

## 중간 주파수 대역의 투과손실 측정 방법

## A Method of Transmission Loss Measurement of Mid-Frequency on Scaled Reverberation Chamber

김다래\*<sup>†</sup>, 김태민\*, 김정태\*\*Da Rae Kim<sup>†\*</sup>, Tae Min Kim<sup>\*</sup>, Jeung Tae Kim<sup>\*</sup>

**Abstract** Reverberation chambers have been used to evaluate structural sound transmission characteristics. However, due to economic cost and spatial problems, scaled transmission chamber is an alternative. Scaled reverberation chamber needs correction factor to satisfy to have formation of complete diffuse field. This study is to draw correction factor to fit diffuse field in scaled reverberation chamber on frequency range satisfied with mass law. In order to draw correction factor, transmission loss is measured using two different specimens have over a certain stiffness. As a result, correction factor as one specimen have a limitation caused by altering frequency range to satisfy the masslaw of each plate that have different stiffness. And it is considered that correction factor is more similar to be based on the masslaw than on the numerical analysis. Therefore, it is possible to be obtainable from more approximate results of transmission loss on scaled reverberation chamber as a combination of correction factor by frequency using more than one specimen. Into additional study, it is supposed to verify improved correction factor by applying it to a variable of specimen and comparing results from real-scaled reverberation chamber.

**Keywords** : Scaled Reverberation Chamber, Transmission Loss, Mass Law, Diffuse Sound Field, Correction Factor

**초 록** 잔향실은 재료의 투과손실 특성을 평가하는 데에 사용된다. 소형 잔향실은 잔향실의 공간적 경제적 문제의 대안으로, 다소 불완전한 확산음장을 만족시키기 위한 보정계수가 요구된다. 본 연구에서는 중간 주파수 대역에서 질량법칙을 만족하는 보정계수를 도출 및 적용하였다. 보정계수를 도출하기 위해서, 강성이 다른 두 시편의 차음 성능을 측정하였다. 그 결과, 강성이 다른 두 시편의 질량법칙을 만족하는 주파수 영역이 상이함으로 인해 보정계수 도출에 한계점이 발생되었다. 따라서 강성이 다른 두 시편 이상에서 도출된 보정계수를 조합하는 것이 더 신뢰성이 높다고 판단된다. 추후 연구를 통해 알루미늄 압출재 및 음향루버와 같은 다양한 시편에 대해 차음 성능 측정을 수행하여 대형잔향실을 이용한 차음 성능 측정 결과와 비교하여 신뢰성을 검증 할 예정이다.

**주요어** : 소형 잔향실, 투과손실, 질량법칙, 확산음장, 보정계수

## 1. 서 론

우리나라의 고속철도 차량의 실내소음 기준은 시속 350 km 주행 시 개활지에서 71 dB(A),

† 교신저자: 홍익대학교 음향진동연구실(drkim36@naver.com)

\* 홍익대학교 음향진동연구실

\*\* 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

터널 통과 시 75 dB(A)이다. 이는 미국에서 제시한, 시속 300 km 주행 시 개활지와 터널 통과 시 각각 70, 80 dB(A)인 점을 감안하면 국내의 기준이 보다 엄격하다고 할 수 있다[1].

현재 차량의 경량화에 따른 재료의 무게 감소로 인해, 차음성능이 10 dB 정도 감소하는 단점이 발생한다. 질량 법칙에 의하면, 질량이 크고, 주파수가 높아질수록 차음성능이 증가한다. 이러한 차량의 강성과 차음 성능의 취약함으로 인해 차체의 설계과정부터 많은 연구와 분석이 요구된다[2].

