

단일수치 평가방법에 따른 방음벽의 흡음성능 고찰

Sound Absorption Performance of Noise Barrier According to Single Number Rating Methods

김 용 희* · 이 성 찬†
Yonghee Kim and Sungchan Lee

(Received February 1, 2017 ; Revised February 28, 2017 ; Accepted February 28, 2017)

Key Words : Sound Absorption Coefficient(흡음계수), Reverberation Room(잔향실), Single Number Rating(단일수치 평가량), Weighted Sound Absorption Coefficient(가중흡음계수), Noise Reduction Coefficient(소음저감 계수), Noise Barrier(방음벽)

ABSTRACT

In this study, single number rating methods of sound absorption coefficients are discussed. After that the sound absorption performance of noise barriers which are classified by Korea Standard are analyzed according to several standards. The existing rating methods such as NRC (noise reduction coefficient), SAA (sound absorption average) or α_w (weighted sound absorption coefficient) from ASTM C423, KS F 3505 and ISO 11654 are introduced. The sound absorption performance of noise barrier is evaluated to compare NRC and α_w value. When the value is over 0.6 there are large variance between NRC and α_w value. As results, it is needed to unify single number rating methods of sound absorption coefficients for Korean standards on sound absorbing materials.

1. 서 론

건축물용 마감재료의 흡음성능은 공간의 잔향에 직접적인 영향을 미치며, 음향설계의 중요한 과정 중 하나는 적절한 흡음특성의 마감재료를 선택하는 것이다. 일반적으로 흡음성능은 측정표준⁽¹⁻³⁾에 따라 잔향실법 난입사 흡음계수로 평가하며, 소형시편의 경우, 관내법 수직입사 흡음계수^(4,5)나 알파케빈에 의한 난입사 흡음계수⁽⁶⁾를 이용하기도 한다.

측정된 주파수 대역별 흡음계수는 마감재의 물성 및 구성, 설치법에 따라 다양한 특성을 나타내는데, 산업계에서 제품의 품질관리 측면에서 모든 주파수

대역의 흡음계수를 고려하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한, 일반인에게 제품의 흡음성능을 홍보할 때 이런 복잡한 특성은 이해하기 어려우므로, 단일 수치 평가량 또는 평가등급이 필요하게 되었다. 이에 1997년 ISO 11654의 제정⁽⁷⁾을 통해 가중흡음계수를 이용한 단일수치 평가법과 흡음등급이 제안되었으나, 국내 산업계에서는 2007년 개정 전의 ASTM C423⁽³⁾에 따른 NRC(noise reduction coefficient)를 일반적으로 사용하고 있다.

이 연구에서는 제품표준에서 사용되고 있는 다양한 흡음계수의 단일수치 평가방법을 고찰한 뒤, 이 방법을 적용하기 위해 현재 산업계에서 흡음등급 규정을 적용하여 많이 활용되고 있는 방음벽(방음판)

† Corresponding Author; Member, Department of Architecture and Plant, Youngsan University
E-mail : sclee@ysu.ac.kr

* Member, Korea Conformity Laboratories

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

에 대해 흡음성능을 실측하고 ISO 11654의 단일수치 평가 기준에 따른 가중흡음계수 및 흡음등급을 도출하여, 보다 합리적인 방음판의 흡음성능 평가방법에 대해 고찰하고자 한다.

2. 단일수치 평가방법과 등급

2.1 NRC와 SAA

‘소음감소계수’, ‘소음저감계수’ 또는 ‘감음계수’ 등 다양한 우리말 용어로 번역되어 사용되는 NRC (noise reduction coefficient)는 2007년 이전의 ASTM C423에 따라, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz 대역의 흡음계수 산술평균을 가장 가까운 0.05의 배수로 반올림해서 표시하는 방법이다.

