

철도차량 구조물의 TL 시험 평가 기법

Evaluation Method of the Transmission Loss for Railway Vehicle Structures.

김운경¹⁾, 김정태²⁾

ABSTRACT

In order to evaluate the sound transmission loss of a structure, a large reverberation room described by ISO is generally used. ISO test method is however for architectural structures, which is not properly implemented for small mechanical structures, such as rolling stocks. In this paper, evaluation procedure for railway vehicle structures has been proposed.

1. 서론

구조물의 음향 투과 손실을 측정하기 위해서는 한 쌍의 잔향실이 사용된다. 일반적으로 투과손실(Transmission Loss)은 구조물의 차음특성을 평가하는데 사용되는데, 투과손실을 측정하는 방법으로는 국제표준화기구(ISO)에서 제안하는 잔향실 법이 사용되고, 국내에서는 KS F 2808에 그 측정 방법이 명시되어 있다.

그러나 이 방법은 건축 구조물에 대한 투과 손실을 측정하는 방법으로 상대적으로 크기가 작은 기계 구조물에 적용하기에는 여러 가지 문제점이 있고, 그에 따라 측정을 할 경우 시편의 크기가 매우 커지게 된다. 또한 비용도 과다하게 들게 되고, 실험단가도 높아지게 된다. 특히, 대형잔향실의 경우에는 차음성능이 30~40 dB 이상으로 높은 재료의 경우 음원실의 소음도가 높아져, 신뢰성있는 결과를 얻기 힘들다.

본 논문에서는 대형 잔향실의 문제점을 보완할 목적으로 소형의 수직 차음장치를 제작하여 기계 구조물의 차음성능을 예측할 수 있도록 그 평가방법을 제시하고자 한다.

그리고, 타당성을 확인하기 위하여 필드입사음과 랜덤입사음에 대한 이론값과 비교하였다.

또한, 최근 철도차량에 알루미늄 합금의 사용이 현저히 증가하고 있다. 이는 기존의 강판이나 스테인레스에 비해 경량화 되어있어, 에너지 절감에 효과가 있기 때문이다. 이에, 고속전철의 차체 프레임으로 쓰이는 알루미늄 압출재의 차음특성을 살펴 보았고, 적층 실험을 통한 삽입손실(Insertion Loss)을 소형 잔향실을 통해 알아보았다.

1) 홍익대학교 기계공학과 석사과정

2) 홍익대학교 기계공학과 부교수

2. 기본 이론

투과손실은 음원실과 수음실에서의 전체파워의 비로 나타낼 수 있다. 이것을 음압의 차이와 시편의 물성치로 나타내면 다음과 같다.

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

여기서,

L_1 : 음원실의 음압 레벨 [dB]

L_2 : 수음실의 음압 레벨 [dB]

S : 시료의 단면적 [m^2]

A : 수음실의 전체 흡음률 [m^2]

전체 흡음률 A 는,

$$A = (0.921 V_2 d) / c \quad (2)$$

V_2 : 수음실의 체적

d : SPL Decay Rate

c : 소리의 속도

먼저 음원실과 수음실 사이를 밀폐시키고 수음실의 잔향시간을 계산하였다. 이 값을 이용하여 수음실의 흡음률을 계산하였다.

L_1 과 L_2 의 측정은 잔향실 내에서 정재파(standing wave)의 영향을 줄이기 위해 1/3 옥타브 밴드(Octave band)별로 평균을 내어 사용했다. 균일 시편에 대해 투과손실 시편의 공진 주파수에서는 음의 투과가 높게 나타나고 따라서 투과손실은 최소가 된다. 그 이상의 주파수에서는 일반적으로 시편의 질량에 의해 투과손실이 조절되는 넓은 주파수 영역이 나타나는데, 이 영역에서는 질량 법칙이 성립하게 된다. 그리고 임계주파수 영역에서는 일치효과에 의해 투과손실이 낮아지게 된다.

본 논문에서는 인간의 청각에 가장 크게 영향을 미치는 100~5000 Hz의 영역을 주 고려 주파수 영역으로 정하였고, 많은 시편이 이 영역에서 질량법칙을 따름을 확인할 수 있었다.

투과손실의 이론값은 수직입사음에 대한 이론식으로 계산한 후에 일반적으로 사용되는 랜덤입사음과 필드입사음에 대한 값을 얻을 수 있다.

$$R_0 = 20 \log (mf) - 20 \log (\rho_0 c / \pi) \quad (3)$$

$$R_d(f) = R_0(f) - 10 \log [0.23 R_0(f)] \quad (4)$$

$$R_f(f) = R_0(f) - 5 \quad (5)$$

여기서,

R_0 : 수직입사음에 대한 차음 값

R_d : 랜덤입사음에 대한 차음 값

Rf ; 필드입사음에 대한 차음 값

삽입손실은 모체+적층재와 모체의 투과손실의 차로 나타낸다.

