

도로교통소음저감을 위한 간섭장치 주파수특성에 관한 연구

。 장강석; 윤제원; 김영찬*, 김두훈**

The study of frequency characteristic of Interference Device on the noise barrier edge for reduction of Traffic noise

ABSTRACT

We have made known the study of shape development of interference device for vehicle noise control. It's primary object greatly attenuate the noise due to transport vehicle by small products installed on the noise barrier edge. Also, it is able to improve the insertion loss of a noise barrier without increasing the height. The present time, we set up a newly manufactured products on the noise barrier edge and testify to it's the performance make use of an experiment and evaluation for the reduction of highway traffic noise. In this paper the frequency characteristic of interference device of noise barriers with attached newly developed products in terms of shape, absorptive material and split panel, are examined using field test at highway.

1. 서론

일반적인 도로교통소음은 1000Hz를 기준으로 500~2000Hz의 광범위한 주파수 영역을 가지고 있으며, 경우에 따라서는 특정주파수대역이 문제가 되는 경우도 종종 발생하고 있다. 이러한 소음저감을 위해 방음대책을 수립할 때, 지금까지는 단순한 회절이론식만을 이용하여 방음설계를 수행하여왔다. 그러나 단순한 회절이론식¹⁾²⁾을 이용한 방음대책

은, 과거에 비해 교통량, 차량종류, 운행속도 및 소음발생환경(고가 및 터널 등)이 다양한 특성을 갖는 최근에는 많은 한계점을 노출시키게 되었다. 특히 500Hz 주파수대역의 다소 낮은 주파수성분이 문제가 되는 경우 우, 단순히 방음벽의 높이만을 이용한 방음대책을 수립하는 것은 불합리할 경우가 있다. 따라서 보다 효율적인 방음대책을 수립하기 위한 방안으로는 충분한 측정자료를 바탕으로 정확한 소음원 예측 및 신뢰성 있는 프로그램을 이용한 주파수대역별 소음특성을 고려하여 소음저감방안을 수립하는 것이 보다 타당성 있는 방법일 것이다. 한편

* 유니슨 기술연구소 선임연구원

** 유니슨 기술연구소 책임연구원

*** 유니슨 기술연구소 연구소장

보다 엄격해지는 환경소음 기준이나 주민들이 갖는 심리적인 요소 등을 고려할 때, 기존 방음시설물과 병행하여 소음을 저감시킬 수 있는 기술개발이 시급히 요구되고 있다. 현재까지 방음시설물과 병행하여 적용이 가능한 국외의 소음저감장치로는 몇몇 제품들이 있으나, 특정주파수 제어나 설치환경에 따른 특성을 고려한 제어기법이 적용된 사례가 알려진 바가 드물다. 본 연구는 수년간 기존 방음벽의 단점보완, 성능개선, 그리고 주변 환경에 적합한 제어기법 등에 대한 복합적인 시스템개발에 관한 연구를 지속적으로 수행하여왔다. 또한 풍부한 현장경험과 측정 및 분석자료 등을 토대로 방음벽 성능향상기법에 대한 음향해석방법 및 주파수특성에 따른 설계기술을 확보하였으며, 새로운 소음저감기법 적용장치의 형상개발과 현장 성능평가를 이미 수행한 바 있다.^{3~5)} 본 연구에서는 이러한 소음저감기법을 도로교통소음에 적용하여 일반방음벽으로는 제어하기 어려운 가시선상부의 소음을 효율적으로 저감함으로써, 방음벽의 설계높이를 낮출 수 있음을 고속도로연변의 현장성능평가를 통하여 입증하였다. 또한 소음저감기법 적용단계별 성능평가를 수행하여, BEM 및 Ray Method를 이용한 음향예측기법의 타당성을 검증하였다.

