

## 단일 구조 및 진공층이 있는 이중 구조 폴리머 방음패널의 음향투과손실 비교

### Comparison of Sound Transmission Loss Through Single and Double with Vacuum Layer Polymer Soundproof Panel

이 주 행 Lee, Ju Haeng  
김 일 호 Kim, Ilho  
안 광 호 Ahn, Kwang ho

과학기술연합대학원대학교 석사과정 · 주저자 (E-mail : juheang@kict.re.kr)  
정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : ihkim@kict.re.kr)  
한국건설기술연구원 연구원 (E-mail : khahn@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study is to compare sound transmission loss(STL) value depending on the four kinds of materials, PC(Polycarbonate), PMMA(Polymethyl methacrylate), PE(Polyethylene), PP(Polypropylene), and two types of structure, single layer and double with vacuum layer, of soundproof panel.

**METHODS :** With four sorts of polymer material, the specimens were made as various structures, 4 mm and 8 mm of single soundproof panel and vacuum layered 4 mm of one. The experimental condition and procedures were complied with authorized process test, KS F 2808.

**RESULTS :** STL of single panel made of PC were the greatest followed by PMMA, PE, PP regardless of the thickness of panel. However, STL of PMMA panel began to decrease around 2500 Hz and reached the lowest value among others in 5000 Hz. Vacuum layer soundproof panel showed good performance in more than 2000 Hz. Only vacuum layer panel made of PC presented resonance frequency at 800 Hz while that of other vacuum ones at 1000 Hz.

**CONCLUSIONS :** According to results of single layer, it was found that single panel functioned as the theoretical way we expected in terms of surface density. That trends were blurred as the panel got thicker. And it was suggested also that vacuum layer panel performed well at high frequency, more than 2000 Hz.

#### Keywords

*noise barriers, vacuum layer, sound transmission loss, single layer, polymer, soundproof panel*

Corresponding Author : Kim, Ilho, Senior Researcher  
Environment Research Division, Korea Institute of Construction  
Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si,  
Gyeonggi-Do, 411-712, Korea  
Tel : +82.31.9100.649 Fax : +82.31.9100.291  
E-mail : ihkim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering  
<http://www.ijhe.or.kr/>  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

#### 1. 서론

교통소음의 피해를 경감시킬 수 있는 방법 중 방음벽의 설치하는 가장 일반적이며 합리적인 방법이다. 최근에는 다

양한 형상과 소재의 방음패널이 적용되고 있으며, 특히 투명형 방음벽은 운전자의 시야를 확보할 수 있고 투광성을 가지기 때문에 겨울철 도로면의 결빙을 방지할 수 있

는 장점이 있어 많이 보급되고 있다. 이러한 투명형 방음패널은 폴리카보네이트(PC, Polycarbonate)나 아크릴, 접합유리 등을 사용하여 대부분 단일층 구조로 시공된다. 방음패널은 일반적으로 소재의 두께 및 밀도가 증가하면 그 차음성능이 우수해지는 것으로 알려져 있어(Beranek, L.L. and Ver, Istvan L., 1992) 단일 패널의 두께를 두 겹께 할수록 차음성능을 개선할 수 있으나 부재의 단가 및 하중 증가로 인한 시공비 상승의 우려가 있다.

본 연구에서는 두께를 달리한 폴리머 계열의 단일층 패널과 두께는 동일하지만 진공층이 있는 이중층 구조로 변경한 시험체를 제작하여 각각의 재질별·구조별 음향투과 성능을 비교하였다. 재질별 비교를 위해서는 기존 투명형 방음벽의 소재로 많이 사용되고 있는 PC(Polycarbonate), PMMA(Polymethyl methacrylate) 외에 범용 플라스틱으로서 경제적이며 가공성이 좋은 PE(Polyethylene), PP(Polypropylene)를 사용한 시험체를 제작하여 시험했다. 진공층은 이론적으로 양쪽 패널을 완전하게 격리하여 차음성능향상에 긍정적인 요인이 될 것으로 기대되지만(이동훈, 2006), 진공층에 의한 음향학적 성능을 실험을 통해 비교한 연구사례는 많지 않다(W. Maysenholder, 2008). 따라서 폴리머 계열 시험체의 재질별로 진공층을 도입한 이중층 패널의 차음성능을 실험을 통해 비교·분석했으며 이 결과는 차후 방음패널의 성능향상을 위한 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 이론적 연구배경