최신의 ASTM C423⁽⁸⁾에서는 1/3 옥타브 밴드 200 Hz에서 2500 Hz까지의 12개 대역의 흡음계수 산술평균값을 가장 가까운 0.01의 배수로 반올림해서 표시하며 ‘흡음평균’으로 번역될 수 있는 SAA (sound absorption average)를 사용하도록 규정하고 있다. 더불어 이전 측정결과와 비교하기 위해 SAA와 NRC를 병행해서 표기하도록 규정하고 있다. NRC는 오래전부터 사용되어 와서, 산업계에서 흡음성능은 NRC로 평가하는 것이 일반적이다. 그러나, 우리나라 국가표준에서는 NRC나 SAA 용어 자체를 규정하고 있지 않기 때문에, 미국으로 수출하기 위해 ASTM 방법으로 평가하는 흡음용 건축자재를 제외하고는 이 방법을 적용할 근거가 없다. 또한, SAA와 NRC 모두 단순한 산술평균값이기 때문에 흡음계수의 주파수 특성이 단일 수치 평가값에 나타나지 않는 단점이 있다.

2.2 국가표준(KS) 내의 평가방법

(1) KS F 3503

국내 산업계에서 제품의 흡음성능은 일반적으로 KS F 3503⁽⁹⁾에 따라 평가하고 있다. NRC와 유사한 방법으로 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz 대역 흡음계수의 산술평균을 ‘잔향실법 흡음 계수’로 정의하고, Table 1과 같이 그 값에 따라 0.3에서 0.9의 3 단계로 흡음 성능을 구분하고 있다. 또한, 시험체 설치조건에 따라 강벽에 밀착하는 경우 흡음계수에 따른 구분 뒤에 기호 M을 표기하며, 그 이외로서 두께 300 mm의 배면공기층을 사용하는 경우 기호

S를 표기하도록 되어 있다.

Table 2는 KS F 3503 및 이와 동일한 흡음성능 평가방법을 인용하고 있는 국내 관련 제품표준 목록을 나타낸다. KS F 3503의 방법론을 직접 인용하고 있는 국가표준은 KS F 5660과 KS L 9105 두 건밖에 없고, KS I 3157과 KS I 3602는 직접적인 인용 없이 동일한 방법론을 본문 내에 언급하고 있다. KS I 6101은 단순히 KS F 3503에 따른 흡음재를 사용하는 부분만 언급하고 있다. 그러나, 이 방법 역시 다양한 주파수 특성을 반영하지 못하고 있고, 흡음성능 0.2 이하의 재료에 대한 측정결과 표기방법이 제외되어 있는 단점이 있다.

(2) KS F 4770

흡음형 방음판의 경우 KS F 4770 시리즈⁽¹⁰⁻¹³⁾에 따라 Table 3과 같이 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz 대역 잔향실법 흡음계수의 산술평균을 바탕으로 4개의 등급으로 구분하고 있다. 그러나, NRC와 마찬가지로 주파수 특성이 반영되지 않고, 1/3 옥타브

Table 1 Grouping by sound absorption performances by KS F 3503

Grouping by sound absorption coefficient	Sound absorption coefficient using reverberation room method
0.3	0.21 ~ 0.40
0.5	0.41 ~ 0.60
0.7	0.61 ~ 0.80
0.9	0.81 or more

Table 2 List of Korean standards referring sound absorption rating methods of KS F 3503

KS No.	Title	Remarks
KS F 5660:2011	Polyester fiber sound absorbing and thermal insulation	KS F 3503 method
KS I 3157:2014	Recycled fiberboard for sound absorbing	-
KS I 3602:2014	Recycled fiber sound absorbing manufactured goods	-
KS I 6101:2004	Absorptive duct silencer	Only materials on KS F 3503
KS L 9105:2014	Dressed rockwool boards for acoustic use	KS F 3503 method

밴드에서 상기 4개 주파수 대역만을 선별적으로 산술평균내기 때문에, 계산에 포함되는 특정 주파수에서만 흡음계수가 높으면 흡음등급이 높게 평가된다. 도로교통소음의 경우 전체적인 주파수 대역에서 소음레벨이 높아⁽¹⁴⁾ 등급 기준 산정 시 주파수 특성이 반영되어 있지 않은 한계가 있다.

