

# 투과손실 예측을 위한 유한요소 해석과 소형 잔향실 실험의 비교에 검증에 관한 연구

## Study of Sound Transmission Characteristics of using a Scale Reverberation Chamber and vibro acoustic FEM

이준헌\* · 김범수\* · 김관주†

Jun-Heon Lee, Bum-Soo Kim and Kwan-Ju Kim

**Key Words** : Scale Reverberation Chamber(소형 잔향실), Finite Element Method(유한요소법), Transmission loss(투과손실)

### ABSTRACT

The walls of modern train cars are required to have higher transmission loss since modern train have had high speed and light weight. The method based on Reverberation Chamber like KS F 2808 could be used to measure transmission loss. However, this method has difficulty in that constrained Standard of it requires extremely large facilities. Recently, the method based on Scale Reverberation Chamber is used as an alternative to Reverberation Chamber. The method of Scale Reverberation Chamber is known to be small and economical but it provides standing wave that directly influences measurement error. Therefore, this research is focus on predicting standing waves based on method of FEM and reducing measurement error by changing shape of chamber.

### 1. 서 론

현대의 철도 차량 고속으로 운행된다. 고속으로 운행하기 위해서는 차량의 경량화가 요구되며, 고속 철도의 경우 벽체의 재질이 강철에서 알루미늄으로 변경되었다. 하지만, 알루미늄재질은 일반적으로 강철보다 차음 성능면에서 불리하다. 준수한 승차감을 유지하기 위해서는 알루미늄 재질로도 높은 차음 성능을 요구한다. 벽체의 정확한 차음성능 시험이 필요하다. 이러한 벽체의 차음 성능의 평가 방법은 KS F 2808과 같은 잔향실 법이 이용된다. 이러한 규격에서는 대형 잔향실을 필요로 한다. 기계구조물은 차음 성능이 30~40dB이상의 높다. 이러한 재료를 대형 잔향실로 신뢰성 있는 결과를 얻기 어렵다.<sup>(1)</sup> 대형 잔향실의 경우 매우 설비가 크기 때문에

설비를 기존건물에 만들기가 어렵다. 시험을 수행하는데 필요로 하는 시편의 크기도 크다. 그래서 비용이 많이 필요로 하게 된다. 하지만 소형 잔향실은 일반적인 사무실에도 충분히 설치가 가능하다.

대형 잔향실은 건축 구조를 시험하기 위해 제안되 보통 10m<sup>2</sup>정도의 시험편을 요구한다. 소형 잔향실은 0.5m<sup>2</sup> 정도의 시험편을 요구하므로 경제적이다.

잔향실은 외부와 밀폐되어야 한다. 그리고 내부는 확산 음장을 만족하여야 한다. 확산음장은 음향 에너지가 균일하게 분포하는 음장이다. 이는 불균일한 벽체에 음파가 여러 번 반사하면서 형성 될 수 있다.<sup>(2)</sup> 하지만 소형 잔향실에서는 대형 잔향실 보다 정상파가 형성되는 주파수가 높다. 이러한 정상파는 차음시험에서 오차의 원인이 된다. 그러므로 최대한 억제하여 차음 성능 평가에 적합한 음장이 형성되도록 개선하고자 한다. FEM 방법을 이용하여 소형 잔향실의 저주파수에서 생성되는 정상파의 형상 보았다. 그리고 음원실 공간의 형상을 변경하여 정상파의 크기를 줄이고자 한다.

† 교신저자; 홍익대학교 기계 시스템 디자인 공학과

E-mail : kwanju@hongik.ac.kr

Tel : (02)320-1643 , Fax : (02)320-1113

\* 홍익대학교 대학원 기계공학과

## 2. 기본 이론

잔향실 방법에서 투과 손실 측정은 음원실과 수음실의 음압과 수음실의 흡음률에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

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

$L_1$ : 음원실 음압(dB)

$L_2$ : 수음실 음압(dB)

S: 시료의 단면적 ( $m^2$ )

A: 수음실 전체의 흡음률( $m^2$ )

투과 손실 시험 측정 이론 물체의 차음성능은 면 밀도가 가장 중요한 요소이다. 그리고 입사 음장의 음의 분포에 따라 수직입사, 랜덤입사, 필드입사에서의 이론 차음성능 값은 다음과 같다.

