

교통소음제어를 위한 간섭형 방음장치 형상개발에 관한 연구

장강석; 심상덕; 김영찬; 김두훈

A study on the shape development of interference device for vehicle noise control

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 attenuates the noise due to transport vehicle 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

교통소음의 경우 소음원이 상당히 넓은 주파수영역에 걸쳐 있으며 도로환경, 차량, 지반, 전파경로 상 각종 장애물 그리고 수음구조물 여건 등 여러 가지 조건에 따라 각기 다른 양상으로 소음문제가 야기되고 있다. 이러한 교통소음문제를 해결하기 위한 방법으로 가장 널리 이용되는 방법은 소음전달 경로상에 대한 대책으로 소음원인 도로 및 선로 등과 수음점 사이의 소음을 저감시키는 방음시

설물이 주로 이용되고 있다. 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 선로나 도로 주변에 방음벽을 설치할 경우 수음점에서 느끼는 방음벽의 성능은 방음벽의 높이나 설치 길이에 따른 음의 회절이 의해 지배적인 인자로 작용하며, 방음벽을 이용해서 일반적으로 제어할수 있는 소음수준은 5~10dB 내외로 알려져 있다. 이러한 소음저감을 목적으로 방음벽을 도로 및 선로 주변에 설치할 경우, 인접지역의 소음피해는 저감할 수 있으나 인위적인 장애물의

* 유니슨산업(주) 기술연구소

설치로 주민들과 승객들이 조망권을 방해받고 또 심리적인 피해를 유발한다면 방음벽의 설치효과는 저감될 것이다. 특히, 바람이나 차량운동에 따른 진동 등에 의해 방음벽이 파손되거나 구조물이 떨어져 인근주민에게 위험요소가 되지 않게 안정성도 고려해야한다. 또한, 방음벽은 자칫 단순하고 지루한 장애요소로 작용할 수 있기 때문에 주변환경과 조화를 이루도록 환경적인 면도 생각해야한다.

위에서와 같은 방음벽의 단점을 보완하기 위해 최근 널리 연구되고 있는 것이 방음벽과 병행하여 사용할 수 있는 간섭형 방음장치이다. 간섭형 방음장치는 주로 음이 회절 되는 방음벽 상단에 설치하여 간섭장치를 통해 나오는 음과 회절 되는 음 사이의 소멸간섭효과를 이용하여 소음을 제어하는 방법이며 특정주파수를 효과적으로 제어할 수 있는 장점이 있다. 그러나 보강간섭이 일어나는 주파수 영역에서는 오히려 역효과를 낼 수 있는 주파수영역이 반드시 존재하게 되며 교통소음원의 경우 상당히 넓은 주파수대역을 갖고 있기 때문에 설계에 상당히 신경을 써야한다.

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 간

섭시키는 장치를 설치하여 회절하는 음을 소멸시키는 방법에 관한 연구가 널리 진행되고 있으며 상품화되어 있는 제품도 여러 가지가 있으며, 이러한 간섭장치의 상단형상은 일본 Fujiwara^(1,2,3)에 의해 많은 연구 및 실험이 이루어졌다.

2.2 간섭장치 형상개발

본 연구에서 개발된 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 재료 두께는 3t로 균일화하였으며, 음이 입사되는 입구 단 상부에 흡음재를 부착하여 간섭장치 상부로 회절되는 음의 크기를 부가적으로 저감시켰다. 형상변경을 단순화하고 특정 주파수제어를 하기 위한 연구를 수행 최종적인 형상을 결정하였다.

3 형상개발을 위한 음향해석

3.1 해석방법

현재, 가장 방음벽의 성능예측 및 평가를 위해 Kurze-Anderson⁽⁴⁾ 의 Fresnel수에 따라 실험에서 얻은 경험식, Maekawa⁽⁵⁾ 그리고 Lam⁽⁶⁾ 등의 식이 유용하게 사용된다. 그러나 이러한 예측방법은 방음벽 높이에 의한 영향은 고려할 수 있으나, 방음벽 간섭장치와 같은 기하적으로 복잡한 형상을 갖는 구조물의 경우는 이러한 식으로 예측하기가 불가능하다. 따라서 새로 고안된 간섭장치의 성능예측을 위해 단순방음벽과 새로 고안된 간섭장치에 대한 성능평가해석을 SYSNOISE의 BEM Indirect Method⁽⁷⁾를 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 4m 까지로 하였다.

