

# 철도레일의 방사소음 측정을 위한 간이용 방음박스

## A Study on Soundproof Box for Measuring the Noise Emitted from Rail

호경찬†                      이병철\*                      이용현\*                      김건영\*\*  
Ho, Kyoung-Chan              Lee, Byoung-Chul              Lee, Yong-Hyun              Kim, Gun-Young

---

### ABSTRACT

The noise emitted during train operation is generated with various reasons. It is known that the major noise generation is classified according to the ranges of train speed; that is, engine noise at lower speed range, rolling noise at medium speed range, and air-borne noise at higher speed range. These noises are transmitted in combined form with the noises generated from track components and under-carriage, etc.

The rolling noise as a major noise at medium speed range is caused by the vibration occurred at wheel/rail interface. The vibration occurred at wheel/rail interface is transmitted to wheel and rail, and this vibration is emitted from wheel and rail as a noise.

In this paper, a soundproof box which can simply measure the noise emitted from rail and analyze the characteristics of the measured noise is studied.

---

### 1. 서 론

우리나라는 지난 30여 년간 고도의 경제성장으로 급속한 산업화, 도시화를 이루었으나, 최근에는 환경 문제라는 부작용이 큰 이슈로 부각되고 있다. 쾌적한 삶에 대한 국민의 욕구가 증가하면서 환경과 개발을 둘러싼 사회적 갈등이 심화되고 있는 것이다.

2008년도 중앙환경분쟁조정위원회 자료에 의하면, 소음·진동에 의한 분쟁 비율이 전체의 86%에 달한다. 또한 소음·진동으로 인한 피해내용은 정신적 피해가 63%(건축물 피해와 정신적 피해를 함께 신청한 피해가 24% 포함)에 해당한다. 그리고 코레일에 접수되는 소음·진동 민원도 2002년 190건, 2004년 292건, 2006년에는 407건으로 계속 증가하는 추세이다. 한편, 소음진동규제법의 철도소음 규제기준도 2010년 1월 1일부터 야간 소음기준이 5dB 강화된다. 이러한 사회적 요구와 규제기준의 강화에 대처하기 위해서는 정확한 현황 분석과 그에 따른 적절한 대책이 요구된다.

철도소음은 운행속도에 따라 주소음원이 달라진다. 열차운행속도가 저속일 경우에는 엔진소음과 같은 기기소음, 중속일 경우에는 휠과 레일의 접촉부에서 발생하는 전동소음, 고속일 경우에는 공력소음이 주된 원인이 된다.

최근의 열차는 디젤전동차를 전기전동차로 교체함으로써, 저속에서의 주소음원인 엔진소음을 개선하고 있다. 고속주행 시 발생하는 공력소음은 차체 및 팬타그래프의 형상설계를 통해서 줄이도록 하고 있으며, 국내의 고속철도에서는 공력소음 저감을 위해 열차 사이에 머드플랩을 설치하여 3~4dB의 공력소음

---

† 책임저자 : (주)에이브이티, 기술연구소, 차장, 정회원  
E-mail : kcho@avt.co.kr

TEL : (02)3665-9685 FAX : (02)3665-9686

\* (주)에이브이티, 기술연구소, 비회원

\*\* (주)에이브이티, 철도사업부, 정회원

을 저감하였다.

이와 함께 중속에서의 주소음원인 전동소음에 대한 소음저감 연구도 활발히 이루어지고 있다. 전동소음은 크게 레일방사소음과 휠방사소음으로 구분된다.

