

# Interlayer film 재료 및 구성에 따른 접합유리 차음성능 비교

## A Comparative Study on the Sound Insulation Characteristics of Laminated Glass in Accordance with Material and Composition of Interlayer Film

홍지영† · 고상원\* · 고효인\* · 장승호\*

Jiyoung Hong, Sangwon Ko, Hyo-In Koh and Seungho Jang

**Key Words** : Laminated Glass(접합유리), PVB(polyvinyle butyral), Sound Transmission Loss(투과손실)

### ABSTRACT

It is well known that monolithic glass has specific coincidence dip allowing transmittance of noise around the critical frequency. Laminated glass, made of a polyvinyle butyral(PVB) interlayer sandwiched by two panes of glass sheet, has long served for the advantage in noise attenuation properties as well as the safety purpose. More research on the improvement of sound insulation performance is needed, considering much of the noise is still transmitted through the glass. As a preliminary study, authors have made several test specimens, varied combinations of glass and interlayer film, to optimize the acoustic performance. Experimental investigation was carried out to study the sound transmission loss of test specimens in the reverberation chamber by using sound intensity method. Several new applications, instead of the existing PVB laminated glass, show better results in sound transmission loss and low temperature have a bad influence on the acoustic performance.

### 1. 서 론

접합유리에 사용되는 Interlayer film은 충돌 등으로 인한 유리의 파손 시 내충격성을 증가시켜 사용자의 안전을 확보해 줄 뿐만 아니라, 유리에 전달된 진동 에너지를 소산시켜 외부의 소음이 실내로 전달되는 것을 방지하는 역할을 한다<sup>(1)</sup>. 특히, Polyvinyl butyral(PVB)은 차음성능 면에서도 우수한 것으로 평가되어 접합유리에 많이 적용되고 있다. PVB 접합유리는 단일유리에서 coincidence effect로 인해 일부 주파수 대역에서 나타나는 차음성능 저하에 효과적인 것으로 알려져 있다<sup>(2)</sup>.

철도 차량에서도 이 PVB를 적용한 접합유리를 사용하고 있는데, 여전히 차량 실외에서 실내로 유입되는 소음 중 상당 부분이 유리창을 통해 전달된다.

고속열차의 객차 부분별 투과손실에 대한 민감도 해석 연구에서도 창문의 투과손실값이 벽면의 투과손실값에 비해 10dB 이상 차이가 나고 민감도가 가장 높은 것으로 확인되었으며, 창문의 투과손실을 증가시키는 것이 전체 투과손실에 큰 영향을 미친다고 보고하였다<sup>(3)</sup>. 국내에서는 interlayer film을 적용한 접합유리의 차음성능과 관련한 연구가 미미한 수준으로 대부분의 접합유리가 국외에서 개발된 PVB를 그대로 도입해 적용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 다양한 interlayer film 재료와 구성에 따라 제작된 시편의 실험실 내 투과손실 측정값을 비교, 분석하여 기존의 PVB 접합유리를 대체할 수 있는 interlayer film 재료를 알아보고, 두께 및 무게 등 차량 설계 한계를 고려했을 때 실내 소음 저감에 보다 효과적인 개선방안을 제시하고자 하였다. 또한, 유리나 interlayer film의 차음성능이 재료 특성상 온도 변화에 민감하여 저온에서는 차음성능이 현저히 저감되는 것을 확인하였으며, 사용온도가 낮을 경우 이를 보완하기 위한 기술 개발의 필요성을 제기하였다.

† 교신저자; 정회원, 한국철도기술연구원

E-mail : hongjy@gmail.com

Tel : 031 460 5374, Fax : 031 460 5279

\* 한국철도기술연구원

## 2. 차음성능 측정 및 시험 방법

### 2.1 음향 인텐시티법

재료의 차음성능은 입사된 음과 투과된 음의 음압레벨차인 투과손실을 측정하여 평가하며, 투과손실 측정방법에는 잔향실법과 인텐시티법이 있다. 본 연구에서는 재료와 구성 조건을 달리하여 제작된 다중 접합유리를 대상으로 하여, 시편의 부위별 에너지 투과율이나 다중층으로 인한 불균일성이 투과손실에 미치는 영향 등 시편에 대한 많은 정보를 얻을 수 있는 음향 인텐시티법을 이용하여 투과손실을 측정하고 평가하였다<sup>(4)</sup>.