3.2 해석모델 및 주파수영역

해석모델은 새로 고안된 간섭장치 그리고 비교평가를 위한 단순방음벽을 선정하였으며, 해석모델의 높이는 실험과의 비교평가를 위해 실증실험 크기와 같은 조건을 설정하였다. 간섭장치의 간섭주파수는 소음원의 특성에 따라 제어되어야 하나, 본 연구에서는 고속전철 주파수영역 중 문제시 되는 저주파영역인 125Hz에 관심을 두고 형상설계를 하였으며, $\frac{1}{2}$, λ 인 주파수는 보강간섭으로 인해 소음레벨이 다소 증가하는 영향이 있다.

3.4 음향해석결과

음향해석결과, 간섭장치를 상단에 설치한 경우와 단순방음벽의 성능비교결과를 Fig. 1~4 에 나타내었다. Fig. 1에서 소멸간섭을 주파수인 125Hz에서 성능저감 효과가 눈에 띄게 나타났으며, 보강간섭 영역인 250Hz나 500Hz의 경우 단순방음벽과 성능이 유사하거나 성능저감효과가 눈에 띄게 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한, 설계변경을 통해 Split의 길이변경을 통해 250Hz에서 Fig. 4와 같은 새로운 소멸간섭영역을 만들 수 있음을 확인하였다.(Fig.4)

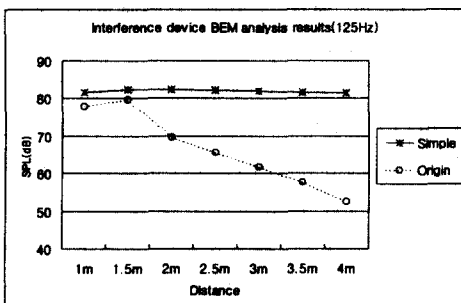


Fig. 1 BEM 해석결과비교(125Hz)

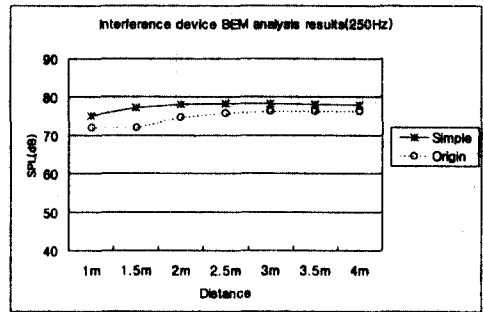


Fig. 2 BEM 해석결과비교(250Hz)

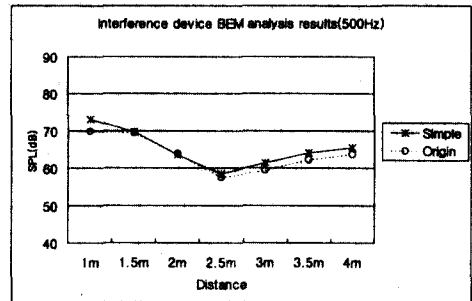


Fig. 3 BEM 해석결과비교(500Hz)

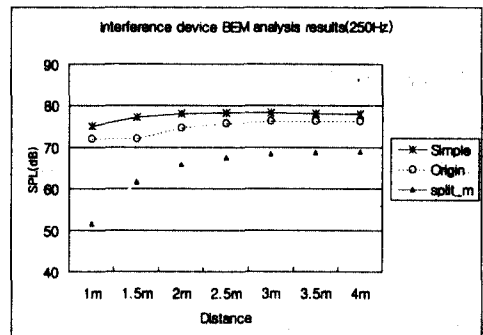


Fig. 4 설계변경 후 해석결과비교(250Hz)

4. 시제품제작 및 성능평가

4.1 시제품제작

음향해석결과에 따라 설계된 간섭장치를 실물크기로 제작하였으며 제작된 간섭장치는 약 8t 두께

의 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. 5에 나타내었으며 비교 성능평가를 수행하기 위해 간섭장치와 같은 높이를 갖는 방음판을 추가로 제작하였다.