아래의 그림 1은 레일과 휠의 방사소음 해석프로그램인 TWINS 3.0에서 예측한 전동소음의 예이다. 그림 1에서 방사소음의 주파수 특성을 살펴보면 레일에서 방사하는 소음이 가장 큰 것으로 나타났으며, 휠에서 방사되는 소음은 고주파대역에서 소음이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

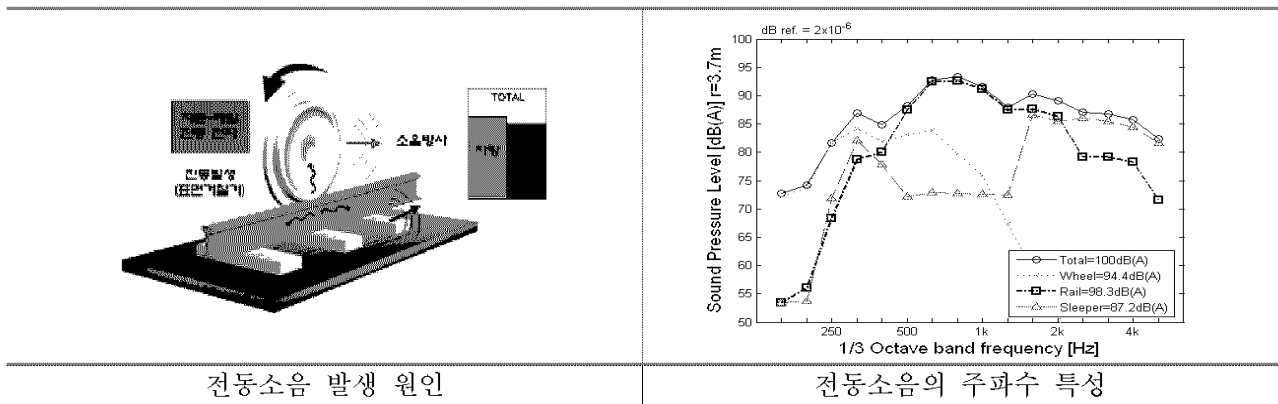


그림 1. 전동소음의 발생원인 및 주파수 특성

위의 그림 1과 같은 전동소음은 궤도시스템과 선로를 운행하는 차량의 조건에 따라 그 지점에서 소음 특성이 달라진다. 즉 전동소음대책 적용시 정확한 현황을 파악함으로써 그에 적합한 대책을 강구할 수 있을 것이다. 그러나 일반적으로 궤도측면에서 측정한 소음데이터에서 레일방사소음과 휠방사소음을 구분하여 그 특성을 분석하는 것은 사실상 불가능하다.

본 연구에서는 레일 측면에 방음박스를 설치하여 휠과 레일에서 방사되는 소음을 구분하고 전동소음 중 레일방사소음을 간단하게 측정할 수 있는 장치를 검토, 제안하고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 방음박스 설계

방음박스의 재질은 일반 철판을 사용하였으며, 시험시 충분한 차음성능을 확보하기 위해서 내층과 외층의 2중구조로 설계하였다. 내/외층의 철판은 댐핑재를 사용하여 접합함으로써 레일에서 발생한 진동으로 인한 방음박스 내부의 2차소음 발생을 방지하였다.

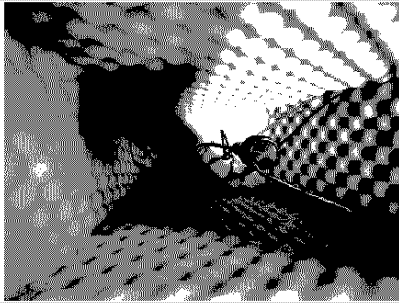
방음박스의 차음성능 계산은 Causal Systems사의 소음설계 전용프로그램인 ENC 3.1을 사용하여 예측한 값을 사용하였으며, 그 결과는 아래의 도표 1과 같다.

도표 1. 방음박스 판의 차음계수

종 류	Octave Band Center Frequency[Hz]							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Steel Plate 1.2T	7.3	13.3	19.2	25.2	31.2	37.2	43.1	37.2
Damping Materials 2.0T	-	-	4.9	10.9	16.9	22.9	28.9	34.9
S 1.2T + D 2.0T + S 1.2T	14.2	20.2	26.2	32.2	38.2	44.2	50.1	41.1

방음박스 내로 유입된 소음이 방음박스 내에서 반사 등으로 인한 소음의 증가를 최소화하기 위해 내부에 흡음재를 부착하여, 반사음에 의한 레일방사소음의 왜곡을 최소화하였다.

