

# 소형 경량판넬을 이용한 차음성능 영향요인별 음향감쇠계수 분석

## Characteristics of Sound Reduction Index through Small Sized Lightweight Panel

양홍석\*·김명준†·정갑철\*\*

Hong-seok Yang, Myung-jun Kim and Gab-chul Jeong

**Key Words** : Sound Reduction Index(음향감쇠계수), Sound Insulation(차음), Small Sized(소형), Lightweight Panel(경량판넬)

### ABSTRACT

Recently, framed structure is increasingly being used as apartment structure due to the advantages during remodeling. Therefore, the use of lightweight panel as separating wall is increasing. To construct lightweight panel structures with sound insulation performance appropriate to the conditions of each field, measurement of sound reduction index(SRI) through panel structures should be performed. In this study, measurement of SRI through 46 kinds of panel structures was performed in the condition of various factors such as surface density, air space and absorber. The result showed that SRI of panel structures was generally higher by increasing of surface density. In the case of double panel with no absorber, SRI at below critical frequency was gradually increased according to rise of air space. Double panel with absorber make remarkable improvement in SRI at low frequency, but there is a little difference compared with SRI of double panel with no absorber over critical frequency.

### 1. 서 론

공동주택 거주자의 정온한 주거환경에 대한 요구수준이 점차 높아짐에 따라 건설교통부에서는 2006년 1월9일부터 소음, 구조, 환경, 생활환경, 화재소방 5개 분야에 대해 주택성능등급표시를 의무화하도록 시행하였다.

소음관련항목은 경량충격음, 중량충격음, 화장실소음, 경계소음으로 구분하며, 경계소음은 세대간 경계벽의 공기전달음 차음성능을 평가하기 위한 항목으로 3등급으로 평가되어, 각 등급별 벽체구조개발이 필요한 실정이다.

현재 국내에서 건설되고 있는 대다수 아파트 건물의 세대간 경계벽은 벽체두께 180~200mm 전후의 철근콘크리트 벽식구조로 구성되어 비교적 높은 차음성능을 지니고 있다. 그러나 최근 리모델링시 해체·조립의 용이성 및 가변성이 우수하다는 장점으로 인해 아파트 구조가 라멘구조로 점차 바뀌는 추세이며, 이에 따라 건식공법이 가능한 경량벽체

사용이 증가하고 있어, 기존 철근콘크리트 벽식구조 이상의 차음성능을 가지면서 상대적으로 하중이 적은 경량판넬을 이용한 벽체구조개발이 필요하게 되었다.

고차음 경량판넬구조는 일반적으로 공기층 및 흡음재를 경량판넬 사이에 설치한 이중벽체가 사용되고 있으며, 시공성 등을 고려하여 이중벽체가 많이 사용되고 있다. 이중벽체를 적용하여 각 공간조건에 적합한 차음성능을 만족하는 벽체구조를 설치하기 위해서는 면밀도, 공기층 두께, 흡음재 두께 등의 영향요소 변화에 따른 음향감쇠계수 특성에 대한 고찰이 필요하다.

영향요소 변화에 따른 음향감쇠계수 특성을 고찰하기 위해서는 각 벽체구조에 대한 차음실험이 규격에 따라 진행되어야 한다. KS F 2860에서는 벽체의 음향감쇠계수가 평가주파수 대역에서 신뢰성을 갖기 위한 조건으로 10m<sup>2</sup> 이상의 크기를 갖는 시험체를 설치하도록 규정하고 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 10m<sup>2</sup> 이상의 대형 시험체는 시공성 및 설치비용 등의 측면에서 다양한 실험을 진행하는데 제약조건으로 작용하고 있어, 차음성능이 신뢰성을 갖는 범위내에서 시험체의 크기를 소형화하여 실험하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기존 3500mm×3000mm(10.5m<sup>2</sup>)크기 개구부의 절반크기인 1800mm×1500mm(2.7m<sup>2</sup>)의 시험체 설치 개구부에 저회를 이용하여 제작한 소형 경량판넬을 기본구성재로 이용하여 구성된 46종의 벽체구조에 대한 차음실험을 실시하여, 소형 경량판넬의 영향요인별 음향감쇠계수 특성 및 단일수치평가량+스펙트럼조정항(Rw+C)을 분석·고찰하고자 한다.

† 교신저자; 정희원, 서울시립대학교 건축학부  
E-mail : mjunkim@uos.ac.kr  
Tel : (02) 2210-5639, Fax : (02) 2248-0382

\* 정희원, 서울시립대학교 건축공학과 대학원

\*\* 정희원, (주)비아엔지니어링

## 2. 실험개요

### 2.1 소형 개구부 및 채움벽체 설치조건

KS F 2860에서는 소형 시험체를 이용하여 음향감쇠계수 측정시 유리 측정용 개구부 조건을 사용하도록 권장하고 있다. 이 조건은 1250mm×1500mm(1.88m<sup>2</sup>) 크기의 소형 시험체 개구부 양 측면과 윗면에 약 60mm 정도의 턱을 설치하도록 규정하고 있으며, 채움벽체의 차음량은 평가 주파수대역에서 소형 시험체보다 15dB이상 높게 설치하도록 권장하고 있다.<sup>(1)</sup>

그러나 유리 측정용 개구부에 차음능이 낮은 단일 석고보드나 유리를 설치하여 음향감쇠계수 측정시 대부분의 음에너지가 소형 시험체로 투과되어 큰 문제점이 없으나 상대적으로 차음능이 높은 다중벽체 구조의 경우 주변 60mm의 턱 부분 및 개구부에 비해 상대적으로 면적이 넓은 채움벽체 부위를 통해서 많은 양의 음에너지가 투과되는 현상이 발생할 가능성이 있어, 개구부 형상 및 채움벽체구조에 대한 상세한 검토가 필요하다.<sup>(2)</sup>

본 연구에서는 공기층 및 흡음재의 다양한 두께별 음향감쇠계수 측정 및 소형 개구부 주위의 턱 부분으로 투과되는 음에너지의 최소화를 목적으로 D사의 음향실험동(잔향실)에 설치된 약 400mm 두께의 벽체설치 카세트 내부에 1800mm×1500mm(2.7m<sup>2</sup>) 크기의 턱이 없는 개구부를 설치하였다. 개구부 주위 채움벽체는 기존 3500mm×3000mm(10.5m<sup>2</sup>) 크기의 시험체로 구성된 이중 경량판넬구조가 단일수치(Rw+C) 60dB에 가까운 차음성능을 지니고 있어, 조적조 1.0B+ 공기층75mm+ 흡음재25mm+ 조적조0.5B 쌓기구조(총 400mm) 양면에 석고보드2장+ 차음시트2장+ 흡음재25mm로 구성된 독립구조벽체를 설치하였다. 다음 Fig. 1은 소형 경량판넬 설치장면이며, Fig. 2는 채움벽체 단면도를 보여준다.