투과손실의 측정은 Figure 1의 차음성능시험실에서 ASTM E2249-02에 따라 음원실인 잔향실(체적 240m<sup>3</sup>, 차단주파수 100Hz) 내 확산음장의 공간평균 음압레벨을 측정하여 아래 식 (1)을 이용하여 음원실의 인텐시티를 구하고, 수음실인 무향실에서 시편을 투과한 음의 인텐시티를 측정하여 아래 식 (2)와 같이 시편의 투과손실을 구한다.

$$I_i = \frac{P_{rms}^2}{4\rho c} \quad (W/m^2) \quad (1)$$

여기서,  $P_{rms}^2$ 은 공간평균음압레벨,  $\rho$ 는 공기 밀도,  $c$ 는 소리 속도이다.

$$STL = L_{I_p} - L_{I_t} = 10 \log \frac{I_i}{I_t} \quad (dB) \quad (2)$$

여기서,  $L_{I_p}$ ,  $L_{I_t}$ 는 각각 음원실과 수음실의 인텐티 레벨을 나타낸다.

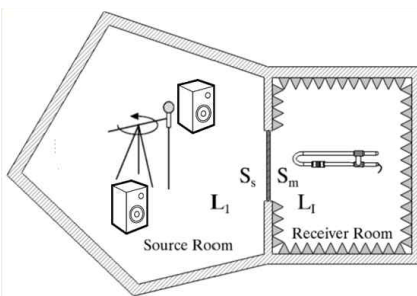


Figure 1 Sound insulation test room consisting of a reverberation chamber and an anechoic chamber

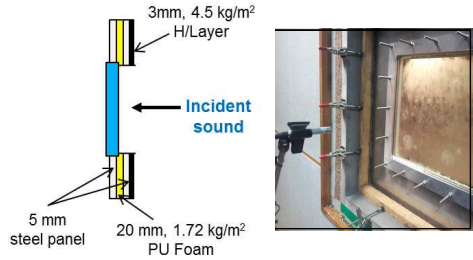


Figure 2 Measurement setup for the transmission loss of the laminated glass specimens

### 2.2 접합유리 시편 구성 및 시험내용

고속철도 차량에 적용된 유리창은 공기층을 사이에 두고 접합유리를 내외측 창으로 구성해 단열 및 차음성능이 효과적인 복층유리를 사용하고 있다. 본 연구에서는 복층유리 중 내측 접합유리를 기준으로 450×450(mm<sup>2</sup>) 크기의 시편을 제작하였으며, 이는 Figure 2와 같이 잔향실과 무향실 사이 개구부에 설치되었다. 시편과 개구부 틈새로 음이 새는 것을 막기 위해 실리콘과 유점토로 보강하였다.

먼저, 접합유리가 차음성능 면에서 강점이 있는지 확인하기 위해 단층 강화유리 시편을 제작하여 단층 유리의 투과손실 특성을 분석하였다. 본 연구의 기준시편은 실제 차량에서 사용 중인 복층유리창의 내측 유리로, 아래 Figure 3와 같이 각각 4mm, 5mm 두께의 강화유리 사이에 1.52mm PVB를 넣고 고온·고압으로 접합한 것이다. 기존 접합유리를 대체 또는 개선하기 위한 방안으로 기준시편의 PVB와 두께가 다른 PVB를 강화필름과 함께 접합하거나 Polycarbonate(PC), polymethyl methacrylate(PMMA) 등 물성이 다른 interlayer film을 적용한 시험시편을 제작하였다. 또한, 강화유리 3개를 접합시켜 3중 접합유리 시편을 제작하였으며 아래 Table 1에 상세한 시편 구조 및 재료, 두께를 나타내었다.



Figure 3 Reference specimen for transmission loss comparison with test specimens

**Table 1** Test specimens of the laminated glass

구분	구조	두께
단층유리	강화유리(10mm)	10t
기준시편	강화유리(4mm)+PVB(1.52mm)+강화유리(5mm)	10.52t
시험시편1	강화유리(4mm)+OCA(0.02mm)+PC(1mm)+OCA(0.02mm)+강화유리(5mm)	10.04t
시험시편2	강화유리(4mm)+OCA(0.02mm)+PMM A(1mm)+OCA(0.02mm)+강화유리(5mm)	10.04t
시험시편3	강화유리(4mm)+PVB(0.76mm)+MD(0.25mm)+PVB(0.76mm)+강화유리(5mm)	10.77t
시험시편4	강화유리(4mm)+PVB(0.35mm)+MD(0.25mm)+PVB(0.35mm)+MD(0.25mm)+PVB(0.35mm)+강화유리(5mm)	10.55t
시험시편5	강화유리(3mm)+PVB(1.52mm)+MD(0.25mm)+PVB(1.52mm)+MD(0.25mm)+PVB(1.52mm)+강화유리(3mm)	11.06t *
시험시편6	강화유리(3mm)+PVB(1.52mm)+강화유리(3mm)+PVB(1.52mm)+강화유리(3mm)	12.02t

