

연구논문

철도소음 저감을 위한 간섭형 방음장치 음향 설계 및 성능시험에 관한 연구

조준호 · 고효인

한국철도기술연구원

(2011년 10월 10일 접수, 2011년 11월 13일 승인)

A study on the performance test and acoustic design of interference type noise reduction device for railway noise

Jun-Ho Cho · Hyo-In Koh

Korea Railroad Research Institute

(Manuscript received 10 October 2011; accepted 13 November 2011)

Abstract

Noise barrier is generally used with welding of joint rail for railway noise reduction in our country. But the noise barrier for high speed railway has weak point in low frequencies about 315Hz band. In this study, For developing of Interference-type Noise Reduction Device(INRD), acoustic analysis were performed using commercial software. For verifying the improvement in the noise reduction, noise measurement before and after installing of INRD were performed in Anechoic Chamber. From these acoustic analysis and noise measurement, it was known that developed INRD has a good noise reduction performance and can be used efficiently with conventional noise barrier.

Keywords : Railway, Interference-type Noise Reduction Device, Acoustic Design, Performance Test, Anechoic Chamber

1. 서론

UIC에 의하면 철도소음을 효율적으로 저감하기 위해서는 철도차량 자체에서 방사되는 소음을 줄이는 소음원에 대한 접근과 전달 경로 상에 방음벽 등의 저감시설 설치에 의한 방법이 동시에 활용될 때

비용편익이 가장 큰 것으로 알려져 있다.

이와같이 방음벽은 도로와 철도와 같은 육상교통으로부터 발생된 소음을 저감하기 위해 오래전부터 활용되어 온 기술이다. 도로의 경우 방음벽에 대한 연구 개발이 활발히 진행되어 왔다. 특히 강대준 등(2007), 김철환 등(2007, 2008)에 의하면 방음벽의

높이상승에 상응하는 효과를 위하여 방음벽 상단의 음향에너지의 회절현상을 저감하고자 개발된 상단 소음저감장치의 활용이나 적용 사례를 연구하였으며, 최준집(2006)은 도로소음 차단을 위한 방음벽의 설치 관련, 그리고 한국도로공사(2004)는 고속도로 방음벽 설치 기준 개선 등에 대하여 연구하였다.

국내 철도소음 저감에 대한 연구는 1990년대 이후에 환경에 대한 국민의 의식향상에 따른 민원제기 등으로 관심의 대상이 되었다, 이로 인해 심상덕 등(2000), 장강석 등(2001) 그리고 한국철도기술연구원(2001, 2009) 등에 의해 여러 가지 유형에 대한 해석연구나 모형실험 연구, 방음벽 상단장치의 철도변 성능효과 검증 등을 위한 현장평가 시험 등이 수행된 바 있다. 또한 김철환 연구(2010) 등 국내외 주요 규격을 조사 분석한 결과를 이용하여 조준호 등(2010)에 의해 철도 방음벽 상단장치 성능평가 방법이 제안되었다.

철도용 방음벽은 레일 이음매 용접 등과 함께 우리나라 철도소음을 저감하기 위해 가장 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 철도의 고속화와 화물열차의 증대, 철도변에 근접한 고층아파트의 증가 등의 추세와 잇따라 제기되는 민원의 해소를 하기에는 기존의 방음벽 이외의 대안이나 적용계획이 매우 부진한 상황이다. 국내 철도 연변에 시공된 방음벽은 경부고속철도에 이르기까지 전반적으로 수직형과 말단절곡형으로 제한되어 있다. 도로변에 비하여 방음판 자체의 적용기술도 획일적이며, 높이상승 효과를 위하여 방음벽 상단의 음향에너지의 회절현상을 저감하고자 개발된 상단 소음저감장치의 활용이나 적용 사례도 많이 상용화 설치된 도로에 비하면 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.

철도는 도로와는 달리 계획된 운행시간에 짧은 시간 통과하여 예측 가능한 소음현상이라 할 수 있고, 운행 지역의 소음환경과 성가심도의 주요 원인이 분석되면 차량의 유형에 따라서 운행소음 특성이 다양하지 않기 때문에 좀 더 효율적으로 그 취약점을 분석하여 향상을 위한 신기술과 대안을 개발, 설계할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 고속철도 운행구간에 설치된 방음벽의 취약 주파수 특성을 분석하여 그 저감 성능을 향상시키기 위한 방법으로 간섭형 방음장치의 음향설계를 상용 음향해석 소프트웨어를 이용하여 수행하고 그 시작품을 제작하여 무향실에서 성능평가 수행한 결과를 나타내었다.