$$R_0 = 20 \log (mf) - 20 \log \left( \frac{\rho_0 c}{\pi} \right) \quad (2)$$

$$R_d(f) = R_0(f) - 10 \log [0.23 R_0(f)] \quad (3)$$

$$R_f(f) = R_0(f) - 5 \quad (4)$$

$R_0(f)$ : 수직입사 이론 차음값

$R_d(f)$ : 랜덤입사 이론 차음값

$R_f(f)$ : 필드입사 이론 차음값

FEM을 이용한 투과 손실 해석을 위해서는 음향 격자와 차음재 격자를 연결 하여야 한다. 두가지 다른 재질로 격자를 형성하면 서로 격자의 위치가 달라 지기도 한다. 이러한 경우 상호 연결해주는 알고리즘이 필요로 한다. 불평형 격자를 노드의 전사 기술을 이용하여 음향 공간 격자와 차음재 격자 간에 연결을 하게 된다.

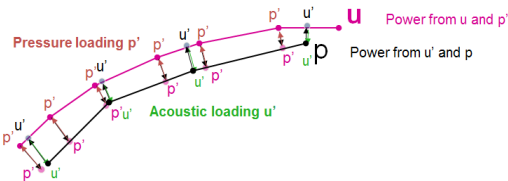


Figure 1 노드 전사 알고리즘

Figure1과 같이 음향 격자에서는 차음재 격자에 작용하는 음압 출력이 계산된다. 차음재 격자에서는 음압 격자로 방사되는 출력이 계산된다. 각 격자에서 계산된 음압 출력과 진동 방사 출력이 서로의

격자에 전사된다. 전사된 지점과 크기를 보간 하여 음향 격자와 차음재 격자가 연결된다.<sup>(3)</sup>

## 3. 소형 잔향실

### 3.1. 소형 잔향실의 구성

소형 잔향실은 두개의 잔향실이 수직으로 위치한 다. 아래의 음원실은 10면체의 부정형으로 설계 되어 있으며, 상부에 수음실은 6면체의 서로 평행 하지 않는 벽면으로 이루어져 있다. 시험 설비의 제한 Table 1과 같다.

공압으로 음원실이 움직여 사이에 음향 시편을 고정한다. 음원실과 수음실에 마이크로폰 7 방향으로 회전시켜 음압 값을 측정한다. 측정된 음압을 평균 을 내서 공간의 정상과의 영향을 줄이게 되어 있다. Figure 2는 소형 잔향 설비를 이용한 투과손실 측정의 장비 구성이다.

Table 1 소형 잔향설비의 특성치

	음원실	수음실
체적	0.38m <sup>3</sup>	0.61m <sup>3</sup>
표면적	2.97m <sup>2</sup>	4.38m <sup>2</sup>
시편면적	0.7 x 0.6 m <sup>2</sup>	

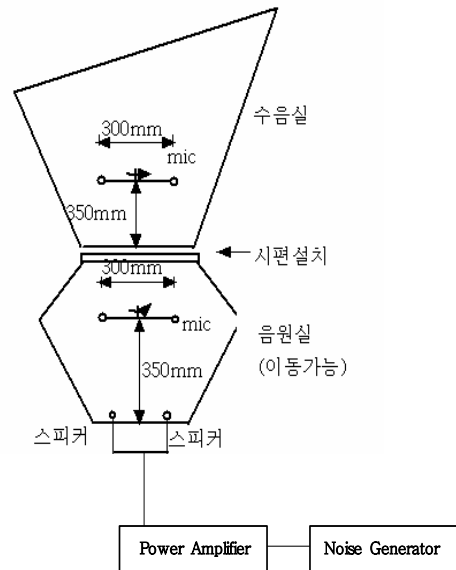


Figure 2 측정 장치의 구성

### 3.2. 현재 장비의 문제점

기존의 소형잔향실의 내부 음압은 충분히 잔향 공간을 형성 하기 힘들다. 특히 400Hz 대역의 주파수에서는 투과 손실 특성 측정이 정확하지 않다. 이는 잔향공간의 공명 모드의 형상 때문에 측정 지점의 음압과 시편에 작용 하는 음압이 다르기 때문으로 예측된다. 400Hz에서 이론치보다 과도하게 크게 나타난 투과손실은 음원실의 음압이 실제보다 크게 측정되거나, 수음실의 음압이 실제 보다 작게 측정된 것으로 예상된다.