\* MD : 강화필름, OCA : 접착필름

시험시편 1, 2는 기준시편의 PVB 대신 물성이 다른 PC와 PMMA를 적용해 재료의 특성에 따른 투과손실을 살펴보고자 하였다. PVB와 달리 PC와 PMMA는 접착력이 없어 유리에 접합하기 위해서 OCA라는 매우 얇은 접착필름이 사용되었다. 시험시편 3, 4, 5는 여러 두께의 PVB 사이에 MD라는 강화필름을 적용한 것으로 서로 다른 두 종류의 필름이 중첩됨으로써 나타나는 투과손실 변화를 살펴보고자 하였다. 시험시편 6은 얇은 강화유리 3개와 그 사이에 PVB를 적용한 3중 접합유리로 구성하였다.

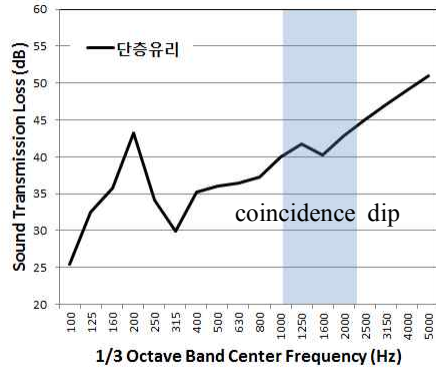
3mm 미만의 얇은 유리는 안전 문제로 실제 차량 유리창으로 사용되기 어려워 배제하였고, 접합유리 제작 공정 상 얇은 필름을 여러 겹으로 적층하는데 어려움이 있어 시험시편들의 두께가 기준시편과 정확히 일치하지는 않으나, 기준시편과 비교하여 그 차이가 대부분 0.5mm 내외로 두께에 의한 영향은 미미할 것으로 판단된다.

### 3. 시험결과 및 분석

#### 3.1 접합유리 구성에 따른 투과손실 비교

##### (1) 단층유리

먼저, 단층유리의 투과손실을 측정하였다. Figure 4와 같이 10mm 두께의 단층유리에서는 약 1600Hz

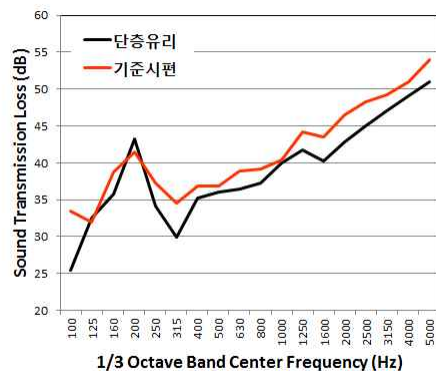


**Figure 4** Sound transmission loss of monolithic glass

에서 coincidence dip으로 차음성능이 저하된다. 400Hz 이하 저주파 대역에서는 유리가 공진으로 떨림이 많이 생기는 것을 확인할 수 있는데, 실험 시편과 개구부에 설치된 지그 간 결합이 약한 것도 영향을 준 것으로 보인다.

##### (2) 기준시편

PVB는 단층유리의 coincidence effect로 인한 차음성능 저하에 효과적인 것으로 알려져 있다. Figure 5는 단층유리와 기준시편의 주파수대역별 투과손실량을 비교한 것으로 저주파 대역을 제외한 전 대역에서 단층유리에 비해 PVB 접합유리 기준시편의 투과손실량이 높고, 특히 1000Hz 이상 고주파 대역의 차음성능이 탁월하다.