(3) KS F 3655

KS I 3655⁽¹⁵⁾는 우수재활용제품(GR) 인증기준에서 전환된 국가표준 중 하나로서, KS F 4770의 기준과 유사하게 4등급으로 구분하지만, Table 4와 같이 각 등급의 흡음계수가 Table 3에 비해 0.05씩 낮은 특징이 있다. 제품의 종류에 따라 다른 성능기준을 제시할 수 있지만, 일반적인 흡음성능을 지칭할 때 방음판에서의 흡음 2급과 알루미늄 발포 흡음재에서의 2급은 서로 상이한 값을 지시하고 있으므로, 혼동을 방지하기 위해서 이를 개선할 필요가 있다.

(4) KS F 3607 및 KS F 3609

면섬유에 의한 제품을 평가하는 KS I 3607⁽¹⁶⁾과 KS I 3609⁽¹⁷⁾는 KS F 3503과 유사하게 Table 5와 같이 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz 대역 잔향실법 흡음계수의 산술평균을 바탕으로 흡음 성능을 4개의

등급으로 구분하고 있다. 다른 방법과 마찬가지로 등급 외 범위에 대한 기준이 없고, 주파수 특성의 차이가 반영되지 않는 한계가 있다. 또한 성능기준을 표시함에 있어서 ‘흡음률(NRC)’로 표현하여, 용어의 정의에 맞지 않게 평가량을 지칭하고 있다.

(5) 기타 흡음성능 평가방법

조달청에서 사용하는 정부조달물품 표준규격인 MAS 2012-026 (흡음용천장재)⁽¹⁸⁾에서는 NRC를 흡음성능 평가량으로 규정하고 있으나, 세부 측정 및 계산방법은 KS F 2805만을 인용하고 있어, 현실적으로 1/3 옥타브 밴드 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz 대역의 흡음계수 산술평균을 단일 수치 평가량으로 임의 해석하여 적용하고 있다.

2.3 가중흡음계수(α_w)

ISO 11654⁽⁷⁾는 주파수 대역 가중치를 반영한 가중흡음 계수(α_w , weighted sound absorption coefficient)를 단일수치 평가량으로 도출하는 평가방법을 규정하고 있다. 2003년 ISO 11654를 부합화하여 KS F ISO 11654⁽¹⁹⁾로 제정하였으며, 선택적으로 가중 흡음 계수를 측정결과 표시에 활용할 수 있도록 2014년 KS F 2805⁽¹⁾를 개정하였다.

가중 흡음 계수를 구하는 절차는 다음과 같다. 먼저 KS F 2805에 따라 1/3 옥타브 밴드별 흡음계수를 측정하고, 이를 1/1 옥타브 밴드별 흡음계수로 인접하고 있는 3개의 주파수 대역 측정값을 산술평균한 뒤 0.05 단위로 반올림하여 실제 흡음 계수(α_p , practical sound absorption coefficient)를 산출하며, 최댓값은 1.00으로 계산한다. 이후 125 Hz 대역을 제외한 250 Hz에서 4 kHz의 실제 흡음 계수 결과값에 대해 Table 6의 기준 곡선을 0.05 간격으로 이동시켜, 기준곡선을 하회하는 편차의 합이 0.1

Table 3 Sound absorption coefficient class by KS F 4770

Class	Arithmetic average of sound absorption coefficients
First-class	0.85 or more
Second-class	0.80 or more, and under 0.85
Third-class	0.75 or more, and under 0.80
Fourth-class	0.70 or more, and under 0.75