II. 일반 간섭형 관에 의한 소음 전파 특성 분석

본 장에서는 일반 간섭형관에 의한 소음전파 특성을 알아보고자, 2차원 공간상에 길이 0.68m, 폭 0.1m인 한쪽은 막히고 한쪽은 열린 관(tube)에 대해 소음원 1개가 관의 열린면 정면으로 좌표면으로부터 1) 0.7m 2) 1.7m 3) 2.7m 4) 5.7m 5) 10.7m 이격된 위치에 각각 있을 때 그 각각의 위치를 수음점으로 하여 음압 주파수 응답해석을 수행하였다. 주파수 범위는 40~500Hz이며, 간격은 5Hz이었다. 음향 응답점의 위치를 표 1에 나타내었다.

음향특성은 범용 음향해석 프로그램인 SYSNOISE를 이용하였다. 그 대표적인 해석결과를 그림 1과 2

표 1. 간섭형 관 음향 주파수 응답 해석 위치

해석 위치	이격거리 (간섭형관 폐구간면 기준, m)	비고
P1	0.7	간섭형관 열린면 앞 0.02m 위치
P2	1.7	
P3	2.7	
P4	5.7	
P5	10.7	

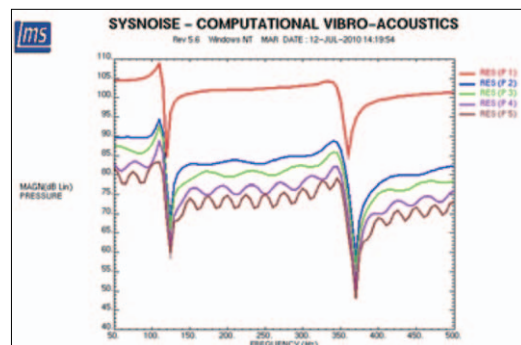


그림 1. 소음원이 0.7m 위치(상기 범례 P1)에 있을 때

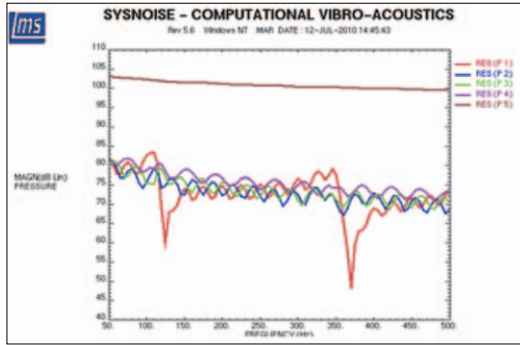


그림 2. 소음원이 10.7m 위치(상기 범례 P5)에 있을 때

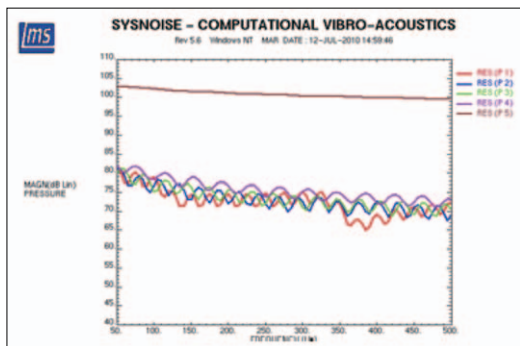


그림 3. 소음원이 10.7m 위치에 있을 때(관 정면 내부 흡음처리)

에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 소음원의 위치에 따라 각 수음점에서 응답은 각각 다른 특성을 나타내었다. 그러나 간섭형 관 바로 앞 지점(그림 범례에서 빨간색으로 표기된 RES P1)에

서의 소음도는 목적 주파수와 3차 조화주파수 근처에서 15~20dB 저감되는 것을 알 수 있었으며, 특히 현재의 음향 모델의 경우 기본주파수보다 3차 조화주파수 근처에서 조금 더 저감되는 것을 알 수 있었다. 다른 주파수영역에서 약간의 소음도 증가 현상도 있었지만 전체적으로 소음저감 효과가 양호함을 알 수 있었다.

특히 그림 1에서 보듯이 소음원이 간섭장치 바로 앞에 존재하는 경우 모든 수음점에서 소음 저감하고자 하는 목적 주파수에서 소음저감이 현저하게 일어났지만, 그림 2와 같이 소음원이 간섭장치에서 떨어질수록 다른 수음점에서는 별 효과가 없었고 간섭장치 인근에서만 효과가 있었다.

또한 그림 3을 보면 간섭장치 내부에 흡음 처리한 경우 간섭현상에 의한 소음저감은 거의 효과가 없고 내부에 반사성 재료를 활용하여야 간섭현상이 잘 이루어짐을 알 수 있었다.