Fig. 1 View of the test set-up

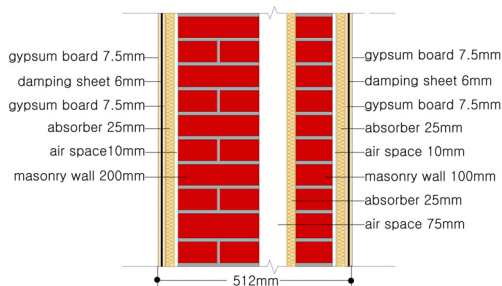


Fig. 2 Cross section of the filler element

### 2.2 측정대상

본 연구에서는 경량판넬을 기본구성재로 이용하여 면밀도, 공기층 두께, 흡음재(유리섬유 밀도24kg/m<sup>3</sup>) 두께 등의 영향요인을 변화시켜 46종의 판넬구조에 대해 실험하였다. 판넬두께는 50, 75, 100mm, 비중은 0.7, 0.9, 1.1 ton/m<sup>3</sup>으로 총 7종의 단일판넬을 기본구성재로 적용하였다. 이 중 50mm 경량판넬 내부에는 와이어메쉬를 설치하여 내구성을 보강하였다.

이중판넬구조 설정시 서로 다른 면밀도를 가진 단일판넬을 사용하여 이중판넬을 구성할 경우 총 면밀도 합이 동일한 면밀도를 가진 단일판넬을 이용하여 이중판넬을 구성한 경우보다 더 낮은 값을 나타내는 점을 고려하여 동일한 판넬을 이용하여 이중판넬을 구성하였다.<sup>(3)</sup> 공기층 두께는 소형 개구부 두께가 400mm인 점을 감안하여 10~250mm 범위로 설정하였으며, 흡음재 두께는 25, 50, 75mm 3종으로 설정하여 이중판넬을 구성하였다. 다음 Table 1, Table 2, Table 3는 판넬구조별 시험체 구성조건을 나타낸다.

Table 1 Single panel (7 Type)

No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])
1	50 (1.1)
2~4	75 (0.7, 0.9, 1.1)
5~7	100 (0.7, 0.9, 1.1)

Table 2 Double panel with no absorber (16 Type)

No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Air space [mm]
8~9	50 (1.1)	25, 50
10~11	75 (0.7)	25, 50
12~18	75 (0.9)	10, 25, 50, 75, 100, 150, 250
19~20	75 (1.1)	25, 50
21	100 (0.7)	25
22	100 (0.9)	25
23	100 (1.1)	25

Table 3 Double panel with absorber (23 Type)

No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Absorber [mm]	Air space [mm]
24~26	50 (1.1)	25	0, 25
		50	0
27~29	75 (0.7)	25	0, 25
		50	0
30~40	75 (0.9)	25	0, 25, 50, 75, 100, 150, 225
		50	0, 25, 50
		75	0
41~43	75 (1.1)	25	0, 25
		50	0
44	100 (0.7)	25	0
45	100 (0.9)	25	0
46	100 (1.1)	25	0

### 2.3 소형 시험체 설치조건

소형 경량판넬구조의 차음실험은 잔향실 사이에 설치된 1800mm×1500mm(2.7m<sup>2</sup>)크기의 소형 개구부에 600mm×1500mm 크기 단위제품 3매를 사용하여 설치한 후 나무췌기를 이용하여 고정하였으며, 연결부위는 찰흙과 실리콘으로 기밀처리하여 측정하였다.

### 2.4 측정 및 평가방법

소형 경량판넬구조의 음향감쇠계수 측정방법은 『KS F 2808(2001): 건물부재의 공기전달음 차단성능 실험실 측정방법』에 준하여 실시하였고, 평가는 『KS F 2862(2002): 건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가방법』에서 규정하고 있는 단일수치+스펙트럼조정항(Rw+C)을 적용하여 평가하였다.<sup>(4),(5)</sup>

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 소형 시험체의 유용성 검토

소형 시험체를 이용한 차음실험의 유용성 검토를 위해, KS에서 규정하고 있는 10.5m<sup>2</sup>크기의 개구부에 두께 75mm(0.9ton/m<sup>3</sup>) 시험체를 이용하여 구성된 3종의 경량판넬구조와 동일한 소형 경량판넬구조에 대한 음향감쇠계수를 측정하였다.<sup>(6)</sup> 단, 10.5m<sup>2</sup>크기 시험체를 이용하여 구성된 이중판넬 공기층 구조의 경우, 두께 75mm(0.8ton/m<sup>3</sup>) 경량판넬의 음향감쇠계수를 이용하여 소형 시험체와 비교하였다. 소형 시험체의 크기는 단일경량판넬의 물성치<sup>(7)</sup> 및 크기에 의해 결정되는 1차 공진주파수를 기준 이론식으로 계산하여 차음성능평가 최저주파수인 100Hz에 근접하는 1800mm×1500mm(2.7m<sup>2</sup>)크기로 설정하였다.<sup>(8)</sup> 단일판넬의 가로길이가 a(m), 세로길이가 b(m), 굽힘탄성(Bending Stiffness)이 B인 경우, 1차 공진주파수(f<sub>p</sub>)는 식(1)에 의해 계산되어지며, Table 4는 시험체 크기에 따른 비교조건을 나타낸다.

$$f_p = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{m} \left[ \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right]} \text{ Hz} \quad (1)$$

Table 4 Comparative condition according to panel size (3 type)

No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Absorber [mm]	Air space [mm]	Panel structure
1-1	75 (0.9)	×	×	Single panel
1-2	75 (0.9) - 2.7m <sup>2</sup> 75 (0.8) - 10.5m <sup>2</sup>	×	50	Double panel (with no absorber)
1-3	75 (0.9)	25	25	Double panel (with absorber)

3종의 경량판넬구조에 대한 판넬크기별 음향감쇠계수를 비교하면 Fig. 3과 같으며, Table 5는 소형 시험체와 규격 시험체의 단일수치(Rw+C)평가량을 나타낸다.

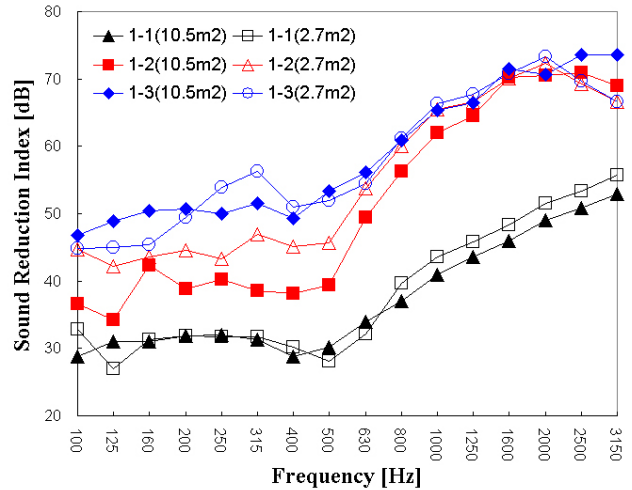


Fig. 3 Comparison of sound reduction index between 10.5m<sup>2</sup> and 2.7m<sup>2</sup> panel size

Table 5 Single number quantity(Rw+C) of 10.5m<sup>2</sup> and 2.7m<sup>2</sup> panel size Unit : dB

No.	10.5m <sup>2</sup>	2.7m <sup>2</sup>	Absolute deviation
1-1	37	38	1
1-2	48	53	5
1-3	59	59	0

측정결과, 단일판넬(1-1)의 주파수별 음향감쇠계수 경향은 평가주파수대역에서 전반적으로 유사한 경향을 보이고 있으며, 공기 중의 음파속도와 경량판넬의 굽힘파(Bending wave) 속도가 일치할 때 발생하는 f<sub>cr</sub>(Critical Frequency : 임계주파수)이 400~500Hz영역에서 발생함을 알 수 있다.<sup>(9)</sup> 단일수치(Rw+C)평가량 차이는 1dB로 유사하게 평가되었다.

