간이잔향실을 이용한 철도차량 바닥재의 음향투과손실 측정

Sound transmission loss measurement of railway vehicle floor using semi-reverberation room

신범식† 천광욱* 최연선**

Shin, Bum-Sik Chun, Kwang-Wook Choi, Yeon-Sun

ABSTRACT

This study is to examine the sound transmission loss of a railway vehicle floor. To this end, a semi-reverberation room was constructed. The semi-reverberation room was made of a railway vehicle floor between the sound radiating chamber and the sound receiving chamber. To block the sound, the wall was made of acryl, urethane foam, wood, and glass fiber. The test followed the KS F 2808 standard, and a typical reverberation room was used to verify the performance of the semi-reverberation room. As a result, comparison of the measurements showed that the test results of the semi-reverberation room had the same tendency as those of the reverberation room. Consequently it was possible to measure the sound transmission loss of railway vehicle structures using the semi-reverberation room.

1. 서 론

철도차량 주행 시 차체 내부의 소음은 차량 외부소음이 전달되는 투과소음과 휠-레일, 윤축, 대차로부터 차체로 전달되는 진동으로부터 유발되는 구조기인소음이 있다. 투과소음 저감을 위해서는 다양한 흡차음재를 사용하고 있다. 특히 주요 소음원인 차량 하부소음을 차단하기 위하여 차량 바닥구조물에 흡차음재를 사용한다. 따라서 차량실내의 소음예측을 위해서는 다양한 흡차음재를 사용한 바닥구조물의 투과손실이 측정 되어야 한다.

차량의 소음예측을 위하여 김석현[1]은 다층판재에 대한 연구를 통하여 투과손실 지배인자를 분석하고, 개발프로그램을 사용하여 투과손실특성을 분석하였으며, 서승일[2]은 차량 각 부분의 투과손실을 측정하고, 측정값을 차량 1량에 대입하여 소음수준을 예측하였다. 임효석[3]은 SEA기법을 이용하여 흡차음재의 투과손실을 측정하였다. 김재철[4]은 KS F 2808을 기반으로 차량의 바닥 및 측벽의 투과손실을 측정하고, 이를 통하여 틸팅차량의 소음수준을 예측하였다.

철도차량의 바닥재 및 벽체는 넓은 판재의 적층구조로서 차량 전체를 시험하기에는 현실적으로 한계가 있으며, 시편을 구성하여 규격시험을 하기위해서도 공간과 비용의 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 철도차량 바닥재의 투과손실 측정을 위하여 철도차량 바닥재 시편을 기준으로 하부 수음실과 상부 송음실로 구성된 간이잔향실을 구성하였다. 차음을 위하여 아크릴, 우레탄폼, 목재, 유리섬유로 벽체를 구성하고, 시험방법은 KS F 2808을 기준으로 하였다. 간이잔향실의 신뢰성 평가를 위하여 표준잔향실을 이용하여 철도차량 바닥재의 소음투과손실을 다시 측정하였고, 이를 통하여 간이잔향실의 성능을 검증하였다.

† 책임저자 : 정회원, 성균관대학교, 기계공학과, 박사과정
E-mail : tahl98@skku.edu
TEL : (031)290-7501 FAX : (031)290-5889
* 정회원, 성균관대학교, 기계공학과, 석사과정
** 정회원, 성균관대학교, 기계공학과, 교수

2. 소음투과손실

철도차량 바닥구조물의 투과손실 측정을 위하여 그림 2.1 (a), (b)의 두 종류의 바닥구조물에 대한 시편을 제작하였다. 각각의 시편은 주름판구조인 스테인리스 스틸과 허니컴구조의 알루미늄합금으로 1.5 × 1.5 m 크기로 제작되었으며, 이와 함께 그림 2.1 (c), (d), (e)의 지지고무, 흡차음재, 합판으로 구성되어 있다.