III. 방음벽 상단용 간섭장치의 소음 전파특성 분석

고속철도용 방음벽의 소음저감 성능평가를 위해 고속철도가 300km/h의 속도로 주행시 소음을 측정하였으며, 그 전형적인 결과를 그림4에 나타내었다. 그림에서 채널(CH) 2 위치는 열차선로로부터

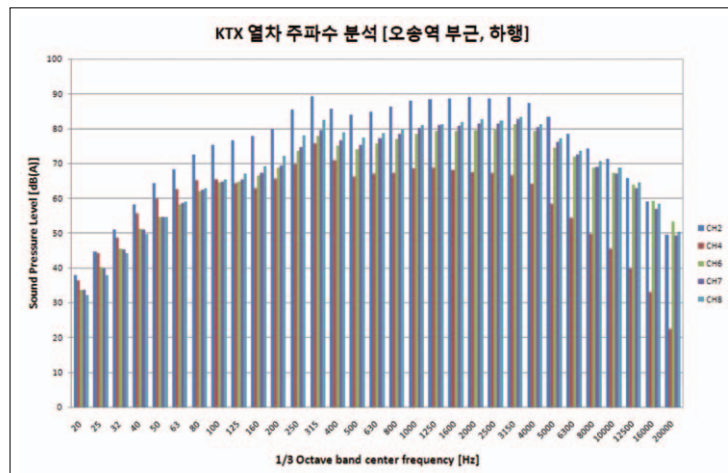


그림 4. 고속철도 통과시 방음벽 전후 소음도

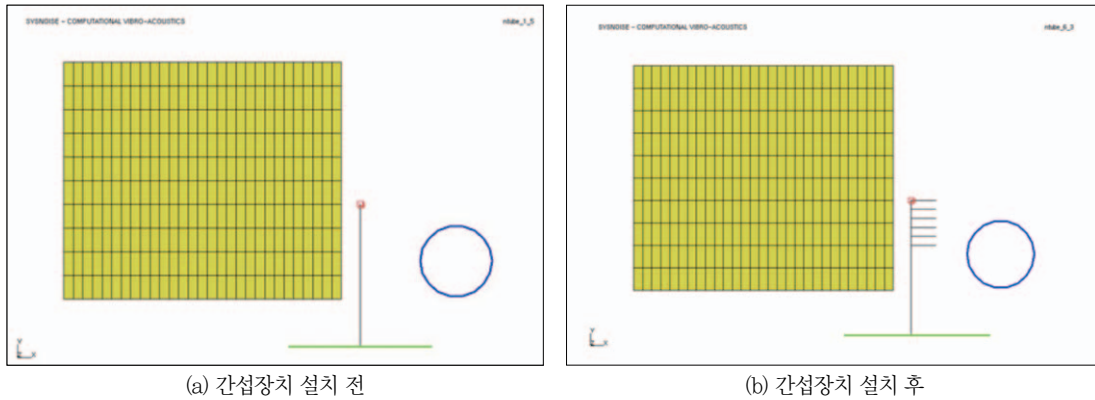


그림 5. 간섭장치 음향해석 모델

5m 이격된 거리로 소음원과 방음벽사이 위치이며, 채널 4, 6, 7, 8은 방음벽 후방으로 5.5m 이격된 주요 높이별 소음도 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 저주파인 315Hz 대역의 소음원은 상당한 크기를 가지고 있지만 기존의 방음벽에 의해 저감되기 어려운 주파수 영역임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 주요 문제 주파수인 315Hz를 저감하기 위해 간섭장치에 대해 범용 음향해석 프로그램인 SYSNOISE를 이용하여 모델링하고 주파수 범위 20~500Hz까지 2Hz 간격으로 소음도 해석을 수행하였다. 소음원은 방음벽으로부터 1m 이격된 지점의 지면으로부터 1.0m 높이에 위치하였다. 해석을 위한 소음원과 음장 해석을 위한 해석 위치(Field Point)를 그림 5에 나타내었다.

이와같은 음향모델을 이용하여 소음의 주파수 해석을 수행하여 그 대표적인 결과를 그림 6-8에 나타내었다. 소음의 주파수 해석을 수행한 14개 지점 가운데 11개 지점에서 넓은 관심대역인 170~315Hz에서 5~15dB의 소음도 저감효과가 확인되었다. 다만 예상할 수 있듯이 간섭형장치의 특성상 그 이후 주파수대역에서는 약간의 소음도 증가현상도 확인할 수 있었다. 또한 1개 지점에서는 전반적으로 소음도가 증가되는 위치도 발견되었다.