Table 4 Sound absorption coefficient class by KS I 3655

Class	Arithmetic average of sound absorption coefficients
First-class	0.80 or more
Second-class	0.75 or more, and under 0.80
Third-class	0.70 or more, and under 0.75
Fourth-class	0.65 or more, and under 0.70

Table 5 Grouping by sound absorption performances by KS I 3609

Grouping by sound absorption coefficient	Sound absorption coefficient using reverberation room method
0.3	0.26 ~ 0.35
0.4	0.36 ~ 0.45
0.5	0.46 ~ 0.55
0.6	0.56 ~ 0.65

이하가 될 때의 500 Hz값을 가중 흡음 계수로 정의하고 있다. 결정된 기준 곡선에 비해 실제 흡음 계수가 0.25 이상 상회할 때마다, 주파수 특성을 나타내는 형태지수(shape indicators)를 가중 흡음 계수 뒤에 괄호로 더해 표기한다. 250 Hz의 형태지수는 L로 표기하며, 500 Hz에서 1 kHz는 M, 2 kHz에서 4 kHz는 H로 표기하며, 여러 대역에서 상회할 경우 형태지수를 병기한다.

2.4 흡음재의 흡음등급

ISO 11654 부속서 B⁽⁷⁾에서 Table 7과 같이 가중 흡음 계수에 따라 A~E, 등급 없음으로 흡음 등급을 제안하고 있다. 독일엔지니어협회(VDI)⁽²⁰⁾에서는 각 등급별 흡음성능을 Table 7에 병기된 항목과 같이 A~B 등급은 ‘굉장히 흡음하는(extremely absorbing)’, C 등급은 ‘매우 흡음하는(highly absorbing)’, D 등급은 ‘흡음하는(absorbing)’, E 등급은 ‘거의 흡음하지 않는(hardly absorbing)’, ‘등급 없음(not classified)’은 ‘반사하는(reflecting)’으로 표현하고 있다. 또한, 기존의 NRC 측정결과와 비교하여 대략적으로 NRC가 0.75 이상의 경우 A~B 등급, 0.5~0.7의 경우 C~D 등급, 0.25~0.45의 경우 E 등급, 0.2 이하의 경우 ‘등급 없음’에 해당한다.

Table 6 Reference curve for evaluation of weighted sound absorption coefficient

Frequency	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Value	0.80	1.00	1.00	1.00	0.90

Table 7 Sound absorption classes in ISO 11654 Annex B

Sound absorption class	α_w	Absorption class explanation ⁽¹⁹⁾	NRC ⁽²⁰⁾
A	0.90, 0.95, 1.00	Extremely absorbing	0.75 or more
B	0.80, 0.85		
C	0.60, 0.65, 0.70, 0.75	Highly absorbing	0.50 ~ 0.70
D	0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55	Absorbing	
E	0.15, 0.20, 0.25	Hardly absorbing	0.25 ~ 0.45
Not classified	0.00, 0.05, 0.10	Reflecting	0.20 or less

3. 방음판의 흡음성능

3.1 흡음성능 측정

방음판의 흡음성능을 평가하기 위하여 ISO 354⁽²⁾에 따라 측정하였다. 잔향실의 바닥은 오각형으로 평행한 면이 없는 구조이며 실험실 내부는 콘크리트 마감으로 시료의 크기는 10.5 m² (3 × 3.5 m)이다. 잔향실의 체적은 325 m³이었으며 실험실 내부 시료 설치 모습은 Fig. 1과 같다. 평가대상 방음판 시료는 251종으로 KS F 4770-1, 2, 3, 4의 내용을 참고하여 금속재, 비금속재(플라스틱), 비금속재(시멘트), 비금속재(투명) 및 목재로 분류하였다. 비금속재(투명)방음벽에는 방음벽의 프레임에 흡음재가 삽입되어 있는 구조도 포함되어 있으며 KS가 없는 가설 방음판은 별도로 분류하여 분석하였다. Table 8은