물질을 통하여 음이 투과되는 것을 차단하는 것을 차음이라 한다. 음원에서 발생된 진동하는 공기의 운동에너지는 일부 물체로 전달되어 물체의 진동을 유발한다. 물체의 진동에너지는 음원측 반대편의 공기를 맥동시켜 수음원측으로 소리를 전달한다. 전달된 음의 세기를 측정하여 차음성능의 지표로 사용하는데, 이것을 투과손실이라 한다. 전달을 차단하는 대표적인 방법 중 하나는 패널의 두께 및 밀도를 증가시키는 것이다. 질량제어영역에서는 질량, 즉 두께 또는 주파수에 따라 투과손실이 증가하므로 방음패널의 투과손실은 패널을 구성하는 소재의 면밀도와 비례관계를 갖는다. 반면, 강성제어영역에서 차음벽체 굴곡파의 파장과 입사파의 파장이 일치할 때 공진현상에 의해 투과손실이 낮아지는 일치효과가 발생하며 일치효과 주파수는 패널의 두께에 반비례한다(Mehta, M., Johnson, J., and Rocafort, J., 1992). 따라서 단일패널의 두께를 두 배로 하는 것 보다 동일한 두께의 패널을

이중구조로 형성하면 이론적으로는 각 벽체의 투과손실의 합이 곧 중공이중벽의 투과손실이 되므로 단일패널의 두께를 두 배로 하는 것보다 효과적일 수 있다. 이 때 두 개의 벽체는 서로 격리되어 있으나 내부 매질인 공기를 통하여 소리가 전달된다. 이론적으로는 두 개의 벽체 사이를 진공상태로 유지하면 두 벽체가 완전하게 격리될 수 있으므로 더 나은 차음성능을 기대할 수 있다(이동훈, 2006). 두 벽체가 완전하게 격리되면 각 벽체의 투과손실의 합이 중공이중벽의 투과손실이 된다(William J. Cavanaugh, Joseph A. Wilkes, 1999). 본 연구에서는 양쪽 패널을 연결하는 요소를 최소화하여 진공층을 형성한 패널과 두께를 두 배로 한 패널, 단일겹 패널에 대하여 투과손실을 측정하여 그 결과를 비교하였다.

## 3. 실험 조건 및 방법

### 3.1. 실험 시편

Table 1에 나타난 바와 같이, 두께가 4mm와 8mm인 PC, PMMA, PE, PP로 제작된 8가지 폴리머계 방음패널을 대상으로 단일패널의 차음실험을 수행하였다. 각 폴리머계 패널의 크기는 가로, 세로가 각각 1000mm, 1000mm이다.

Table 1. Types of Single Layer Panel

|       | Materials | Thickness of panel (mm) |
|-------|-----------|-------------------------|
| As(4) | PC        | 4                       |
| Bs(4) | PMMA      | 4                       |
| Cs(4) | PE        | 4                       |
| Ds(4) | PP        | 4                       |
| As(8) | PC        | 8                       |
| Bs(8) | PMMA      | 8                       |
| Cs(8) | PE        | 8                       |
| Ds(8) | PP        | 8                       |

