철도차량벽체의 차음 성능에 대한 제진시트의 영향 고찰

A study on the sound insulation performance of damping sheet attached to the train wall

서대훈*·김양한**

Dae-Hoon Seo, Yang-Hann Kim

Key Words : Damping Sheet(제진시트), Sound Insulation Performance(차음성능), Sound Transmission Loss(음향투과손실)

ABSTRACT

This study deals with the sound insulation performance of the damping sheet, which is widely used in a train. The wall of train is assumed to be a plate made of steel and two damping sheets. In case of damping sheet only, the sound transmission loss follows the mass law. If a steel plate is attached to damping sheet, the transmission loss is found to be higher than single of only steel plate, as we can anticipated, about 3~5 dB. This is very well known consequence that is because the density of area increases. However, the increase of the transmission loss is not higher than what we can expect by the mass law. That's because the steel is perfectly blocked from the transmission of the air ; There is no defect in that material.

1. 서 론

자동차 및 철도차량 등의 수송기계의 내장재가 갖추어야 할 중요한 기능중의 하나가 실외 소음저감을 위한 차음 성능이다. 하지만 대구지하철 참사사건이 시사하듯이, 철도 차량내장재로 쓰이는 차음재는 우수한 차음 성능뿐만 아니라 연소시의 무독성, 난연성등 요구조건이 엄격하다고 할 수 있다. 일반적으로 차음재의 차음 성능은 질량법칙(mass law)에 의해 면밀도(kg/m^3)가 2 배 커질수록 차음 성능은 6dB 만큼 증가한다. 하지만 이렇게 면밀도를 증가시켜서 높은 면밀도의 재료를 사용하게 되면 차체의 중량이 증가되어 차량의 연비 및 기동성에 저하를 가져온다, 이런 상충된 문제점을 가지고 어떤 재료를 얼마만큼의 두께에서 어느 정도의 차음 성능을 발휘할 수 있는지에 대해서 알아볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 널리 쓰이고 있는 제진시트의 단판 차음 성능을 측정하고, 실제 철판으로 가정된 철도차량벽체의 내부에 제진시트를 붙였을 때의 차음 성능을 측정하고 그 결과를 고찰하고자 한다.

* 한국과학기술원 기계공학과
E-mail : huny@kaist.ac.kr
Tel : (042) 869-3065, Fax : (042) 869-8220

** 한국과학기술원 기계공학과

2. 시험방법

2.1 음향투과손실

차음 성능의 평가는 잔향실에서 이루어지며 정량적으로 음향투과손실(Sound Transmission Loss, STL)로 나타낸다. 본 실험은 한국기계연구원의 간이 잔향실에서 이루어졌다. 간이잔향실에서의 차음 성능은 일반 잔향실법(ISO 140-3)과 마찬가지로 (1)식을 이용하여 계산하였다.

$$\mathrm{STL} = L_{p1} - L_{p2} + 10\log_{10}(\frac{S}{A})\ [\mathrm{dB}] \qquad (1)$$

여기서 L_{p1} ,L_{p2} 은 각각의 소음원실과 수음실의 공간 평균 음압레벨$(dB\,ref\ 20\mu Pa)$, S 는 시편면적= 1.2×1(m^2), A는 수음실의 등가 흡음면적 (m^2) 이다. 식 (1)에서 우변의 마지막 항은 수음실의 음향특성 및 시편면적에 따른 차이를 보정하기 위한 것이다. 공간 평균음압 레벨은 60 도 간격으로 6 개 지점을 계측하여 평균하여 구하였고 A는 수음실의 흡음성능을 표현하는 것으로서 잔향시간을 측정하여 식 (2) 와 같이 구할 수 있다.

$$A = \frac{55.3V}{C_0 T_{60}}\ [m^2] \qquad (2)$$

이때, V 는 수음실의 용적 (m^3), C_0 는 음속(340m/sec), T_{60} 는 수음실의 잔향시간(sec)이다. A 에 대한 물리적 의미는 수음실의 흡음성능

을 흡음계수가 1 인 가상의 개방된 창문의 등가면적(equivalent open window area)으로 치환하여 나타낸 것으로 생각 할 수 있다.

