – Test Method for Determining the Acoustic Performance – Part 1: Intrinsic Characteristics of Sound Absorption Under Diffuse Sound Field Conditions*, 2017.
10. KS F 2805:2003, *Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room*, 2019.
11. ISO 354:2003, *Acoustics – Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room*, 2018.
12. Y. K. Oh, “A study on the standard for determining airborne sound insulation performance of sound barrier panels” (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. **41**, 302-311 (2022).
13. ASTM C423, *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, 2022.
14. C. G. Cho, “Traffic noise characteristic of urban major roads by the traffic flow conditions” (in Korean), JKLES, **17**, 585-594 (2010).
15. EN 1793-3:1998, *Road Traffic Noise Reducing Devices – Test Method for Determining the Acoustic Performance Part 3. Normalized Traffic Noise Spectrum*, 1998.
16. Y. Kim and S. Lee, “Sound absorption performance of noise barrier according to single number rating methods,” Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **27**, 243-250 (2017).

저자 약력

▸ 오 양 기 (Yang Ki Oh)

1984년 2월 : 서울대학교 건축학과 학사
1986년 2월 : 서울대학교 건축학과 석사
1990년 2월 : 서울대학교 건축학과 박사
1991년 ~ 현재 : 국립목포대학교 건축학과 교수

▸ 김 하 근 (Ha Geun Kim)

1984년 2월 : 한양대학교 건축학과 학사
1986년 2월 : 한양대학교 건축공학과 석사
1996년 2월 : 한양대학교 건축공학과 박사
1988년 10월 ~ 2008년 11월 : 주택도시연구원 연구위원
2008년 11월 ~ 현재 : 한국환경설계(주) 대표이사