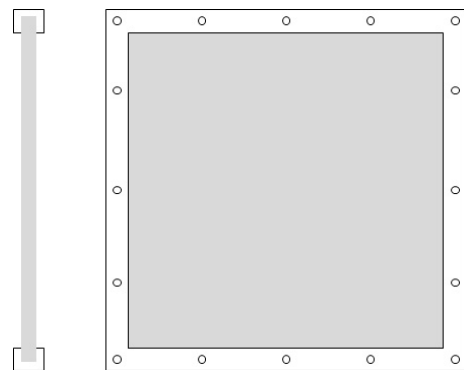


Fig. 1 Schematic of 8mm of Single Panel

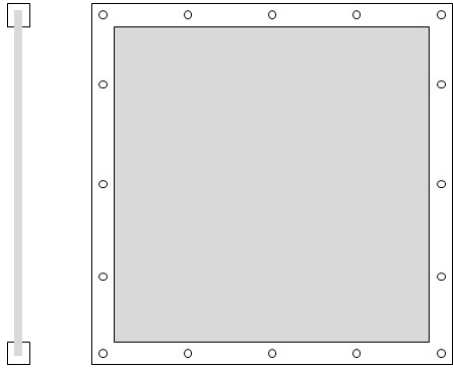


Fig. 2 Schematic of 4mm of Single Panel

PC, PMMA, PE, PP 소재별로 각각 두께가 4mm인 두 개의 방음패널 사이에 진공층 4mm을 조성하였다. 진공압이 일정하게 유지될 수 있도록 4개의 모서리부분을 실리콘마감하고 패널의 가로, 세로를 각각 1000mm, 1000mm으로 하여 단일패널과 동일한 면적으로 제작하였다.

Table 2. Types of Vacuum Layer Panel

|        | Materials | Thickness of panel(mm) |              |       |
|--------|-----------|------------------------|--------------|-------|
|        |           | panel                  | vacuum layer | panel |
| Av(44) | PC        | 4                      | 4            | 4     |
| Bv(44) | PMMA      | 4                      | 4            | 4     |
| Cv(44) | PE        | 4                      | 4            | 4     |
| Dv(44) | PP        | 4                      | 4            | 4     |

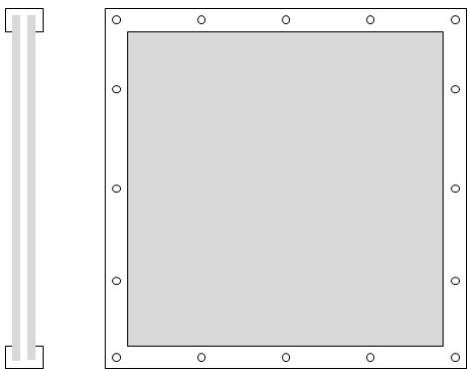


Fig. 3 Schematic of Vacuum Double Panel

### 3.2. 실험 방법

실험실의 온도는  $20.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 이며 상대습도는  $54.0 \pm 2.0\%$  R.H를 유지하였다. 음향투과손실 측정용 잔향실의 체적은  $107\text{m}^3$ 이며 음원용 잔향실과 수음용 잔향실의 체적은 각각  $57\text{m}^3$ ,  $52\text{m}^3$ 이다. 주파수 분석 장치인 SA-01,

RION을 사용하였고 Microphone은 G.R.A.S.사의 Type 40AE와 RION의 UC 53A를 각각 이용하였다. 음향투과손실 시험은 KS F 2808:2011(건물부재의 공기 전달음 차단성능 실험실 측정방법)에 따라 실시하였다. 제작된 시험체를 설치하고 인접한 두 개의 잔향실을 음원실과 수음실로 구분하여 음향감쇠계수를 측정한다.

## 4. 실험 결과

### 4.1. 단일패널

두께가 4mm인 단일패널 As(4), Bs(4), Cs(4), Ds(4)의 차음실험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 재질별 단일패널의 투과손실은 서로 유사한 패턴을 보였으며, 200Hz를 제외한 전 주파수영역에서 주파수가 증가할수록 투과손실이 증가하였다.

