

도어 차음성능 현장 평가 및 개선방안에 관한 연구

A Study on Field Evaluation and Sound Insulation Improvement of Door

오진균†·이원열*·염성곤**

Jin Kyun Oh, Won Yeul Lee and Sung Gon Yum

(Received September 23, 2013 ; Revised October 29, 2013 ; Accepted November 12, 2013)

Key Words : Sound Insulation Performance(차음성능), Door(도어), Overall TL(총합투과손실), Aperture(틈새), Rubber Seal(고무 씬), Mohair(모헤어)

ABSTRACT

Recently, awareness of noise is increased and high performance sound insulation performance wall is designed. But in spite of installing high performance sound insulation performance wall, sound insulation performance in space is reduced by door. In this study, Sound insulation performance of doors which commonly used in buildings was measured to analyze current situation in the field and effect of method which increase sound insulation performance is analyzed quantitatively. As a result, sound insulation performance of doors which commonly used in buildings is FSTC 17~29 and can be increased about 2~3 dB by install rubber seal or mohair.

1. 서론

공간의 차음 설계 시 가장 우선시 되는 것은 공간을 구획하는 수직부재 즉, 벽체의 차음성능을 공간의 용도에 맞게 설계하는 것이다.

최근 소음에 대한 인식이 높아지고 프라이버시 확보를 위해 고차음성의 벽체가 주로 설계되고 있으나, 진/출입을 위해 부득이하게 설치되는 도어에 의해 고차음성 벽체를 설계함에도 불구하고 실간 차음성능은 저하 될 수밖에 없다.

특히 최근 배리어프리(barrier-free) 설계⁽¹⁾의 일환으로 도어 하부 문턱이 없는 도어가 일반화 되고 있는데, 이러한 설계는 실질적으로 도어의 차음성능 측면에 있어서는 매우 불리한 요소가 되고 있다.

이 연구에서는 현재 건축물에서 일반적으로 많이

사용되고 있는 도어들에 대하여 현장 측정을 통해 차음성능 현황을 분석하고, 고무 씬 및 모헤어 등 성능향상 방법들에 대해 차음성능 향상 효과를 정량적으로 분석하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 차음성능

(1) 음향투과손실(sound transmission loss)

진달되는 소리를 벽체 등으로 차단하여 반대 측으로 음에너지가 투과하지 않게 하는 것을 차음(sound insulation)이라 한다. 부재의 차음성능을 향상시키기 위해서는 투과되는 음에너지를 되도록 작게 하는 것이 필요하며 부재면에 입사한 음 에너지(I)는 Fig. 1과 같이 반사음 에너지(R), 흡음에 의한 손실에너지(A), 투과음 에너지(T)의 합으로 나타낸다.

† Corresponding Author ; Member, Samsung C&T

E-mail : jinkyun.oh@samsung.com

Tel : +82-2-598-3477, Fax : +82-2-598-0146

* Member, Samsung C&T

** Member, Samsung C&T

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

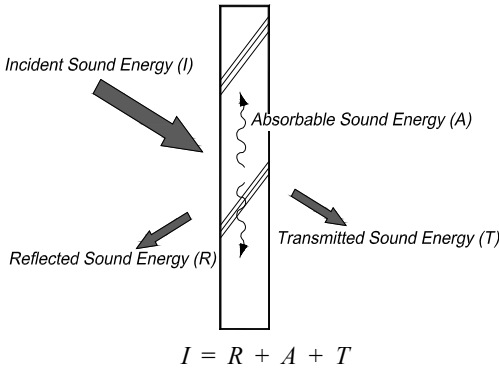


Fig. 1 Basic mechanism of sound transmission

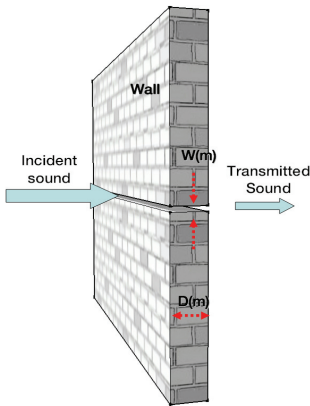


Fig. 2 Sound transmission by slit-shaped aperture

(2) 틈새가 차음성능에 미치는 영향

건축부재 차음성능에 있어서 틈새에 대한 해석 모델은 Gomperts⁽²⁾가 제안하였는데 틈새의 모양을 일자형(slit-shaped) 또는 원형(circular-shaped)의 형태로 정의하고 각 경우에 있어 투과손실을 해석하였다. Fig. 2에서 벽은 소음전달이 없고 오직 틈새에 의해서만 전달된다고 가정하고 일자형 틈새가 있는 경우 틈새의 투과율은 식 (1)과 같다.

