

# 방음판의 음향투과손실 측정규격에 관한 연구

## A study on the standard for determining airborne sound insulation performance of sound barrier panels

오양기<sup>†</sup>

(Yang Ki Oh<sup>1†</sup>)

<sup>1</sup>목포대학교 건축학과

(Received March 30, 2022; revised April 25, 2022; accepted May 3, 2022)

**초 록:** 방음벽은 도심구간의 도로 및 철도에서 환경소음 저감을 위한 가장 효율적 대안의 하나이다. 도로교통소음 등에 대한 방음벽의 삽입손실은 방음판의 음향투과손실, 흡음손실 및 방음벽의 회절감쇠에 의한 음에너지 저감량의 합으로 이루어진다. 방음판의 음향투과손실은 방음벽의 삽입손실을 결정하는 중요한 요인 중 하나로 방음벽의 성능을 결정하는 기본적인 지표이다. 그럼에도 불구하고 아직까지 우리나라는 방음판의 음향투과손실 측정방법에 관한 별도의 규격이 없다. 방음판의 일반적 재질에 대해 규정하고 있는 KS F 4770 시리즈의 한두 항목으로 가볍게 다루고 있을 뿐이다. 이 논문은 방음판의 음향투과손실 측정 및 평가 규격의 필요성에 대해 고찰하고, 실내 건축부재와 달리 외부공간에 설치되는 방음벽의 특성을 감안한 자유음장(무향실) 수음실에서의 측정방법을 모색하였다. 아울러 도로변이나 철로변 등 다양한 설치장소에 따른 방음효과를 간단히 표시할 수 있도록 기준 스펙트럼을 활용한 단일수치 평가법을 제안하였다.

**핵심용어:** 방음판, 음향투과손실, 음향감쇠지수, 기준스펙트럼, 단일수치평가

**ABSTRACT:** Sound barrier walls are one of the most effective alternatives for reducing environmental noise on roads and railways in the city center. The insertion loss of the sound barrier against road traffic noise is the sum of the sound transmission loss, sound absorption loss, and sound energy reduction due to the diffraction attenuation of the sound barrier. The sound transmission loss of the sound barrier is one of the important factors that determine the insertion loss of the sound barrier and is a basic indicator that determines the performance of the sound barrier. Nevertheless, there is not a separate standard in Korea for measuring the acoustic transmission loss of sound barrier panels. There are only a few conditions in KS F 4770 series that stipulates on the general material of sound barrier panels. This thesis examines the necessity of the acoustic transmission loss measurement and evaluation standards of sound barrier walls, and seeks a measurement method in a free sound field (anechoic chamber) sound receiving room considering the characteristics of sound barrier walls installed in external spaces, unlike indoor building materials. In addition, a single number evaluation method using a reference spectrum was proposed so that the sound insulation effect according to various installation places such as roadside or railroad side can be easily displayed.

**Keywords:** Sound barrier panel, Sound transmission loss, Sound reduction index, Normalized spectrum, Single number rating

**PACS numbers:** 43.55.Ti, 43.50.Rq

<sup>†</sup>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 2017년도 한국음향학회 추계학술대회에서 발표하였던 논문임.”



Copyright©2022 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. 서론

방음판의 음향투과손실은 환경부 고시에 의한 방음 시설 성능기준과 방음판 재질에 관한 KSF 4770 시리즈의 규격의 일부 조항에서 일반적인 건축 실내 재료의 측정 조건을 준용하여 측정하도록 규정하고 있을 뿐이다. 음향투과손실 특성은 방음판의 가장 기본적 속성 중 하나로서 그 측정방법이 보다 세밀한 규격에 의해 표준화되어야 한다. 그런 측면에서 현재와 같이 방음판 재료에 관한 규격인 KSF 4770 시리즈의 한두 개 조항으로 언급될 것이 아니라, 방음판 음향투과손실을 측정하고 평가하기 위한 새로운 규격 체계가 필요하다. 이 규격은 도로소음과 철도소음 방음시설 각각에 대하여 측정방법, 실험실 측정평가, 현장 측정평가, 기준 스펙트럼 등 다양한 내용으로 구성되어야 한다.

특히 방음판의 음향투과손실 측정방법은 일반적인 건축재료나 건축부재의 투과손실 측정법이 아니라 자유음장 상황에 설치되는 방음벽의 상황을 반영할 수 있는 것이어야 한다. 현재 이러한 규격 체계는 유럽의 기준(European Normalisation, EN)에 가장 체계적으로 마련되어 있다. Reference [1]에서 Garai와 Guidorzi는 17개 방음판에서의 실증 실험을 통하여 유럽 방음판 투과손실 측정방법의 실험실 데이터와 실제 측정값 사이의 관련이 있음을 검증하였다.

이 연구에서는 일반적인 확산성 건축공간을 가정한 KSF ISO 10140-2 규격에 의해서 다섯 가지 방음판의 음향투과손실 및 음향감쇠계수를 측정하였다. 그리고 이 값을 동일한 확산성 음원실로부터 자유음장 상황의 무향실 수음실로 투과된 음향에너지 측정값과 비교하였다. 또한 이 측정값을 EN 1793-3의 유럽 도로교통소음 기준 스펙트럼에 적용함으로써 단일 수치 평가가 가능하다는 점을, 그리고 우리나라의 대표적인 도로교통소음 스펙트럼을 대입하여 비교함으로써 그 경향이 유럽의 도로교통소음과는 다르다는 점을 드러내고자 하였다.