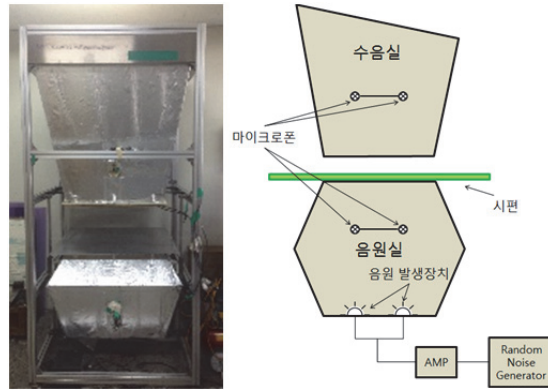
철도차량의 바닥재 및 벽재의 차음 성능을 시험하기 위해서는, KS F 2805 및 ISO 354 에서 제시한 8.5 ~ 12 m<sup>2</sup> 크기의 시편과 50 m<sup>3</sup> 이상의 잔향실을 필요로 한다. 이는 공간적·경제적 제약이 따른다. 이에 대한 대안으로 하부 음원실과 상부 수음실로 이루어진 소형 잔향실을 구성하여 차음 성능을 측정한다. 또한 잔향실은 잔향실 내 모든 공간에서 같은 크기와 방향의 음에너지를 갖는 확산음장을 만족해야 한다. 확산음장은 잔향실에서의 음에너지가 불규칙한 벽면에서 반사되어 형성되며, 공간적으로 균일한 음장을 갖게 된다. 저주파일수록 잔향실의 확산음장 형성이 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 소형 잔향실의 투과손실 민감도를 향상시키기 위한 보정계수를 도출하였다. 이를 위해서 강성이 다른 두 평판의 투과손실을 측정하여 질량법칙과 전산 해석 결과값을 기준으로 소형 잔향실의 보정계수를 도출하여 비교하였다. 시편의 강성 및 보정계수 기준에 따라 질량법칙을 만족하는 구간의 보정계수를 취하여 비교하였다. 개선된 보정계수를 적용하여 소형 잔향실의 차음 성능 민감도를 향상시킬 수 있는 대안을 제시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 소형 잔향실 구성

본 연구에서는 투과손실을 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 소형 잔향실을 구성하였다. 소형 잔향실은 음원 발생 장치가 있는 음원실과 시편으로부터 투과된 음향을 측정할 수 있는 수음실로 구성되어 있다. 음원실에서는 스피커가 서로 다른 위치에 설치되어 음원을 발생시킬 수 있고, 각 공간 안에는 마이크로폰이 회전 가능하게 하여 방향에 따른 잔향실 내부 소음 측정이 가능하도록 구성하였다.



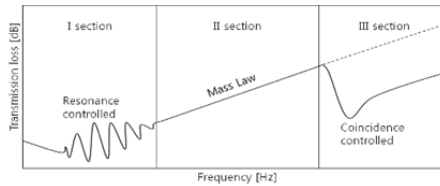
**Fig. 1** Scaled Reverberation Chamber and Schematic of Scaled Reverberation Chamber with Experimental Set Up

소형 잔향실의 음원실 및 수음실은 모두 철 4 t, 우레탄으로 구성되어 있으며, 면적은 각각 2.75 m<sup>2</sup>과 4.3 m<sup>2</sup>, 부피는 각각 0.37 m<sup>3</sup>과 0.62 m<sup>3</sup>이다. 소형 잔향실에 사용 가능한 최소 시편 크기는 720×620 mm<sup>2</sup>이다.

## 2.2 평판의 투과손실

### 2.2.1 평판의 투과손실

Fig. 2는 평판의 투과손실의 개략적인 곡선이다. 평판의 투과손실은 그림과 같이 세 영역으로 구분된다. I 영역은 공진 주파수를 갖는 구간이고, II 영역은 주파수와 면밀도의 곱에 따라 일정하게 증가하는 직선인 구간으로, 질량법칙을 따르는 영역이다. III 영역은 임계주파수(critical frequency) 이상의 구간으로 투과손실이 현저히 감소하다 댐핑 계수에 따라 증가한다. 시편 1.6t 철판의 임계주파수는 약 7,867 Hz이고, 4.5t 철판의 경우, 약 2,797 Hz이다. 본 연구에서는 질량법칙을 따르는 구간인 II 영역에서 소형 잔향실의 보정계수를 도출하였다.