**Figure 5** STL comparison of PVB laminated glass with floating glass

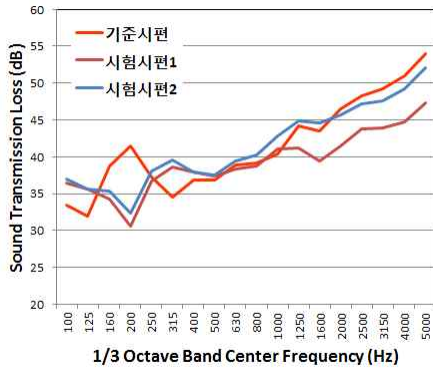


Figure 6 STL comparison of PC/PMMA laminated glasses with PVB laminated glass

(3) PC/PMMA 적용 시험시편

PVB를 대신해 PC와 PMMA를 적용한 시험시편 1, 2를 기준시편과 비교한 결과는 Figure 6과 같다. PC 접합유리인 시험시편 1은 기준시편에 비해 전반적으로 차음능력이 낮고, PMMA 접합유리인 시험시편 2는 1000Hz 주변의 관심주파수 대역에서 기준시편 보다 근소한 차이로 투과손실이 높고, 저주파대역에서 공진주파수가 낮아져 차음에 유리한 것으로 보인다. 다만 고주파대역에서는 기준시편에 비해 투과손실량이 조금 낮은 것으로 나타났다.

(4) PVB-MD 중첩 시험시편

기준시편은 1.52mm 두께의 PVB 한 층을 적용하였는데, 시험시편 3, 4, 5는 서로 다른 두께의 PVB를 얇은 강화필름인 MD와 다양하게 중첩시켜 제작

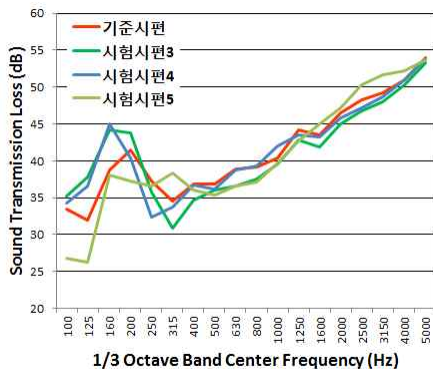


Figure 7 STL comparison of PVB-MD laminated glasses with PVB laminated glass

한 것이다. Figure 7과 같이 중첩 시험시편은 기준시편과 비교해 차음능력이 유사한 수준이거나 오히려 투과손실량이 전반적으로 낮은 결과를 보인다.

(5) 3중 접합유리 시험시편

시험시편 6은 3mm 두께 강화유리 3개와 그 사이에 1.52mm PVB를 적용한 3중 접합유리로 유리와 필름의 탄성률 차이로 진동에너지가 열에너지로 보다 많이 소산되어 투과손실량이 클 것으로 예상하였으며 결과는 Figure 8과 같다. 800Hz 주변 주파수대역에서 기준시편보다 투과손실량이 조금 낮으나 전반적으로는 기준시편에 비해 근소하게 개선된 차음성능을 보여주고 있으며, 특히, 1600Hz 인근의 coincidence dip에서 기준시편보다 효과적임을 확인하였다.

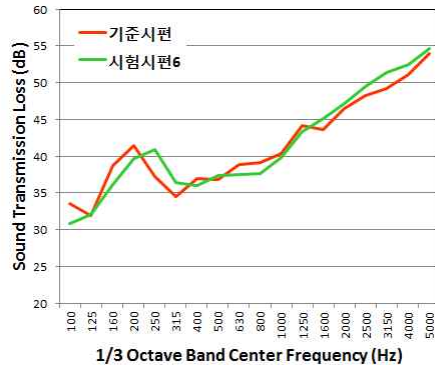


Figure 8 STL comparison of tripple glazing laminated glasse with PVB laminated glass

3.2 유리 표면온도에 따른 차음성능 비교

3.1의 시험결과들은 모두 약 25°C의 상온에서 측정된 것이며, 온도 저하로 인한 유리의 투과손실 변화를 살펴보기 위해 시험 전 유리를 일정시간 저온 보관하여 약 영하 10°C의 표면온도를 갖도록 하였다. Figure 9의 시험시편 6을 상온에서 시험한 결과와 비교하면 1250Hz 이상의 고주파 대역에서 투과손실량 감소가 크게 나타나고 250Hz 주변 대역에서도 투과손실량이 감소한다. 이외에도 본 연구에서 시험한 대부분의 시편이 저온에서 차음성능이 저하되는 것을 확인하였다. PMMA를 적용한 시험시편 2는 저온 시험에서도 상온과 큰 차이가 없어 재료의 물성 등에 대한 면밀한 검토가 필요한 것으로 보인다.