$$\tau_s = \frac{mK \cos^2(KE)}{2n^2 \left\{ \frac{\sin^2 K(L+2E)}{\cos^2(KE)} + \frac{K^2}{2n^2} [1 + \cos(K(L+2E)) \cos KL] \right\}} \quad (1)$$

여기서,

K : kW (wave number $k = 2\pi f/c_0$, f = 입사주파수, c_0 = 음속, W = 틈새폭 [m])

L : D/W (D = 틈새깊이 [m])

m : 확산음장시 8, 수직입사시 4

E : $\frac{1}{\pi} (\ln \frac{8}{K} - 0.57722)$, 단보정계수

n : 틈새가 벽체에 있을시 1, 벽체-천장접합부에 있을시 0.5

이러한 Gomperts의 이론을 바탕으로 김명준⁽³⁾은 실제 도어에서 예상되는 13개의 틈새 폭 및 깊이 조건을 설정하고 틈새와 도어 차음성능과의 상관관계를 잔향실에서 실험하였으며, 이를 통해 틈새에 의한 차음손실은 틈새 깊이보다는 폭에 의해 크게 영향을 받는 것을 확인하였다.

따라서 이 연구에서는 현장에서 도어의 차음성능 향상을 위한 방안으로 틈새의 폭을 줄이는 방안을 주로 고려하였다.

(3) 총합투과손실

일반적으로 현장의 수직부재는 동일재료가 아니라 벽체, 창문, 도어 등 여러 가지 재료로 구성되어 있으며, 각 재료의 차음성능과 설치면적이 다르기 때문에 수직부재의 차음성능을 구하기 위해서는 이에 대한 총합투과손실을 구해야만 한다. 이는 전체에 입사음과 투과음의 비율인 투과율(τ)를 고려하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\overline{TL} = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad [dB] \quad (2)$$

$$\tau = \frac{\sum S_i \tau_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \tau_1 + S_2 \tau_2 + \dots}{S_1 + S_2 + \dots} \quad (3)$$









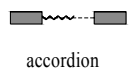



여기서, S_i 는 수직부재 각 재료의 면적(m^2), τ_i 는 각 수직부재의 투과율이다. 따라서 수직부재의 총합투과손실(\overline{TL})은 식 (4)과 같이 구해질 수 있다.

$$\overline{TL} = 10 \log \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i \tau_i} \right) \quad [dB] \quad (4)$$

2.2 도어의 분류

도어는 공간 출입을 위해 개폐(開閉)라는 기능적

Table 1 Door classification by operation

Operation	Variations
Swinging	    hinged pivoted balanced double acting
Sliding	   pocket bi-pass surface
Folding	  bi-fold accordion
Special	   operable partition overhead coiling revolving

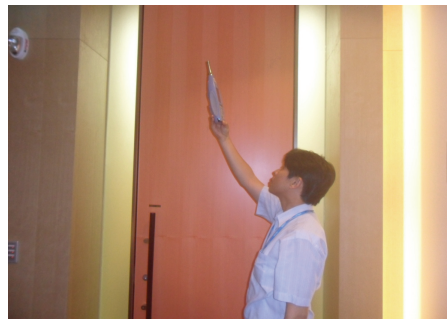


Fig. 3 Measurement scene and noise generator system

특수성 때문에 패널과 프레임 사이에 많은 틈이 발생되게 되며 그 형태 및 디테일 디자인에 따라 틈새의 크기가 달라질 수 있다.

일반적으로 도어는 형태에 따라 크게 swinging 도어, sliding 도어, folding 도어, 특수 도어로 구분되어 지고 일반 건축물에서는 swinging 도어와 sliding 도어가 가장 많이 사용되고 있다. Table 1은 도어의 형태에 따른 분류를 도식화하여 나타낸 것이다⁽⁴⁾.