2. 가시선상부의 소음저감기법

최근 도로교통 소음 중 단순한 방음벽만으로는 소음저감이 어려운 지역이 많이 발생하고 있는데, 대부분의 경우 도로보다 수음지점이 상당히 높은 곳에서 발생하고 있다. 그러나 일반방음벽은 소음원과 수음지점을 잇는 가시선 아래의 소음저감만 가능하므로, 높은 수음지점이 존재할 경우 방음벽이 한없이 높아져야한다. 이러한 문제해결을 위한 유일한 방법은 가시선상부의 소음을 제어할 수 있

는 기법이다. 본 연구에 의해 개발된 소음저감기법은 일반방음벽의 단점인 낮은 주파수대역의 소음을 음의 간섭을 이용해 음에너지를 크게 저감시킬 뿐 아니라, 방음벽 후면 가시선상부에 소음저감영역을 형성하여 가시선보다 높은 수음위치의 소음을 효과적으로 제어할 수 있는 특징이 있다. 또한 소멸간섭과 상충되지 않도록 특정회절부에 음에너지를 집중시키도록 형상설계를 하고, 그 부위에 고주파 흡음에 적합한 소재를 설치하여 방음벽보다 낮은 지점에서의 방음성능도 크게 향상시켰다. 이러한 소음저감기법은 신규방음벽 뿐만 아니라 기존방음벽에도 적용할 수 있도록 개발되었으며, 폭넓은 주파수대역을 갖는 교통소음을 가장 이상적으로 저감할 수 있도록 하였다. 무엇보다도 특정주파수 및 감음영역 튜닝/적용기술로 개발된 소음저감기법이 적용되면, 기존 기술로는 어려웠던 방음벽보다 높은 위치의 소음을 크게 저감시킬 수 있어 방음벽의 높이를 크게 낮추어 설계를 해도 된다.

3 측정/분석 시스템

3.1 측정규격

소음측정은 ISO 10847:1997(E) "In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types" 및 소음공정 시험방법에 준하였다.

3.2 측정 및 분석방법

1) 측정 및 분석장비

- ① Sound Level Calibrator: Rion NC-72
- ② Real Time FFT Analyzer: LD2900(2Ch)
- ③ Free Amp (2 EA): Larson & Davis PRM 902
- ④ 1/2 Microphone: Larson & Davis Model 2559
- ⑤ Meteorological Equipment: Testo 425
- ⑥ Etc. Windscreen, Tri_pod, Distance Equip.

2) 측정 및 분석방법

- ① 도로교통소음을 대상소음으로 비교적 차량 통행량이 많은 금요일에 측정(PM 4:00~5:00)을 수행하였으며, 측정지점은 소음도가 가장 심한 수

음지점을 선정하였다.

② 소음측정방법은 각 측정위치 별 발생소음을 1/3 Octave 밴드별로 400초 동안 연속하여 기록/측정하였으며, 일반적인 측정방법 및 기준은 소음진동 공정시험방법에 준하였다.

③ 현장에서 분석기를 이용한 간략적인 자료확인을 통해 측정할 때 발생하는 오류를 최소화하였으며, 한 수음지점에서 2회 이상 측정하여 그 소음레벨을 평균하였다.

④ Larson & Davis 2900을 통해 1/3 Octave 밴드별로 측정된 자료는 ASCII 파일로 처리하여 그래픽으로 나타내었다.

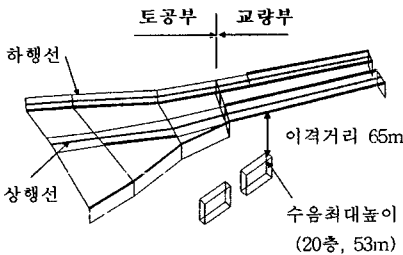
⑤ 기존방음시설, 일반방음시설물 시공 후, 그리고 소음저감기법 적용 후에 대해 각각 측정을 수행하였다.

4. 음향예측 및 현장성능평가

4.1 발생소음특성 및 음향예측

4.1.1 발생소음특성

성능평가는 <그림 1>과 같이 토공부와 교량부가 연결되는 I.C 인근의 20층 고층아파트에서 수행하였으며, 2m 방음벽이 설치된 상태에서 수음지점의 가시선의 높이는 39m(15층) 이었다. 도로의 폭이 60m 정도로 상당히 넓은 소음발생원을 갖고 있었으며, 교량하부의 구조상 과도한 높이의 방음벽 설치는 불가하였다. 따라서 이지역의 방음성능을 향상시키기 위한 유일한 방법은 가시선상부의 소음을 낮출 수 있는 새로운 기법을 적용하는 것일 것이다.