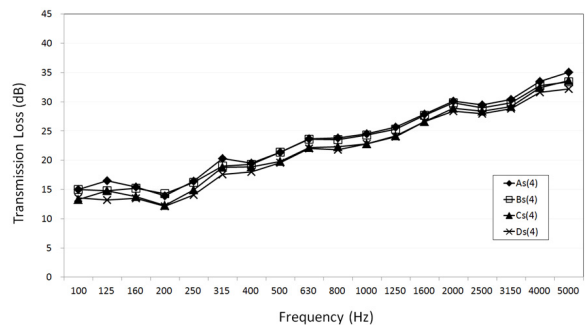


Fig.4 Sound Transmission loss of As(4), Bs(4), Cs(4), Ds(4)

Fig. 5에 나타난 바와 같이 두께가 8mm인 단일패널 As(8), Bs(8), Cs(8), Ds(8)은 두께가 4mm인 패널과 달리 200Hz 외에 4000~5000Hz의 고주파수영역에서 투과손실이 감소했으며 이는 패널의 두께가 2배가 됨에 따라 일치효과 주파수가 반비례하여 감소했기 때문에 나타나는 것으로 보인다. 단일패널의 재질별 투과손실치를 서로 비교하면 투과손실이 감소하는 특정 주파수영역

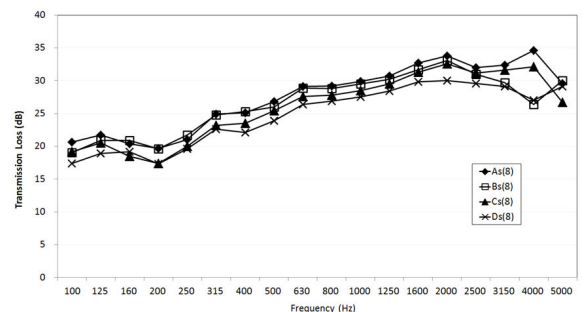


Fig.5 Sound Transmission loss of As(8), Bs(8), Cs(8), Ds(8)

역을 제외한 전 주파수에서 4mm와 8mm 모두  $A_s > B_s > C_s > D_s$  순으로 차음능이 높았으며 이는 재질의 밀도와 비례함을 알 수 있었다. 4mm보다는 8mm 두께 단일패널의 재질별 투과손실 차이가 크며 이는 4mm보다는 8mm 단일패널의 재질별 면밀도 차이가 크기 때문인 것으로 보인다(Table 3).

Table 3. Surface Density of Each Panels

| Materials | Surface density (kg/m <sup>2</sup> ) |                        |
|-----------|--------------------------------------|------------------------|
|           | Thickness of panel 4mm               | Thickness of panel 8mm |
| PC        | 4.8                                  | 9.6                    |
| PMMA      | 4.7                                  | 9.4                    |
| PE        | 3.6                                  | 7.3                    |
| PP        | 3.4                                  | 6.8                    |

## 4.2. 진공층 이중패널

4mm의 진공층을 갖는 Av(44), Bv(44), Cv(44), Dv(44) 의 이중층 폴리머패널에 대한 차음실험 결과는 Fig. 6과 같다. 특히 패널의 폴리머 소재에 따라 투과손실이 감소하는 주파수영역이 달라지는 것으로 분석된다. 모든 패널이 800Hz에서 투과손실이 소폭 감소하였고 Av(44) 패널의 투과손실은 다시 증가하였으나 나머지 패널은 1000Hz까지 투과손실 감소가 나타났다. 이는 진공층에 대한 공명주파수가 발생했기 때문으로 판단된다(정일록, 2003).