Fig. 1 Example of specimen installation for sound absorption test in reverberation room

Table 8 Specification of the noise barrier samples

Type of noise barrier	Number of samples	Overall thickness
Metallic (KS F 4770-1, 2)	155	(19.4 ~ 250) mm
Non-metallic (KS F 4770-3)	Plastic	25 (30 ~ 175) mm
	Cement	19 (110 ~ 220) mm
	Transparent	15 (50 ~ 200) mm
Wood (KS F 4770-4)	23	(65 ~ 180) mm
Temporary	14	(30 ~ 35) mm
Total	251	-

분석에 사용된 방음판 종류별 시료 개수 및 두께 범위를 나타낸다.

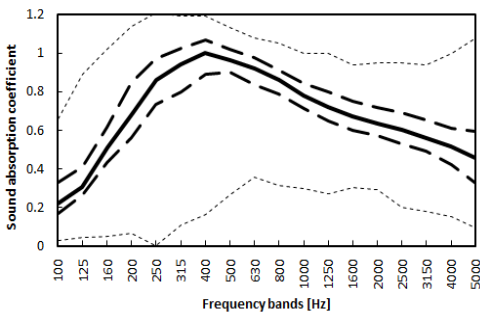
3.2 측정결과

Fig. 2는 각 방음판 종류별 흡음계수 측정결과와 주파수 특성을 나타낸다. 대부분의 방음판이 평균값 기준 (400 ~ 630) Hz 대역에서 피크 특성을 보이며, F가설 방음판만 약 1 kHz 대역에서 피크특성을 보이는 것으로 나타났다.

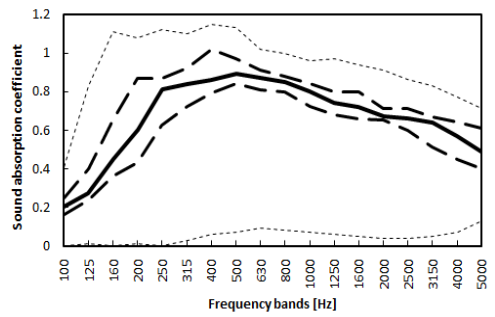
KS F 4770에 따른 방음판의 흡음성능 평가방법인

250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz 대역의 흡음계수 산술평균값을 기준으로 보면 금속재 방음판이 가장 높은 0.81로 나타났고, 비금속재(플라스틱, 시멘트) 및 목재 방음판이 0.75 ~ 0.76으로 유사한 분포를 보였다. 비금속재(투명) 방음판의 경우 0.65, 가설 방음판의 경우 0.50으로 상대적으로 낮게 나타났다.

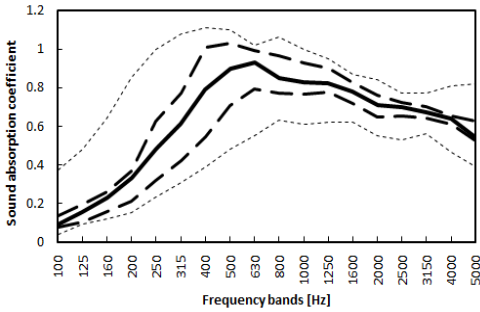
그러나, KS F ISO 11654에 따른 가중흡음계수는 비금속재(플라스틱, 시멘트) 방음판이 0.7로 가장 높았으며, 금속재와 목재 방음판은 0.65, 비금속재(투명) 방음판은 0.45, 가설 방음판은 0.4로 나타났다.