## II. 방음판의 음향투과손실 측정규격

### 2.1 국제규격

EU의 방음시설 관련 측정 및 평가 규격은 교통소

음(EN 1793 series)과 철도소음(EN 16272 series)의 소음원별로 따로 규정되어 있으며, 각각의 소음원에 대하여 실험실 측정을 위한 확산음장(Diffuse sound field) 조건과 현장측정을 위한 직접음장(Direct sound field) 조건을 분리하여 규정하고 있다. 최소 성능 규정만을 두고 있는 우리나라의 체제와는 다르게 상당히 구체적 내용으로 구성되어 있다.

측정 방식은 우리나라와 동일하게 건축공간의 경계벽 음향투과손실 측정을 위한 ISO 10140 시리즈를 그대로 이용하되 그 평가에 있어서는 도로교통소음과 철도소음의 기준 스펙트럼(Reference spectrum)을 제안하여 이를 감안하도록 되어 있다. 여기에서 직접음장 조건이란 다음과 같이 터널이나 깊은 도랑형 혹은 깊은 커버로 둘러싸인 방음벽 등의 잔향이 있는 상황을 배제하는 것을 뜻한다. 현장측정에서는 방음시설의 공기전달음 차단성능을 표시하기 위해 음향차단지수(Sound insulation index)의 개념을 사용한다.

### 2.2 국내 규격 및 문제점

과거 환경부고시에 의한 방음벽의 성능 및 설치기준은 Reference [2]에서 확인할 수 있듯이 그 제정 당시부터 500 Hz 대역에서 25 dB, 그리고 1 KHz 대역에서 30 dB 이상의 투과손실 규정을 두고 있었으며, 250 KHz, 500 Hz, 1 KHz, 2 KHz 주파수대역에 대하여 NRC 0.7 이상이어야 한다는 흡음률 규정도 있었다. 고시에서의 투과손실 측정방법은 실내의 확산음장 상황을 가정한 건축재료 규격인 KSF 2808을 적용하도록 규정되어 있었다. 그러나 이 환경부 기준의 제6조, 제7조 및 제8조의 규정은 Reference [3]의 2014년의 개정부터 삭제됨으로서 방음판의 투과손실 및 흡음률 최소성능은 법규에서 제외된 상태이다.

환경부의 고시 최초 제정 2년 후인 2001년에는 이 고시 내용을 근거로 References [4] ~ [7]의 방음판에 관한 우리나라의 산업표준 KSF 4770 시리즈가 최초로 제정되었다. 이 규격으로부터 위의 환경부 설치기준과 동일한 투과손실 및 흡음률 값이 KS로 표준화되었다. Table 1에서 정리한 바와 같이 이 KS 규격에서는 각종 방음판의 투과손실은 500 Hz 주파수대역에 대해 25 dB 이상, 1,000 Hz는 30 dB 이상으로,

Table 1. Test method for determining the acoustic performances of noise reducing devices.

Application	Target	Standard No
Measurement method	Sound transmission loss measurement for building materials and elements	ISO 10140-2:2021
Laboratory test	Traffic noise reducing devices	EN 1793-2
	Railway applications-Track-Noise barriers and related devices	EN 16272-2
Field test	Road traffic noise reducing devices	EN 1793-6
	Railway applications-Track-Noise barriers and related devices	EN 16272-6
Normalized spectrum	Normalized traffic noise spectrum	EN 1793-3
	Normalized railway noise spectrum and single number ratings	EN 16272-3-1

시험평가법은 KS F 2808의 국제규격 정합화 버전인 Reference [8]의 KS ISO 10140 시리즈로 규정함으로써 2014년 9월 이전의 환경부 고시와 동일한 내용으로 되어있다. 2017년부터 2020년 까지의 최종 개정 확인일 이후에도 NRC 0.7 이상의 흡음률 및 25 dB (500 Hz), 300 dB(1,000 Hz)의 투과손실 값이 기준 성능으로 여전히 남아있다.

이렇듯 아직 국내에는 방음판 음향투과손실에 관한 측정 규격이 마련되어있지 않다. 도심이나 외곽 지역, 고속도로나 철로 주변에 매우 흔하게 볼 수 있는 것이 방음벽이고 방음터널인데도 아직 방음판의 핵심 속성인 음향투과손실 성능을 측정하는 제대로 된 규격이 없다는 것은 문제이다. 다만 Table 2에서 보인 바와 같이 방음판의 다양한 물리적 성격에 대한 규정을 담고 있는 KS F 4770 시리즈에서 몇 줄로 음향투과손실 시험법과 최소성능에 대해 언급하고 있을 뿐이다. 이마저도 음향투과손실 시험법은 건축 실내재료에 대한 확산음장 시험법인 KS F ISO 10140 시리즈를 차용하고 있고, 음향투과손실 최소성능의 경우 환경부 고시에서는 2014년의 개정2)에서 이미 삭제된 내용이 아직도 남아있는 실정이다. 이 내용은 방음판의 음향투과손실 특성을 500 Hz 및 1,000 Hz 주파수 대역 값으로만 표시하는 것으로 소음원의 특성과 전혀 무관한 방식이다. 도로교통소음과

Table 2. Conditions for sound transmission performance in KS F 4770 series (References [4] ~ [7]).

Standards	Title	Contents
KS F 4770-1:2017	Sound barrier panel- metal	The transmission loss of sound insulation board should be tested according to 8.3 (9.3) and it should be 25 dB or more for 500 Hz sound and 30 dB or more for 1,000 Hz sound. Transmission loss test is in accordance with KS F ISO 10140-2.
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	

철도소음의 기준 스펙트럼을 제시하고 이 특성에 대한 w상대적 음향투과손실을 계산하도록 하는 최근의 단일수치 표기방식을 적용할 필요가 있다.