이중판넬 공기층 구조(1-2)의 경우, 10.5m<sup>2</sup>크기 규격 시험체의 비중(0.8ton/m<sup>3</sup>)이 소형 시험체의 비중(0.9ton/m<sup>3</sup>)에 비해 0.1ton/m<sup>3</sup> 낮고, 소형 시험체가 계산무게에 비해 약 5kg 무게가 제작되어 소형 시험체의 음향감쇠계수가 규격 시험체의 음향감쇠계수에 비해 전반적으로 높은 결과를 보이고 있다. 단일수치(Rw+C)평가량 편차는 5dB로 상대적으로 높지만, 동일한 비중의 경량판넬로 설치하여 측정할 경우, 편차가 줄어들 것으로 판단된다.

이중판넬 흡음재 구조(1-3)의 경우, 소형 시험체의 음향감쇠계수가 규격 시험체와 비교하여 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있으나, 2000Hz이상의 주파수영역에서는 소형 시험체의 음향감쇠계수가 상대적으로 낮게 측정되었다. 이는 채움벽체 접합부로 고주파수영역의 음에너지가 일정량 투과된 것이 원인인 것으로 사료된다. 단일수치(Rw+C)평가량은 일치하여, 단일수치(Rw+C)평가량 59dB의 상대적으로 높은 차음성능을 지니는 판넬구조에 대한 소형 시험체 적용이 매우 유용함을 알 수 있다.

### 2.3 소형 시험체 설치조건

소형 경량판넬구조의 차음실험은 잔향실 사이에 설치된 1800mm×1500mm(2.7m<sup>2</sup>)크기의 소형 개구부에 600mm×1500mm 크기 단위제품 3매를 사용하여 설치한 후 나무뿔기를 이용하여 고정하였으며, 연결부위는 찰흙과 실리콘으로 기밀처리하여 측정하였다.

### 2.4 측정 및 평가방법

소형 경량판넬구조의 음향감쇠계수 측정방법은 『KS F 2808(2001): 건물부재의 공기전달음 차단성능 실험실 측정방법』에 준하여 실시하였고, 평가는 『KS F 2862(2002): 건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가방법』에서 규정하고 있는 단일수치+스펙트럼조정항(Rw+C)을 적용하여 평가하였다.<sup>(4),(5)</sup>

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 소형 시험체의 유용성 검토

소형 시험체를 이용한 차음실험의 유용성 검토를 위해, KS에서 규정하고 있는 10.5m<sup>2</sup>크기의 개구부에 두께 75mm(0.9ton/m<sup>3</sup>) 시험체를 이용하여 구성된 3종의 경량판넬구조와 동일한 소형 경량판넬구조에 대한 음향감쇠계수를 측정하였다.<sup>(6)</sup> 단, 10.5m<sup>2</sup>크기 시험체를 이용하여 구성된 이중판넬 공기층 구조의 경우, 두께 75mm(0.8ton/m<sup>3</sup>) 경량판넬의 음향감쇠계수를 이용하여 소형 시험체와 비교하였다. 소형 시험체의 크기는 단일경량판넬의 물성치<sup>(7)</sup> 및 크기에 의해 결정되는 1차 공진주파수를 기준 이론식으로 계산하여 차음성능평가 최저주파수인 100Hz에 근접하는 1800mm×1500mm(2.7m<sup>2</sup>)크기로 설정하였다.<sup>(8)</sup> 단일판넬의 가로길이가 a(m), 세로길이가 b(m), 굽힘탄성(Bending Stiffness)이 B인 경우, 1차 공진주파수(f<sub>p</sub>)는 식(1)에 의해 계산되어지며, Table 4는 시험체 크기에 따른 비교조건을 나타낸다.

$$f_p = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{m} \left[ \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right]} \text{ Hz} \quad (1)$$

Table 4 Comparative condition according to panel size (3 type)

No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Absorber [mm]	Air space [mm]	Panel structure
1-1	75 (0.9)	×	×	Single panel
1-2	75 (0.9) - 2.7m <sup>2</sup> 75 (0.8) - 10.5m <sup>2</sup>	×	50	Double panel (with no absorber)
1-3	75 (0.9)	25	25	Double panel (with absorber)

3종의 경량판넬구조에 대한 판넬크기별 음향감쇠계수를 비교하면 Fig. 3과 같으며, Table 5는 소형 시험체와 규격 시험체의 단일수치(Rw+C)평가량을 나타낸다.

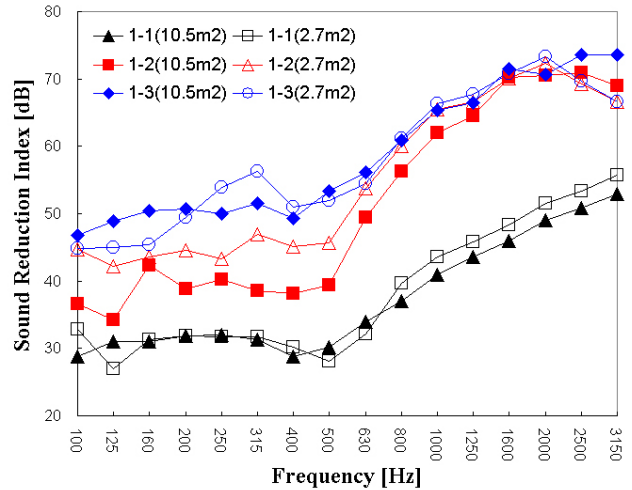


Fig. 3 Comparison of sound reduction index between 10.5m<sup>2</sup> and 2.7m<sup>2</sup> panel size

Table 5 Single number quantity(Rw+C) of 10.5m<sup>2</sup> and 2.7m<sup>2</sup> panel size Unit : dB

No.	10.5m <sup>2</sup>	2.7m <sup>2</sup>	Absolute deviation
1-1	37	38	1
1-2	48	53	5
1-3	59	59	0

측정결과, 단일판넬(1-1)의 주파수별 음향감쇠계수 경향은 평가주파수대역에서 전반적으로 유사한 경향을 보이고 있으며, 공기 중의 음파속도와 경량판넬의 굽힘파(Bending wave) 속도가 일치할 때 발생하는 f<sub>cr</sub>(Critical Frequency : 임계주파수)이 400~500Hz영역에서 발생함을 알 수 있다.<sup>(9)</sup> 단일수치(Rw+C)평가량 차이는 1dB로 유사하게 평가되었다.