특기할 만한 것은 그림 7과 그림 8을 보면 방음벽보다 훨씬 높은 위치인 2.5m와 3.0m 위치에서도 3~5dB 정도의 소음도 저감효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 그림 9에서 12에는 간섭장치 설치 전

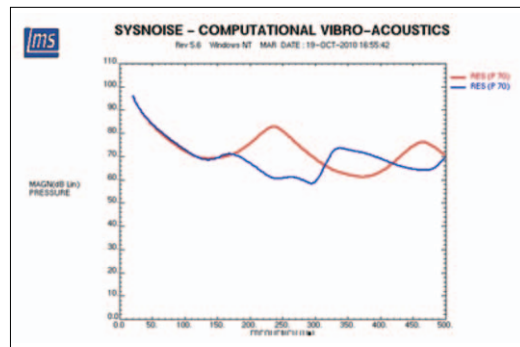


그림 6. 수음점 위치(방음벽 후방 1.0m, 바닥으로부터의 높이 1.0m) 소음도

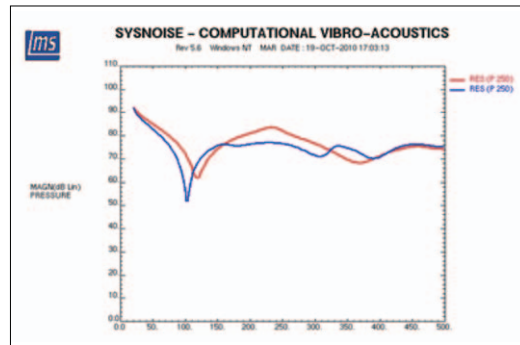


그림 7. 수음점 위치(방음벽 후방 1.0m, 바닥으로부터의 높이 2.5m) 소음도

후의 소음도를 방음벽 후방 위치에 대해 주요 관심 주파수에 대해 비교하여 나타내었다. 관심주파수 대역(300Hz 대역)에서 대체적으로 소음도가 개선되는 것을 알 수 있고 기타 소음도가 악화되는 주파수 및 위치는 대체적으로 다른 방법에 의해 소음도

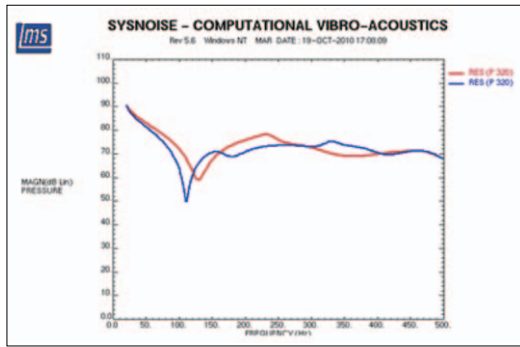
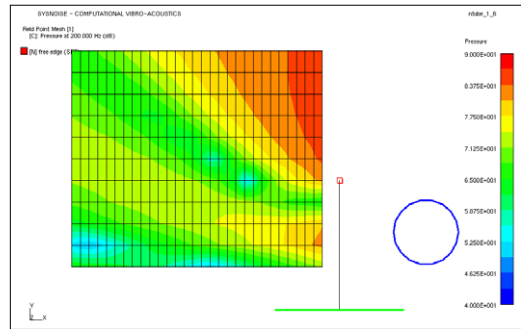
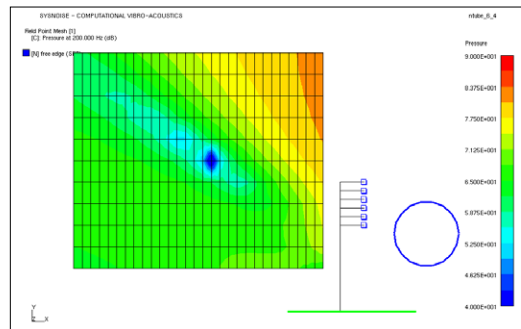


그림 8. 수음점 위치(방음벽 후방 2.0m, 바닥으로부터의 높이 3.0m) 소음도

저감이 가능한 지점과 주파수 대역임을 고려할 때 본 연구를 통해서 설계된 간섭장치를 설치하면 관심주파수 대역에서 소음도 저감을 이룰 수 있는 지점을 기존 방음벽으로 저감이 되지 않는 지역과 주파수 대역에 적용이 가능하리라 판단된다.