반면 EN 에는 Table 2에서 나타난 바와 같이 도로 소음과 철도소음 방음시설의 투과손실 측정방법과 실험실 측정평가, 현장 측정평가, 기준 스펙트럼 등 다양한 측정 및 평가 규격이 제정되어 있다. 그렇지만 자유음장 조건에서 설치되는 방음벽의 특성을 제대로 반영할 수 없는 건축 실내재료에 대한 확산음장 시험법인 ISO 10140 시리즈를 적용하도록 하고 있다는 점에서는 한국의 규격과 다를 바 없는 상황이다.

Reference [9]의 EN 규격 내에서 방음시설에 대한 확산음장 측정규격과 직접음장 규격의 결과가 서로 비교 가능하기는 하지만 같지는 않을 것이라는 의견을 밝히고는 있다. 이는 실험실 측정값과 현장에서의 측정값이 같을 수 없다는 의미 이외에 확산성의 건축공간에서 적용할 목적으로 만들어진 ISO 10140 시리즈의 측정이 자유음장(Free sound field) 혹은 직접음장에 설치되는 방음판의 측정 결과와 다를 것이라는 의미도 무시할 수 없다. 그렇다면 실험실 측정이 꼭 EN 1793-2 에서 규정하고 있는 바와 같이 ISO 10140-2의 건축공간을 가정한 확산성 실험실에서 측정해야 하는 것인지의 문제를 제기할 수 있다.

### III. 방음판의 음향투과손실 측정

#### 3.1 측정조건

Korea Laboratory Accreditation Scheme(KOLAS) 인

Table 3. 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

Table 4. Reverberant chambers.




RCl (Large rev chamber)	RCs (Small rev chamber)
	
Volume : 325 m <sup>3</sup> Floor area : 64.2 m <sup>2</sup> Cut off frequency : 80 Hz Background noise : 20 dBA Std. Dev. : ±1.5 dB/100 Hz	Volume: 249 m <sup>3</sup> Floor area : 43.7 m <sup>2</sup> Cut off frequency : 100 Hz Background noise : 20 dBA Std. Dev. : ±1.5 dB/100 Hz

Table 5. 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

중기관인 대우건설기술연구소 음향시험동에서 음향투과손실을 측정하였다. 현행 EN 규격에 의한 방음판의 음향투과손실 측정에는 KS F ISO 10140 시리즈의 조건에 부합하는 시험실 조건(10140-5), 측정절차(10140-4) 및 측정방법(10140-2)을 적용하였다. 이와는 별도로 동일한 시편에 대해 자유음장 환경의 수음실(무향실) 조건에서도 측정을 수행하였다. 이는 방음벽의 실제 설치상황을 반영하여 자유음장으로의 음 투과값을 측정하기 위한 것으로 현행 KS F ISO 10140-2 측정 규격에 따라 확산음장 수음실(간향실)에서 측정한 음향투과손실 값과 비교하기 위한 것이다. 측정시스템의 사양은 Table 3에 정리하였고,

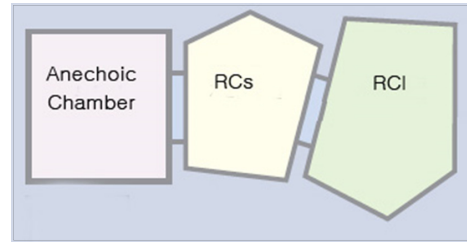


Fig. 1. (Color available online) Layout of test chambers.

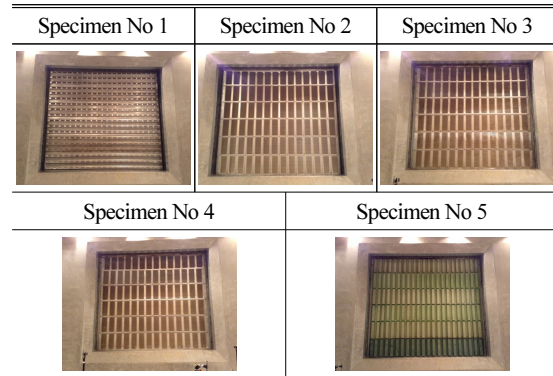


Fig. 2. (Color available online) Test specimens.

간향실 및 무향실의 사양은 Tables 4와 5에 측정실의 배치 및 5개 측정 시편의 설치 장면은 Figs. 1과 2에 표시하였다.

### 3.2 기존 규격의 방음판 음향감쇠계수 측정

유럽표준(EN)은 건축물 내부벽체의 차음성능 측정을 위한 ISO 10140 시리즈 측정 표준을 방음시설의 음향투과손실 측정에 그대로 적용하도록 규정하고 있다. 우리나라에서도 환경부 기준)이나 KS의 방음판 성능 표준도 ISO 체계와 정합화 되어 있는 KS F ISO 10140 시리즈를 적용하기 때문에 유럽의 상황과 마찬가지로 볼 수 있다. 건물 부재의 차음성능 시험실 측정 방법인 ISO 10140-2에서는 시험실의 확산성 정도와 시편에 의한 흡음의 영향을 감안하기 위해 음향감쇠계수(Sound reduction index, R)의 개념을 사용하고 있다. 이 값은 다음의 Eq. (1)에 의해 계산한다. 이 규격에 의한 확산음장 수음실 조건에서의 측정 장면 및 그 결과는 Fig. 3 및 Table 6와 같다.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}. \tag{1}$$

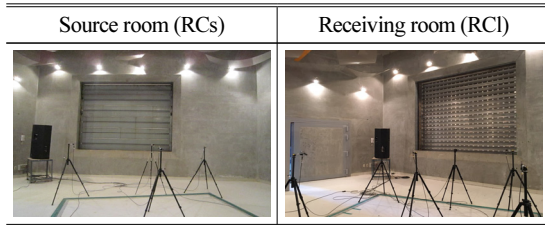


Fig. 3. (Color available online) ISO-10140-2 measurements.