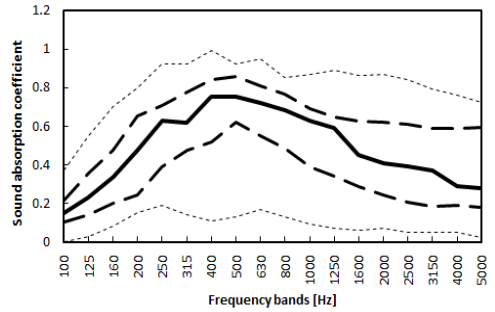
(a) Metallic type noise barriers



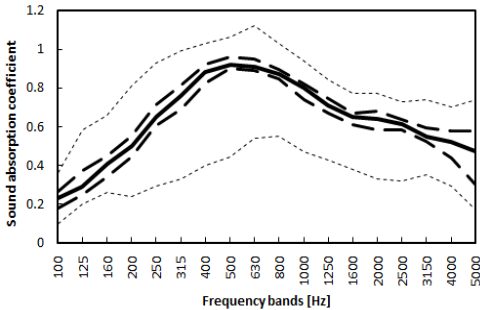
(b) Non-metallic (plastic) type noise barriers



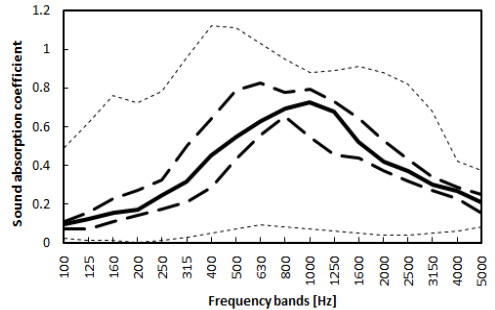
(c) Non-metallic (cement) type noise barriers



(d) Non-metallic (transparent) type noise barriers



(e) Wood type noise barriers



(f) Temporary type noise barriers

Fig. 2 Absorption test result according to one third octave band frequency (solid line : mean value, dash lines : first and third quartile, dotted lines : minimum and maximum values)

250 및 500 Hz에서 상대적으로 흡음계수가 높은 금속재 방음판과 달리 비금속재(플라스틱, 시멘트) 방음판이 1 kHz 이상에서 더 높은 특성을 보였기 때문에, 고주파수 대역 가중치가 포함된 KS F ISO 11654의 기준곡선 특성이 반영되어 이런 차이가 발생하였다.

금속재 및 비금속재(플라스틱) 방음판의 경우 최댓값과 최솟값의 차이가 매우 크게 분포하였으며, 비금속재(시멘트) 및 목재 방음판의 경우 그 차이가 상대적으로 작게 나타났다. 비금속재(투명) 방음판의 경우, 고주파수 대역의 사분범위(interquartile range)가 다른 종류와 달리 0.4 내외로 매우 넓게 분포하였고, 목재 방음판의 경우 0.1 내외로 매우 좁게 분포하였다.

3.3 방음판 단일수치 흡음등급 비교

251종의 방음판에 대한 흡음계수 측정결과를 바탕으로 KS F 4770에서 규정하고 있는 흡음등급을

구분하여 Fig. 3으로 표현하였다. 전체 251종의 방음판 중 등급 외인 4등급 미만인 시료는 52종으로서 전체의 21%에 달한다. 금속재와 비금속재(플라스틱, 시멘트) 방음판의 경우 각 등급별로 비슷하게 분포하였으나, 비금속재(투명) 및 목재 방음판의 경우 대부분이 3등급 이하로 나타났고, 가설 방음판의 경우 1종을 제외하고 모두 등급 외로 나타났다. 따라서, KS F 4770-3의 비금속재 방음판 표준 내에서 투명방음판은 플라스틱 및 시멘트와 다른 흡음성능 기준을 설정할 필요가 있고, 이 기준을 가설 방음판에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

한편, Fig. 3의 측정결과를 각 방음판 등급별 가중 흡음계수(α_w)로 환산하여 표현하면 Fig. 4와 같다. 그 결과, 1등급에 해당하는 방음판은 0.45~0.95의 분포를 보였으며, KS F ISO 11654 부속서 B에 따른 흡음등급은 A~D로 4등급에 걸쳐 분포하고 있다. 2등급인 방음판의 경우도 비슷하게 0.5~0.85의 분포이고, 3등급인 방음판의 경우 0.55~0.8의 분포이며, 4등급인 방음판의 경우는 0.35~0.8의 분포를 보여 흡음등급은 모두 B~D에 해당하는 것으로 나타났다. 앞서 4등급 미만으로 등급 외에 해당하는 방음판의 경우에도 0.05~0.7로 C~‘등급 없음’의 매우 넓은 분포를 보였다.

