철도소음 저감을 위한 간섭장치개발

°장강석, 심상덕, 김영찬, 김두훈

Interference Device for Noise Reduction of Railway

Kang-Seok Jang, Sang-Deok Sim, Young-Chan Kim, Doo-Hoon Kim

ABSTRACT

When visual intrusion is an important factor, it is desirable to find alternative methods of improving the insertion loss of a noise barrier without increasing the height. Therefore, the primary object of the work attenuate the noise due to railway by small interference device installed at noise barrier edge. In this paper the performance of noise barriers with attached interference device, in terms of shape, absorptive material and split panel, are examined using the boundary element approach. Also, the scale models are mounted in an anechoic chamber and the frequency of the sound sources are appropriately scaled to simulate full scale site conditions. Lastly, experimental measurements of the designs are executed for a range of frequencies and receiver positions, and are compared with the results of numerical modeling.

1. 서론

철도의 경우 소음원이 상당히 넓은 주파수영역을 갖고 있으며 선로환경, 열차, 지반 그리고 수음구조물 등 여러 가지 조건에 따라 각기 다른 양상으로 소음문제가 야기되고 있다. 이러한 소음문제 해결을 위해 여러 가지 방법을 사용해 왔고, 현재 ERRI(European Rail Research Institute) 에서 추진중인 철도소음저감 연구결과에서 레일패드 강성을 조절하여 5dB까지 소음저감을 이루었다고는 하나 일반적으로 가장 널리 이용되고 있는 방법은 소음전달 경로상에 대한 대책으로 주소음원인 선로와 수음점 사이의 소음을 저감시키는 방음시설물이 주로 이용되고 있다.

유니슨산업(주) 유니슨기술연구소

아직까지 국내에서는 방음시설의 재질별, 유형별 그리고 그 형태별로 그 특성이나 기대효과 등이 체계적으로 연구되어 있지 않은 실정이나 일반적으로 방음벽의 성능은 주파수별 투과손실과 흡음특성에 의해 좌우된다. 그러나 실제 선로 주변에 방음벽을 설치할 경우 방음벽의 성능은 방음벽의 높이 및 설치 길이에 따른 음의 회절에 의해 지배적으로 작용하며, 방음벽을 이용해서 일반적으로 제어할수 있는 소음수준은 5~10dB 내외로 알려져 있다. 한편 소음저감을 목적으로 방음벽을 철도연변에 설치할 경우, 철도 인접지역의 소음피해는 줄일수 있으나 인위적인 장애물의 설치로 주민들과 승객들이 조망권을 방해받고 또 심리적인 피해를 유발한다면 방음벽의 설치효과는 저감될 것이

다. 특히, 바람이나 철도운행에 따른 진동 등에 의해 방음벽이 파손되거나 구조물 낙하로 인근주민에게 위험요소가 되지않도록 안정성도 고려해야하며 방음벽은 자칫 단순하고 지루한 장해요소로 작용할수 있기 때문에 주변환경과 철도변에 어울리는 환경적인 면도 생각해야한다.

이러한 방음벽의 단점을 보안하기 위해 최근 널리 연구되고 있는 것이 방음벽과 병행사용할수 있는 간섭형 방음장치이다. 간섭형 방음장치는 주로 음이 회절되는 방음벽 상단에 설치하여 간섭장치를 통해나오는 음과 회절되는 음과의 상쇄효과를 이용하여 소음을 제어하는 방법이며 특정주파수를 효과적으로 제어할수 있는 장점이 있다. 그러나 오히려 역효과를 낼수 있는 주파수영역이 반드시 존재하게 되며 철도소음원의 경우 200~2000Hz 정도의 상당히 넓은 주파수대역을 갖고 있기 때문에 설계에 상당히 신경을 써야한다.

따라서, 본 연구에서는 기존 철도계측 자료를 바탕으로 열차별 소음원과 소음레벨에 대해 조사를 하고 상용화된 간섭장치에 대한 성능평가를 하였다. 이 성능평가결과를 바탕으로 간섭형 방음장치에 대한 초기 형상설계를 수행하였으며, 고안된 간섭장치의 설계변경을 통해 보다 단순하면서 좋은 성능을 갖는 간섭장치에 대한 연구를 하였다. 개발된 간섭장치의 제품개발 및 상용화를 위해 음향해석결과를 바탕으로 아크릴을 사용한 실물크기의 시제품을 제작하고 이 시제품에 대한 성능평가를 수행하였다.