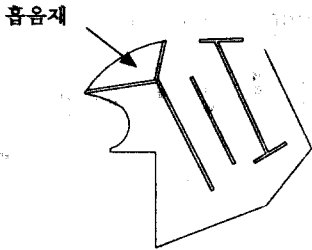


Fig. 5 설계된 방음벽 간섭장치 형상

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)

- 깔판 0.02m+방음판 0.4m+간섭장치 0.33m
- 0.5m*2(가로)*0.35m(높이): 간섭장치 설치 후 남은 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. 6에 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 신호를 측정하고 그 신호를 500번 평균하여 1/3 Octave band와 Narrow band 별로 Data를 저장하였다. 얻어진 자료는 새로 작성된 Interface program에 의해 분석되었고 그래픽 파일로 처리되었다.

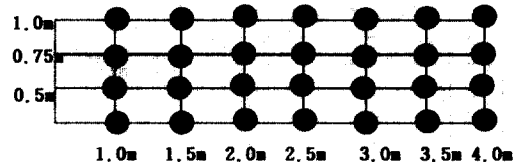


Fig. 6 방음벽 간섭장치 성능평가를 위한 계측지점

4.3 성능시험결과

새로 고안된 간섭장치를 부착한 방음벽과 단순방음벽에 대해 반무향실에서 성능평가를 수행한 후 관심주파수인 125Hz, 250Hz, 그리고 500Hz의 계측 자료를 분석한 결과, 125Hz에서는 간섭장치의 성능저감이 확연히 눈에 띄었으나 500Hz에서는 간섭장치를 이용할 경우 단순방음벽 보다도 방음효율이 더 저감됨이 확인되었다. 250Hz의 경우, 보강 간섭 영역임에도 불구하고 단순방음벽 보다 성능

이 좋게 나타난 것은 방음벽 상부 Edge의 폭이 증폭된 효과에 기인한 것으로 사려된다. 이러한 실험 결과는 Fig. 7~9에 나타나 있으며, 해석과 유사한 경향을 갖는 것을 알 수 있다. 해석결과와 실험결과를 비교해 보면 거리에 따른 음압레벨이 다소 다른 양상을 나타내고 있다. 이러한 이유는 BEM 해석이 2차원인데 비해 실제 실험은 3차원이기 때문이며, 음원의 지향성에도 관계되는 것으로 판단된다. 음원의 지향성을 해석에서 고려할 수 있는 부분은 검증 및 연구가 조금 더 수행해야 할 필요가 있는 분야이다. 한편 1/3 Octave band 실험 자료를 분석한 결과, 간섭장치를 부착할 경우 단순방음벽에 비해 Overall 음압레벨이 약 3~4dB(A) 정도 작은 것으로 나타났으며, 이것은 바닥 면에서만 아니라 높이 별로도 유사한 저감효과를 보였다.(Fig. 10~13)

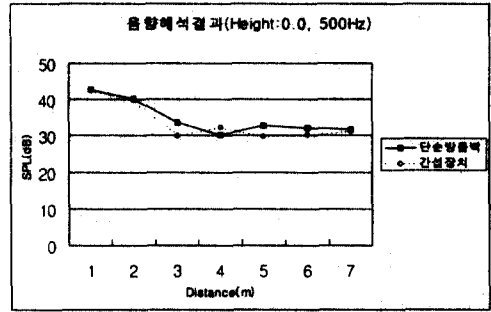


Fig. 9 실증실험 결과비교(500Hz)

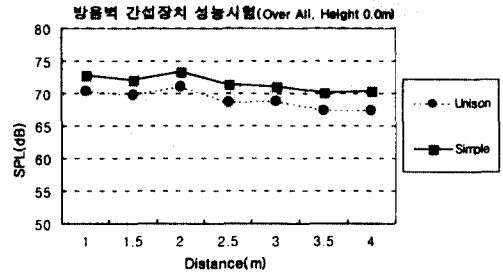


Fig. 10 실증실험 결과비교(Overall, H:0.0m)

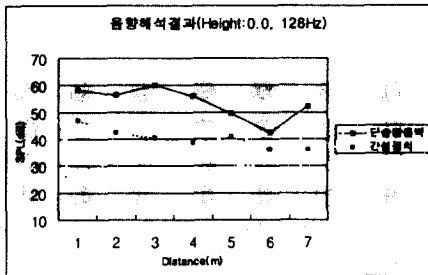


Fig. 7 실증실험 결과비교(128Hz)