레일 측면부와 접촉되는 부분에서는 박스와 직접 접촉시 레일진동의 전달과 레일과 방음박스 간 틈새로 유입되는 외부소음을 차단하기 위해 흡음재를 설치하였다. 박스내부에 설치한 흡음재의 재질은 계란판형 연질우레탄폼으로, 두께는 20mm이다.



내부 흡음재 형상



레일 접촉부 상세

그림 2. 방음박스 내부의 흡음재와 레일접촉부 상세

도표 2. 국내 도시철도의 궤도구조 제원

궤도구조	STEDEF	LVT	ALT	영단형	B2S
침목 높이(H)	111mm	94mm	53mm	216mm	108mm
침목저면폭(WL)	371mm	325mm	430mm	345mm	375mm
침목상면폭(WH)	425mm	325mm	430mm	434mm	414mm



그림 4. 방음박스 형상

위의 도표 2와 같이 궤도구조별로 침목크기가 다르기 때문에 방음박스 설치를 위한 침목사이 공간이 궤도구조마다 상이하다. 박스의 설치 위치는 차량한계, 침목형상, 침목간격과 궤도구조의 종류에 따라 제한사항이 조금씩 다르다. 이와 같은 조건을 만족시키면서, 레일방사소음만을 측정하기 위해 그림 4와 같이 방음박스를 제작하였다. 방음박스 내에서 발생할 수 있는 룸모드(room mode)를 고려하여 방음박스의 상하면을 제외한 모든 면이 불평행하도록 설계하였다. 궤도구조별 레일하면의 높이가 다르므로 각각의 궤도구조에 따라 높이 조절이 가능하도록 방진재를 부착한 받침을 설치한 후 그 위에 박스를 설치하였다.

### 3. 방음박스 시험

#### 3.1 차음성능

방음박스의 차음성능을 측정하기 위한 시스템은 아래의 그림 6과 같이 실제 침목과 레일을 사용해서 시스템을 구축하였다. 차음성능 시험시스템에서 마이크로폰은 침목 사이의 공간에 두 개의 마이크로폰을 설치해서 측정하였다. 두 개의 마이크로폰은 레일을 중앙에 두고 마주보게 설치하였으며 하나는 방음박스 안에 설치하고 반대쪽 하나는 방음박스 밖에 설치해서 안과 밖의 소음을 측정하도록 하였다. 음원은 백색잡음을 이용하였으며, 아래의 그림 6의 개략도와 같이 3지점으로 바뀌가며 위치별 음향 특성을 측정하였다.

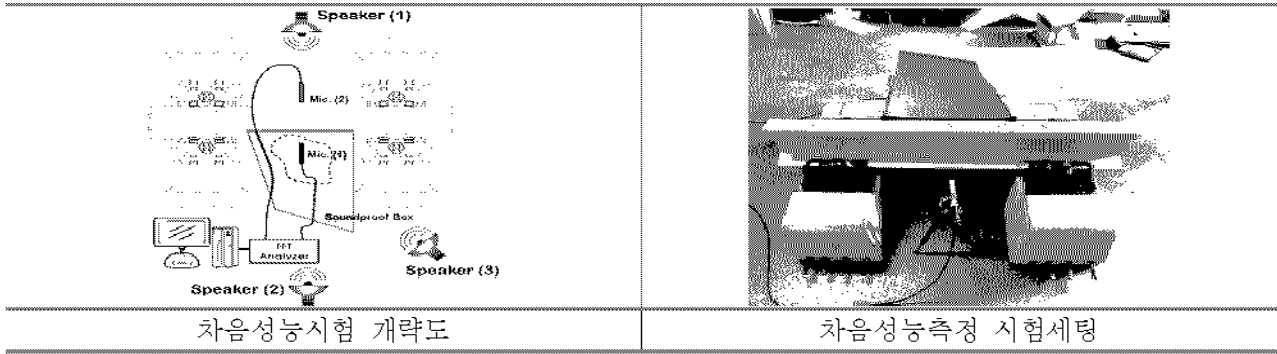


그림 6. 차음성능 시험시스템

측정결과 스피커의 위치에 따라 방음박스 밖의 음압은 차이를 보이고 있으나 방음박스 내부의 음압은 스피커의 위치에 상관없이 작은 변동폭을 확인할 수 있다. 이는 방음박스 외부의 여러 위치에서 발생한 소음이 방음박스 내부로 유입되는 일정크기 이상 차음률을 알 수 있다. 이는 소음의 방향성에 상관없이 모든 방향에서 유입되는 소음의 측정에 적용 가능함을 나타낸다.