2. 간섭형 방음장치

2.1 개발목적

대부분의 소음문제는 소음원 관점에서 제어하는 것이 가장 효율적인 방법이나 환경소음을 비롯한 교통소음의 경우 소음원 제어에는 한계가 있으므로 현실적으로 전달경로나 수음점 관점에서 방음대책을 세워야하는 경우도 많이 있다. 따라서 이러한 목적으로 이용되는 대표적인 방음대책 중 하나가 방음벽을 설치하는 것이나 고속전철 방음벽을 비롯하여 방음벽의 설치높이에 제약을 받는 경우, 원하는 소음수준을 만족시키려면 방음벽 외에 다른 방음설비를 필요로 한다. 또한 방음벽을 설치한 후 방음벽의 성능은 투과되는 음에 의한 영향보다는 방음벽 상단을 통한 음의 회절에 의한 영향을 가장 지배적으로 받게된다. 따라서 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 방음벽 상단에 음을 간섭시키는 장치를 설치하여 회절하는 음을 소멸시키는 방법에 관한 연구가 널리 진행되고 있으며 상품화되어 있는 제품도 여러 가지가 있다.

2.2 간섭장치 형상개발

새로운 간섭장치는 회절된 음이 입사되는 부분이 하나로 되어 있으며, 입사된 음의 출구 단 및 입사된 음을 지연시키기 위한 부분의 설계변경을 통해 성능개선 및 제어주파수를 변경하고자 하였다. 예측을 위한 음향해석에 이용된 재료두께는 3t로 균일화하였으며, 음이 입사되는 입구단 상부에 흡음재를 부착하여 간섭장치 상부로 회절되는 음의 크기를 부가적으로 저감시켰다. 형상변경을 단순화하고 특정 주파수제어를 하기 위한 연구를 수행하여 최종적인 형상을 결정하였다.

3 형상개발을 위한 음향해석

3.1 해석방법

현재, 가장 대표적으로 사용되고 있는 범용 소음예측프로그램은 SYSNOISE와 RAYNOISE가 있으나 RAYNOISE의 경우 Kurze-Anderson formula[7]을 이용하여 회절효과를 고려하고 있으나 이러한 해석방법은 방음벽 높이에 대한 영향은 고려할 수 있으나 방음벽 상단형상에 대한 영향은 계산하지 못하므로 간섭형 방음벽에 대한 해석을 수행하기에는 부적절하다. 따라서 새로 고안된 간섭장치의 성능예측을 위해 단순방음벽과 새로 고안된 간섭장치에 대한 성능평가해석을 SYSNOISE의 BEM Indirect Method를 이용하여 해석을 수행하였다. 물론 소음예측은 실제 대상인 3차원 형상모델을

이용하는 것이 가장 바람직하나 방음벽이 일정길이 이상 설치되어 측면으로 인한 회절영향이 적다고 가정하면 2차원 모델을 이용하여 해석하여도 해석결과에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 해석여건을 고려 2차원 모델을 이용하였으며, 소음원과 수음점은 반사영향을 최소화하여 간섭효과를 파악하기 위해 지면위를 설정하였다. 소음원은 방음벽에서 1.5m 떨어진 전면에 그리고 수음점은 방음벽 후단으로부터 0.5m 간격으로 4m까지로 하였다.

3.2. 국내철도 소음원 및 응답레벨

국내철도의 경우, 열차가 통과하면서 발생하는 소음원은 넓은 주파수영역을 갖고 있으며 경부선 및 호남선등 선로에 관계없이 유사한 경향을 보이고 있다. 그간 측정된 여러 자료를 평가한 결과, 근거리에서는 250Hz~2000Hz 영역내에서 지배적인 소음원이 존재하는 것을 알수 있었으며 거리가 30m 정도 이격된 지역에서는 250Hz~1000Hz 정도가 지배적인 소음영역으로 평가되었다. 한편, 소음 응답레벨은 대부분의 경우 선로에서 10m 떨어진 지점에서 83~88dB(A) 그리고 25m 떨어진 지점에서 75~82dB(A) 정도로 나타났다.

3.3 해석모델 및 주파수영역

해석모델은 새로 고안된 간섭장치와 비교평가를 위해 단순방음벽을 선정하였다. 해석모델의 높이는 실험과의 비교평가를 위해 실증실험 크기와 같은 조건을 설정하였으며, 자세한 조건은 실증실험에 나타내었다. 또한 성능평가 주파수영역은 철도소음의 관심주파수 영역인 100Hz, 250Hz, 500Hz, 800Hz, 1000Hz를 설정하였다.