(a) SUS 구조물

(b) Al 구조물

(c) 지지고무

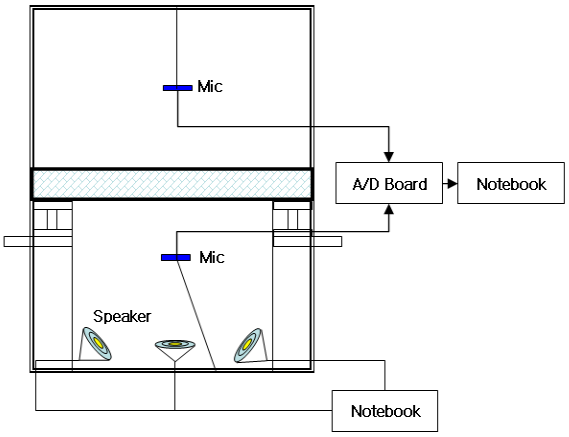
(d) 흡차음재

(e) 합판

그림 2.1 바닥시편

2.1 간이잔향실

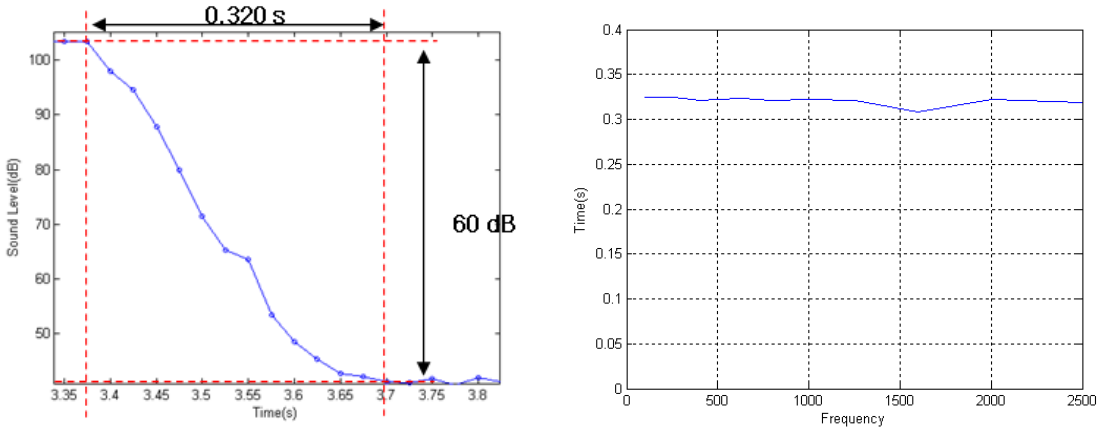
시험을 위하여 KS F 2808[5]을 기본으로 하여 간이잔향실을 만들고 투과손실을 측정하였다. 그림 2.2는 간이잔향실의 구성 및 시험사진이다. 시험은 하단 잔향실의 스피커를 통하여 1/3 옥타브(octave) 대역의 소음을 발생시키고, 아크릴벽을 통하여 평균 음장을 생성시킨 후, 바닥재에 투과시켜 수음실의 중앙에서 음압을 측정하여 투과손실을 측정하였고, KS F 2805의 음원중단법을 사용하여 잔향시간을 측정하였다. 그림 2.3 (a)는 음원을 중단한 후 60 dB 감쇄 시까지 음압변화를 나타낸다. 1/3 옥타브대역에 대하여 측정한 결과, 그림 2.3 (b)와 같이 주파수별 잔향시간을 구하였으며, 평균 0.32 s의 잔향시간을 구하였다.