3. 도어 차음성능 현장 측정 및 분석

3.1 도어 차음성능 현장 측정 결과

이 장에서는 일반건물에서 사용되는 도어의 차음성능에 대하여 현장측정을 실시하고 총합투과손실 계산을 통해 수직부재(벽, 도어)의 차음성능에 대해 도어가 미치는 영향에 대해서 분석하였다.

(1) 도어 차음성능 현장 측정

현장에서 도어 차음성능 측정을 확인하기 위하여 ASTM E336 “Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation between Rooms in Buildings”⁽⁶⁾을 준용하여 도어에서 1m 이격한 수직 단면을 상/중/하로 분할하여 3점 이상을 측정하였다. 분석은 각 측정점에서 측정한 결과를 125~4000 Hz의 주파수대역에서 에너지평균 한 후 음원실과 수음실의 음압레벨차를 계산하였으며 이를 바탕으로 단일수치평가량(FSTC)을 계산하였다. Fig. 3은 측정

장면과 측정시 사용한 음원발생시스템을 보여준다.

측정은 5개 현장 15개 도어에 대해서 측정을 하였으며 각각의 차음성능 측정결과는 Table 2와 같다.

측정결과, 일반도어의 차음성능은 FSTC 17~29까지 분포되는 것으로 평가되었는데 ①번과 같이 일반적으로 건물의 출입구에 주로 설치되는 자동 유리 슬라이딩 도어의 차음성능은 FSTC 17 정도로 나타났으며, ⑬번과 같이 swinging(hinged) 도어의 경우 FSTC 29까지 차음성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

도어의 형태에 따른 분석결과, Fig. 4와 같이 sliding 도어보다는 swinging(hinged) 도어가 차음성능이 우수한 것으로 나타났으며, 유리와 목재로 구성된 도어보다 목재로 이루어진 도어가 차음성능면에서는 다소 유리한 것으로 분석되었다.

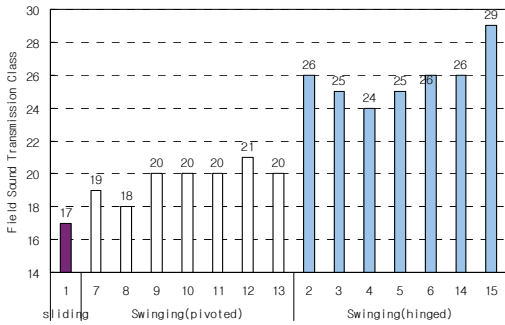
일반적으로 건물에 적용되는 도어의 차음성능 현황분석 결과, 보통 FSTC 30 이하로 판단되며 그 이상의 고차음성능이 요구되는 공간에서는 방음 도어를 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

(2) 총합투과손실 측정 및 분석

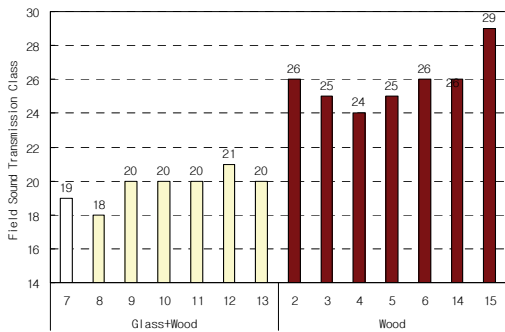
이 절에서는 벽체 및 도어로 이루어진 수직부재의 총합투과손실을 측정하고 계산값과 비교하였다.