3.4 음향해석결과

BEM을 통한 음향해석결과, 100Hz 영역에서는 성능저감 효과가 눈에 띄게 나타났으나 500Hz의 경우는 단순방음벽과 성능이 유사하게 나타났다. 800Hz부터 고주파영역으로 갈수록 단순방음벽에 비해 성능이 좋음이 확인되었으며(Fig.1~4), Split 변경을 통해 250Hz에서 간섭영역을 만들 수 있었다.(Fig.5)

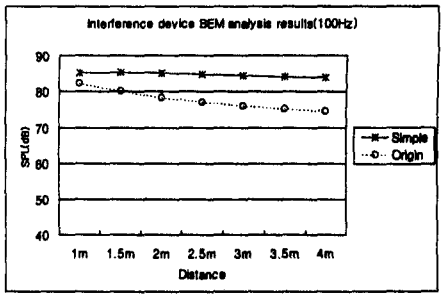

Fig.1 BEM 해석결과비교(100Hz)

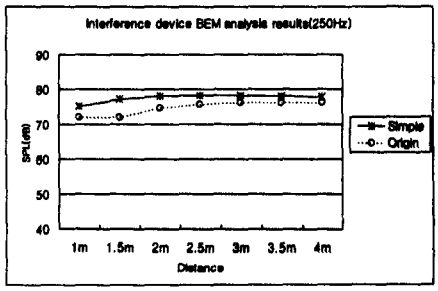

Fig.2 BEM 해석결과비교(250Hz)

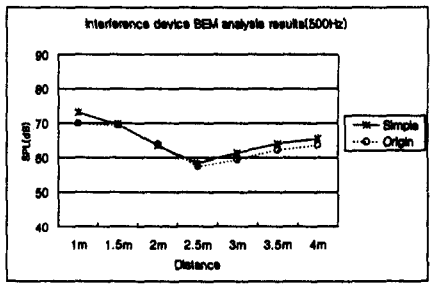

Fig.3 BEM 해석결과비교(500Hz)

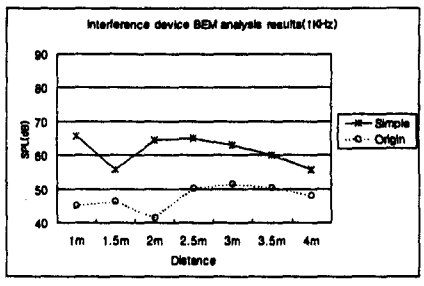

Fig.4 BEM 해석결과비교(1000Hz)

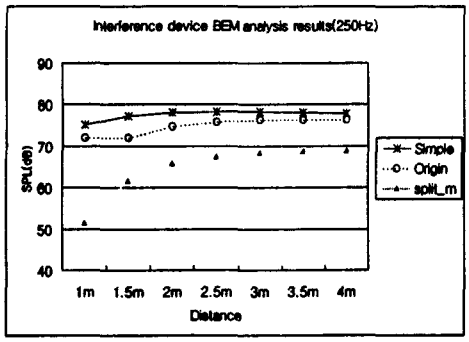

Fig.5 설계변경 후 해석결과비교(250Hz)

4. 시제품제작 및 성능평가

4.1 시제품제작

음향해석결과에 따라 설계된 간섭장치를 실물크기로 제작하였으며 제작된 간섭장치는 약 8t 두께의 아크릴을 사용하였다. 또한, 상단에는 회절되는 고주파영역의 소음을 감음시키기 위해 Saeslon을 사용하였다. 간섭장치 높이는 75cm이며 방음벽 상단으로 올라오는 높이는 약 30cm 이고 간섭장치 1개의 폭은 50cm 정도로 하였다. 시제품 제작에 이용된 간섭장치 모델은 Fig.6에 나타내었으며 비교성능평가를 수행하기 위해 간섭장치와 같은 높이를 갖는 방음판을 추가로 제작하였다.

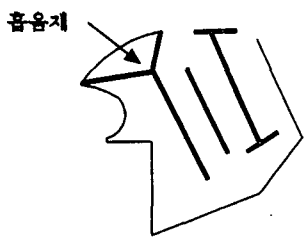

Fig.6 설계된 방음벽 간섭장치 형상

4.2 성능시험

성능시험은 한국표준과학연구원 반무향실에서 수행하였으며 간섭장치를 부착한 방음벽과 단순방음벽에 대해 성능평가를 하였다. 동일한 조건에서 성능평가를 수행하기 위해 높이 0.75m, 폭 4m로 모두 같게 하였으며, 소음원 위치 및 계측지점 등 모든 시험조건을 동일하게 설정하였다.