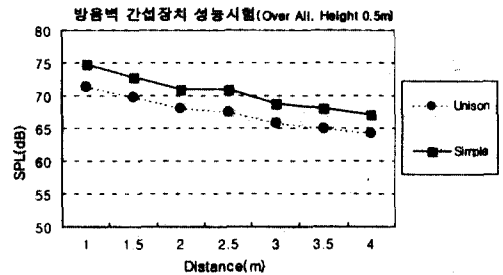


Fig. 11 실증실험 결과비교(Overall, H:0.5m)

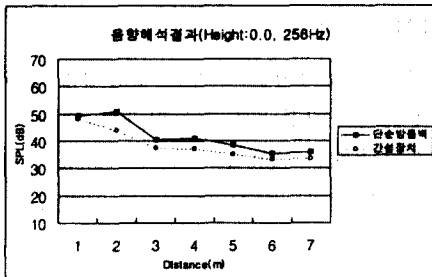


Fig. 8 실증실험 결과비교(256Hz)

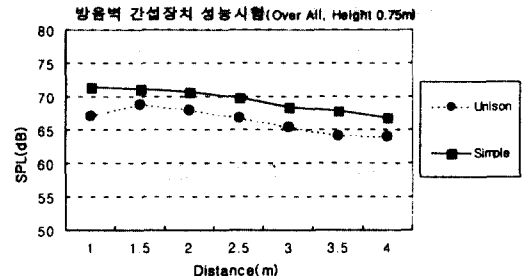


Fig. 12 실증실험 결과비교(Overall, H:0.75m)

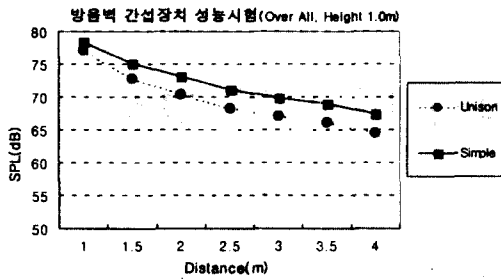


Fig. 13 실증시험 결과비교(Overall, H:1.0m)

5. 결론

◆ 실제 현장설치 된 모델을 이용, 성능예측 및 상세 해석/분석이 수행되어야 하나, 현 PC version 을 이용한 예측방법으로는 한계가 있는 실정인에서 2D BEM 음향해석을 이용하여 간섭장치를 형상 설계하였다.

◆ 간섭되어 음이 상쇄되는 1차 주파수는 125Hz를 설정하였으며, 간섭장치의 성능을 평가하기 위해 방음벽 상단에 간섭장치 설치 전/후의 음압레벨을 음향해석을 통해 예측하였다. 또한, 해석결과를 검증하기 위해 반 무향실에서 실증시험을 수행하였다.

◆ 해석 및 실험결과가 유사한 경향을 갖는 것을 알 수 있었으며, 간섭주파수인 125Hz에서 눈에 띄게 음압레벨이 저감되는 반면 500Hz 에서는 보강 간섭이 일어나는 것을 알 수 있었다. 또한, Overall 값은 3~4dB 정도의 소음저감효과를 나타냈으며, 높이 별로도 비슷한 정도의 소음저감효과가 있었음을 알 수 있었다.

◆ Split의 설계변경을 통해 특정주파수를 제어할 수 있음을 2D BEM 해석을 통해 알 수 있었으나, 음의 지향성에 기인한 거리에 따른 해석과 실험의 오차는 신중하게 검증될 필요가 있음을 확인하였다.

◆ 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) Kyoji Fujiwara, David C. Hothersall, Chul-hwan Kim, Noise Barriers with Reactive Surfaces, Applied Acoustics, Vol. 53, No. 4, 1998.
- (3) 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
- (4) RAYNOISE Users Manual, Diffraction equation, Ch. 3.3.1.2
- (5) 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.
- (6) Z. Maekawa, Noise Reduction by Screens, Appl. Acoust. Vol. 1, pp. 157~173, 1968.
- (7) SYSNOISE Rev. 5.3 LMS/NIT, Belgium, 1996