Table 2 Measured result of each door

No	Design type	Materials	Open type	Size[m] (W×H)	1/3 Octave band center frequency[Hz]															FSTC	
					125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150		4000
①	Auto-sliding (surface)	Glass	Double	2×2.3	15.3	9.6	16.3	17.9	17.0	16.0	18.7	18.9	16.1	15.6	17.3	15.7	17.2	16.8	17.5	19.2	17
②	Swinging (hinged)	Wood	Double	2×2.5	18.2	19.1	18.8	21.5	27.5	27.2	27.1	28.0	27.7	29.0	27.7	28.1	21.8	23.2	23.8	23.8	26
③					16.2	23.9	23.5	25.6	24.9	24.6	25.4	24.7	26.1	26.7	27.3	25.1	21.9	22.4	25.4	24.6	25
④			Single	1×2.5	10.6	15.9	16.1	19.5	19.7	19.7	20.6	19.6	23.9	25.4	26.4	26.2	24.8	25.5	27.2	23.1	24
⑤					14.5	21.6	29.5	27.0	25.1	23.9	23.0	26.7	22.5	26.2	26.1	27.3	26.7	24.2	25.9	26.0	25
⑥	Swinging (hinged)	Wood	Single	1×2.5	14.1	19.9	24.6	20.3	25.2	20.8	24.1	26.5	24.2	24.7	25.2	25.2	27.6	30.4	29.4	27.5	26
⑦	Swinging (pivoted)	Glass + Wood	Double	2×2.7	14.2	12.2	17.0	17.2	16.6	16.3	18.6	18.6	20.0	19.0	18.1	19.3	18.6	18.4	18.8	20.3	19
⑧					16.0	14.3	14.1	16.1	15.6	15.8	15.5	16.2	19.3	19.2	18.8	18.8	17.6	18.1	19.0	19.9	18
⑨			Single	1×2.7	12.2	18.6	22.5	21.5	20.7	23.6	23.3	20.6	23.1	22.1	18.6	19.3	18.6	16.6	19.1	21.7	20
⑩					13.0	16.3	20.5	22.1	24.2	23.2	24.1	24.5	23.8	22.8	21.4	18.5	17.8	17.3	19.2	21.5	20
⑪					16.9	19.3	21.5	21.0	21.1	24.2	21.0	20.8	21.6	22.0	20.0	18.5	18.3	17.4	20.2	21.7	20
⑫					18.2	16.5	14.3	18.2	22.1	24.1	23.2	21.5	23.1	23.4	22.6	21.2	22.3	17.8	17.5	19.4	21
⑬					17.3	14.8	12.8	18.0	21.4	22.1	19.3	20.2	22.4	20.4	21.8	20.7	18.9	17.5	18.4	20.4	20
⑭					21.0	22.7	28.4	29.6	28.6	26.3	30.1	26.8	25.4	25.0	26.2	25.6	26.6	25.8	29.0	28.7	26
⑮	20.5	28.4	23.8	22.8	26.7	24.0	27.5	25.0	28.3	27.4	27.9	28.1	30.0	33.1	33.7	35.8	29				



(a) By design type



(b) By materials

Fig. 4 Comparison result of door's FSTC value

또한 벽체를 고차음성 벽체로 변경한 경우에 대해 총합투과손실을 계산하여 비교함으로써, 도어의 차음성능이 수직부재 총합투과손실에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

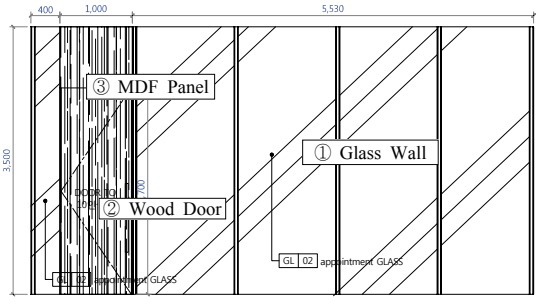


Fig. 5 Elevation of vertical materials for field test

Fig. 5는 이 연구에서 실제 측정한 수직부재의 입면도를 나타낸 것으로 전체 면적은 약 24.3 m²이고 이 중 유리 벽체는 약 20.8 m², 도어는 2.7 m², 도어 상부 인방(MDF panel)은 0.8 m²이다.

실측결과, Table 3의 ①과 같이 수직부재의 총합 투과손실은 FSTC 25로 평가되었으며, 이 중 도어의 차음성능은 ②와 같이 FSTC 20으로 분석되었다. 여기서 유리 벽체 및 도어 상부 인방의 투과손실을 INSUL(v 6.2, 건축부재 차음성능 예측프로그램)에 의해 구하면 ③, ④와 같이 각각 29, 30으로 얻을 수 있다.

이를 바탕으로 총합투과손실을 계산하면 ①과 같이 FSTC 26으로 실측값과 유사한 값을 얻을 수 있다. Fig. 6은 실측값(①)과 계산값(①)을 주파수 대역 별로 비교한 것이다.