Table 6. Sound reduction index (R).

Freq.	No1	No2	No3	No4	N05
100	17.4	13.1	16.7	15.8	18.3
125	16.6	13.3	17.0	18.1	19.9
160	18.1	16.3	19.3	19.5	20.2
200	19.5	18.0	21.9	20.9	21.0
250	22.4	19.9	23.6	23.4	23.2
315	25.5	23.9	27.3	27.0	25.9
400	29.2	27.9	31.8	31.2	29.2
500	33.2	31.3	35.7	35.1	32.6
630	35.5	34.3	38.1	37.7	36.1
800	34.9	35.4	38.8	38.2	35.6
1000	35.7	34.9	38.6	37.2	35.6
1250	39.4	39.0	42.0	41.3	38.0
1600	37.5	36.8	40.9	39.0	38.0
2000	39.5	38.5	43.5	41.5	39.1
2500	37.4	37.9	43.3	40.6	38.6
3150	38.9	37.1	44.4	40.1	40.4
4000	38.8	35.9	45.4	37.3	42.0
5000	38.5	37.0	45.4	36.3	41.8
Avg.*	31.0	29.5	34.1	32.2	32.0
Sum**	48.1	47.1	52.9	49.5	49.3

\* Arithmetic average

\*\* Energy summation

$L_1$  : 음원실에서의 평균 음압 레벨(dB)

$L_2$  : 수음실에서의 평균 음압 레벨(dB)

$S$  : 시료의 면적( $m^2$ )

$A$  : 수음실의 흡음력( $m^2$ )

### 3.3 자유음장 수음실 조건의 투과손실 측정

ISO 10140-2에 의한 확산음장 측정에서와 동일한 음원실(RCs)을 사용하되 인접한 무향실측 카세트에 시편을 설치하고 무향실의 자유음장 조건에서 투과음 레벨을 측정하였다. 3.2절의 확산음장 측정방법

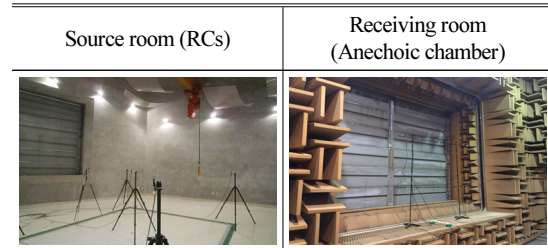


Fig. 4. (Color available online) Anechoic chamber receiving room measurements.

Table 7. Sound transmission loss measured at anechoic receiving room.

Freq (Hz)	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5	
	15 cm	120 cm	15 cm	120 cm	15 cm	120 cm	15 cm	120 cm	15 cm	120 cm
100	19.3	23.2	19.4	23.8	20.5	25.1	21.2	24.0	21.2	25.8
125	23.0	27.4	22.6	27.5	23.8	28.9	23.6	29.5	23.7	30.3
160	23.2	27.7	22.6	27.0	24.3	28.9	24.6	29.3	25.2	30.0
200	21.8	25.5	20.7	26.3	23.0	28.4	22.1	27.4	22.6	27.4
250	23.9	30.9	23.8	30.9	25.5	32.4	25.4	32.1	24.8	31.5
315	28.1	33.8	28.3	33.9	30.4	36.7	29.8	36.0	28.4	34.1
400	31.4	37.3	31.6	37.4	33.4	39.6	33.5	39.0	31.1	36.7
500	35.1	40.8	34.2	40.2	37.6	43.5	37.3	43.2	34.8	40.1
630	38.2	42.6	38.4	43.4	41.2	46.3	40.6	45.4	38.5	43.5
800	39.3	42.7	40.4	45.8	42.4	47.7	41.1	46.6	39.1	44.0
1000	37.3	43.8	38.5	44.3	39.5	46.0	38.7	45.4	36.7	43.1
1250	41.4	48.2	42.1	48.4	43.9	49.8	42.8	48.7	40.4	46.3
1600	39.4	45.5	40.0	45.9	42.8	48.2	40.7	47.1	40.1	46.0
2000	41.8	47.1	41.8	47.7	46.0	51.3	43.6	49.1	41.1	46.6
2500	40.0	44.3	41.8	46.9	46.4	50.5	43.4	48.4	41.1	46.2
3150	42.2	46.9	42.1	45.5	47.8	52.0	42.5	47.6	42.7	48.4
4000	40.7	46.5	41.9	43.4	48.9	52.6	37.5	43.5	43.7	49.2
5000	40.0	46.3	41.3	44.6	47.1	52.6	37.3	42.8	43.4	49.2
Avg.*	33.7	38.9	34.0	39.1	36.9	42.2	34.8	40.3	34.4	39.9
Sum**	50.5	56.0	51.2	56.1	55.6	60.5	51.6	57.2	51.4	56.9

\* Arithmetic average

\*\* Energy summation

과는 달리 자유음장 수음실 조건은 국제표준이나 국내표준으로 규격화 되어있지 않다. 따라서 음원실의 평균 음압레벨(L3)과 수음실에서 측정된 투과음의 음압레벨(L4)을 비교하는 방식으로 측정을 진행하였다. 수음실에서의 음압레벨은 음원실과 마찬가지로 여섯 개의 마이크로폰 평균값을 사용하였다. 마이크로폰의 위치는 3개(가로방향) × 2개(세로방향)