2.2 시험장치

제진재의 차음 성능을 측정하기 위하여 덕트내에서 마이크로폰을 이용하는 방법이 있지만, 이 방법은 수직 입사파만의 차음 성능을 측정한다는 단점이 있다. 따라서 본 실험은 임의의 임사각을 가지는 입사파에 대해서 차음 성능을 측정할 수 있는 잔향실법을 이용하여 측정하였다. 실험에 사용된 잔향실은 한국기계연구원에 설치된 간이 잔향실(Fig.1)에서 행해졌으며, 간이 잔향실의 신뢰성을 검증하기 위하여 단판의 경우를 ISO 기준을 만족하는 잔향실과, 간이 잔향실, 그리고 질량법칙을 Fig.2 에서 비교해보았다.

Fig. 1 간이 잔향실 (소음원실)

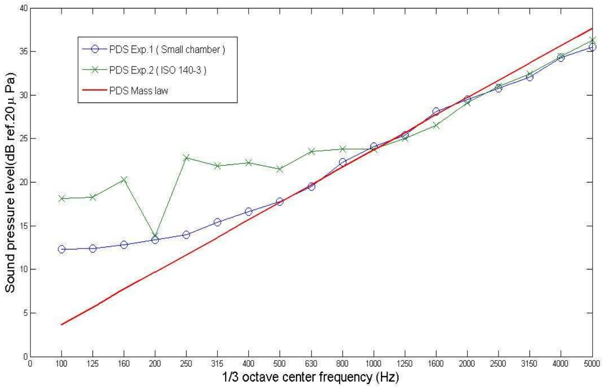


Fig. 2 ISO 140-3 조건을 만족하는 잔향실, 간이잔향실, 그리고 질량법칙에 대한 단판의 차음 성능 비교

Fig.2 에서 확인할 수 있듯이 약 500Hz 이하의 저주파에서는 간이 잔향실에서 측정한 값이 ISO 규격의 잔향실과 크게는 약 20dB 차이가 발생한다. 오차의 원인은 잔향실의 이상적인 조건은 확산음장이다. 하지만 간이 잔향실의 크기가 작아짐으로써 이상적인 확산음장을 구현하지 못하며 특히 저주파에서 측정 위치별로 음압의 차이가 심하여 Fig.2 의 저주파 영역에서 오차를 발생하였다. 이것은 저주파 대역에서의 모달 밀도(mddal density)가 매우 낮아지게 되어 음장이 특정한 고유모드에 지배되기 때문에 발생한 것으로 판단된다. 따라서 세가지 결과 500Hz 이상의 주파수 대역에서 거의 일치하는 결과를 보이므로 이 주파수 대역을 중심으로 실험결과를 분석 하고자 한다.

2.3 실험시편의 형상과 면밀도

제진시트를 부착할 대상이 기차벽면이기 때문에 기차의 외벽면은 철(0.6mm)로 가정하여, 제진시트 부착 전후의 차음성능 변화에 대해서 실험을 하였다. 실험에 사용될 제진시트는 현재 상용되는 서론에서 언급한 기차벽면 재질로 적합한 두 종류로 정하였다. Table 1 은 사용된 시편들의 면밀도와 형상을 보여주고 있다.

Table 1 측정에 사용된 각 시편(단판)의 면밀도

시편명	면밀도 $[kg/m^3]$
철(0.6T)	6.08
PDS(2T)	3.42
ADS(2T)	2.35

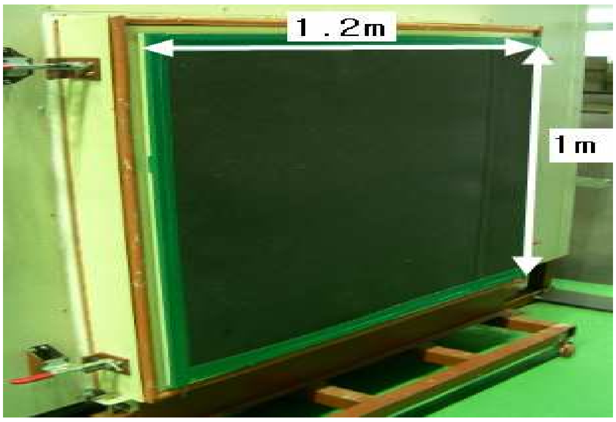


Fig. 3 간이잔향실에서 측정된 제진시트 시편

여기서 T 는 두께 (mm)를 의미한다. 선정된 차음시트 PDS(Plastic Damping Sheet)는 물리적 특성과 내후성을 가진 경질의 화학수지와 제진 성능 및 차음 성능을 위한 연질의 화학수지를 복합시키고 거기에 기능성 충전제 및 가소제, 안정제 등의 첨가제를 배합하여 만든 수지계열의 재료이고, ADS(Asphalt Damping Sheet)는 펄프 재질