4.2.1 실험모델 및 시설

실험모델 및 실험실의 크기는 다음과 같다.

◎ 실험실
- Size: 4.5m(가로)*7.5m(세로)
- 반 무향실

◎ 실험모델

i) 간섭장치를 설치한 방음벽
- 0.5m*6(가로)*0.75m(높이)*0.1m(폭)
- 칼판 0.02m+방음판 0.4m+간섭장치 0.33m
- 0.5m*2(가로)*0.35m(높이): 간섭장치 설치 후 남는 가장자리에 설치

ii) 단순방음벽
- 3m(가로)*0.75m(높이)의 Wood box 나머지 조건은 동일

4.2.2 계측위치선정 및 실험방법

계측위치는 방음벽 후면 1m 지점부터 0.5m 간격으로 4m까지 측정하였으며, 높이는 0m, 0.5m, 0.75m, 1m 높이에서 측정하였으며, 자세한 계측지점은 Fig.7에 나타나 있다. 계측은 1/2인치 마이크로폰(B&K 4045), B&K 2035 Analyzer, 그리고 B&K 앰프를 사용하였다. 실험은 스피커로 White 소음을 발생시킨 후 마이크로폰을 이용하여 신호를측정하고 그 신호를 500번 평균하여 1/3 Octave band와 Narrow band 별로 Data를 저장하였다. 얻어진 자료는 새로 작성된 Interface program에 의해 분석되었고 그래픽 파일로 처리되었다.

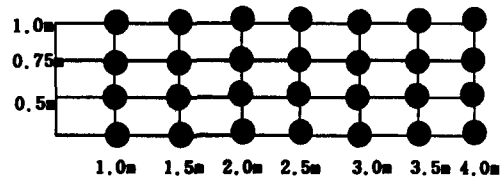

Fig.7 방음벽 간섭장치 성능평가를 위한 계측지점

4.3 성능시험결과

새로 고안된 간섭장치를 부착한 방음벽과 단순방음벽에 대해 반무향실에서 성능평가를 수행한 후 1/3 Octave band 별로 계측한 자료를 분석한 결과, 100Hz에서는 간섭장치의 성능저감이 확연히 눈에 띄었으나 160Hz 에서는 간섭장치를 이용할 경우 단순방음벽 보다도 방음효율이 더 저감되었다. 250Hz의 경우, 성능이 좋아졌으나 500Hz의 경우는 소음저감 성능이 단순방음벽과 유사하게 나타났다. 그러나 800Hz 이상의 고주파 영역에서는 간섭장치를 부착한 방음벽의 성능이 더 좋음을 확인 할 수 있었다. 전 주파수영역에 걸친 음압레벨을 평균한 Overall 음압레벨 크기는 간섭장치를 부착한 방음벽이 2-4dB 정도 소음저감 효과가 좋은 것으로 나타났다.

한편, 그간 측정된 철도계측자료를 분석한 결과 철도소음은 근거리에서 250Hz~2000Hz 영역 그리고 30m정도 이격된 지역에서는 250Hz~1250Hz에서 지배적인 소음원이 존재하는 것을 알 수 있었다. 따라서 성능평가 결과를 바탕으로 간섭장치의 성능을 예측해 보면, 단순방음벽 보다는 간섭장치를 사용했을 경우 소음저감 효과가 뛰어날 것으로 생각된다. 그러나, 고속전철이나 다른 교통소음에 적용하기 위해서는 소음원 중 가장 영향력이 큰 주파수에 적합하도록 Split을 이용하여 튜닝하여 적용해야 한다. 위 간섭장치의 성능시험결과는 Fig.8~Fig.12에 간략하게 나타내었다.

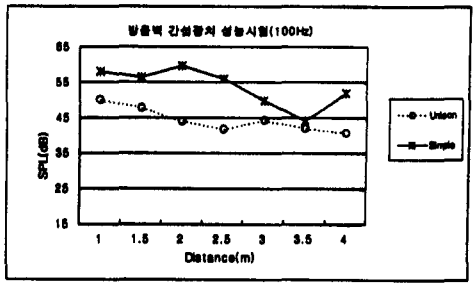

Fig.8 실증실험 결과비교(100Hz)

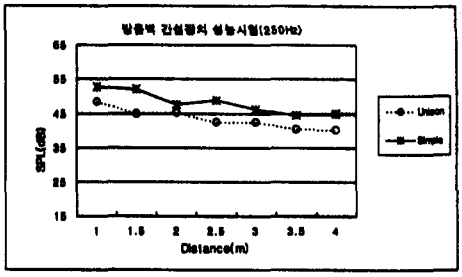

Fig.9 실증실험 결과비교(250Hz)