(a) 구성

(b) 시험사진

그림 2.2 간이잔향실



(a) 음향감쇄 (b) 주파수별 잔향시간

그림 2.3 잔향시간

2.2 간이 투과손실 시험

간이잔향실을 이용하여 표 2.1의 각각의 시험편을 시험하였다. 투과손실은 식 (2.1)을 이용하여 계산하고, 수음실의 음향 파워 흡음력을 계산하기 위해 식 (2.2)의 등가 음향 파워 흡음력을 이용하여 계산하였다. 시험결과 시험 ①의 바닥구조물의 투과손실은 그림 2.4 (a)와 같이 Al 소재의 바닥구조물의 투과손실 값이 SUS 소재에 비하여 상대적으로 양호하였고, 특히 400 Hz 이하의 구간에서 SUS의 차음효과가 Al에 비하여 큰 차이를 보이나 저주파 구간은 간이잔향실의 크기가 작아 신뢰도가 낮은 구간임으로 검증이 필요하다. 시험 ②는 그림 2.4 (b)와 같이 시험 ①에 비하여 투과손실량이 증가함을 보였고, 400 Hz 이상의 구간에서 10 ~ 15 dB 투과손실이 증가하였다. 그림 2.4 (c)는 시험 ② 구조에 흡차음재를 삽입하여 시험한 결과이다. 시험결과 시험 ②에 비하여 고주파 영역에서는 10 dB의 차음효과가 추가로 나타났고, 이를 통하여 고주파 구간의 흡차음재 효과가 있음을 알 수 있다.

$$R = L_1 - L_2 + 10\log\frac{S}{A} \tag{2.1}$$

$$A = \frac{0.16V}{T} \tag{2.2}$$

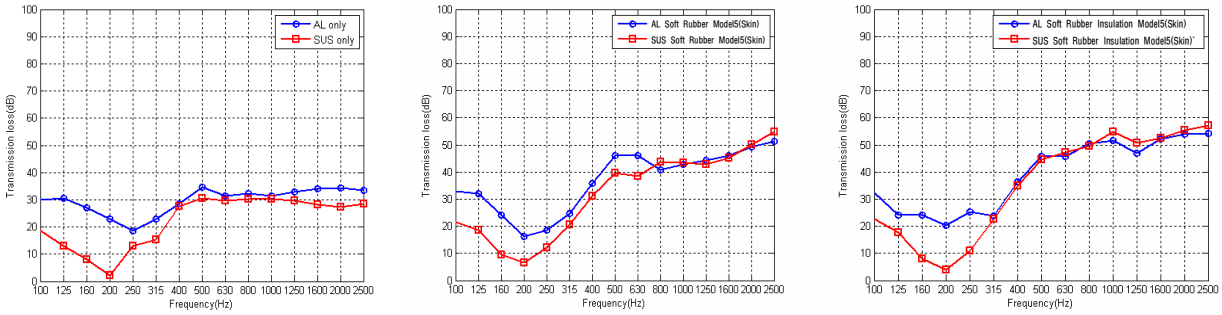
L_1 : 음원실 평균음압레벨(dB) L_2 : 수음실 평균 음압 레벨(dB)

S : 시료 면적(m^2) A : 수음실 음향 파워 흡음력(m^2)

V : 수음실 체적(m^3) T : 수음실 잔향시간(s)

표 2.1 간이 투과손실 시험종류

번호	종류
①	바닥구조물(Al, SUS)
②	바닥구조물(Al, SUS) + 지지고무 + 합판
③	바닥구조물(Al, SUS) + 지지고무 + 흡차음재 + 합판