을 아스팔트에 합침시켜서 만든 제품으로써 철판, 플라스틱, 합판 등의 판상재료에 부착되어 이들에 전달되는 진동을 제어하여 고체전달음을 줄여주는 제진재로 널리 사용되고 있는 재료이다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 단판의 차음 성능

우선 제진시트의 영향을 배제하기 위하여 단판의 철판(0.6mm)을 프레임에 용접하여 차음 성능을 측정하였다. 그 다음 ADS. PDS 제진시트 자체만의 차음 성능을 측정하기 위하여 철제로 구성된 프레임에 차음시트를 부착하여 차음 성능을 측정하였다. 이때 각 경우의 가장자리의 경계조건은 동일하게 하였다.

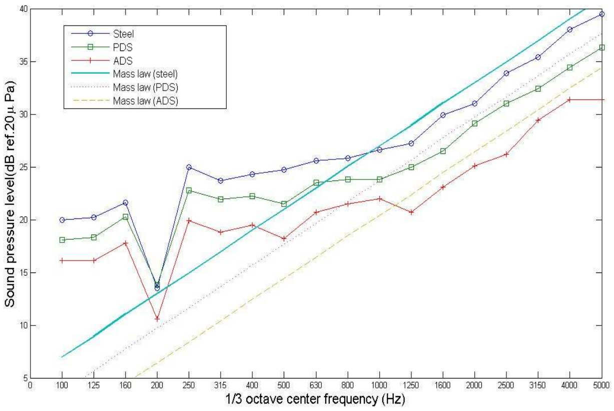


Fig. 4 철(0.6T), PDS(2T),ADS(2T) 단판의 차음성능

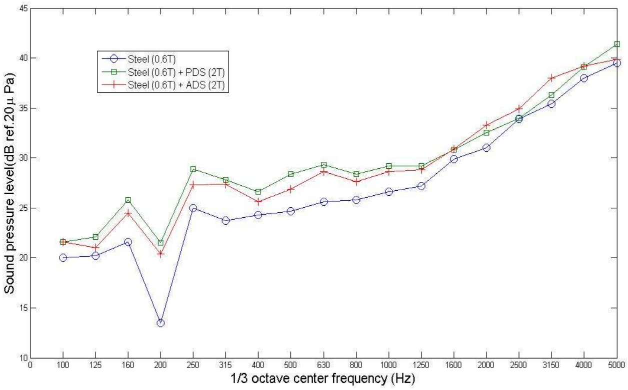
Fig. 3 에서 선형의 직선은 질량법칙(Mass law)이며 식 (3)과 같다.

$$STL = 20\log_{10}(m) + 20\log_{10}(f) - 47 \quad [dB] \quad (3)$$

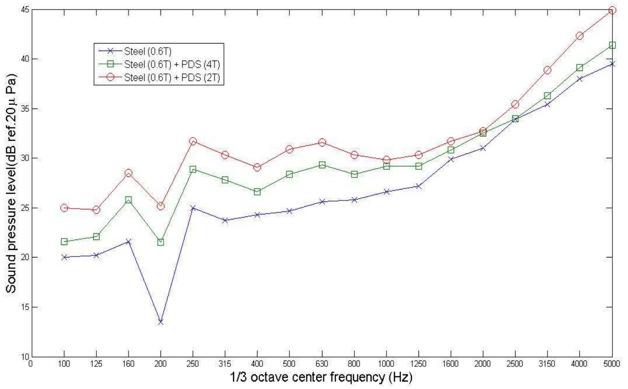
Fig.3 에서 알 수 있듯이 저주파영역에서 오차가 큰 간이 잔향실의 특성을 고려할 때 500Hz 이상의 주파수 대역에서는 3 가지 단판 모두 질량법칙을 따르고 있다는 것을 알 수있다. 따라서 제진 시트 그 자체만으로는 면밀도에 의해 좌우되는 질량법칙을 따를 뿐 질량법칙 이상의 차음 성능을 기대하기가 어렵다