여기서, 유리 벽체를 FSTC 57의 차음성능을 가

Table 3 Calculation result of Overall TL according to change of vertical materials

No.	Item	Space	1/3 Octave band center frequency[Hz]																FSTC
			125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	
①	Measured overall TL	24.3 m ²	18.3	18.2	20.6	22.1	22.8	25.5	25.8	26.8	27.0	24.6	23.4	24.5	24.6	24.4	26.5	28.7	25
②	Measured door's TL	2.7 m ²	13.3	15.6	20.0	18.1	20.9	22.9	20.7	23.6	21.8	20.6	18.9	16.8	17.5	18.2	20.6	23.6	20
③	Calculated glass wall(10 mm)	20.8 m ²	19.0	20.0	22.0	23.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	29.0	25.0	27.0	30.0	33.0	36.0	39.0	29
③'	Calculated dry wall(152 mm)	20.8 m ²	38.0	43.0	47.0	50.0	53.0	55.0	57.0	58.0	60.0	61.0	61.0	62.0	60.0	54.0	56.0	59.0	57
④	Calculated MDF panel(50 mm)	0.8 m ²	21.0	23.0	24.0	25.0	26.0	26.0	23.0	23.0	26.0	29.0	32.0	35.0	38.0	41.0	44.0	47.0	30
①=②+③+④	Calculated overall TL	24.3 m ²	17.9	19.3	21.8	22.1	24.3	25.5	25.5	27.0	27.2	26.8	23.8	23.9	25.4	26.7	29.2	32.2	26
①'=②+③'+④	Calculated overall TL	24.3 m ²	22.4	24.8	29.0	27.4	30.0	31.8	29.5	31.8	30.8	29.9	28.3	26.3	27.0	27.7	30.1	33.1	29

* ① ② are Measured values and ①,①',③,③',④ are calculated values.

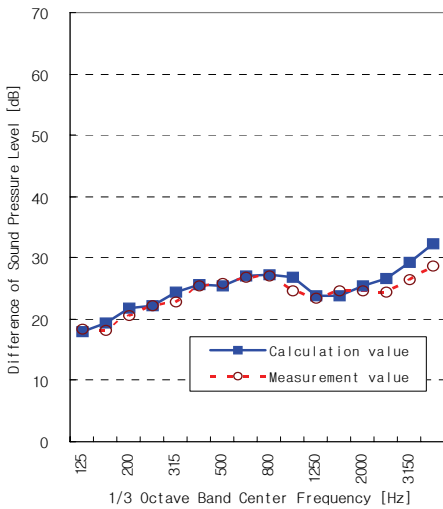


Fig. 6 Comparison calculation value with measurement value of overall TL(① vs ①' of Table 3)

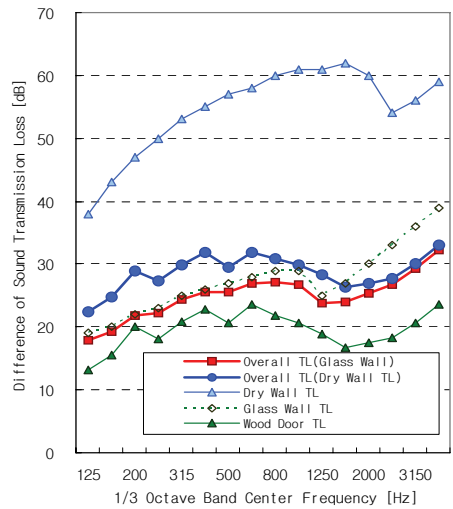


Fig. 7 Comparison overall TL by glass wall with overall TL by dry wall

지는 일반 건식벽체(두께 152 mm)로 교체한 경우를 가정하고 이에 대해 총합투과손실을 계산해 보면, Table 3의 ①과 같이 FSTC 29로 계산되었으며, 유리 벽체인 경우(①)에 비해 총합투과손실은 약 3 dB 정도 성능이 향상되는 것으로 계산되었다.

이는 실질적으로 전체 수직부재의 약 85.6%를 차지하는 벽체의 차음성능을 약 28 dB 정도 향상시킴에도 불구하고 전체 총합투과손실은 약 3 dB 정도 밖에 향상시키지 못하는 것으로 나타났으며, 그만큼 수직부재의 총합투과손실에 있어서 도어의 차음성능이 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