이중판넬 공기층 구조(1-2)의 경우, 10.5m<sup>2</sup>크기 규격 시험체의 비중(0.8ton/m<sup>3</sup>)이 소형 시험체의 비중(0.9ton/m<sup>3</sup>)에 비해 0.1ton/m<sup>3</sup> 낮고, 소형 시험체가 계산무게에 비해 약 5kg 무겁게 제작되어 소형 시험체의 음향감쇠계수가 규격 시험체의 음향감쇠계수에 비해 전반적으로 높은 결과를 보이고 있다. 단일수치(Rw+C)평가량 편차는 5dB로 상대적으로 높지만, 동일한 비중의 경량판넬로 설치하여 측정할 경우, 편차가 줄어들 것으로 판단된다.

이중판넬 흡음재 구조(1-3)의 경우, 소형 시험체의 음향감쇠계수가 규격 시험체와 비교하여 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있으나, 2000Hz이상의 주파수영역에서는 소형 시험체의 음향감쇠계수가 상대적으로 낮게 측정되었다. 이는 채움벽체 접합부로 고주파수영역의 음에너지가 일정량 투과된 것이 원인인 것으로 사료된다. 단일수치(Rw+C)평가량은 일치하여, 단일수치(Rw+C)평가량 59dB의 상대적으로 높은 차음성능을 지니는 판넬구조에 대한 소형 시험체 적용이 매우 유용함을 알 수 있다.

### 3.2 틈새처리조건에 따른 음향감쇠계수

차음실험시 시험체 접합부의 틈새처리여부는 차음성능을 결정하는 중요한 영향요인으로 작용한다. 본 연구에서는 틈새처리여부에 따른 음향감쇠계수 변화특성을 분석하기 위해 두께 75mm(0.9ton/m<sup>3</sup>)의 단일판넬을 대상으로 소형 경량판넬 접합부의 실리콘 처리 전·후 음향감쇠계수를 측정하였다. Fig. 4는 경량판넬 접합부 형상이며, Fig. 5는 접합부 부위의 실리콘 처리 전·후 음향감쇠계수를 나타낸다.

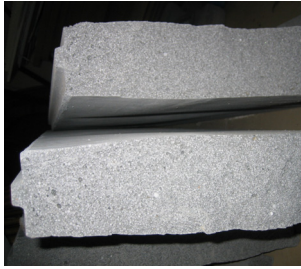


Fig. 4 Shape of connection part

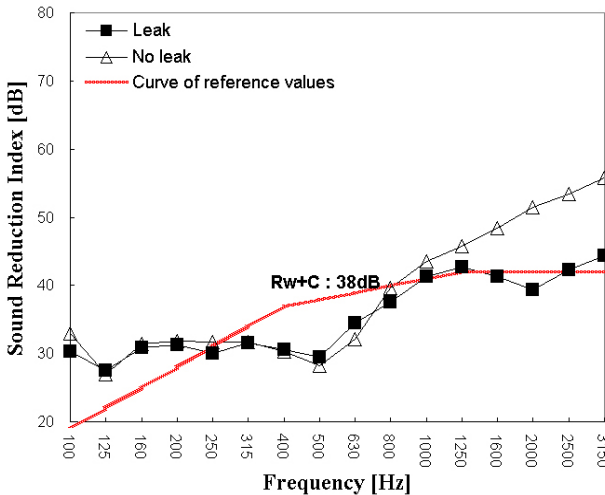


Fig. 5 Sound reduction index according to leak condition of connection part

틈새처리조건에 따른 음향감쇠계수 측정결과, 630Hz이하의 주파수영역에서는 틈새처리 전·후의 음향감쇠계수 차이가 거의 없으며, 800Hz이상의 주파수영역에서는 음향감쇠계수 차이가 점차 높아지는 것을 알 수 있다. 단일수치(Rw+C)평가량은 틈새처리 전·후에 38dB로 동일한 결과가 나왔으며, 그 이유는 기준곡선을 하회하는 측정값의 대부분이 일치효과(Coincidence effect)<sup>(10)</sup>가 나타나는 315~800Hz 사이에서 발생하여 고주파수영역의 음향감쇠계수 저하가 단일수치(Rw+C)평가에 크게 영향을 미치지 않았기 때문이다. 그러나 차음성능이 높은 벽체구조의 틈새를 처리하지 않을 경우, 일치효과영역의 음향감쇠계수가 고주파수영역의 음향감쇠계수에 비해 높아질 가능성이 있어, 접합부의 틈새를 실리콘 등으로 반드시 처리해야 할 것으로 사료된다.

### 3.3 단일 경량판넬의 음향감쇠계수

본 연구에서는 7종의 단일판넬을 소형 개구부의 중앙에 설치하여 음향감쇠계수를 측정하였으며, Table 6은 소형 단일판넬의 시험체 구성을 나타낸다.

Table 6 Single panel (7 Type)

Symbol No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Symbol No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])
S-1	50 (1.1)	S-5	100 (0.7)
S-2	75 (0.7)	S-6	100 (0.9)
S-3	75 (0.9)	S-7	100 (1.1)
S-4	75 (1.1)		

다음 Fig. 6과 Fig. 7은 단일 경량판넬의 음향감쇠계수를 측정된 결과이며, Fig. 8은 단일수치(Rw+C)평가량을 보여 준다.

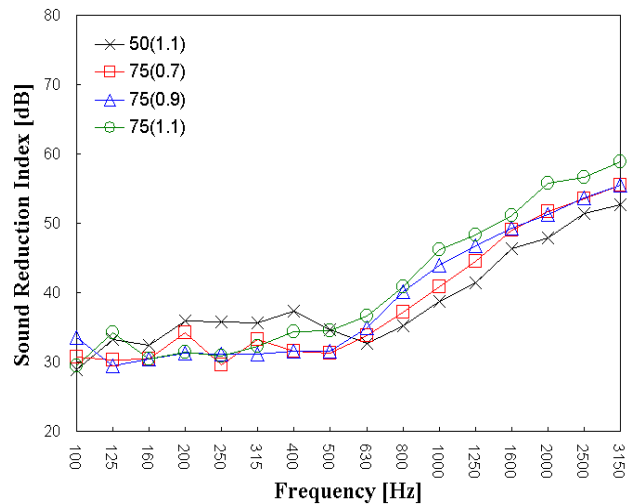


Fig. 6 Sound reduction index of single panels (50, 75mm)

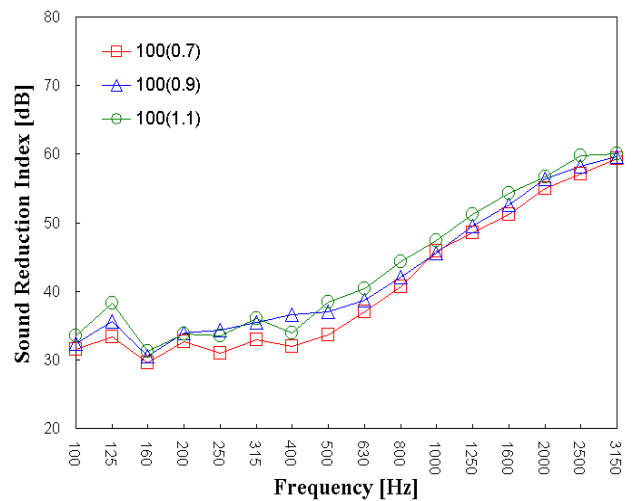


Fig. 7 Sound reduction index of single panels (100mm)