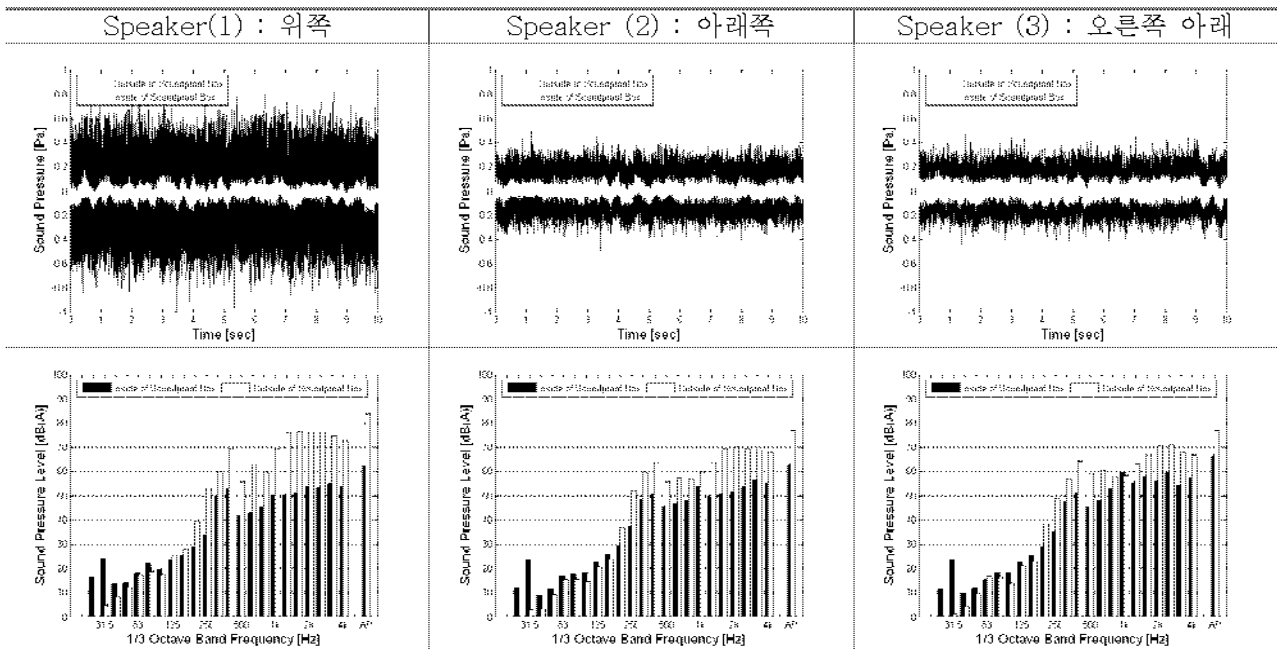


그림 7. 차음성능 시험 결과

도표 3. 차음성능 시험 결과값

투과손실[dB]	Octave Band Center Frequency[Hz]						
	31.5	63	125	250	500	1k	2k
평균	-5.13	3.20	3.37	17.83	18.90	17.73	22.70

위의 도표 3을 살펴보면 저주파수 대역에서 투과손실이 작은 것을 확인할 수 있는데 이는 레일 접촉부에 설치한 다공질 우레탄폼을 통해서 음이 내부로 유입되는 것으로 판단된다. 그러나 레일방사소음에서 전동소음과 스켈소음의 주파수대역은 500 ~ 2000Hz이기 때문에, 250Hz이상에서 10dB이상의 차음효과를 가진다. 따라서 방음박스를 통해 레일방사소음을 제외한 휠방사소음 등의 기타 소음을 분리하는 것에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