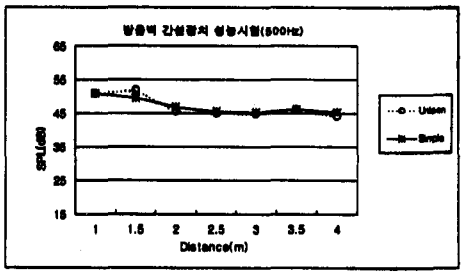

Fig.10 실증실험 결과비교(500Hz)

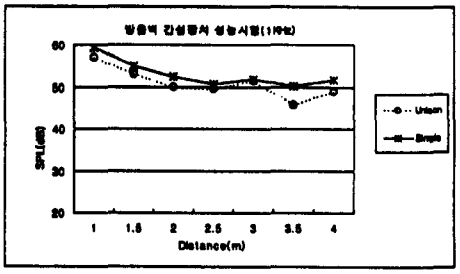

Fig.11 실증실험 결과비교(1000Hz)

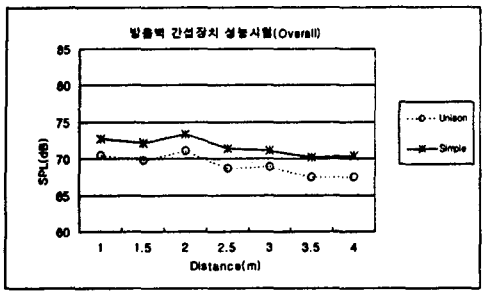

Fig.12 실증실험 결과비교(Overall)

5. 결론

◆ 간섭형 방음벽의 성능예측을 위해 개발된 간섭장치와 단순 방음벽에 대해 성능평가를 하였다. 간섭주파수 영역은 철도소음 관심주파수 영역을 기준으로 방음벽 상단에 간섭장치 설치하고 설치전/후의 소음 저감치를 이용 비교평가하기 위해 BEM 해석을 수행하였다.

◆ 실제 현장설치 모델을 이용한 성능예측 등 상세 해석/분석이 수행되어야 하나 현 PC version을 이용한 예측방법으로는 한계가 있는 실정이어서 2D BEM 음향해석 결과를 바탕으로 간섭장치를 설계하고, 반무향실에서 단순방음벽과 개발된 간섭장치에 대한 비교성능평가 시험을 수행하였다.

◆ 단순방음벽에 비해 간섭장치를 부착한 경우 주파수대역에 따라 3~10dB 정도의 소음저감효과를 나타냈으며, 철도소음의 대표 주파수영역이라 할 수 있는 200Hz~2kHz 주파수영역에서는 2.5~3.5dB(A) 정도의 소음저감효과가 있었다.

◆ Split의 설계변경을 통해 특정주파수를 제어할 수 있음을 2D BEM 해석을 통해 알 수 있었으며, 해석결과와 실험결과의 레벨차이에서는 오차가 있었으나 주파수대역 별 경향은 일정하게 나타남을 알 수 있었다.

◆ 추후, 개발된 간섭장치의 Split 및 흡음재료를 이용하여 특정 주파수제어를 위한 튜닝기법이 연구되어야 하며, 현장시험평가를 통한 정확한 성능평가가 이루어져야 한다.

참고문헌

(1) Kyoji Fujiwara, Naotuki Furuta, Sound Shielding Efficiency of a Barrier with a Cylinder at the Edge, Noise Control Engineering Journal, Vol. 37/ Number 1, 1991.

(2) Denis Duhamel, Philippe Sergent, Chonghue Hua, Measurement of Active Control Efficiency Around Noise Barrier, Applied Acoustics, Vol. 55, No. 3, 1998.

(3) Kyoji Fujiwara, David C. Hothersall, Chul-hwan Kim, Noise Barriers with Reactive Surfaces, Applied Acoustics, Vol. 53, No. 4, 1998.

(4) G. R. Watts, Acoustics Performance of an Interference-Type Nise-Barrier Profile, Applied Acoustics, Vol. 49, No. 1, 1996.

(5) T. Okubo, K. Fujiwara, Efficiency of a Noise Barrier on the Ground with an Acoustically Soft Cylindrical Edge, Journal of Sound and Vibration, Article No. sv981720, 1998

(6) Y.W. Lam, S.C. Roberts, A simple method for accurate prediction of finite barrier insertion loss, J. Acoust. Soc. Am. 93(3), March 1993.

(7) RAYNOISE Users Manual, Diffraction equation, Ch. 3.3.1.2