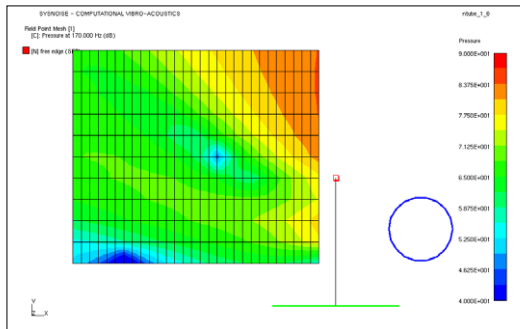


(a) 설치 전

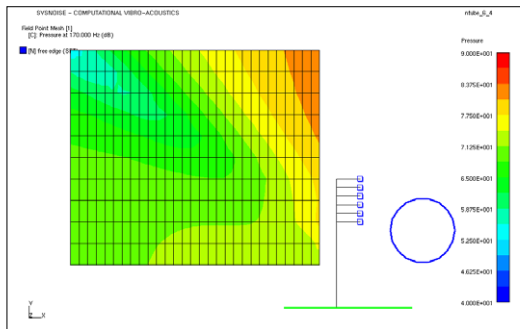


(b) 설치 후

그림 10. 간섭장치 설치 전 후 음장 변화(200Hz)

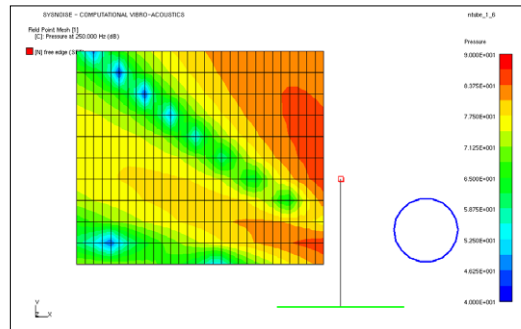


(a) 설치 전

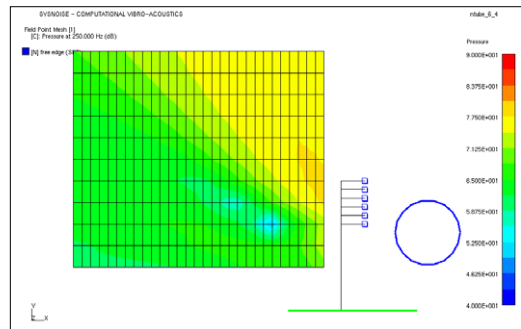


(b) 설치 후

그림 9. 간섭장치 설치 전 후 음장 변화(170Hz)

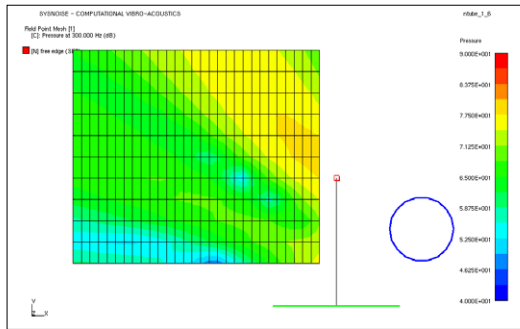


(a) 설치 전

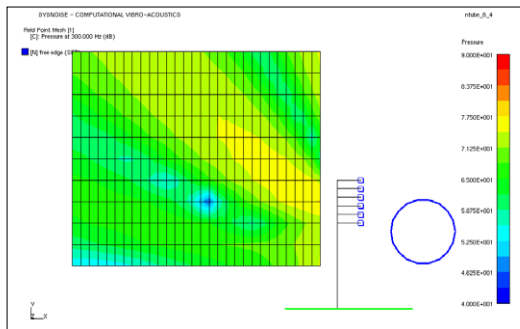


(b) 설치 후

그림 11. 간섭장치 설치 전 후 음장 변화(250Hz)



(a) 설치 전



(b) 설치 후

그림 12. 간섭장치 설치 전 후 음장 변화(300Hz)

IV. 방음벽 상단용 간섭장치의 무향실 성능평가

본 장에서는 상용 음향해석 프로그램을 활용하여 간섭장치의 소음저감 해석결과를 실제 실험실에서 성능검증하기 위하여 간섭장치를 설계하고 그 성능을 평가한 결과를 나타내었다. 성능평가방법은 국내외 관련 주요 규격을 분석 평가하여 제시된 성능평가 방법을 준용하였다.

간섭형 방음장치 시작품은 가격 및 구조의 안전성을 고려하여 아크릴 재질로 하였고 전체 길이는 2m로 제작하였다. 이와같이 제작된 간섭형 방음장치를 측정하기 위한 하부 방음벽 및 스피커, 측정 마이크로폰 설치도를 그림 13에 나타내었다. 표 2에는 본 성능평가에 사용된 측정 장비를 나타내었다. 그림 14에는 간섭형 방음장치를 무향실에서 1.5m 방음벽 앞쪽에 설치한 장면을 나타내었다. 표 3에는 소음도 평가를 위한 마이크로폰 높이를 나타내었다.