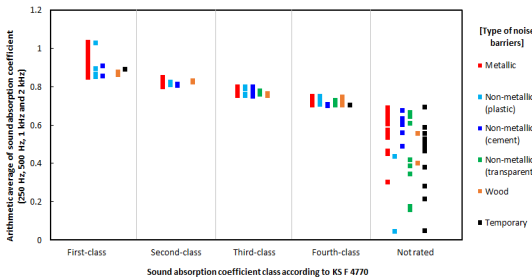


Fig. 3 Distribution of arithmetic average of sound absorption coefficient (250 Hz, 500 Hz, 1 kHz and 2 kHz) as a function of sound absorption coefficient classes according to KS F 4770

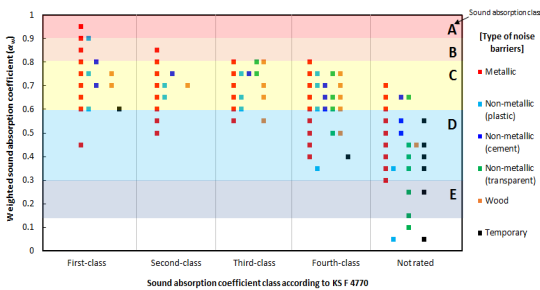


Fig. 4 Distribution of weighted sound absorption coefficient as function of sound absorption coefficient classes according to KS F 4770

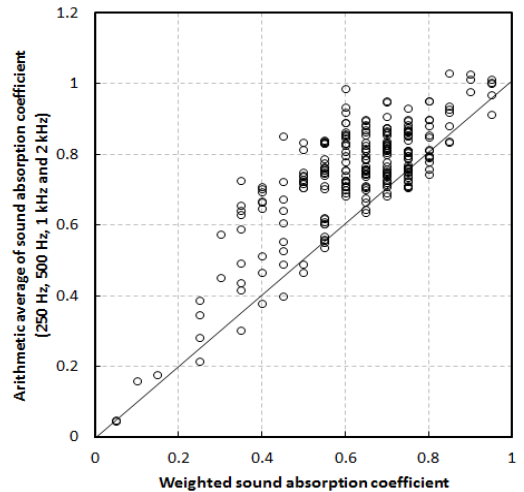


Fig. 5 Scattergram between weighted sound absorption coefficients and arithmetic average of sound absorption coefficient (250 Hz, 500 Hz, 1 kHz and 2 kHz) for the measured noise barriers

Fig. 5와 같이 각 방음판별 흡음계수의 4개 대역 (250 Hz, 500 Hz, 1 kHz 및 2 kHz)의 산술평균과 가중흡음계수 차이를 비교해 보았을 때, 대부분 가중흡음계수보다 산술평균이 높게 나타났으며 최대 0.4의 차이도 보였다. 반면 가중흡음계수보다 산술평균이 낮은 경우는 30건으로 전체의 약 12%이며 그 차이도 최대 0.06 정도밖에 나지 않았다. 이런 차이는 앞서 Fig. 2에서와 같이 대부분의 방음판이 중저주파수 대역에서 피크를 보이고, 고주파수 대역의 흡음성능이 낮은 특성을 보이는데, 기존 산술평균의 주파수 대역이 피크 대역에 속하기 때문인 것으로 사료된다. 반면, 가중흡음계수는 1/1 옥타브밴드 기준 500 Hz에서 2 kHz까지 동일한 가중치를 부여하기 때문에 전체 흡음성능에 대한 보다 객관적인 성능평가가 가능하다 사료된다.