즉,

$$IL = TL_{\text{모체+적층재}} + \text{보정치} - (TL_{\text{모체}} + \text{보정치}) \quad (6)$$

식의 보정치는 서로 상쇄된다. 적층재는 PU-Foam(t20)로 했고, 모체는 t0.7, t1.0강판과 알루미늄 압출재를 사용하였다.

3. 실험 및 결과

3.1. 실험장치 구성

소형잔향실(Fig. 1)의 음원실 위에 시편을 설치하고 수음실과 밀폐시킨 후 측정하였다. 음원실에서는 마이크로폰 회전장치를 이용하여 7개의 위치(Fig 2-a.)를 측정하여 평균값을 썼고, 수음실은 음원실에 비해 체적이 크고 형상이 불규칙하여 확산 음장이 잘 이루어진다고 보고 한 곳만을 측정하였다.(Fig. 2-b).

음원은 밴드별로 발생하는 백색잡음(White Noise)과 100~5000Hz 연속적으로 발생하는 백색잡음(White Noise)을 비교하여 선택하였다.(Fig. 3) 실험결과 두 조건 차이가 거의 없어 연속적으로 발생하는 백색잡음을 음원으로 선택하였다.

마이크로폰의 높이는 광음향해석 프로그램인 ODEON을 이용하여 측정위치별 음압차가 가장 적은 곳을 선택하였다.(Fig. 4)

음원실은 확산 음장이 되도록 다각형 구조로 설계되었지만, 음향모드가 생성되지 않을 수는 없다. 따라서 상용 프로그램인 SYSNOISE를 사용하여 음향모드(Acoustic Mode)를 계산하였다. 주파수별로 음향모드의 노드가 크게 영향을 주는 측정위치는 평균값 계산시에 제외하였다.

Fig. 5는 SYSNOISE의 해석결과 중에서 첫 번째 모드를 보여주고 있다. 그림에서 측정위치 4번에서 모드가 나타남을 확인할 수 있다. Table 1은 1/3 옥타브 밴드별로 포함하고있는 모드의 개수를 나타낸 것인데, 음원실의 경우 500Hz에서 가장 많은 음향 모드가 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.2. 실험결과

균일 단면의 투과 손실 실험은 t0.7, t1.0, t1.6의 세가지 철판을 시편으로 사용하였다. 그리고 각각의 시편에 대해 음원실과 수음실에서의 음압을 측정하여 위치별로 평균값을 계산하였다. Fig. 6에 그 결과를 도시하였다.

세 시편 모두 100 ~ 5000 Hz의 주파수 대역에서는 질량법칙이 성립하기 때문에 이 세 개의 실험값과 이론값을 이용하여 실험장치의 보정치를 만들었다.(Fig. 7) 위의 그림에서 볼 수 있듯이 630 Hz 이상의 주파수 대역에서는 1 dB 이하의 오차가 발생되고 있다. 그러나 500 Hz 이하의 주파수 대역에서는 오차가 매우 크게 나타남을 확인할 수 있다. 따라서, 500 Hz 이하의 주파수 대역에 대해서는 통계적인 방법을 사용하여 보정값을 따로 만들어 주었다.(Fig. 8) Fig. 6에 나타난 결과보다 오차가 많이 줄어들었음을 확인할 수 있다. 그러나 100 Hz에서는 오차가 2 dB이상 차이가 나고 있다.

Fig. 10은 알루미늄에 대한 차음 특성을 주파수 별로 분석하였다. 압출재의 시편 크기는 Fig. 12에 나타나 있다.

신뢰 주파수를 800Hz 이상으로 보면, 투과손실이 일정량 증가하였다가 감소하고 있는 경향을 보이고 있고, 알루미늄 압출재에 충전재(Clay)를 충전시켰을 때, 4~7dB의 차음 효과가 나타나고 있다. 충전재의 무게는 알루미늄 압출재의 중량대비 25%이다.

Fig. 11은 모체를 달리했을 경우의 PU-FOAM(20t)의 삽입손실(IL)을 나타내고 있다. 강판을 모체로 했을 경우 주파수가 증가할수록, 대체적으로 삽입손실이 증가하고 있으나, 알루미늄 압출재는 등락폭이 크게 나타나고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 대형 잔향실이 가지고 있는 문제점을 보완할 목적으로 제작된 소형 잔향실을 이용하여 기계구조물의 투과손실을 측정하고 평가 기법을 제시하였다.

실험 결과 주파수 대역별로 1~2dB 이하의 매우 적은 오차를 갖는 데이터를 얻을 수 있었다. 이로써 대형 잔향실이 갖고 있는 문제점에 대한 해결 방안을 제시하였고, 기계구조물에 대한 차음 성능을 쉽고 간단하게 측정하고 예측할 수 있는 소형 잔향실을 제작하였다.