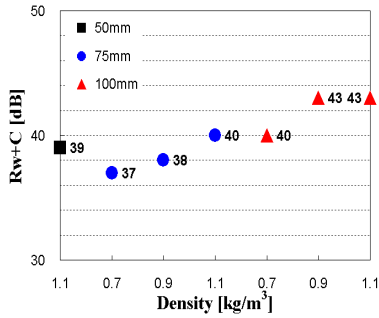


Fig. 8 Single number quantity(Rw+C) of single panels

측정결과, 두께 50mm 경량판넬의  $f_{cr}$ 이 630Hz영역에서 나타나고 있으며, 저주파수영역에서 면밀도가 더 높은 75mm 경량판넬에 비해 더 높은 음향감쇠계수를 보이고 있다. 원인은 소형 시험체의 설치조건 및 와이어메쉬 설치로 인해 강성 등의 물성치가 변화되었을 것으로 판단되나, 향후 보다 상세한 검토가 필요하다고 사료된다.

두께 75, 100mm 경량판넬의 경우,  $f_{cr}$ 이상의 주파수영역에서 비중이 높아질수록 음향감쇠계수가 높아지는 경향을 나타내고 있다. 그러나 주파수가 2배 증가시 음향감쇠계수가 6dB씩 높아지는 질량법칙이 적용되는  $0.5f_{cr}$ 이하의 주파수영역<sup>(11)</sup>에서는 면적변화로 인한 음향방사계수 및 판의 진동특성 변화<sup>(12),(13)</sup>, 경계조건<sup>(14)</sup> 등의 영향으로 일정한 경향이 나타나지 않음을 알 수 있다. 단일판넬의 단일수치(Rw+C)평가량은 37~43dB의 결과를 나타냈으며, 면밀도가 증가할수록 전반적으로 단일수치(Rw+C)가 높아지는 경향을 나타냈다.

### 3.4 이중 경량판넬(공기층구조)의 음향감쇠계수

본 연구에서는 경량판넬의 공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수 변화특성을 고찰하기 위해 공기층 두께를 10~250mm 범위에서 변화하여 16종의 이중판넬을 구성하였으며, Table 7은 이중판넬 공기층 구조 시험체 구성내용이다.

Table 7 Double panel with no absorber (16 Type)

Symbol No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Air space [mm]	Total thickness [mm]
D-1	50 (1.1)	25	125
D-2		50	150
D-3	75 (0.7)	25	175
D-4		50	200
D-5	75 (0.9)	10	160
D-6		25	175
D-7		50	200
D-8		75	225
D-9		100	250
D-10		150	300
D-11		250	400
D-12	75 (1.1)	25	175
D-13		50	200
D-14	100 (0.7)	25	225
D-15	100 (0.9)	25	225
D-16	100 (1.1)	25	225

75mm(0.9ton/m<sup>3</sup>) 경량판넬을 기본구성재로 이용하여 구성된 이중판넬구조의 공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수를 측정된 결과는 Fig. 9와 같으며, Fig. 10은 단일수치(Rw+C)평가량을 보여준다.

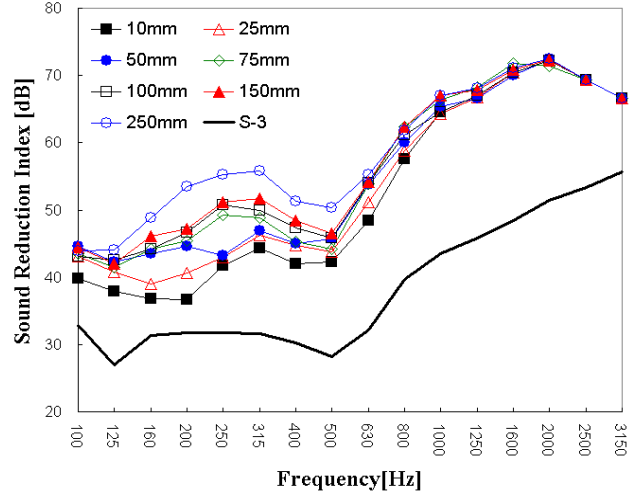


Fig. 9 Sound reduction index of double panels with no absorber according to variation of air space

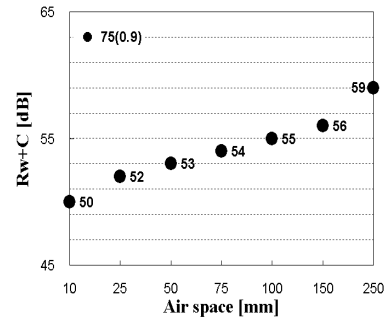


Fig. 10 Single number quantity(Rw+C) of double panels with no absorber according to variation of air space

공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수 측정결과, 약 500Hz 영역에서 발생하는  $f_{cr}$ 이하의 주파수영역에서는 공기층이 두꺼워짐에 따라 음향감쇠계수가 높아지는 것을 알 수 있으며,  $f_{cr}$ 이상의 주파수영역에서는 공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수 변화가 낮음을 알 수 있다. 또한, 75mm(0.9ton/m<sup>3</sup>) 단일판넬의 음향감쇠계수와 비교하여 이중판넬 공기층구조의 음향감쇠계수가 크게 향상되었음을 알 수 있다. 단일수치(Rw+C)는 50~59dB로 평가되었으며, 공기층 두께가 두꺼워짐에 따라 단일수치(Rw+C)가 점차 높아지는 것을 알 수 있다.

공기층 두께가 일정한 경우, 면밀도 변화에 따른 음향감쇠계수 변화특성을 분석하기 위해 단일경량판넬+공기층 25, 50mm+단일경량판넬의 이중판넬 공기층 구조에 대한 음향감쇠계수를 측정하였다. 다음 Fig. 11, Fig. 12는 공기층 25mm 설치시 음향감쇠계수와 단일수치(Rw+C) 평가량을 보여주며, Fig. 13, Fig. 14는 공기층 50mm 설치시 음향감쇠계수와 단일수치(Rw+C)평가량을 나타낸다.