**Fig. 2** Transmission loss of plate

### 2.2.2 평판의 투과손실 측정

투과손실 측정을 위한 시편은 서로 다른 강성을 가진 1.6t 철판과 4.5t 철판을 선정하였다. 1.6t 철판과 4.5t 철판의 면밀도는 각각 12.5 kg/m<sup>2</sup>와 35.1 kg/m<sup>2</sup>이다. 본 연구에서는 소음실에서 옥타브 밴드음을 발생시켜 B&K사의 마이크로폰(type 4190)과 신호 분석 틀인 PULSE를 이용하여 투과손실을 측정하였다.

소형 잔향실의 극한 주파수를 고려하여 500 Hz 부터 4k Hz 까지 1/3 옥타브 밴드 별로 분석을 수행하였다. 두 시편의 차음성능 시험 결과는 Fig. 3과 같다.

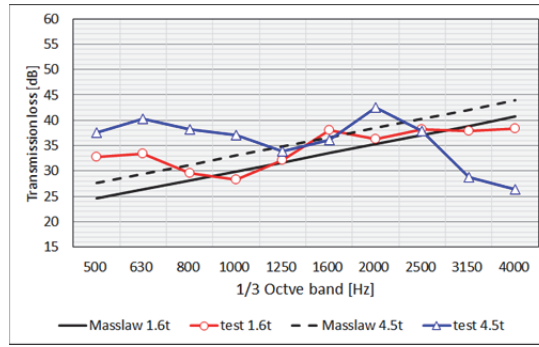


Fig. 3 Test result

### 2.2.3 평판의 투과손실 해석

Fig. 4 와 같이 SEA 기법을 이용한 진산 해석 프로그램 (VAONE) 을 이용하여 시편에 따른 차음 성능을 예측하였다. 해석 범위는 500 Hz 부터 4k Hz 까지 1/3 옥타브 밴드 별로 예측하였고, 모드 시험을 통해 얻어낸 damping ratio 를 적용하여 예측하였다. 해석 시 적용된 4.5t 철판의 damping ratio 는 Fig. 4 와 같다.

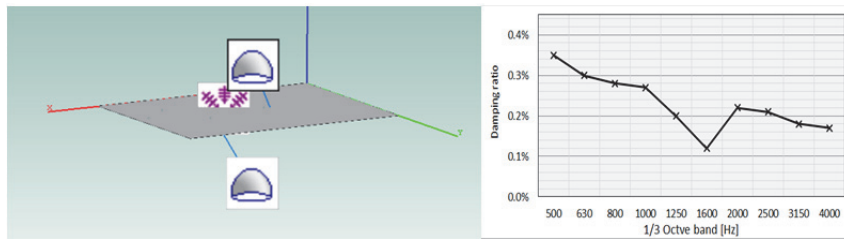


Fig. 4 Model and its damping ratio of 4.5t steel plate

Fig. 5 는 1.6t 및 4.5t 철판의 차음 성능 해석 결과를 나타낸다. 그림과 같이, 측정 결과와 비슷한 곡선을 확인하였다. 또한 4.5t 시편의 경우, 실험치와 마찬가지로 임계주파수 이상의 영역에서 투과손실이 급격히 감소하는 것을 확인하였다.