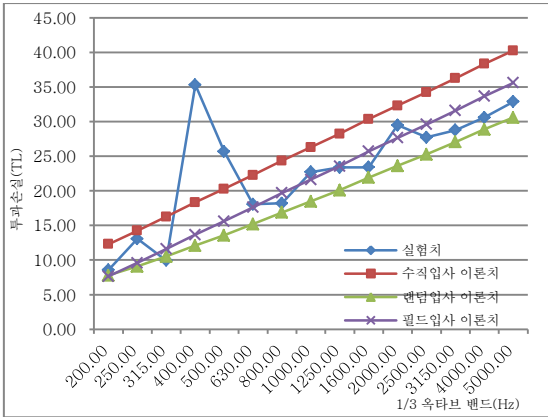


Figure 3 투과손실 측정치와 이론치 (AL 1t)

### 3.3. 음압 분포 해석

잔향실은 확산 음장을 제한된 공간내에 재현한 것이다.<sup>(4)</sup> 잔향실의 음향 성능 평가는 음장 내의 균일한 음압 분포 여부와 잔향시간의 측정에 의해 가능하다. 원형 잔향실 모델

실제 잔향실 모델을 FFT사의 Actran 11.1을 이용하여 10Hz부터 2 Hz 간격으로 1120 Hz 까지 해석 하였다. Table 2은 해석 모델격자의 특성치를 나타낸다.

Table 2 FEM 해석 격자의 특성치

	음원실	수음실	음향시편
elements	Tetrahedron	Tetrahedron	Triangle
Number of elements	17942	16533	426
Number of nodes	3987	3745	243

Figure 4 실제 측정된 수음실과 음원실의 음압차와, 해석적 방법을 이용한 음압 차이 이다. 두 그래프 간의 개형은 유사 하지만 크기에 차이가 있다.

이는 FEM 방법에서 정확한 댐핑의 영향과 벽체에 도포된 제진제의 영향을 정확히 모델링 하지 못하였기 때문으로 보인다. Figure 5,6는 소형잔향실의 314Hz, 400Hz에서의 음압 분포 해석치를 나타낸다. 314Hz에서는 음원실의 모드 평면이 측정점에 생성되어 실제 음압 보다 작게 측정되었다. 400Hz에서는 수음실의 측정지점에 음압이 낮은 것을 볼 수 있다. 이러한 분균일은 투과손실 측정에 오차 요인으로 작용한다.

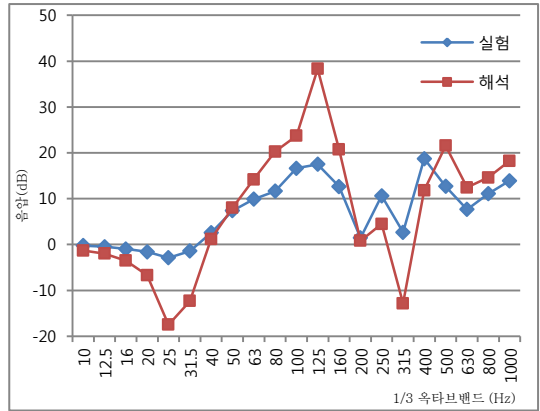


Figure 4 음원실과 수음실의 음압차이(AL 1t)

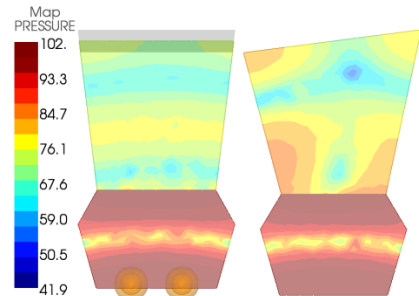


Figure 5 잔향실 내부 음압 분포 해석결과(314Hz)

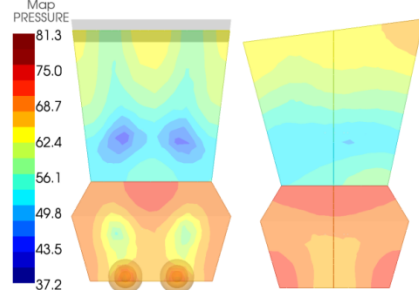


Figure 6 잔향실 내부 음압 분포 해석결과(400Hz)

### 3.4. 잔향실 개선 모델 제안

잔향실의 음압 분포는 벽체의 형상에 영향을 받는다. 일반적으로 잔향실은 부정형의 다면체로 만들어진다. 설치 공간등의 문제로 부정형으로 잔향실의 설계가 어려운 경우 벽체에 확산판을 설치하여 잔향실의 음압 분포를 조정한다.<sup>(5)</sup> 소형 잔향실도 내부의 형상과 확산판을 설치 할 경우 음압 분포를 보았다.