표 2. 성능평가 측정 장비 목록

측정장비명	제조사	모델명	비고
소음 분석기 및 소프트웨어	Mueller BBM	PAK MKII PAK 5.4	8채널
스피커	B&K	Omnipower 4296	
스피커 앰프	CROWN	XTi 4000	
마이크로폰	PCB	426D01, 426E01	
마이크로폰	GRAS	26CA	
Calibrator	RION	NC-74-002	1000Hz, 94dB

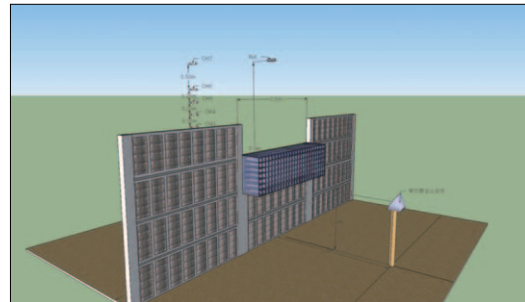


그림 13. 측정 마이크로폰 및 스피커 설치 개념도

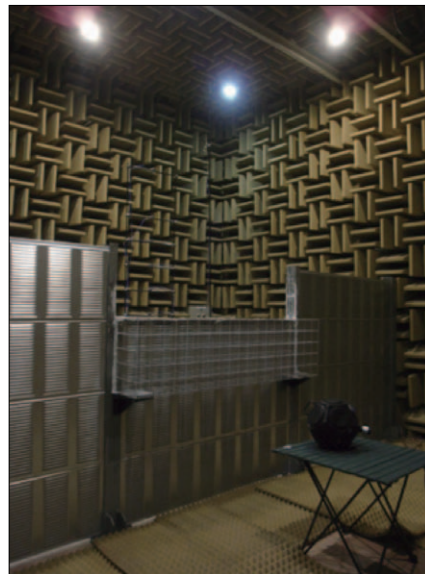


그림 14. 간섭형 방음장치 무향실 성능시험을 위한 설치 장면

성능평가는 스피커 위치 2개 위치(방음벽 앞 1m, 2m) 각각에 대해 측정 마이크로폰 위치 2개 위치(방음벽 뒤 1m, 2m)에서 수행하였다. 성능평가는 그림 14에 나타난 바와 같이 일반 흡음형 방음벽 1.5m 앞면에 간섭형 방음장치를 설치하기 전과 설치한 후의 소음도를 측정하였다.

표 3. 성능평가 측정 마이크론 높이

채널	높이(바닥기점,m)	비고
1	1.0	
2	1.5	간섭형 상단장치 상부높이
3	1.75	
4	2.0	
5	2.25	
6	2.5	
7	3.0	
8	3.0	상단장치 상단 Reference Mic.

간섭형 방음장치 설치 전에 방음벽 앞 1m, 2m에 스피커를 위치하고 백색소음(white noise)를 발생시켰을 때 방음벽 후방 1m, 2m 위치에서 높이별로 표 3에 나타난 위치에서 소음도를 측정하였다. 이와 같이 총 4개의 경우에 소음도를 측정하여 1/3 옥타브 밴드(80~10,000Hz) 대역에 대한 대표적 소음도를 그림 15에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 음장에서 소음원 위치와 수음점 위치에 따라 주파수별로 40~80dB의 소음도를 보이고 있음을 알 수 있다. 간섭형 방음장치가 추가로 설치되기 전 기존 방음벽에 의해 소음원이 2m 인 경우 수음점 2m 위치보다 1m 위치에서 소음저감 효과를 보는 영역과 보지 못하는 영역이 골고루 분포했다. 소음원이 방음벽 전방 1m에 위치한 경우 수음위치 1m 보다는 2m 이격위치에서 높이별로 고른 소음저감이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

간섭형 방음장치 설치 후에 방음벽 앞 1m, 2m에 스피커를 위치하고 백색소음(white noise)를 발생시켰을 때 방음벽 후방 1m, 2m 위치에서 높이별로 표 3에 나타난 위치에서 소음도를 측정하였다. 이와 같이 총 4개의 경우에 소음도를 측정하여 1/3 옥타브 밴드(80~10,000Hz) 대역에 대한 대표적 소음도를 그림 16에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 음장 특성에 따라 주파수별로 40~80dB의 소음도를 보이고 있으나 설치 전에 비해 간섭에 의한 저감 목적주파수 대역인 250~315Hz 대역에서 소음저감이 있는 것을 알 수 있다. 이를 더욱 명확하게 검토하기 위해 설치 전과 설치 후의 전체주파수별 삽입손실과 목적주파수 대역에 대하여 분석