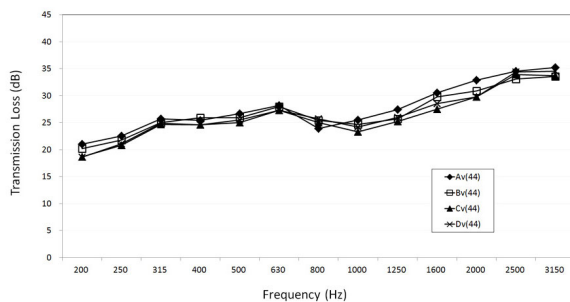


Fig. 6 Sound Transmission loss of Av(44), Bv(44), Cv(44), Dv(44)

## 4.3. 단일겹패널과 진공층이 있는 패널의 재질별 비교

소재가 모두 PC이고 구조 및 두께가 다른 패널 Av(44), As(4), As(8)에 대한 투과손실을 비교한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 진공층이 있는 Av(44)와 단일 겹 8mm인 패널로 구성된 As(8)를 비교하였을 때, 630

Hz 이하의 저주파영역에서는 두 패널의 투과손실이 비슷한 것을 알 수 있으나, 630에서 2000Hz의 소음에서는 As(8)의 투과손실이 더 높고 2000Hz 이상의 고주파영역에서는 Av(44)의 투과손실이 더 높은 것으로 나타났다. 또한 이와 같은 경향은 Fig. 8에서 알 수 있듯이 소재가 PE인 Cs(4), Cs(8), Cv(44)에서도 동일하게 나타난다. PMMA 소재로 구성된 Bs(4), Bs(8), Bv(44) 패널의 투과손실 결과는 Fig. 9와 같이 측정되었으며 PC, PE 소재의 패널과 비슷한 경향을 보였다. 반면, Bs(8) 패널의 경우 2000Hz 이상의 고주파영역에서 투과손실량이 급격하게 감소하였다. 이는 실험과정 상 데이터 오류로 판단되나 차후 더 면밀한 연구가 진행되어야 할 것이다. PE 소재의 패널은 630에서 2000Hz 사이의 진공층이 있는 경우와 두께가 8mm인 경우의 투과

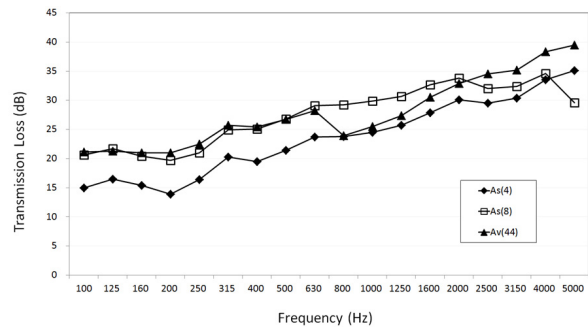


Fig. 7 Sound Transmission loss of As(4), As(8), Av(44)

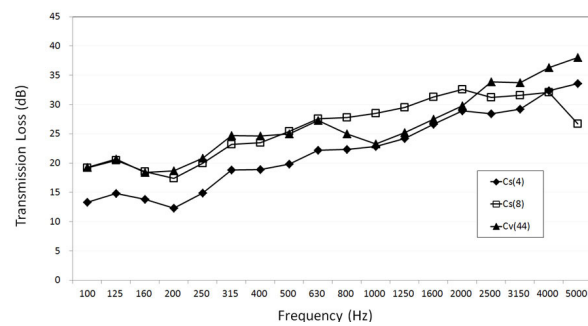


Fig. 8 Sound Transmission loss of Cs(4), Cs(8), Cv(44)

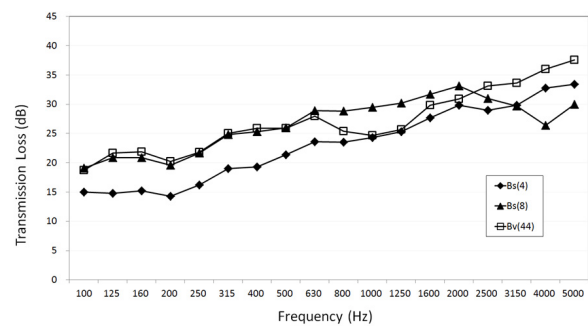


Fig. 9 Sound Transmission loss of Bs(4), Bs(8), Bv(44)

손실 차이가 상대적으로 낮게 측정되었다. 반면 630 Hz 이하의 주파수영역에서 진공 이중패널의 투과손실량이 다른 소재의 패널에 비하여 높게 나타났다.