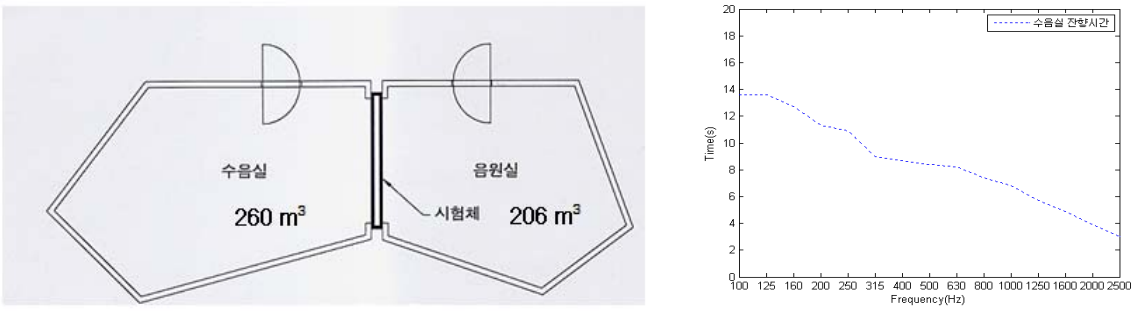


(a) 시험 ①　　(b) 시험 ②　　(c) 시험 ③

그림 2.4 간이소음투과 시험결과

3. 간이잔향실 시험검증

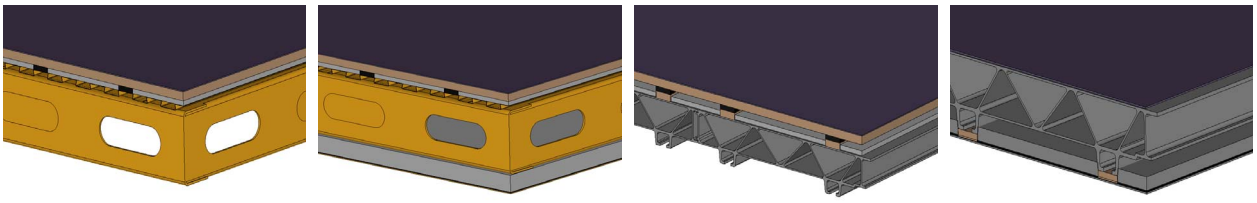
간이 소음 투과시험의 경우 수음실 및 음원실의 크기가 작고 내부 평균음장을 위한 벽체의 음향 반사 효과가 낮아 시편 성능에 대한 객관적 자료로 사용하기에는 한계가 있다. 따라서 시편 성능 시험 및 간이시험의 검증을 위하여 '한국건설기술연구원'의 표준잔향실을 이용하여 KS F 2808을 기준으로 소음투과손실을 측정하였다. 측정 시 수음실 및 음원실의 측정 위치를 4회 이동하며 측정한 결과를 평균하고, 평균 측정데이터를 시간 간격에 따라 15회 평균하여 계산하였다. 그림 3.1은 표준잔향실 구성도와 수음실 잔향시간이며, 그림 3.2는 시험사진이다. 그림 3.3은 시편 구성도이며, 표 3.1은 시험구성표이다.



(a) 구성도　　(b) 수음실 잔향시간

그림 3.1 표준잔향실

그림 3.2 표준잔향실 시험



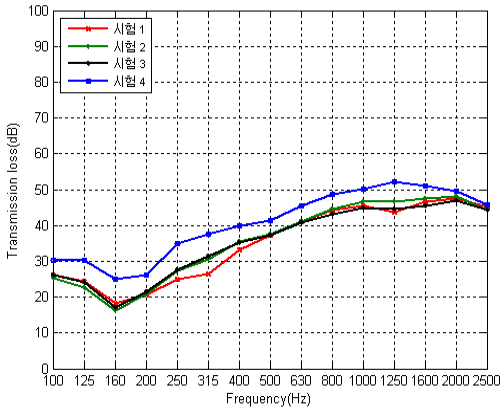
(a) 시험 ①, ②, ③　　(b) 시험 ④　　(c) 시험 ⑤　　(d) 시험 ⑥

그림 3.3 시험종류별 시편구성도

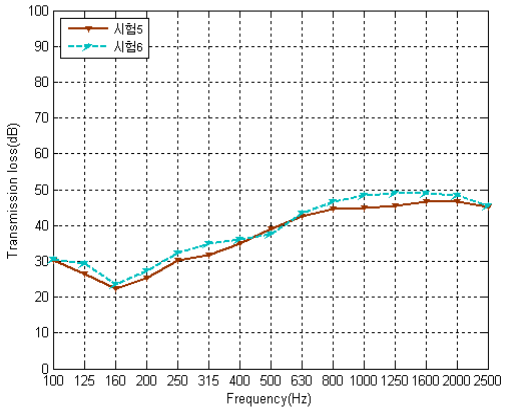
표 2.1 간이투과손실 시험종류

번호	종류
①	바닥구조물(SUS)+ 흡차음재+ 지지고무(연고무)+ 합판
②	바닥구조물(SUS)+ 흡차음재+ 지지고무(경고무)+ 합판
③	바닥구조물(SUS)+ 흡차음재+ 지지각목+ 합판
④	흡차음재+ 바닥구조물(SUS)+ 흡차음재+ 지지각목+ 합판
⑤	바닥구조물(A)+ 흡차음재+ 지지고무+ 합판
⑥	흡차음재+ 바닥구조물(Al)