따라서, 철도나 도로교통 차량 등 수송기계와 냉장고 등 소음유발서 가전제품 등의 구조물의 차음성능 평가와 예측 등 현장에서 쉽게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

알루미늄 압출재의 차음 성능 경향과 PU-FORM을 적층재료한 삽입손실을 소형 잔향실을 통해 알아보았다. 차음성능과 삽입손실 모두 800Hz 이상에서 주파수가 커질수록, 균일 강판을 모체로 했을 때의 삽입손실은 증가 추세를 보이나, 알루미늄 압출재는 변화 폭이 크다.

강판은 소형 잔향실의 보정으로 신뢰할 수 있는 결과치를 얻을 수 있으나, 기타재질(알루미늄 압출재 등)의 경우 신뢰도를 높이기 위한 연구가 필요하다. 특히, 저주파(630Hz 이하)의 경우, 잔향실의 구조적 형상과 재질에 따라 오차가 나고 있으므로, 이에 대한 연구를 계속할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) 이희보, 김정태, 1994, "환경소음저감을 위한 음향재료의 성능평가에 관한 연구 (II)", 전북대학교 공학연구, 제 25 권, pp. 123~130
- (2) Leo L. Beranek, 1971, "Noise and Vibration Control", McGraw-Hill
- (3) Frank Fahy, 1985, "Sound and Structural Vibration", Academic Press
- (4) Austin R. Frey, Etc, 1980, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, Inc.
- (5) D. A. Bies and C. H. Hansen, 1988, "Engineering Noise Control", E&FN SPON
- (6) 日本建築學會, 1979, "建築物의 遮音性能基準과 設計指針", 技報堂出版社
- (7) 김정태, 1998, "투과손실측정장치 사용자 매뉴얼", 승연기기상사
- (8) Graham Naylor and Jens Holger Rindel, 1994, "Odeon Room Acoustics Program", Technical University of Denmark
- (9) 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부, 2000.10, "고속전철 기반기술 개발", pp320, pp375
- (10) 차일환, 옥정권, "소음진동공학", 문운당, pp87
- (11) 박진근, 1999, "소형잔향실을 이용한 구조물의 차음성능 평가", 홍익대학교

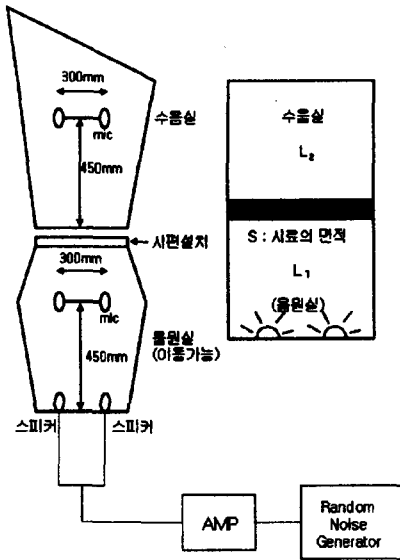


Fig. 1 Experimental set-up

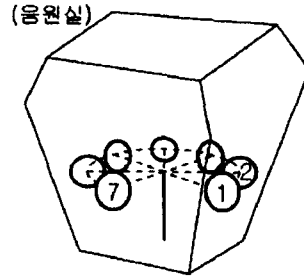


Fig. 2-a 음원실의 측정위치

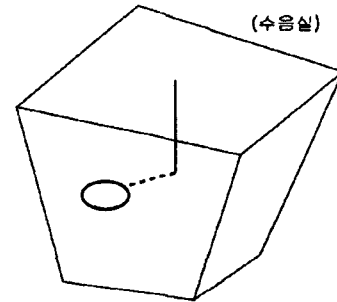


Fig. 2-b 수음실의 측정위치

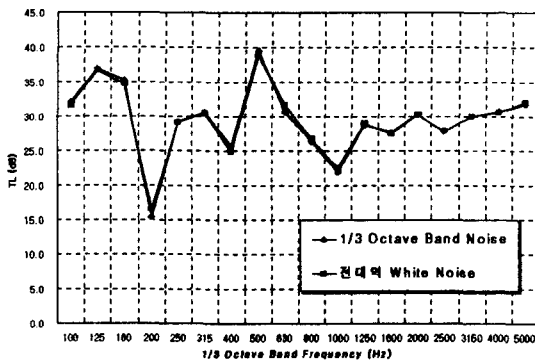
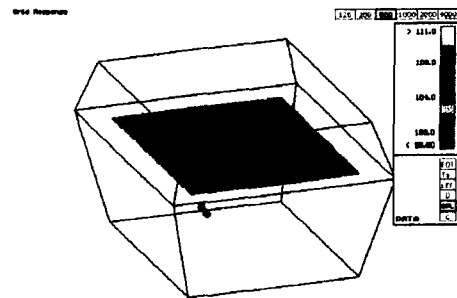