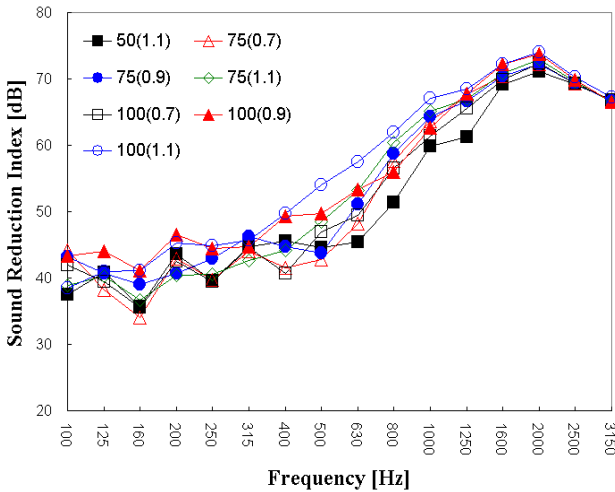


Fig. 11 Sound reduction index of double panels with 25mm air space

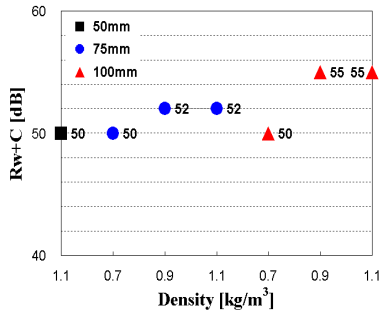


Fig. 12 Single number quantity(Rw+C) of double panels with 25mm air space

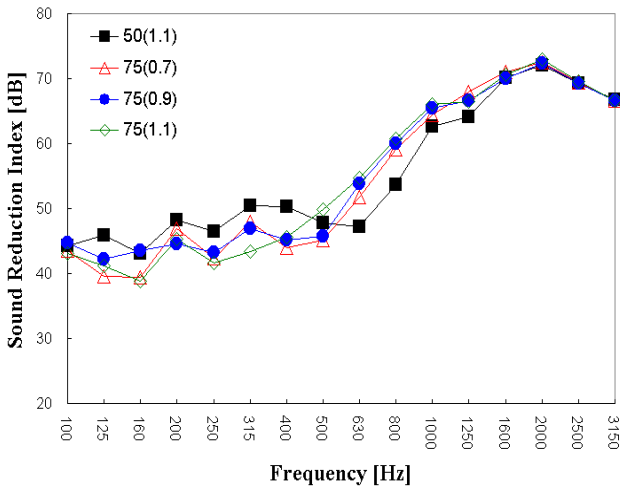


Fig. 13 Sound reduction index of double panels with 50mm air space

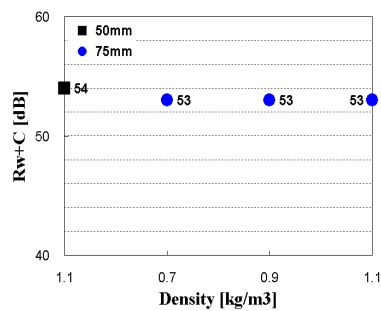


Fig. 14 Single number quantity(Rw+C) of double panels with 50mm air space

공기층 25, 50mm 구조의 경우, 630Hz이상의 주파수영역에서 면밀도가 높아질수록 음향감쇠계수가 높아지는 경향을 나타내고 있으나, 500Hz이하의 주파수영역에서는 일정한 경향이 나타나지 않았다. 공기층 25mm구조의 단일수치(Rw+C)평가량은 면밀도가 높아질수록 전반적으로 높아지고 있으나, 100mm(0.7ton/m<sup>3</sup> : D-14)의 경우, 시험체 설치시 시공오차 등의 원인으로 2~3dB 낮게 평가되었다고 추정된다.

공기층 두께50mm의 판넬두께 50mm(D-2)구조는 단일판넬에서 언급한 원인 등으로 인해 500Hz이하의 주파수영역에서 면밀도가 더 높은 두께 75mm구조의 음향감쇠계수에 비해 더 높은 결과를 나타내고 있다. 2개의 단일판넬 사이에 공기층 50mm를 설치한 이중판넬구조의 단일수치(Rw+C)는 53~54dB로 평가되었으며, 3종의 두께 75mm구조에서는 비중이 증가하여도 단일수치(Rw+C)의 변화가 없음을 알 수 있다.

### 3.5 이중 경량판넬(흡음재구조)의 음향감쇠계수

흡음재(유리섬유 밀도24kg/m<sup>3</sup>)가 설치된 이중판넬구조에서 공기층 두께 및 흡음재 두께변화에 따른 음향감쇠계수 변화특성을 분석하기 위해, Table 8과 같은 23종의 시험체를 구성하여 음향감쇠계수를 측정하였다.

Table 8 Double panel with absorber (23 Type)

Symbol No.	Panel thickness [mm] (Density [ton/m <sup>3</sup> ])	Absorber [mm]	Air space [mm]	Total thickness [mm]
DA-1	50 (1.1)	25	0	125
DA-2			25	150
DA-3			50	150
DA-4	75 (0.7)	25	0	175
DA-5			25	200
DA-6			50	200
DA-7	75 (0.9)	25	0	175
DA-8			25	200
DA-9			50	225
DA-10			75	250
DA-11			100	275
DA-12			150	325
DA-13			225	400
DA-14	50	50	0	200
DA-15			25	225
DA-16			50	250
DA-17	75	75	225	
DA-18	75 (1.1)	25	0	175
DA-19			25	200
DA-20			50	200
DA-21	100 (0.7)	25	0	225
DA-22	100 (0.9)	25	0	225
DA-23	100 (1.1)	25	0	225

흡음재 25mm 설치시 75mm(0.9ton/m<sup>3</sup>) 경량판넬을 기본구성재로 이용하여 구성된 이중판넬구조의 공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수를 측정하는 결과는 Fig. 15와 같으며, Fig. 16은 단일수치(Rw+C)평가량을 보여준다.

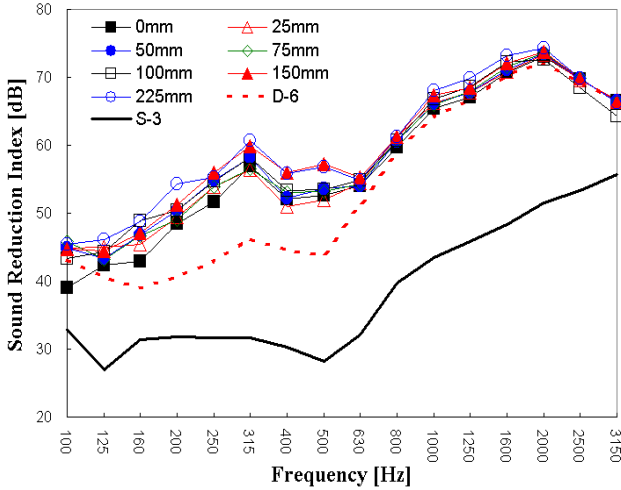


Fig. 15 Sound reduction index of double panels with 25mm absorber according to variation of air space

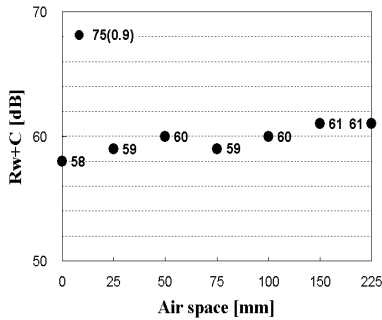


Fig. 16 Single number quantity(Rw+C) of double panels with 25mm absorber according to variation of air space

흡음재가 설치된 이중판넬구조의 경우, 흡음재 없이 공기층이 설치된 이중판넬구조(D-6)의 음향감쇠계수와 비교하여 630Hz이하의 저주파수영역에서 음향감쇠계수가 향상되었으며, 그 이상의 주파수영역에서는 차이가 거의 없었다. 흡음재 설치시 공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수는 630Hz이하의 주파수영역에서 공기층 두께가 증가함에 따라 점차 높아지는 것을 알 수 있으며, 그 이상의 주파수영역에서는 변화가 거의 없어, 저주파수영역의 음향감쇠계수 개선에 효과적임을 알 수 있다.