### 3.2 방사소음 검토

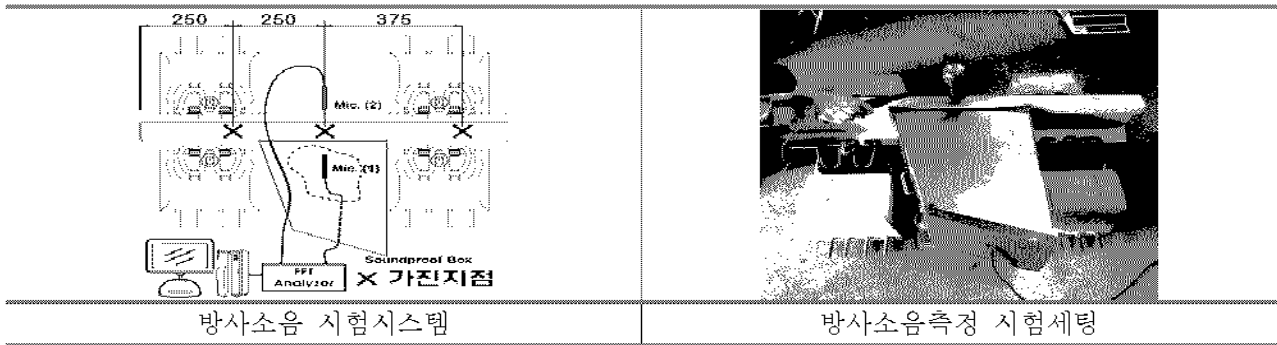


그림 8. 방사소음 시험시스템

레일의 진동에 의한 방사소음의 측정시스템은 3.1절의 방음박스 차음성능 시스템을 사용하였다. 이때 임팩트 해머를 사용하여 가진하였으며, 가진점은 레일(L=1m)의 중앙을 기준으로 -250mm지점, 중앙지점, +375mm지점이다.