의 프레임을 시편과 평행하게 각각 15 cm 및 120 cm 떨어진 두 개 지점에서 측정하였다. 시편을 투과한 소리의 크기를 자유음장 조건에서 측정하는 것이므로 시편에서 멀어질수록 투과음의 크기가 작아진다는 점을 보이기 위한 두 곳 마이크로폰 위치의 선정이다. 당연히 확산음장 수음실의 흡음력 차이에 의한 영향을 보정하기 위한 음향감쇠계수(R) 개념이 적용되지는 않는다. Fig. 4는 자유음장(무향실) 수음실 조건의 투과손실 측정 장면을 나타낸 것이고 Table 7은 각각 무향실 시편으로부터 15 cm 및 120 cm 떨어진 다섯 개의 마이크로폰 지점에서 측정한 투과손실 값의 평균을 나타낸 것이다.

### 3.4 단일수치 평가방식의 적용

유럽표준협회(Comité Européen de Normalisation, CEN)는 교통소음 저감장치의 음향성능을 측정평가하기 위하여 교통소음의 기준 스펙트럼을 제시하고 있다. 도로변 교통소음의 기준 스펙트럼은 EN 1793-3:1997에 정의되어 있으며 터널과 같이 잔향이 있는 도로 부분을 제외한 일반 도로변 방음시설의 단일수치 평가값을 도출하기 위한 것이다. Table 8에 EN 규격에 정의된 도로교통소음의 기준 스펙트럼을 표시하였다. 철도소음의 기준 스펙트럼은 EN16272-3-1:2012에 정의되어 있으며 Table 9에 표시하였다. 철도소음 관련 EN 규격은 2012년 개정되면서 아래와 같이 단일수치 평가값  $DL_R$ 을 도출하기 위한 수식까지 규정하고 있다. 도로소음 및 철도소음 기준 스펙트럼 모두의 에너지합계는 0 dB로서 다만 주파수 특성을 보정하기 위한 주파수별 편차 보정값의 역할을 하기 위한 것일 뿐이다.

$$DL_R = -10\log\left[\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{-0.1R_i} 10^{0.1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i}}\right]. \quad (2)$$

$L_i$ 는 Table 6에서 표시한 1/3주파수대역 음압레벨이며,

$R_i$ 는 철로변 방음시설에 대해 ISO 10140-2의 규격으로 측정된 1/3 주파수대역 음향감쇠계수임.

Table 8. Normalized traffic noise spectrum.

$f_i$ (Hz)	$L_i$ (dB)
100	-20
125	-20
160	-18
200	-16
250	-15
315	-14
400	-13
500	-12
630	-11
800	-9
1000	-8
1250	-9
1600	-10
2000	-11
2500	-13
3150	-15
4000	-16
5000	-18
Sum	0.2

Table 9. Normalized railway noise spectrum.

$f_i$ (Hz)	$L_i$ (dB)
100	-27
125	-25
160	-23
200	-21
250	-19
315	-17
400	-15
500	-13
630	-12
800	-11
1000	-10
1250	-9
1600	-9
2000	-9
2500	-9
3150	-10
4000	-13
5000	-17
Sum	0.2

이 기준 스펙트럼과 Eq. (2)에 의해 다섯 가지 방음판 시편의 잔향실 수음실에서 측정된 음향감쇠계수와 무향실 수음실의 15 cm 및 120 cm에서 측정된 투

Table 10. Single-number rating of transmission loss.

Specimen	Normalized traffic noise spectrum			Normalized railway noise spectrum		
	$DL_R$	$TL$ 15 cm	$TL$ 120 cm	$DL_R$	$TL$ 15 cm	$TL$ 120 cm
1	28.5	31.4	36.2	32.2	35.0	40.1
2	26.1	31.1	36.6	30.3	34.9	40.4
3	29.8	33.0	38.5	34.1	37.0	42.6
4	29.4	32.7	37.8	33.5	36.3	41.7
5	29.3	32.2	37.7	33.2	35.6	41.1

과손실 값을 Table 10에서 비교하였다. 도로소음 기준 스펙트럼에 관한 EN 규격은 1998년의 것으로 단일수치 평가식을 포함하고 있지 않으므로 철도소음에 관한 규격에서 제시된 Eq. (2)를 적용하여 단일수치를 평가하였다.

#### IV. 분석 및 토의

##### 4.1 측정값의 의미와 경향

같은 음원실(RCs)에 설치된 같은 시편이지만, 따라서 투과된 음에너지는 같은 양이지만, 잔향실흡실수음실(RCI)로 투과된 음압레벨에 비하여 무향실수음실(Anechoic chamber)로 투과된 음압레벨이 더 작게 측정된다. 확산음장인 잔향실흡실수음실에서의 측정값은 마이크로폰의 위치에 관계없이 수음실의 흡음력 보정에 의한 음향감쇠계수(R)로 표시되며 이는 서로 다른 실험실에서 측정된 서로 다른 방음판의 투과손실 성능을 비교하기 위한 의미를 갖는다.