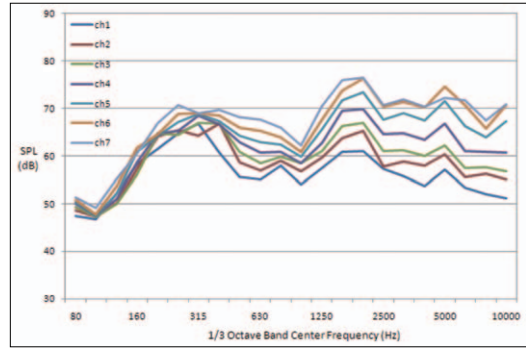


그림 15. 간섭형 방음장치 설치 전 소음도 스펙트럼(소음원 2m, 수음위치 2m)

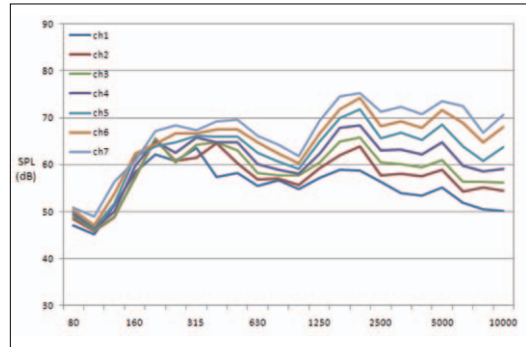
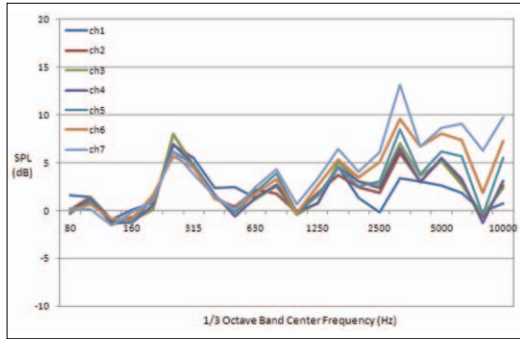


그림 16. 간섭형 방음장치 설치 후 소음도 스펙트럼(소음원 2m, 수음위치 2m)

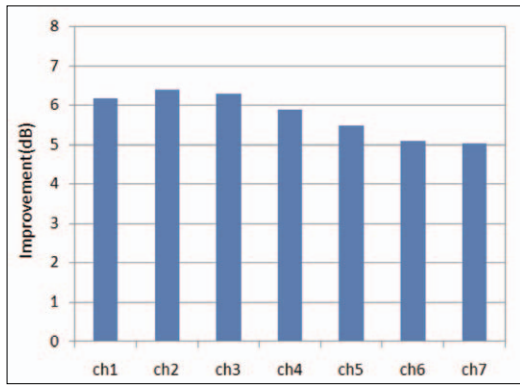
하여 그림 17에 대표적인 결과를 나타내었고 그 때 얻어진 목적주파수(250~315Hz) 및 총합소음도에 대한 삽입손실 값을 표 4에서 7에 각각 나타내었다.

그림과 표에서 알 수 있듯이 목적주파수 대역에 대해 측정 조건별로 양호한 소음저감효과를 얻고 있음을 알 수 있다. 간섭장치의 특성상 200Hz 이하의 저주파 및 고주파수 일부 대역에서 약간의 역효과가 발생하는 것도 확인할 수 있으나 그 값은 미미하다고 판단된다.

소음원 2m 수음점 2m 위치의 경우 2.0~3.7dB, 소음원 2m, 수음점 1m 위치의 경우 3.6~1.3dB, 소음원 1m 수음점 2m의 경우 6.2~5.0dB, 소음원 1m 수음점 1m의 경우 5.3~3.8 dB의 효과가 확인되었다. 대체로 소음원이 간섭장치에 가까이 있을 때 효과가 좋은 것을 알 수 있었다. 측정 및 분석한 전체의 경우 간섭형 방음장치는 목적주파수 대역에



(a) 전체 주파수 대역 소음도



(b) 목적 주파수 대역 소음도

그림 17. 간섭형 방음장치 설치전후 삽입손실(소음원 1m, 수음위치 2m)

서 1.3~6.2dB의 효과가 있음을 시험을 통해 확인하였다. 특히 가시선보다 높은 위치인 높은 위치에서도 상당한 효과가 있었음을 알 수 있다. 총합소음도의 경우는 간섭장치에 의한 효과라기 보다는 간섭장치에 의한 경로차이로 고주파에서 얻어진 결과로 판단된다. 대체로 0.0~6.3dBA의 효과로 나타났다.