음향투과손실 시험 결과 그림 3.4와 같다. 그림 3.4 (a)는 SUS 구조물에 대한 시험 결과이며, 그림에서와 같이 시험 ①, ②, ③은 차음성능이 동일함을 확인할 수 있다. 지지부 물성에 따른 투과손실계수의 차이가 없음을 의미한다. 시험 ④의 경우 하부 흡차음재를 추가한 경우로서 주파수별 약 5 ~ 8 dB의 차음효과가 증가함을 확인할 수 있었다. 그림 3.4 (b)는 Al 구조물의 시험 결과이다. 그림에서와 시험 ⑤와 ⑥이 유사한 결과를 보이나 근소한 차이로 시험 ⑥이 전 영역에서 상대적으로 흡음성능이 높게 나타남을 확인할 수 있다. 그림 3.5는 표준시험과 간이시험간의 비교결과이다. 그림과 같이 간이시험과 표준시험과의 차이가 발생함을 확인할 수 있으며, 이는 간이시험이 시편의 투과성능의 절대값을 나타내기에는 한계가 있음을 나타낸다. 그러나 간이시험의 결과와 표준시험의 결과에서 경향의 유사성을 확인할 수 있고, 이는 시편의 상대적 비교시험이 가능함을 의미한다.



(a) SUS



(b) Al

그림 3.4 표준잔향실 시험결과

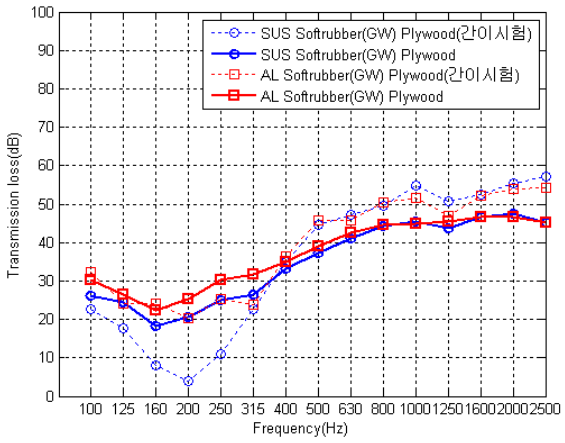


그림 3.5 간이시험과 표준시험 비교

4. 결 론

본 연구를 통하여 간이잔향실을 구성하여 철도차량 바닥재의 투과손실을 시험하고, 이를 표준시험을 통하여 검증하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 바닥구조물의 경우, Al 구조물이 SUS 구조물에 비하여 양호하다.

2) 흡차음재의 투과계수는 고주파 (400 Hz) 이상에서 10 dB 흡차음효과가 있다.

3) 철도차량 바닥구조물에 대한 소음투과손실 시험은 간이시험의 결과에서도 충분한 시험결과를 도출할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김석현, 박정모, 1998, “철도차량용 주름패널의 음투과특성에 관한 연구,” 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 257-264.
2. 서승일, 최문길, 김국현, 1999, “통근형 전동차의 객실 내 소음수준예측,” 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 185-191.
3. 임효석, 문홍준, 박광서, 김영호, 2006, “SEA 기법을 이용한 저중량 흡, 차음재의 대시판넬 적용에 대한 연구,” 한국자동차공학회 학술대회 논문집, pp. 1811-1815.
4. 김재철, 2007, “투과손실을 이용한 틸팅차량의 실내소음 예측,” 한국철도학회 논문집, 제10권, 제4호, pp. 405-408.
5. KS F 2808, 2001, "건물 부재의 공기 전달음 차단 성능 실험실 측정 방법,".