반면 자유음장인 무향실수음실에서의 측정값은 시편과 마이크로폰 사이의 거리에 따라 달라진다. 시편으로부터의 거리가 각각 15 cm와 120 cm로 23배(8배) 떨어진 곳에 6개의 마이크로폰을 설치하여 측정된 투과음의 레벨 차이는 약 5.5 dB(5개 시편 평균값, 표준편차 0.4) 정도이다. 적절한 거리에서 측정된 무향실수음실에서의 측정값은 실제 도로변 방음벽에서의 소음 감쇠량이 어느 정도일지를 짐작 가능하게 하는 실질적 수치로서의 의미가 있다. 시편과 각각 15 cm와 120 cm 떨어진 무향실에서 측정된 두 값은 크기만 다를 뿐 거의 유사한 흐름을 갖는데 반하여 현행 규격에 의해 잔향실에서 측정된 값

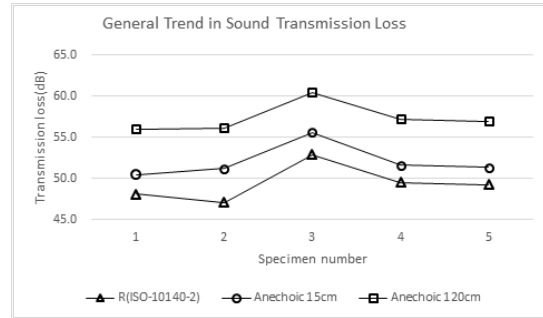


Fig. 5. (Color available online) Average value measured at reverberant and anechoic receiving rooms.

은 약간 다른 경향을 갖는 것을 Fig. 5에서 확인할 수 있다.

##### 4.2 측정방식에 따른 차이 분석

자유공간(무향실) 수음실 측정의 경우 반사음이 나 잔향음이 없기 때문에 별도의 보정이 필요하지 않지만 ISO 10141-2에 의한 음향감쇠계수 측정시 잔향음의 영향을 보정하기 위해 흡음력 보정을 해야 한다. 이 경우 시편의 수음실측 흡음률에 따라 흡음력 보정값이 달라지게 된다. 실제 측정된 다섯 개 시편의 흡음력 보정값은 작게는 0.8 dB(4번 시편)로부터 많게는 1.9 dB(3번 시편) 사이에 분포하며 시편별 음향감쇠계수에 1 dB 정도의 편차를 발생시키는 것이 확인되었다(Fig. 6).

수음실의 흡음력 보정을 통해 저음의 수음실 측정값은 잔향실의 과도한 울림 영향을 어느 정도 상쇄함으로써 더 낮은 값으로 수정되며(투과손실을 더 크게 교정) 고음은 더 높은 값으로 수정된다. Fig. 7에서 다섯 개 시편에서의 주파수별 측정값(L1-L2)과 흡음력 보정을 통한 음향감쇠지수(R)의 경향을 나타냈다. 측정값의 편차가 중-저음 보다는 고음 영역에서 더 크게 나타나는 경향도 확인할 수 있다. 아울러 음향감쇠지수 환산값이 저음에서는 측정값보다 더 높게, 고음에서는 측정값보다 더 낮게 조정되는 결과를 확인할 수 있다. 이러한 흡음력 보정과정을 거쳐서 음향감쇠지수(R)는 자유음장수음실 측정값과 그 경향이 유사해지는 방향으로 변환된다.

흡음력 보정을 거치기 전의 측정 결과(L1-L2)와 흡음력 보정을 거친 음향감쇠지수(R) 및 자유음장(무

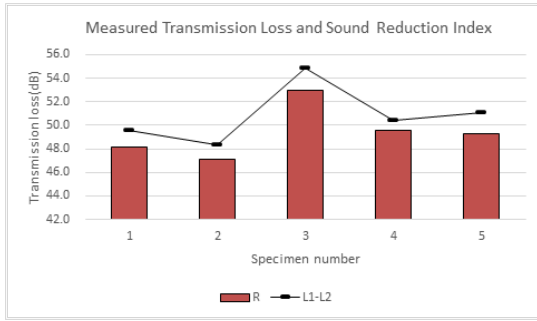


Fig. 6. (Color available online) Difference in TL and sound reduction index (R).

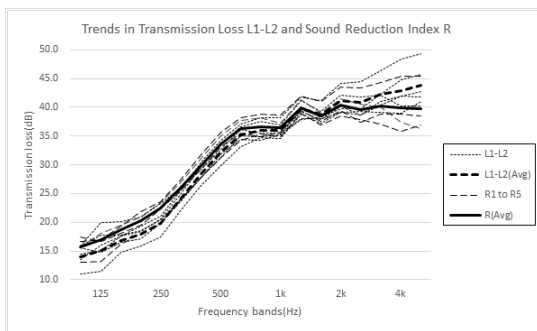


Fig. 7. (Color available online) General trend in TL and R.

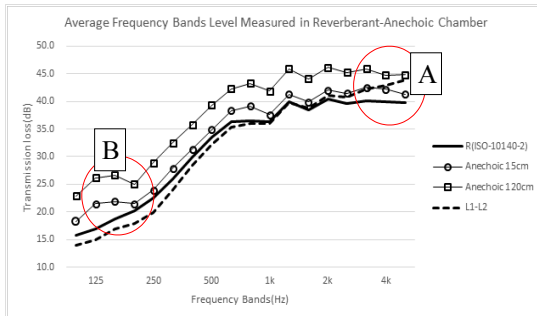


Fig. 8. (Color available online) Measurement result in reverberant-anechoic receiving rooms.

향실) 수음실의 시편 15 cm 및 120 cm 거리에서 측정 한 투과손실 값을 비교한 결과를 Fig. 8에 표시하였다. 주목할만한 점은 자유음장 상황에 설치되는 방음판-방음벽의 현황을 감안하여 자유음장(무향실) 수음실에서 측정된 결과는 이미 흡음력 보정을 거친 음향감쇠지수와 비슷한 경향을 나타내고 있다는 사실이다. Fig. 8에서 흡음력 보정을 거치기 전 잔향실 수음실에서 측정된 투과손실 값과 흡음력 보정으로 구한 음향감쇠지수, 그리고 무향실 수음실의 시편

15 cm 및 120 cm 거리에서 측정된 투과손실 값을 비교하였다. 흡음력 보정을 거친 ISO 10140-2 규정의 음향감쇠지수는 2kHz 이상 고음에서의 투과손실 경향을 자유음장 수음실 측정값과 잘 부합되도록 조정하는 역할을 하고 있다(A).