V. 결론

본 연구에서는 고속철도소음 저감용 기존 방음벽의 성능을 향상시키기 위한 간섭형 방음장치의 음향설계와 그 성능시험 결과를 나타내었다. 고속철도 소음저감용 방음벽은 저주파영역의 경우 그 효과가 미미함을 현장 시험결과를 통해 확인하였다. 일반 간섭형 방음장치의 경우 소음원 가까이 설치하는 경우 소음저감효과가 탁월함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한 실제 방음벽 상단에 설치하는 간섭형 방음장치를 음향해석을 통해 그 저감성능을 검토 한 후 시작품을 제작하여 무향실에서 성능을 시험한 결과 목적하는 주파수에서 양호한 저

표 4. 간섭형 방음장치 설치전후 삽입손실(소음원 2m, 수음위치 2m)

삽입손실	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7
목적주파수(dB)	3.7	3.7	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
총합소음도(dBA)	1.6	1.2	1.1	1.4	1.9	2.0	0.4

표 5. 간섭형 방음장치 설치전후 삽입손실(소음원 2m, 수음위치 1m)

삽입손실	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7
목적주파수(dB)	3.6	3.0	2.9	2.7	2.4	2.0	1.3
총합소음도(dBA)	1.4	1.5	2.0	2.6	1.2	0.1	0.0

표 6. 간섭형 방음장치 설치전후 삽입손실(소음원 1m, 수음위치 2m)

삽입손실	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7
목적주파수(dB)	6.2	6.4	6.3	5.9	5.5	5.1	5.0
총합소음도(dBA)	2.2	2.7	3.1	3.0	3.4	4.6	5.9

표 7. 간섭형 방음장치 설치전후 삽입손실(소음원 1m, 수음위치 1m)

삽입손실	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7
목적주파수(dB)	5.3	5.2	5.3	5.0	4.7	4.5	3.8
총합소음도(dBA)	3.0	3.7	4.1	5.1	6.3	5.5	1.4

감성능을 확인하였다. 이러한 간섭형 방음장치는 기존 방음벽 상단에 설치하여 저주파영역에 대한 차단효과를 향상시키거나 소음원에 근접하여 설치함으로써 그 효과를 극대화 할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- 강대준, 이재원, 구진회, 2007, 방음벽 상단의 소음 감소기 성능평가, 한국소음진동공학회 논문집, 17(12), 1139-1144.
- 김철환 외, 2007, 소음저감장치 효과분석 및 평가기준에 관한 연구, 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서.
- 김철환, 장태순, 강희만, 전기성, 김동준, 장서일, 2008, 방음벽 상단 소음저감장치의 성능평가 방법에 관한 연구(3) - 시험 및 평가방법의 제안, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, KSNVE08S-20-02.
- 김철환 외, 2010, 방음벽 상단 소음저감장치의 감음 성능 평가방법 연구, 한국소음진동공학회 논문집 20권 9호.
- 심상덕, 장강석, 김영찬, 김두훈, 조준호, 정우성, 2000, 철도연변의 방음시설의 소음측정 사례 보고, 한국소음진동공학회 창립10주년 기념 소음진동학술대회 논문집, 1350-1354.
- 장강석, 윤제원, 김영찬, 김두훈, 2001, 철도전파소음 저감을 위한 간섭장치의 성능평가, 한국철도학회추계학술대회 논문집, 192-197.
- 조준호, 고효인, 김홍섭, 2010, 방음벽 및 방음장치 특허 동향 분석, 한국철도학회 2010년도 춘계학술대회 논문집.
- 조준호, 김철환, 고효인, 김호진, 2011, 철도소음 저감용 상단장치 성능평가 방법 제안 연구, 한국환경영향평가학회 2011년 춘계학술발표대회 초록집, 175-176.
- 최준집, 2006, 도로소음 차단을 위한 방음벽 설치에 관한 연구, 서울산업대학교 산업대학원 석사학위 논문.
- 한국도로공사, 2004, 고속도로 방음벽 설치기준 개선 연구 보고서.
- 한국철도기술연구원, 2001, 철도소음 저감용 방음벽 상단 간섭장치의 성능평가 연구 보고서.
- 한국철도기술연구원, 2009, 고속화에 따른 소음진동 저감방안 연구 보고서.
- 환경부, 2009, 방음벽의 성능 및 설치기준, 환경부 고시(2009-221).
- 환경부 · 도로공사, 2009, 방음시설 성능 및 설치기준 마련 연구 보고서.
- 옥외방음벽의 삽입손실 측정(KS ISO 10847:2004)