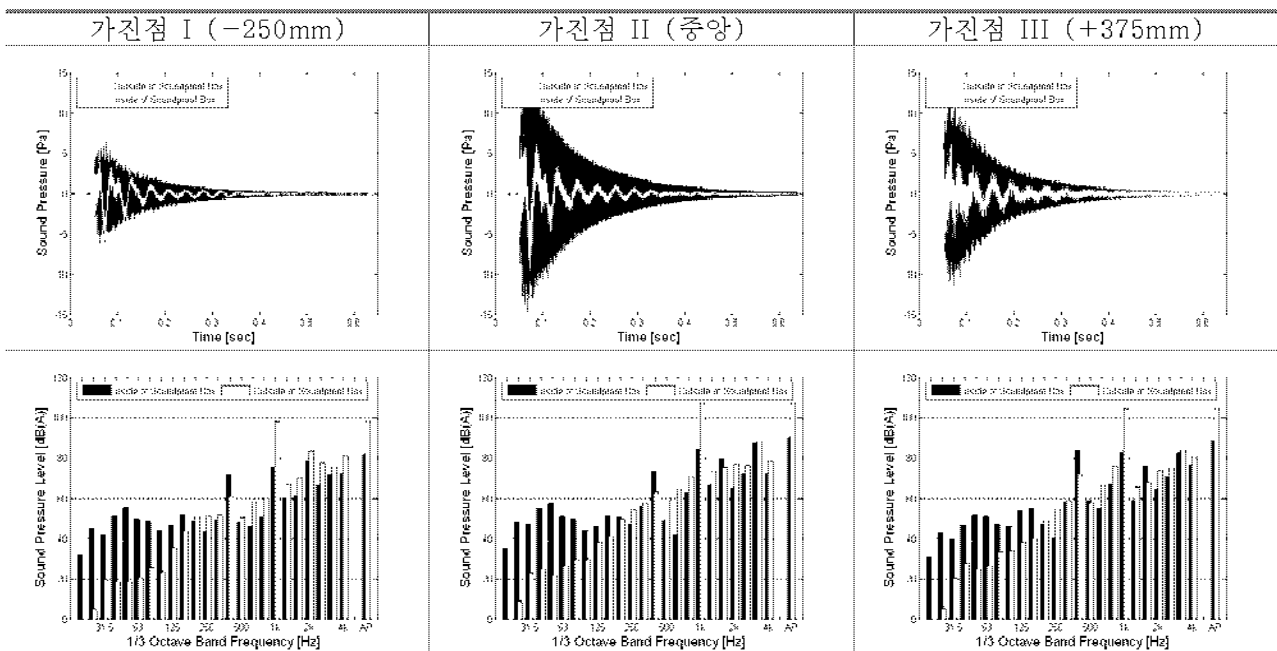


그림 9. 방사소음 시험 결과

도표 4. 방사소음 시험 결과값

투과손실[dB]	Octave Band Center Frequency[Hz]						
	31.5	63	125	250	500	1k	2k
평균	-20.27	-17.93	-6.90	10.93	15.80	22.57	12.27

위의 그림 9에서 가진점의 위치에 따라 구속조건의 영향으로 음압이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 저주파수 대역에서 방음박스 내부의 음압레벨이 외부의 음압레벨보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 방음박스의 크기가 작고 레일에 근접해 있기 때문에 저주파음의 증폭현상이 발생하는 것으로 추측된다.

그러나 125Hz 이하의 저주파수대역에서 음압레벨은 그 크기가 고주파수 대역에 비해 상대적으로 작고, 레일방사소음의 주요 주파수대역인 500Hz 이상의 대역과 차이가 있으므로 철도 레일방사소음의 측정에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

### 3.3 레일진동과 레일방사소음 비교

레일 진동 측정시스템은 3.1절과 같이 방음박스의 차음성능 시스템을 사용하였다. 가속도계는 레일의 전체 길이에서 중앙부에서, 레일 복부 중앙에 설치하였다. 레일의 가진은 임팩트 해머를 사용하였으며, 가진점은 레일(L=1m)의 중앙을 기준으로 -250mm지점, 중앙지점, +375mm지점이다.