무향실 수음실에서 측정된 결과는 ISO 10140-2의 잔향실 수음실에서 측정된 결과와 달리 125 Hz~200 Hz 1/3 주파수 대역에서의 공명에 의한 차음성능 약화 현상을 그대로 반영하고 있다(B). 전반적으로 무향실 측정데이터는 125 Hz 주파수대역의 편차를 제외하고는 ISO 규격에 의한 음향감쇠지수와 유사한 경향을 나타낸다.

### 4.3 단일수치 평가방식의 적용

단일수치 평가는 차음재료 혹은 방음판 성능의 표시나 성능 비교를 위해 직관적인 자료를 제공하는 것으로 적절한 규격에 의해 규정되어야 한다. 소음의 시간적 변화를 단일수치로 평가하기 위한 등가소음레벨( $L_{eq}$ )이나 물리량과는 다른 인간 청취감각의 소리 높낮이 감각을 표시한 A가중 음압레벨(dBA), 아이들 뛰는 소리의 소음원 특성을 반영한 중량바닥충격음레벨 등이 소음분야 단일수치 평가방식의 규격에 의해 규정된 것이다. Tables 6과 7에 나타난 18개 1/3 주파수대역별 음향감쇠계수의 에너지 합계(Energy summation)는 방음판의 차음성능만을 단일수치로 표시한 것임에 반하여, 국제표준 EN의 기준 스펙트럼을 반영한 Eq. (2)의 단일수치 평가값은 Reference [10]과 같이 실제 도로변이나 철로변에서 측정된 소음의 주파수 특성을 감안한 방음판의 차음성능을 표시하고 있다. 이 단일수치 값을 활용하여 방음판이 실제 도로변이나 철로변에 설치되었을 때 어느 정도 효율적으로 활용될 수 있을지를 평가할 수 있다.

우리나라의 규격 체계에서는 도로나 철도 등 적용 대상별 방음판 투과손실의 단일수치 평가에 대해 규정하고 있지 않다. 다만 KS F ISO 10140-2 에 의해 측정 및 보정된 음향감쇠계수(R)의 전대역 에너지레벨로 표시하거나 유럽의 표준을 준용하는 경향이 있을 뿐이다. 도로의 구조나 포장 방법, 차량 유형과 속도 등 다양한 변인에 의해 우리나라의 도로변 혹은



Table 11. Example of normalized spectrum derived from 6 actual measurement data.

	Road K	Road A	Road Y	Road M	Road B	Road D	Average	Normalized spectrum
100	55	60	43	43	51	41	49	-28.0
125	58	58	48	47	52	44	51	-26.0
160	59	58	50	50	54	46	53	-24.0
200	71	60	52	52	56	49	57	-20.0
250	73	61	55	55	59	55	60	-17.0
315	75	63	57	57	59	57	61	-16.0
400	78	65	59	59	59	57	63	-14.0
500	80	65	62	62	60	60	65	-12.0
630	81	66	65	66	61	62	67	-10.0
800	82	68	69	69	65	63	69	-8.0
1000	83	69	70	70	65	66	71	-7.0
1250	82	69	70	70	65	66	70	-7.0
1600	80	68	69	69	63	66	69	-8.0
2000	79	65	64	65	60	62	66	-11.0
2500	77	62	61	61	59	59	63	-14.0
3150	75	60	58	58	55	56	60	-17.0
4000	72	58	54	54	52	51	57	-20.0
5000	70	56	50	50	50	48	54	-23.0
Sum*	91	77	77	77	73	73	78	0.7

철로변 소음 스펙트럼은 유럽표준의 상황과 다를 수 밖에 없다. Table 11은 Reference [11]에 표기된 기존의 연구자료에서 서로 다른 조건의 여러 곳 간선도로변에서 측정된 우리나라 도로교통 소음의 보편적 스펙트럼을 인용한 것이다. 이 자료에서 제시된 6개의 1/3 주파수대역 소음레벨을 평균하여 최대한 0dB에 가까운 기준 스펙트럼으로 변환하여 Table 11에 표시하였다. Fig. 9는 유럽의 도로와 철로에 대해 표준화된 기준 스펙트럼과 조창근의 연구에서 유추한 한국 도로의 기준 스펙트럼을 비교한 것이다. 흥미로운 점은 4KHz 주파수대역에서의 편차를 제외하고는 유럽 철로와 한국 도로의 기준 스펙트럼이 상당히 유사한 경향을 보인다는 점이다(Fig. 9). 그 결과 Fig. 10 과 같이 한국 도로의 방음판 방음효율 단일수치 평가량은 유럽의 철로와 매우 근접하게 나타난다.

4.4 소결 : 방음판 음향투과손실 측정규격의 필요성

방음판의 설치환경이나 목표, 지향점 등이 실내공

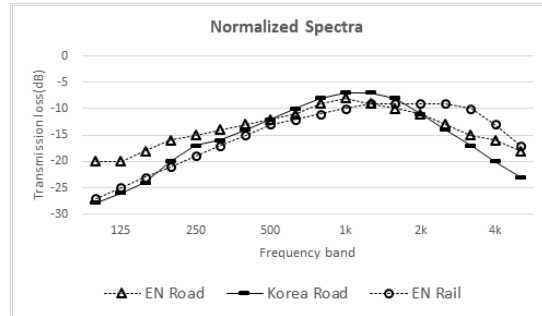


Fig. 9. (Color available online) Normalized spectra in Europe and Korea.