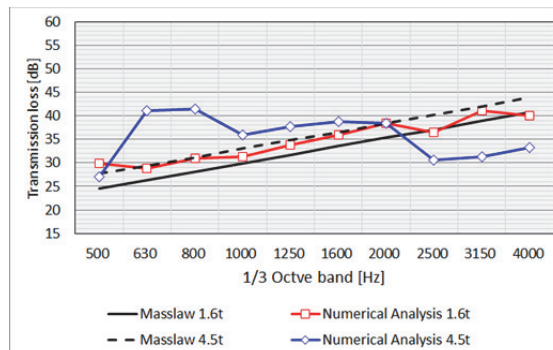


Fig. 5 Simulation result

## 2.4 보정계수 적용

### 2.4.1 보정계수 도출

질량법칙이 성립하는 구간에서 평판의 투과손실 실험 결과와 기준값의 차이를 보정계수로 도출하여 두 시편에 적용하였다. 기준값으로는 랜덤 입사음에 대한 질량법칙과 전산 해석 결과를 이용하였다. 실험값 및 해석값, 질량법칙과 해석값으로 보정한 1.6t 및 4.5t 시편의 투과손실은 Fig. 6 과 같다. 1.6t 시편의 경우 4.5t 보정계수를 적용하였고, 4.5t 시편의 경우 1.6t 보정계수를 적용하였다.

Fig. 6 을 보면, 4.5t 시편의 전산 해석 결과로 보정된 1.6t 시편의 경우, 2k Hz 이하 구간에서 전산 해석치보다 질량법칙을 기준으로 보정한 곡선이 질량법칙에 더 근접함을 확인하였다. 반면 시편 4.5t 의 1k Hz 이하의 해석 결과로 보정된 경우, 공진주파수에 의한 투과손실 하락이 적용되어 질량법칙보다 높은 차음성능을 예측하였다. 또한 4.5t 시편이 가지는 임계주파수 영역에서 도출된 보정계수로 인해 질량법칙과 큰 차이를 나타내었다.

또한 중·저주파수 대역에서 공진주파수로 인해 질량법칙보다 높게 예측되었던 4.5t 시편의 경우 공진 주파수에 대한 영향이 감소하였으나, 전반적으로 5 dB 높게 보정된 결과를 확인하였다. 또한 임계주파수 영역에서 보정계수가 적용된 결과, 질량법칙에 근접해지지 못하였다. 해당 영역은 4.5t 시편이 가지고 있는 일치효과로 기인한 결과라고 판단된다. 따라서 시편의 임계주파수 영역에서 도출된 보정계수를 적용할 수 없다고 판단된다.

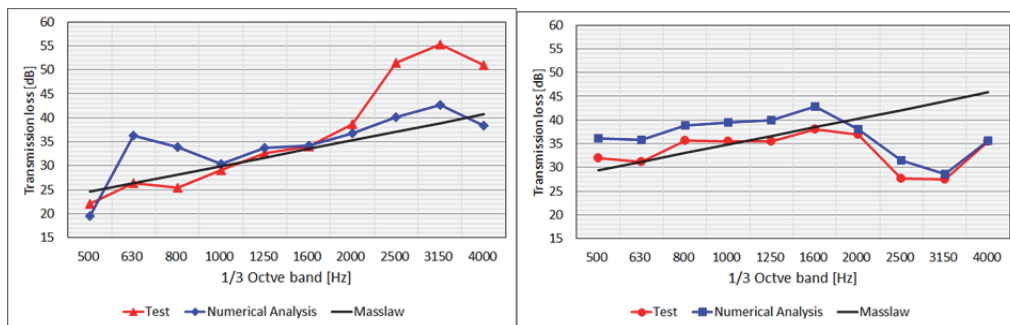


Fig. 6 Transmission loss of 4.5 t and 1.6 t applied by correction factor

### 2.4.2 보완된 보정계수 도출

측정된 시편의 임계주파수 대역을 기준으로 중·저주파 대역의 보정치는 4.5t 의 보정계수로, 고주파 대역의 보정치는 1.6t 의 보정계수를 조합하여 보완된 보정계수를 도출하였다. 보완된 보정계수를 적용한 1.6t 와 4.5t 시편의 차음 성능 곡선은 Figure 8 과 같다. 관심 주파수 대역에서 임계주파수를 가진 4.5t 시편의 고주파 대역을 제외하고 개선된 차음 성능 곡선 도출을 확인하였다. 보다 다양한 시편에 대한 보정계수 조합으로 개선된 보정계수를 적용하여 검증을 거친다면 소형 잔향실의 차음 성능 민감도를 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### 3. 결 론