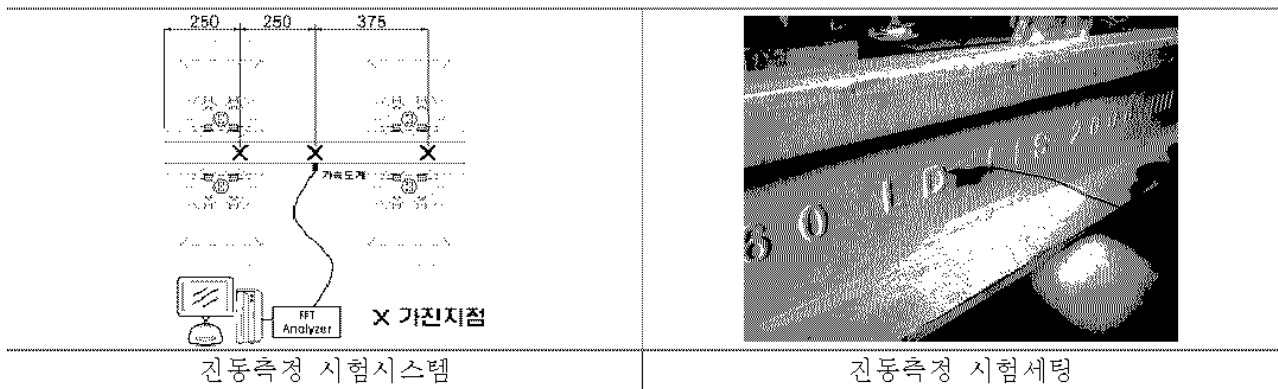


그림 10. 진동측정 시스템

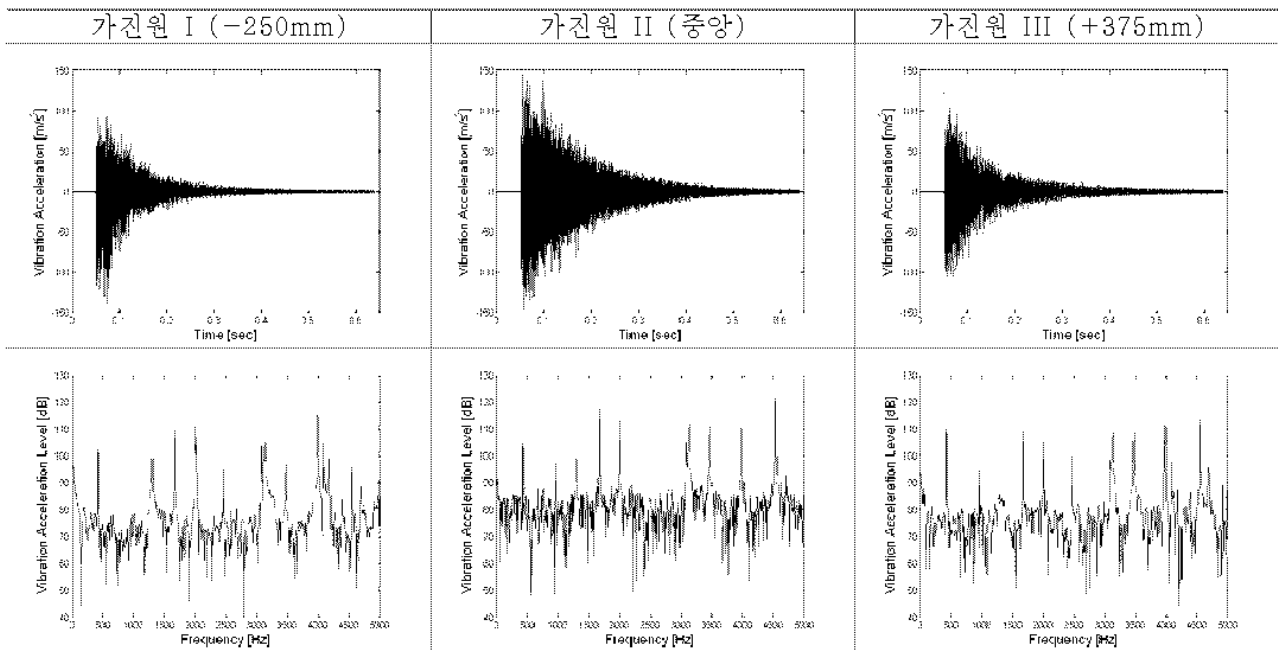


그림 11. 레일진동 시험 결과

가진에 의한 레일의 진동가속도 주파수 분포를 시험한 결과 각 가진 지점별로 구속조건에 의한 진동모드에 의해 고유진동수에서 그 특성이 부각되며, 전체 주파수 대역에서 고르게 진동이 분포함을 알 수 있다.