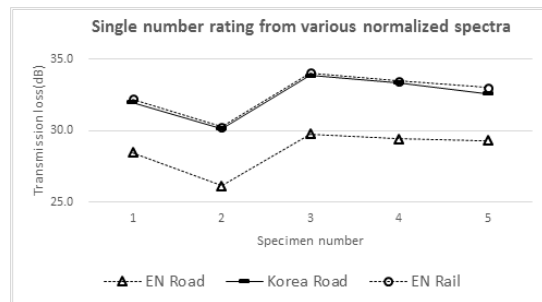


Fig. 10. Single number rating in Europe and Korea.

간의 구획을 위한 건축부재와는 다르다. 따라서 건축재나 건축부재의 규격과는 다른 방음판 음향투과손실 측정 규격이 필요하다. 이 규격에는 자유음장인 무향실 수음실의 조건이 반영되어야 하며, 도시내 도로, 간선도로, 고속도로, 일반열차, 고속열차 등의 소음원 특성을 기준 스펙트럼으로 변화하여 단일수치로 평가할 수 있도록 하는 평가체계도 수립되어야 한다.

V. 결 론

방음판의 음향투과손실은 방음벽의 삽입손실을 결정하는 중요한 요인 중 하나로 방음벽의 성능을 결정하는 기본적인 지표이다. 그럼에도 불구하고 아직까지 우리나라는 방음판의 음향투과손실 측정방법에 관한 규격이 없다.

이 연구에서는 방음판의 음향투과손실 측정 및 평가 규격의 필요성에 대해 고찰하고, 실내 건축부재와 달리 외부공간에 설치되는 방음벽의 특성을 감안한 자유음장(무향실) 수음실에서의 측정방법을 제안하였다. 아울러 도로변이나 철로변 등 다양한 설

치장소에 따른 방음효과를 간단히 표시할 수 있도록 기준 스펙트럼을 활용한 단일수치 평가법을 적용하여 평가하였다. 이를 위해 다섯 가지의 실제 방음판으로 시편을 제작하여 일반적인 건축부재의 투과손실 측정법인 KS F ISO 10140-2 규격에 의해서, 그리고 자유음장(무향실) 수음실에서 음향감쇠계수(R) 및 음향투과손실(Transmission Loss, TL)을 측정하고 비교하였다. 또한 이 값을 EN 1793-3의 유럽 도로교통소음 기준 스펙트럼 및 우리나라의 도로교통소음 스펙트럼에 대입하여 적용함으로써 우리나라의 방음판 음향투과손실 측정방법의 단일수치 표준화 방식을 제안하고자 하였다.

결론으로 다음의 세 가지를 제시할 수 있다. 첫째 우리나라에는 방음판의 음향투과손실을 측정하고 평가하기 위한 규격이 없다. 현재 이 분야에서 가장 포괄적인 규격인 EN 1793 시리즈 및 EN 16272 시리즈의 내용을 벤치마크 할 필요가 있다. 둘째 EN의 위 규격 시리즈에서는 확산음장에서 실내마감재료의 투과손실을 측정하는 ISO 10140-2를 인용하고 있다. 방음판의 투과손실 측정방법은 외부공간(자유음장)에 설치되는 방음벽의 현황을 반영하는 것이어야 한다. 셋째 단일수치 평가를 위한 기준 스펙트럼의 개념을 도입해야 한다. 향후 우리나라의 소음환경에 적합한 다양한 기준 스펙트럼을 제시함으로써 각 경우에 대해 최적 효율의 방음판을 선택할 수 있도록 하는 단일수치 평가법을 개발할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 2019학년도 목포대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음

## References

1. M. Garai and P. Guidorzi, "European methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data," *J. Acoust. Soc. Am.* **108**, 1054-1067 (2000).
2. Ministry of Environment, "Performance and installation standards of sound barrier facilities," Ministry of Environment notice, No.2014-196, 11. 14, 2014.

Environment notice, No.1999-150, 1.6, 1999.

3. Ministry of Environment, "Performance and installation standards of sound barrier facilities," Ministry of Environment notice, No.2014-196, 11. 14, 2014.
4. KS F 4770-1 *Sound Barrier Panel - Metal*, 2001.
5. KS F 4770-2 *Sound Barrier Panel - Color Metal*, 2001.
6. KS F 4770-3 *Sound Barrier Panel - Non Metal*, 2001.
7. KS F 4770-4 *Sound Barrier Panel - Wood*, 2001.
8. ISO 10140-2, *Acoustics - Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements - Part 2: Measurement of Airborne Sound Insulation*, 2021.
9. EN 1793-2:2018, *Road Traffic Noise Reducing Devices Test Method for Determining the Acoustic Performance Part 2: Intrinsic Characteristics of Airborne Sound Insulation Under Diffuse Sound Field Conditions*, 2018.
10. EN 16272-1:2012, *Railway Applications-Track-Noise Barriers and Related Devices Acting on Airborne Sound Propagation-Test Method for Determining the Acoustic Performance-Part 3-1: Normalized Railway Noise Spectrum and Single Number Ratings for Diffuse Field Application*, 2012.
11. C. G. Cho, "Traffic Noise Characteristic of Urban Major Roads by the Traffic Flow Conditions" (in Korean), *J. Korean Soc. Living Environ. Sys.* **17**, 585-594 (2010).

## 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 : 목포대학교 건축학과 교수