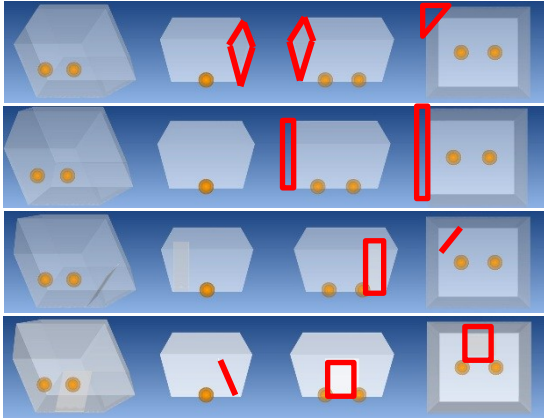


Figure 7 음원실 4 가지 음장 개선안

Figure 7 에서는 음원실의 음압 분포를 개선하기 위해서 4가지의 개선안을 만들었다. 1, 2번의 경우 벽체의 외형을 변형 하였으며, 3, 4번은 내부에 확산판을 설치하는 것을 생각하였다.

Figure 7은 Figure 6에서 제안된 4가지 개선안의 315Hz에서 음압 분포를 보았다. 315Hz에서 생기는 정상 음압이 2번의 경우 거의 변화가 없었으며, 1번은 정상과의 개형이 변형 되었으며, 3번의 경우 정상과의 영향이 감소 하였다. 4번의 경우도 감소하였지만 3번 보다는 영향이 작은것으로 나타났다.

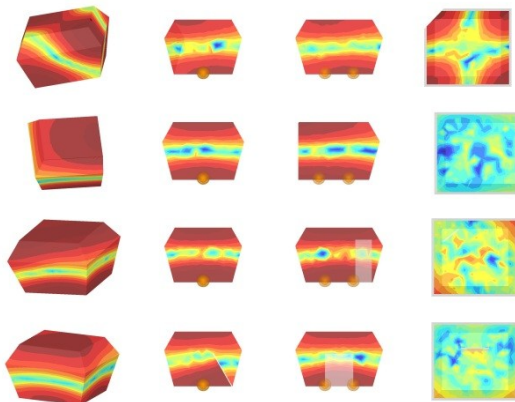


Figure 8 개선안의 내부 음압 분포(315Hz)

### 결 론

현대의 고속화 되고 경량화 되는 운송기기에 맞는 경량, 고성능 차음재의 차음성능 평가가 필요하다. 대형 잔향실 보다 적합한 소형 잔향실 시험방법은 고성능 흡차음재 성능 시험에 적합하다. 그리고 필요한 시편이 작고, 크기가 작아 경제적이다. 하지만 정상파가 상대적으로 높은 400Hz 영역에서 발생한다. 그래서 400Hz 이하의 차음성능 시험은 오차가 많았다. 음원실 공간에 벽면의 형상을 변경 하거나 내부에 확산판을 설치 했을때 음원실에서 생기는 정상파의 크기를 조절 할 수 있음을 FEM 방법을 이용하여 계산 해 보았다.

소형잔향실의 형상을 잘 설계 하면 좀더 잔향 공간에 가까워 투과 손실 시험에 적합한 시험 장치를 설계 할 수 있을 것이라 보여진다.

추후 잘 설계된 음원실과 수음실을 제작 하면 저렴하고 신뢰성 있는 차음 시험 설비를 개발 할 수 있을 것이다.

### 후 기

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0021283)

### 참 고 문 헌

- (1)Pack, J. K. and Kim, J. T., 1999, Evaluation Method of the Transmission Loss using Small Reverberation Room, Proceedings of the KSNVE Annual autumn Conference, pp. 870~875
- (2)Kim, T. M., Han, J. H., Son, C. H., Kim, J. T. and Kim, J. S., 2010, Transmission Loss Estimation of HST using a Small Scale Reverberation Chamber , Proceedings of the KSNVE Annual autumn Conference, pp. 302~307
- (3)FFT, 2010, "Actran 11.1 users' Guide"
- (2)kwon, Y. K., Im, J. B., Lee, J. W. and Lee, D. Y., 1996, Analysis of the Sound field in a Reverberation Room, Proceedings of the KSNVE Annual autumn Conference, pp. 124~129
- (3)Kim, K. H. and Han, H. K., 2006, The Tuning of Reverberation Time in ISO Type Reverberation Room, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 1198~1201