본 연구는 대형 잔향실을 이용한 시편의 차음 성능 측정 시 공간적, 경제적인 비용 저감을 위해 고안된 소형 잔향실의 신뢰성을 높이기 위한 보정계수 도출 연구를 수행하였다. 소형 잔향실의 경우 대형 잔향실에 비해 공간적 크기가 비교적 작기 때문에 확산 음장 조건이 불완전 할 가능성이 존재한다. 따라서 차음 성능을 구한 후 확산 음장으로 가정할 수 있는 보정계수를 사용하게 된다. 기존 소형잔향실의 경우 강성이 큰 단일 시편을 이용하여 보정계수를 도출하게 되는데, 하나의 시편을 이용한 보정계수는 한계점이 존재한다. 공진 모드가 영향을 크게 미치는 영역과 임계주파수에 의해 차음 성능이 크게 저하되는 영역에서의 보정계수는 다른 시편에 적용 시 불필요한 보정이 이루어져 오차가 발생하게 된다.

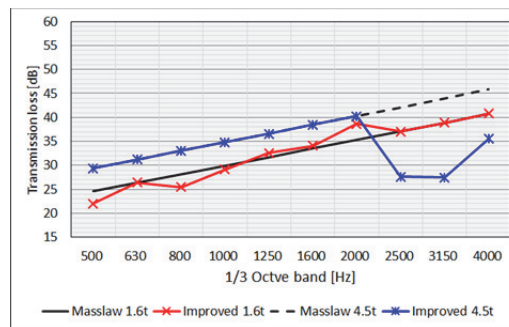


Fig. 7 Transmission loss of 4.5 t and 1.6 t applied by improved correction factor

따라서 본 연구에서는 강성이 다른 두 개의 시편을 이용하여 질량 법칙이 성립되는 주파수 대역별로 추출하여 보완된 보정계수를 도출하였다. 확산 음장을 만족하는 기준값으로서 이론적인 질량법칙과 전산해석을 이용한 해석 결과와 분석하였다.

전산해석 결과의 경우 공진모드에 의한 차음 하락 현상이 반영되지만 경계조건에 따라 공진 주파수 대역이 다소 차이가 존재하기 때문에 추가적인 연구가 요구된다. 따라서 공진모드에 비교적 영향이 적은 주파수 대역에서 보정계수를 도출하였다.

보완된 보정계수를 적용한 결과 단일 시편을 이용한 보정계수에 비해 비교적 질량법칙에 유사한 차음 성능으로 분석되었으며, 추가적으로 강성이 다양한 시편을 이용하여 각 주파수 대역별로 질량법칙에 유사한 구간에서 보정계수를 도출하여 보완하면 존 보정계수 보다 향상된 차음성능을 도출 할 수 있을 것으로 예상된다.

추후 연구를 통해 알루미늄 압출재 및 음향 루버와 같은 다양한 시편에 대해 차음 성능 측정을 수행하여 대형 잔향실을 이용한 차음 성능 측정 결과와 비교하여 신뢰성을 검증 할 예정이다.

### 후 기

본 논문은 국토해양부의 “철도 선로변 지속가능 저소음화 기술개발 중 방음터널 측면 및 상부소재 해석 및 성능실험” 으로 수행된 연구 결과와 2015 년도 정부(미래창조과학부)의

재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 중견연구자지원사업 “공동주택 층간소음 저감을 위한 방음·방진 설계기법 개발(NRF-2014R1A2A1A11052733)”의 연구결과입니다.

### 참고문헌

- [1] K. J. Kim, S. S. Kim, J. K. Park, (2008) "Research on the Transmission Loss Analysis of the Honeycomb Structure's Floor Section", Journal of the Korea Society for Railway, Vol. 11, No. 1, pp. 1~6.
- [2] W. K. Kim, J. T. Kim, G. J. Kim, S. H. Kim, (2003) "A Study on transmission Loss Characteristics of Honeycomb Structure", Journal of the KSNVE, Vol.13, No. 1, pp. 19~25.