흡음재 25mm 설치시 공기층 두께변화에 따른 단일수치(Rw+C)는 58~61dB로 평가되었으며, 공기층 두께증가에 따라 점차 높아지는 것을 알 수 있으나, 공기층 두께 50mm이상에서는 단일수치(Rw+C) 증가경향이 저하되어 공기층 두께증가에 따른 차음성능 개선효과가 높지 않음을 알 수 있다.

흡음재 50mm 설치시 3종의 공기층 두께변화에 따른 음향감쇠계수는 Fig. 17과 같으며, Fig. 18은 단일수치(Rw+C) 평가량을 보여준다.

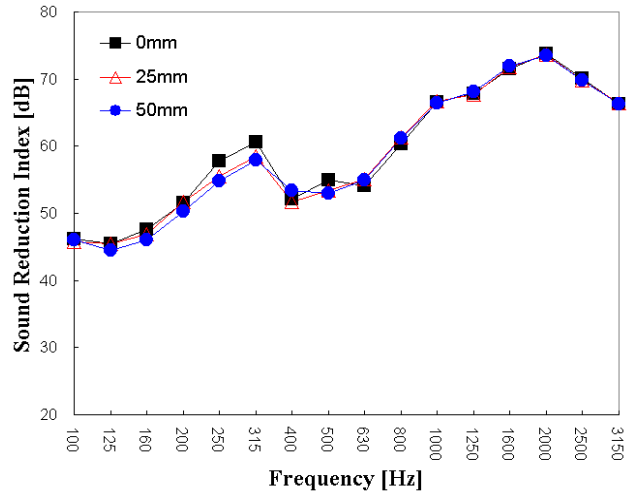


Fig. 17 Sound reduction index of double panels with 50mm absorber according to variation of air space

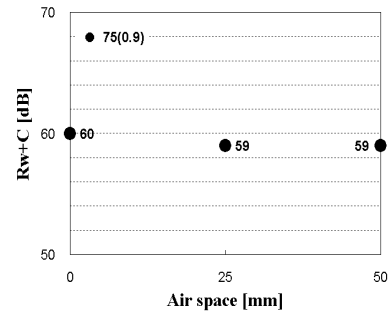


Fig. 18 Single number quantity(Rw+C) of double panels with 50mm absorber according to variation of air space

측정결과, 50mm 흡음재 설치시 공기층 두께증가에 따른 음향감쇠계수와 단일수치(Rw+C)평가량에는 변화가 거의 없어. 차음성능 개선효과가 낮음을 알 수 있다.

다음 Fig. 19는 흡음재 두께변화에 따른 음향감쇠계수 변화를 나타내고 있으며, Fig. 20은 흡음재 두께별 단일수치(Rw+C)평가량을 보여준다.

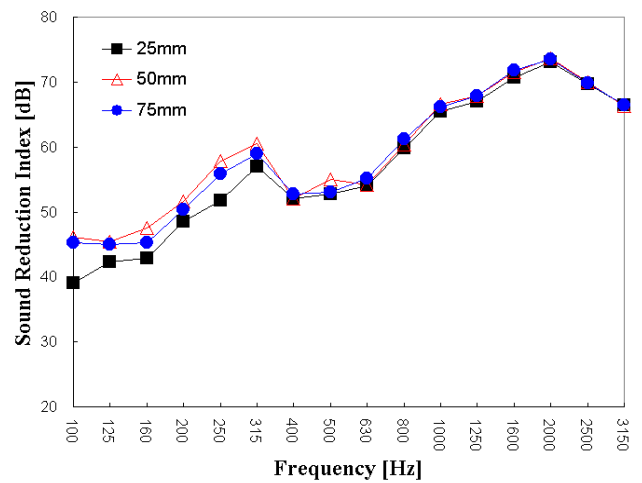


Fig. 19 Sound reduction index of double panels with absorber according to variation of absorber thickness



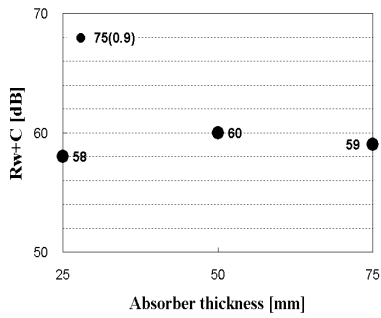


Fig. 20 Single number quantity(Rw+C) of double panels with absorber according to variation of absorber thickness

흡음재 두께가 증가되는 경우, 315Hz이하의 저주파수영역에서 음향감쇠계수가 향상되었으나, 그 이상의 주파수영역에서는 거의 변화가 없어, 흡음재 두께증가에 따른 차음성능 개선효과가 크지 않음을 알 수 있다. 단일수치(Rw+C)는 58~60dB로 평가되었으며, 흡음재 50mm구조의 경우, 시공오차 등의 원인으로 1~2dB 높게 평가되었다고 추정된다.

흡음재와 공기층 두께가 동일한 경우, 면밀도 변화에 따른 음향감쇠계수 변화를 분석하기 위해 흡음재 두께를 25mm로 고정하여 7종의 이중판넬구조에 대한 음향감쇠계수를 측정된 결과는 Fig. 21과 같으며, Fig. 22는 단일수치(Rw+C)평가량을 나타낸다.

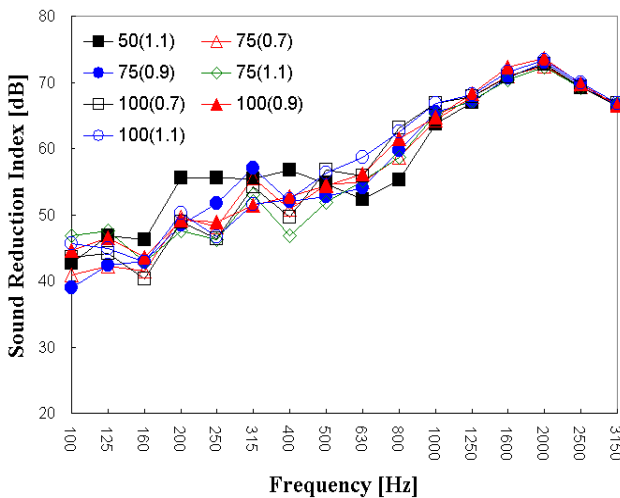


Fig. 21 Sound reduction index of double panels with 25mm absorber

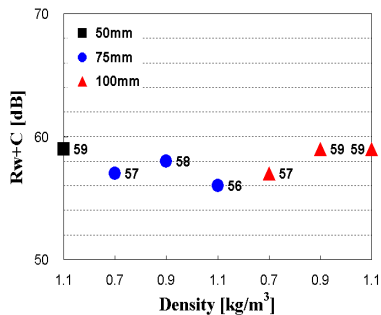


Fig. 22 Single number quantity(Rw+C) of double panels with 25mm absorber

측정결과, 630Hz이상의 주파수영역에서는 면밀도가 높아질수록 음향감쇠계수가 높아지는 경향을 나타내고 있으나, 저주파수영역에서는 일정한 경향이 나타나지 않고 있다. 단일수치(Rw+C) 평가량은 면밀도가 높아질수록 전반적으로 높아지고 있으나, 두께75mm(1.1ton/m³)와 두께100mm(0.7ton/m³)의 경우, 시공오차 등의 원인으로 1~2dB 낮게 평가되었다고 추정된다.