4. 결 론

흡음계수의 단일수치 평가방법이 국제기준으로 제안되었기 때문에, 방음판을 비롯한 다양한 국산 흡음재료들의 국제시장 경쟁력 확보를 위해 흡음등급을 체계적으로 평가하고 관리할 필요가 있다. 이 연구에서는 국가표준별로 산재하여 복잡하게 혼용되고 있는 흡음성능의 평가방법을 고찰하였고, 국가표준으로 부합화된 가중흡음계수의 적용성 확대를 위해 품질시험으로 관리하고 있는 도로 방음판에 대해 실측을 진행하여, 기존 평가방법과 가중흡음계수 평가방법을 비교하였다. 그 결과, 흡음성능의 전체 주파수 특성 중 일부 4개 대역만 평가하는 기존 산술평균 방식보다 기준곡선을 이용하여 단일수치 및 흡음등급을 도출하는 방법이 방음판의 흡음성능을 구분하는데 효율적인 것으로 판단되었다.

향후, 가중흡음계수를 이용한 평가 시 흡음형 방음판의 최소 흡음성능기준에 대한 연구와 더불어, 도로 또는 철도의 소음특성을 감안한 적합한 기준곡선 특성 도출에 대한 연구를 수행할 필요가 있다.

후 기

이 연구는 2016년 영산대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행되었음.

References

- (1) KS F 2805:2014, Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room.
- (2) ISO 354:2003, Acoustics - Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room.
- (3) ASTM C423-09a, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.
- (4) KS F 2814-1:2001, Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes - Part 1 : Method Using Standing Wave Ratio.
- (5) KS F 2814-2:2002, Acoustics-determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes - Part 2 : Transfer-function Method.
- (6) Yang, K. W., 2013, Automotive Performance Sound Absorption·Insulation Technology Trends, KIC News, Vol. 16, No. 6, pp. 1~9.
- (7) ISO 11654:2007, Acoustics - Sound Absorbers for use in Buildings - Rating of Sound Absorption.
- (8) ASTM C423-17, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- (9) KS F 3503:2012, Sound Absorbing Materials.
- (10) KS F 4770-1:2015, Soundproof Panel - Metallic.
- (11) KS F 4770-2:2015, Soundproof Panel - Metallic Colored.
- (12) KS F 4770-3:2013, Soundproof Panel - Non-metallic Color.
- (13) KS F 4770-4:2013, Soundproof Panel - Wood.
- (14) Kim, D. S., Chang, S. I., 2005, A Study on the Computation and Application of Sound Power Level for Road Traffic Noise of Renewal Area, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 635~644.
- (15) KS I 3655:2014, Foamed Metal for Sound Absorption by Recycled Aluminum.
- (16) KS I 3607:2014, Recycled Cotton Panels.
- (17) KS I 3609:2014, Recycled Cotton Sound Absorbing Manufactured Goods.
- (18) MAS 2012-026 (3016-1601), Absorptive Ceiling Materials.

(19) KS I ISO 11654:2013, Sound Absorbers for Use in Building – Rating of Sound Absorption.

(20) VDI 3755:2015-01, Sound Insulation and Sound Absorption of Suspended Ceilings.

(21) Jung, S. S., Lee, Y. B., Seo, J. G. and Chae, K. S., 2009, National Reference standard of sound absorption data measured by reverberation room method, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 141~142.



Sungchan Lee who is an assistant professor in the department of architecture and plant at Youngsan University has research experience in the area of environmental noise and its assessment, and architectural acoustic design.



Yonghee Kim is currently a senior research engineer at Korea Conformity Laboratories (KCL). He received his Ph.D. degree from Hanyang University in 2011. He worked at the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) of Japan for two years as a postdoctoral researcher. His research interest is room acoustics and public space acoustics.