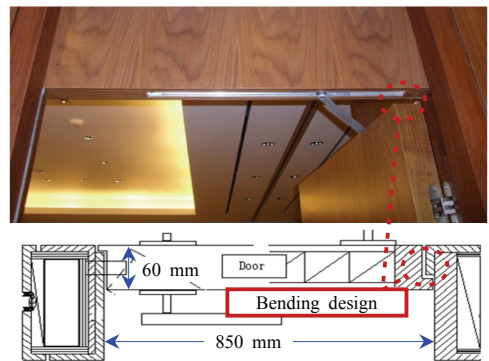


Fig. 8 Picture and horizontal section of target door

Table 4 Measured case and result

Case	Aperture part	Aperture length	Aperture space rate	Measured FSTC
①	All face	6.50 m	0.36 %	26
②	N/A	0.00 m	0.00 %	34
③	Hinged part in upper of the door	0.20 m	0.01 %	31
④	Upper framework of a door	0.85 m	0.04 %	30
⑤	Bottom framework of a door	0.85 m	0.08 %	30
⑥	Door handle	0.50 m	0.02 %	30

3.2 도어 틈새 영향 분석

(1) 틈새 영향 분석

앞 절에서 도어의 차음성능이 총합투과손실에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이러한 도어의 차음성능을 결정하는 주요 요인은 도어 패널 자체의 차음성능보다 도어 패널과 도어 프레임 사이의 틈새에 의한 영향이 가장 클 것으로 판단된다. 이 연구에서는 도어 틈새 부위에 따른 차음성능 영향에 대해 현장 측정을 중심으로 분석하였다.

측정한 도어는 Fig. 8과 같이 0.85 m(폭) × 2.4 m(높이) × 0.06 m(두께)로 설치되어 있으며, 패널 양면은 각각 9 mm의 MDF로 구성되어 있다.

또한, 도어 패널과 도어프레임 사이는 가스켓이나 모헤어, 하부 auto seal 등은 설치되지 않았으나 “『』”의 형태로 꺾임 설계가 적용되었다.

측정은 ASTM E336을 준용하여 문에서 1 m 이격 후 높이별로 3점 이상 측정하고 이를 평균하여 분석하였으며, 도어 접합부 틈새는 현장측정 여건을 고려하여 Table 4의 각 case와 같이 부위별로 테이핑 후 측정하여 비교 분석하였다.

측정결과, 도어 네 면에 테이핑을 안 한 case ①의 경우와 한 case ②의 경우의 차음성능 차이는 약 8 dB로 분석되었으며, 특히 Fig. 9와 같이 중/고주파수대역에서는 최대 10 dB 이상의 차이도 보이고 있어 도어의 차음성능에 있어서 틈새가 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

부위별로는 상부/하부/손잡이 부분을 오픈한 case ④, ⑤, ⑥이 4 dB정도 차음성능이 저하되는 것으로 나타났으며, 비교적 틈새면적인 적은 case ③의 경우에도 3 dB정도 차음성능이 저하되는 것으로 나타났다.

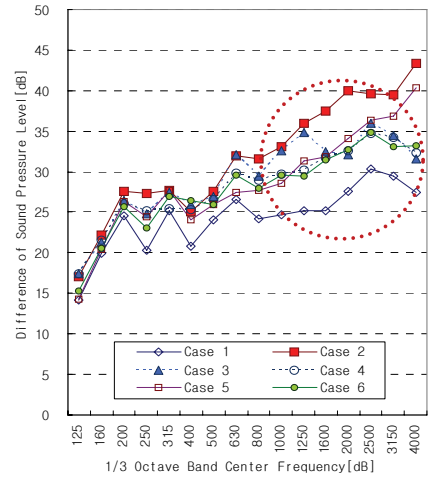


Fig. 9 Measured result of each case as 1/3 octave band center frequency

Table 5 Measured result of each case

Case	Item	Picture	FSTC
①	None (aperture 8 mm)		18
②	8 mm rubber seal (furrow 3 mm)		20
③	12 mm mohair (furrow 3 mm)		20
④	9 mm mohair (non-furrow)		21
⑤	9 mm mohair (non-furrow) & “『』”molding		22

(2) 틈새보완에 의한 차음성능 증가량 분석

앞 절에서 살펴본 바와 같이 도어의 접합부 틈새 최소화 한다면 높은 차음성능을 기대할 수 있으나 실질적으로 일반 건축물에서 도어를 완벽하게 기밀하게 시공하기는 쉽지 않은 것이 현실이다.