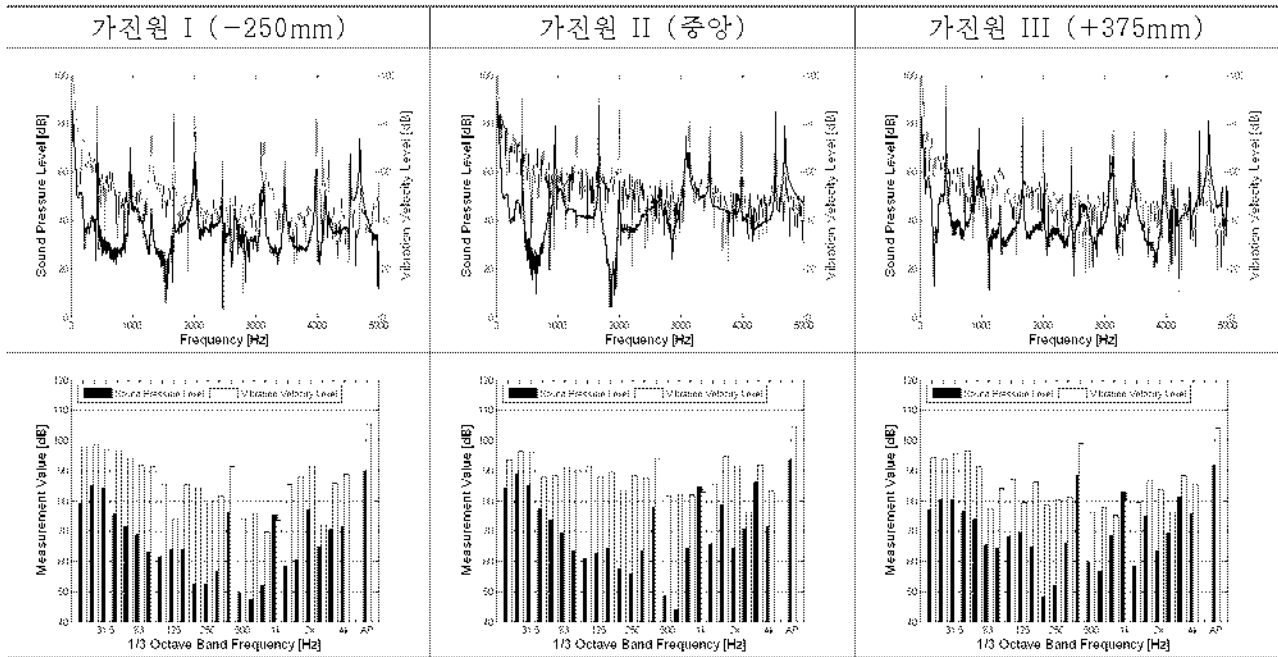


그림 12. 레일의 진동속도와 방사소음의 비교

도표 5. 레일의 진동속도와 방사소음의 비교

VVL - SPL[dB]	Octave Band Center Frequency[Hz]						
	31.5	63	125	250	500	1k	2k
평균	19.67	26.77	27.50	33.43	30.60	23.57	25.53

레일의 방사소음은 레일의 진동속도와 관계가 있기 때문에 진동속도와 방사소음을 비교하였다. 레일방사소음과 레일 진동속도간의 차이가 25~30dB로 일정한 차이를 가지기 때문에 두 값의 상관관계식의 유도가 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

열차의 진동소음에서 주요소음원 중에 하나인 레일방사소음 측정을 위한 방음박스를 제작하여, 그 특성을 확인하였다.

방음박스는 이중철판 사용으로 차음효과를 높였으며, 진동전달 의한 고체음 방지를 위해 댐핑재를 사용하였으며, 휠방사소음과 기기소음 등을 10dB이상 차음하도록 하였다.

방음박스 내에서 측정된 레일방사소음은 125Hz이하의 저주파대역에서 증폭되고, 250Hz이상의 고주파대역에서는 감소되는 것으로 확인되었다.

레일의 진동속도와 레일의 방사소음을 비교한 결과, 그 주파수특성이 일정하였으며 레일진동과 레일방사소음간의 상관관계를 확인할 수 있었다.

현장 시험에서 데이터 축적을 통하여 방음박스로 인한 레일방사소음의 왜곡을 보정할 경우, 레일방사소음을 손쉽게 측정할 수 있을 것이라 판단된다.

본 결과를 토대로 현장에서 차량운행시 방사소음 측정을 통한 현장검증 절차가 후속연구로 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연한 미래도시철도 기술개발 사업(도시철도 표준화 2단계연구)으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. '2008.12.31 현재 환경분쟁 조정현황', 중앙환경분쟁조정위원회.
2. DA Bies and CH Hansen, Engineering Noise Control - Theory and Practice, Spon Press.
3. 철도소음진동총람(1)-철도 소음편, 철도청.
4. 정일록, 김재용, 윤세철, 이태호, 최신 소음진동 이론과 실무, 신광문화사, 2001.
5. 김재수, 양만우, 건축음향설계 방법론, 서우출판.
6. Engineering Noise Control Design Software User Guide, Causal systems
7. TWINS Program Manual.
8. Raynoise Program Manual.