기타 흡음재가 설치된 이중판넬구조의 단일수치(Rw+C) 평가량을 나타내면 Fig. 23과 같다.

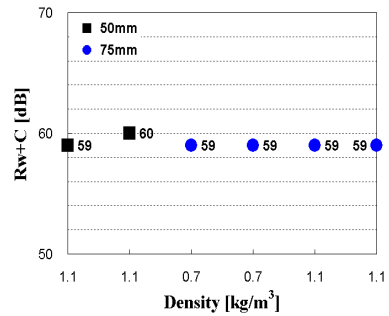


Fig. 23 Single number quantity(Rw+C) of double panels with absorber

#### 4. 결론

본 연구에서는 소형 시험체를 이용한 차음실험의 유용성 및 차음성능 영향요인별 음향감쇠계수 특성을 분석·고찰하기 위해 경량판넬을 기본구성재로 이용하여 면밀도, 공기층 두께, 흡음재 두께 등의 영향요인을 변화시켜 46종의 판넬구조에 대한 차음실험을 실시하였다. 본 연구의 주요 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 3종의 경량판넬구조에 대해 1차 공진주파수가 100Hz이하인 2.7m² 크기의 소형 시험체와 10.5m² 크기의 규격 시험체를 이용하여 음향감쇠계수를 측정된 결과, 평가주파수 대역에서 전반적으로 주파수별 음향감쇠계수 및 단일수치(Rw+C)평가량이 유사하여, 소형 시험체를 이용한 차음실험이 유용함을 알 수 있었다.

(2) 틈새처리 전·후의 음향감쇠계수 측정결과, 저주파수영역에서는 틈새처리 전·후의 음향감쇠계수 차이가 거의 없었으며, 고주파수영역에서는 음향감쇠계수 차이가 점차 높아지는 것을 알 수 있었다. 이에 따라, 저주파수영역에서 음향감쇠계수가 상대적으로 높은 벽체구조의 틈새를 처리하지 않을 경우, 단일수치(Rw+C)평가량이 저하될 가능성이 있어, 접합부의 틈새를 실리콘 등으로 반드시 처리해야 할 것으로 사료된다.

(3) 7종의 단일판넬에 대한 음향감쇠계수 측정결과,  $f_{cr}$ 이상의 주파수영역에서는 면밀도가 높아질수록 음향감쇠계수가 높아지는 경향을 보였다. 질량법칙이 적용되는  $0.5f_{cr}$ 이하의 주파수영역에서는 음향방사계수 및 판의 진동특성 변화, 경계조건 등의 영향으로 일정한 경향이 나타나지 않음을 알 수 있었다.

(4) 이중판넬 공기층 구조의 경우, 공기층 두께가 두꺼워짐에 따라  $f_{cr}$  이상의 주파수영역에서는 음향감쇠계수 변화가 높지 않은 반면,  $f_{cr}$  이하의 저주파수영역에서 음향감쇠계수가 높아져, 공기층 두께증가는 상대적으로 저주파수 영역의 차음성능 개선에 효과적임을 알 수 있었다. 또한, 공기층 두께가 일정한 경우, 800Hz 이상의 주파수영역에서는 면밀도가 증가함에 따라 음향감쇠계수가 전반적으로 높아지는 경향을 나타내고 있으나, 그 이하의 주파수영역에서는 일정한 경향이 나타나지 않았다.

(5) 이중판넬 사이에 흡음재가 설치된 경우, 흡음재가 없는 경우에 비해, 저주파수영역에서 음향감쇠계수 개선 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한, 흡음재가 설치된 이중판넬구조에서 공기층 두께증가에 따른 개선효과는 흡음재가 없는 경우에 비해 상대적으로 크지 않는 것으로 평가되었다.

향후, 소형 시험체를 이용한 차음성능 측정시 관찰되는 음향방사계수, 시험체 진동특성, 경계조건 등의 물리적 변화 현상에 대한 심도 있는 이론적 고찰을 통해, 소형 시험체의 음향감쇠계수 예측에 관한 연구를 진행하고자 한다.

## 후 기

이 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

## 참 고 문 헌

(1) KS F 2860, 2001, "Measurement of sound insulation in buildings and of building elements—Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission" (ISO 140-1 : 1997)

(2) Yang, H. S., Kim, M. J., Han, H. K., and Jeong, G. C., 2007, “Sound Reduction Index of Small Sized Specimen according to Setup Conditions”, Proceeding of Korean Institute of Architecture Environment and

Building Systems annual autumn conference

(3) Marshall Long, 2007, Chap. 9 in Architectural acoustics, Academic Press

(4) KS F 2808, 2001, "Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements" (ISO 140-3 : 1995)

(5) KS F 2862, 2002, "Rating of airborne sound insulation in buildings and of building elements" (ISO 717-1 : 1996)

(6) Jeong, G. C. and Chung, J. Y., 2007, "A Study on the Acoustic Characteristic of the Light Weight Concrete Panel Using Bottom Ash", Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 17(2), 149-154

(7) Yang, H. S., Kim, N. W., Lee, J. W., and Kim, M. J., 2007, "Prediction of Sound Transmission through Single Lightweight Concrete Panel", Inter-Noise

(8) David A. Bies and Colin H. Hansen, 2003, Engineering Noise Control, Spon Press

(9) Frank Fahy and Paolo Gardonio, 2007, Chap. 5 in Sound and Structural Vibration, Academic Press

(10) L. Cremer, 1942, "Theorie der Schälldämmung dünner Wände bei Schrägen einfall", Akustische Zeitung 7, 81

(11) B. H. Sharp, 1978, "Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements", Noise Control Engineering, 53~63

(12) E. C. SEWELL, 1970, Transmission of reverberant sound through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle, Journal of Sound and Vibration 12(1), 21-32

(13) L. Cremer, M. Heckl and B.A.T Petersson, 2005, Chap. 7 in Structure-borne Sound : Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies, 3rd edition, Springer

(14) W. A. Utley and B. L. Fletcher, "Influence of Edge Conditions on the Sound Insulation of Windows", Applied Acoustics 2(2), 131~136