## 5. 결론

네 가지 종류의 폴리머계 소재로 이루어진 패널의 투과손실을 측정한 결과, 다음과 같은 결과가 도출되었다. 두께가 4mm 단일패널의 경우, PC, PMMA, PE, PP 순으로 투과손실이 높았으며 PC와 PMMA, PE와 PP가 각각 주파수에 따른 투과손실경향이 비슷하게 나타났다. 이는 각 소재의 면밀도와 부합하는 결과로 판단된다. 대상소음이 고주파일수록 투과손실의 크기가 큰 것으로 측정되었다. 두께가 8mm인 단일패널의 차음량 또한 PC, PMMA, PE, PP 순으로 크게 나타났다. 2500Hz 이상에서 PMMA의 투과손실이 감소하며 역전되는 경향을 보였으며 특히 5000Hz에서는 다른 소재들에 비하여 투과손실이 가장 낮게 측정되었다. 주파수별 투과손실의 차이는 두께가 4mm인 패널에 비하여 작았으나, 투과손실량은 4mm보다 컸다. 이 역시 면밀도에서 기인한 결과로 판단되나, 면밀도가 미치는 영향의 크기는 4mm의 패널보다 두드러지지 않았다. 진공층패널의 경우, 소재별 면밀도가 미치는 영향이 상대적으로 작은 것으로 판단된다. 또한 진공층에 대한 공진주파수의 영향으로 PC로 제작된 패널은 800Hz, 나머지 패널은 1000Hz에서 투과손실 감소가 관찰되었다. 모든 소재로 구성된 패널에 대해서, 632Hz 이하의 주파수 영역대에서 진공이중패널과 두께가 8mm인 단일패널의

투과손실이 거의 비슷하였으며 630~2000Hz의 주파수 영역은 진공이중패널의 투과손실이 8mm 단일패널에 비해 낮았으며 이는 진공이중패널의 공명에 의한 투과손실 저하로 판단되었다. 2000Hz 이상 고주파수에서는 두께가 8mm인 단일패널보다 진공이중패널의 투과손실이 더 큰 것으로 측정되었다.

## References

- Dong Hoon Lee, *Noise Engineering for engineer*, A-Jin, 2006
- W. Maysenholder, Sound transmission loss of vacuum insulation panels, *Acoustics' 08 proceeding*, 5399-5404, 2008.
- William J. Cavanaugh, Joseph A. Wikes, *Architectural Acoustics: Principles and Practice*, John Wiley & Sons, 1999
- Beranek, L.L. and Ver, Istvan L., "Noise and vibration control engineering," John Wiley, New York, pp. 281~304(1992).
- Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements, *Korean Industrial Standard*, KS F 2808. 2011. Korea Industrial Standards Commission.
- Mehta, M., Johnson, J., and Rocafort, J., "Architectural acoustics: Principles and design," Prentice-Hall, New Jersey, pp. 90~99(1992).
- Antonio J.B. Tadeu, Diogo M.R. Mateus, Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation, *Applied Acoustics* 62, 307-325, (2001)
- Il-lok Jeong, Jae yong Kim, Se chul Yoon, Tae ho Lee, *Noise vibration theory and practice*, Dong Hwa, 2003.
- Massimo Garal and Paolo Guidorzi, European methodology for the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data, *Journal of Acoustical Society of America*. 108(3), 1054-1067, 2000.
- (Received : Aug. 29 2013, Revised : Sep. 10 2013, Accepted : Oct. 1 2013)