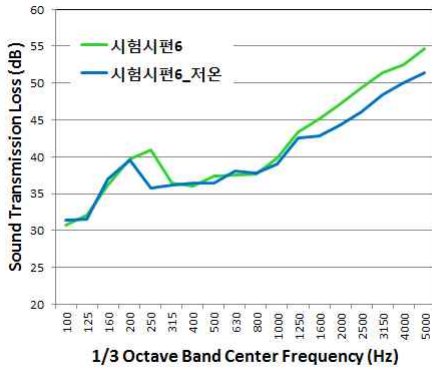


Figure 9 STL comparison of PVB-MD laminated glasses with PVB laminated glass

### 3. 결론

철도의 고속화와 에너지 비용 절감을 위해 차체 경량화를 위한 기술 개발이 시급하고 정온한 차량에 대한 사용자의 요구가 증가하면서 철도 차량 실내 소음 저감과 관련한 연구가 다양한 분야에서 진행 중이다. 특히, 실외 소음 유입에 기여도가 큰 유리창은 전체 투과손실에 미치는 영향이 커 성능 개선 연구가 매우 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구는 기존 PVB 접합유리를 대신해 차음성능은 기존의 수준을 유지하면서 다른 재료와 구성으로 다양한 시편을 제작하여 투과손실량을 측정하였으며, 차음 접합유리에 대한 신소재 적용 및 새로운 시스템 개발을 위한 기초연구로써 수행되었다.

실내소음 저감을 위해 사용되는 유리의 차음성능을 향상시키기 위해서 다양한 방법이 적용될 수 있다. 고속철도 차량에서 사용되는 복층유리창의 경우 유리의 두께가 두꺼워지거나 유리 사이의 간격이 커질수록 즉, 공기층 두께가 두꺼워질수록 차음성능이 향상되나, 차체 두께 및 중량의 설계 한계로 인해 두께 증가를 최소화하면서 차음성능을 개선할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 접합유리에 사용되는 interlayer film 재료를 다양하게 적용하고, 구성의 변화를 줘 두께의 큰 변화 없이 차음성능을 개선할 수 있는 방안을 모색하였다.

음향 인텐시티법을 이용해 다양한 접합유리 시편의 투과손실을 측정 및 비교하였으며, 단층의 PVB interlayer film을 적용한 기존 접합유리와 비교해

소재 면에서는 PMMA가 개선된 결과를 나타냈고, 구성면에서는 PVB를 이용한 3중 접합유리가 비교적 좋은 차음성능을 가지는 것을 확인하였다. 또한, PVB와 MD를 여러겹으로 중첩시킨 경우에는 전반적으로는 투과손실량에 큰 차이가 없으나 주파수 대역별로 기존 접합유리와 성능이 좋거나 나쁜 경우가 있어, 소음원의 주파수 특성에 따라 유리한 소재 및 구성을 선택할 수 있을 것으로 생각된다.

유리의 표면온도를 약 영하 10°C로 하여 시험한 결과 대부분의 접합유리 시편에서 그 성능이 저하되는 것을 확인하였으며, 이는 겨울철 온도가 낮은 우리나라에서 저온에서 투과손실이 낮은 유리를 사용할 경우 실내소음 감소에 매우 불리할 것으로 예상되어 사용온도별 차음성능 변화에 대한 후속연구와 이를 개선할 수 있는 재료 및 구성의 접합유리 개발이 필요함을 알 수 있다.

### 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 2013년도 기관 주요사업인 “철도 친환경 향상기술 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Lilly, J.G., Recent advances in acoustical glazing. *Sound and Vibration*, 2004. 38(2): p. 8-13.
- (2) Lu, J. Passenger vehicle interior noise reduction by laminated side glass. in *International Noise Control Conference*. 2002.
- (3) 김관주, 박진규, 발표논문: 구조 음향/소음원 기여도 해석 및 벽면 투과손실에 대한 민감도 해석에 의한 한국형 고속철도의 실내소음 예측. *한국소음진동공학회 학술발표논문집*, 2001. 2001(1): p. 1093-1098.
- (4) Cops, A. and M. Minten, Comparative study between the sound intensity method and the conventional two-room method to calculate the sound transmission loss of wall constructions. *Noise Control Engineering Journal*, 1984. 22(3): p. 104-111.