Fig. 3 1/3 Ocv. 와 White Noise 비교



음원실 500 Hz에서의 Grid Response (SPL)

Fig. 4 Grid Response by ODEON

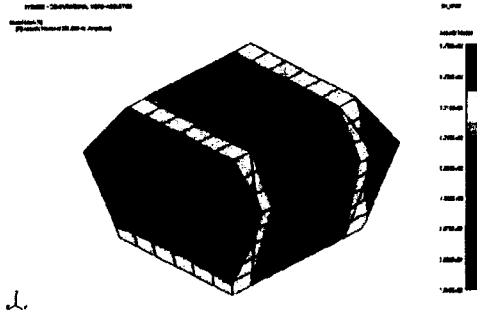


Fig. 5 Acoustic Mode by SYSNOISE

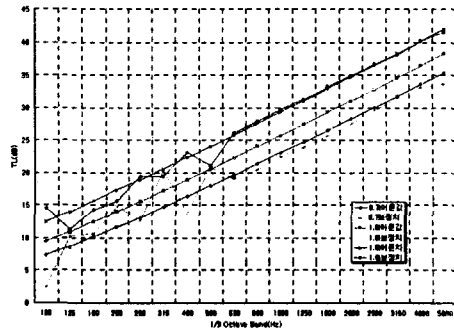


Fig. 6 Transmission Loss For Random Incidence

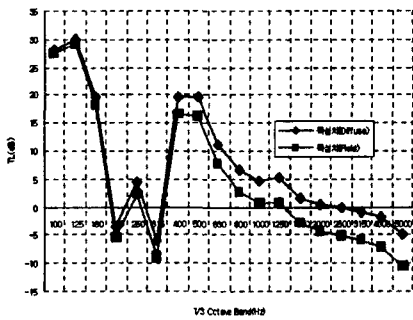


Fig. 7 주파수별 보정치

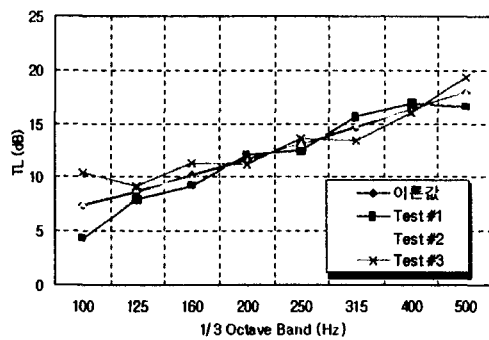


Fig. 8 통계적 방법에 의한 보정치

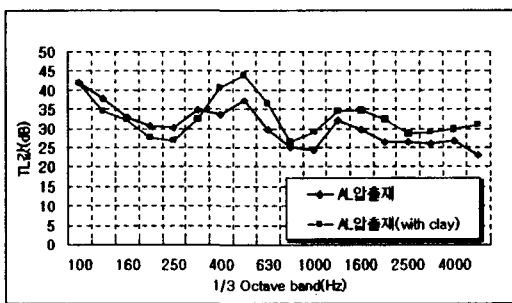


Fig. 10 주파수별 알루미늄 압출재 차음 특성

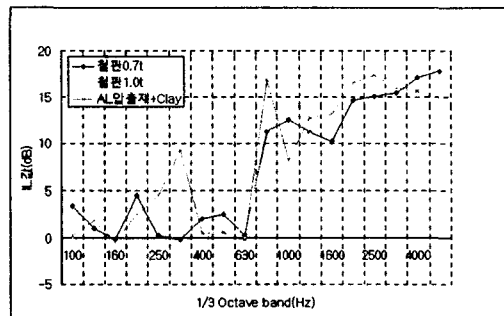
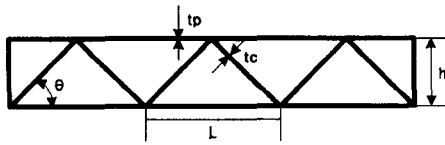


Fig. 11 주파수별 삽입손실(IL)



	t_p	t_c	h	θ	L
크기 (mm)	3	3	40	30°	150

Fig. 12 AL 압출재 크기

음원실					
모드 번호	주파수	1/3 Octave Band	모드 번호	주파수	1/3 Octave Band
1	203.3 Hz	200 Hz	8	465.7 Hz	500 Hz
2	231.2 Hz	250 Hz	9	467.1 Hz	
3	305.1 Hz	315 Hz	10	471.8 Hz	
4	311.1 Hz		11	503.4 Hz	
5	389.6 Hz	400 Hz	12	550.1 Hz	630 Hz
6	409.8 Hz		13	598.4 Hz	
7	409.9 Hz		14	601.3 Hz	

Table. 1 Acoustic Mode Source Room