3.2 이중판의 차음성능

Fig.4 (a)는 제진시트를 붙이기 전과 제진시트(PDS, ADS)를 붙였을 때의 차음성능을 비교한 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 어떠한 두 종류의 제진시트를 부착하더라도 면밀도증가에 의한



a) 단판(철)과 ADS,PDS 부착시 차음성능



b) 단판(철)과 ADS,PDS 부착시 차음성능

Fig. 5 단판(철)과 이중판(철+제진시트)의 차음 성능

질량법칙에 따라 불과 약 3~4 dB 차음성능이 향상되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 실제 철도차량에 중량의 철판에 제진시트를 부착하더라도 차음 성능의 향상을 크게 기대할 수 없음을 나타낸다. 차음시트는 기존의 구조물에 부착되었을 경우 크게 차음시트의 질량에 의한 효과와 감쇠에 의한 영향으로 차음 성능의 향상을 높일 수 있다. Fig.4 (a)에 나타나는 결과는 위에서 설명한 전자의 영향으로 설명될 수 있다. 또한 PDS 가 ADS 보다 면밀도가 약 1.5 배 큼에도 불구하고 철판에 ADS 제진시트 부착시 질량법칙 이상의 성능이 나왔다. 따라서 철판에 부착시 같은 면밀도 대비 차음성능은 ADS 가 우수함을 추측할 수 있다.

Fig.5(b)에서는 철판에 부착하는 제진시트의 두께가 차음 성능에 미치는 영향을 알아보았는데, 한가지 종류의 제진시트의 두께가 증가할 때 질량법칙에 의해 차음 성능이 높아진다. 이는 철판이 얇은 판이기 때문에 면밀도 증가가 차음 성능에 뚜렷하게 반영된다

4. 결 론

본 실험에서는 일반 철도차량의 외부방사소음 저감을 위하여 사용되는 제진시트의 단판, 기존 구조물에 접합한 이중판의 차음 성능을 간이 잔향실에서 측정하였다. 그 시험 성능을 비교하기 위하여 질량법칙(Mass law)를 적용하여 이론 예측을 하였다. 연구결과를 요약하면 아래와 같다.

1)제진시트 단판자체의 차음 성능은 질량법칙에 의한 결과와 차이가 없다.

2)경량재질의 철판에 제진시트를 붙였을 때 나타나는 효과는 전체 시스템의 면밀도 증가에 의한 질량법칙으로, 면밀도 증가 정도에 따라 차음성능이 향상된다.

3)철판이나 콘크리트같이 재료중간의 공기구멍이나 결함이 없는 재료에서는 차음 성능의 효과는 질량법칙의 예측과 동일하다.

이후 연구에서는 결함이 있는 재료에서 제진시트의 효과가 어떻게 나오는지에 대해 추가 실험과 예측이 필요하며, 본 실험에서 행해진 얇은 판이 아닌 두꺼운 중량의 철판에 제진시트 부착시 차음 성능에 나타나는 특징에 대해 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 건설교통부의 고속철도기술개발사업과 교육인적자원부의 BK21 사업에 의한 연구지원으로 수행되었습니다. 실험에 많은 지도와 지원을 해주신 한국기계연구원의 김상렬 박사님과 강현주 박사님께 감사 드립니다.

참고문헌

(1) ISO 140-3, 1978, “Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3 : Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements”.

(2) KS F 2808-1996, “실험실에서의 음향투과손실 측정방법”.

(3) 이해성, 전오성, 강현주, 김봉기, 2003, “간이 차음시험장치 개발”, 추계학술대회논문집, PP. 892~897

(4) 강현주, 2003, ”건축 및 수송기계용 흡· 차음재”, 한국소음진동공학회지, pp.282~294

(5) T. J. Schultz, 1982, “Diffusion in reverberation rooms”, Acustica 51, 288-295

(6) F. Fahy, 2001, “Foundations of engineering Acoustics”, Academic Press, London, Chap. 11.