현장에서는 일반적으로 도어의 틈새 보완을 위해

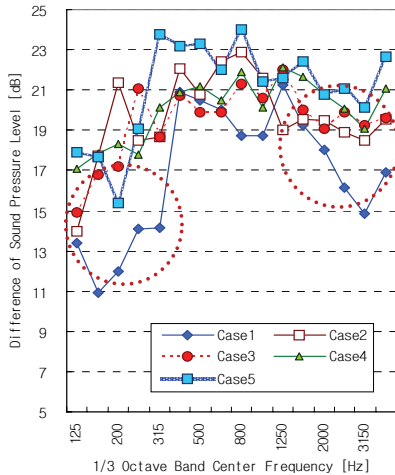


Fig. 10 Measured result of each case as 1/3 octave band center frequency

주로 가스켓, 고무 씰 및 모헤어 등이 사용되고 있는데, 현장 측정을 통해 이에 대해 차음성능 증가량을 분석하였다.

측정결과 고무 씰과 모헤어의 경우 약 2 dB 정도 차음성능이 향상되었으며, 시공방법에 따라 흡음 파고 설치한 경우보다 도어 패널에 직접 붙혀 시공한 경우가 1 dB 정도 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이는 모헤어 모근(毛根) 부분의 밀도가 높아 좀 더 기밀하게 밀착되는 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한 도어 틈새 앞에 “ㄱ”자 몰딩을 설치한 경우, 추가적으로 1 dB 정도 향상되었으며, 틈새 보완 방법에 따라 최대 4 dB 정도 차음성능이 향상되는 것으로 나타났다.

주파수 대역별로는 Fig. 10과 같이 중·고주파영역 뿐 아니라 저주파 영역에서도 어느 정도 차음성능이 향상되는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

이 연구에서는 일반적으로 건축현장에 설치되는 도어의 차음성능 현황을 분석하고 향상 방안 및 그에 대한 효과를 측정하였다. 현장 실험을 통해 측정·분석한 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 일반적으로 건축현장에서 사용되고 있는 도어의 차음성능은 종류 및 디자인에 따라 FSTC 17~29 정도의 차음성능을 나타내는 것으로 분석되었으며,

sliding 도어보다는 swinging(hinged) 도어가, 유리 도어 보다는 목재도어가 차음성능이 비교적 우수한 것으로 분석되었다.

(2) 수직부재 총합투과손실에서 도어의 차음성능이 큰 영향을 미치므로 설계단계에서부터 공간의 용도에 맞게 도어의 차음성능을 설계하는 것이 중요하며, FSTC 30 이상의 고차음성능이 요구되는 공간에서는 방음 도어를 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

(3) 도어의 차음성능 향상을 위해 고무 씰 및 모헤어로 틈새를 보완한 경우, 약 2~3 dB 정도의 차음성능 향상효과가 있는 것으로 분석되었다.

결론적으로, 도어의 재질 및 형태 등 전체적인 디자인을 바꾸지 않은 상태에서 틈새 보완만으로도 최대 2~3 dB 정도 차음성능 향상 효과가 있는 것으로 나타났다.

References

- (1) Holmes-Siedle, J., 1996, Barrier-free Design : A Manual for Building Designer and Manager, Routledge, London.
- (2) Gomperts, M. C., 1964, The Sound Insulation of Circular and Slit-shaped Apertures, Acustica, Vol. 14, No. 1, pp. 1~16.
- (3) Kim, M. N, 2010, Sound Reduction index of Interior Door by Aperture Sized at Door's Bottom, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 834~840.
- (4) Ballast, D. K., 2007, Interior Construction & Detailing for Designers and Architects, Professional Publications Inc, California, pp. 57~60.
- (5) ASTM E 336, 2012, Standard Test Method for Measurement of Airborn Sound Attenuation between Rooms in Buildings, ASTM International, Pennsylvania.



Jin-kyun Oh received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Department of Architectural Engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 2001, 2003 and 2011, respectively. His research interests are in the area of noise

control in buildings and architectural acoustics.



Won-yeul Lee received the B.S. in Department of Architectural Equipment Engineering from Kyungwon University, Seoul, Korea in 1999 and M.S. degrees in Department of Architectural Engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 2001 respectively. His research interests are in the area of noise control in buildings equipment and plant and architectural acoustics.



Sung-gon Yum received the B.S., M.S. in Department of Architectural Engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 1990, 1994 and Ph.D. degrees in Department of Architectural Engineering from Tokyo University, Tokyo, Japan in 2003, respectively. His research interests are in the area of sound insulation, noise control in buildings and architectural acoustics.