<그림 1> 현장적용 성능평가를 현장위치도

새로운 방음기법 적용을 위해 보다 정확한 소음도를 파악하고자, 수차레에 걸쳐 같은 계측위치, 요일 그리고 동일한 시간대에 현장측정을 수행하였다. 측정 도중 특이소음(경적, 항공기 등)이 발생한 자료와 측정 후 주파수분석을 통해 양호하지 못한 자료는 폐기하였으며, 한번 계측 시 2회 이상 반복 측정하여 음압레벨변동이 없음을 확인한 후 측정을 수행하였다. 물론 기준점을 두어 측정값을 보정하는 방법이 보다 타당하나, 현 지역의 경우 소음발생환경 및 도로형태가 복잡해 이러한 방법을 이용하기가 어렵고 실용성도 떨어져 기준점을 둔 측정방법은 배제하였다. 반면, 이러한 영향을 최소화하기위해 교통량이 비슷한 동일요일과 동일시간대에 측정을 하였다. 수차레에 걸친 현장측정 결과, 가시선상부 중 가장 높은 수음지점인 20층에서의 소음레벨은 74.9dB(A)로 나타났고, 각 층별 소음레벨은 <표 1>에 나타내었다.

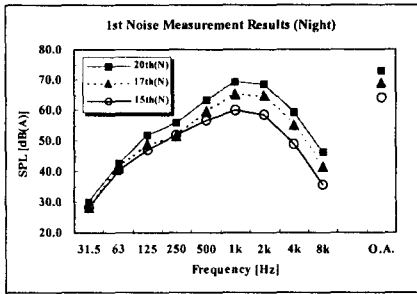
<표 1> 소음원 특성파악을 위한 중간측정 결과
Unit:Leq dB(A)

구분	20층	17층	15층
평균	74.9	71.1	66.7

4.1.2 주파수대역 별 소음특성

측정한 자료를 주파수대역 별로 분석한 결과, 현 측정지역의 발생소음특성은 1kHz를 중심으로 500Hz~2000Hz 사이에 지배주파수 영역이 존재하는 전형적인 도로소음특성을 나타내고 있었다. 물론 이 주파수대역의 소음을 저감하는 것이 중요하고 우선적으로 수행되어야 한다. 그러나 현 지역의 경우 250Hz 대역의 소음도 55dB를 초과하고 있고, 일반방음벽이 낮은 주파수에 대해 효용성이 떨어짐을 감안하면 방음대책을 수립하는데 있어서 다소 신중을 기해야 할 것이다. 수음지점 높이별 자

주파수특성은 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 2> 측정지역의 주파수대역별 특성

4.2 설치 전 성능예측

본 과제의 소음예측/평가에서는 보다 실제적인 방음벽 설치환경을 고려하기 위해, 일반방음벽과 소음저감기법 적용 후에 대해 BEM해석을 수행하였다. 또한, ISO 및 Kurse & Anderson 식 등 회절이론식을 바탕으로 한 RAYNOISE 해석을 수행하여, 상호비교를 통해서 소음예측/평가의 신뢰성을 향상시켰다. 간접효과를 보기위한 음향해석은 BEM 코드로 타당성을 인정받는 SYSNOISE를 이용하였으며, 음향예측은 아래와 같은 절차에 의해 이루어졌다.

- ① 기존자료 및 현장계측을 통한 발생소음도 현황 파악 및 주파수특성분석
- ② BEM 음향해석 및 회절이론식을 이용한 방음시설 설치 전/후의 소음예측
- ③ 설치 전/후 현장계측을 통한 비교평가

4.2.1 일반방음벽에 대한 성능예측

일반방음벽을 이용한 방음시공 전/후의 소음예측을 3D 음선법을 이용하여 음향해석을 수행하였다. 신설구간 방음벽 및 기존 설치된 방음벽의 높이를 현재 3m에서 4m, 5.5m, 7m로 증가시켜가며 소음특성을 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 설치 전/후에 대한 소음예측을 하였다. 자세한 소음예측결과는 <표 2>에 상세히 나타내었다.

<표 2> 일반방음시설 설치 후 음향예측결과

		Unit:Leq dB(A)				
방음벽 높이	주파수	3m		4m	5.5m	7.0m
		측정	해석			
250		61.4	61.9	59.2	58.2	57.0
500		67.4	67.3	64.2	63.1	61.8
1k		71.2	71.1	68.4	67.4	66.1
2k		69.7	69.6	66.3	65.3	63.8
4k		60.8	62.6	59.0	58.0	56.5
OverAll		74.9	74.9	71.9	70.9	69.6

4.2.2 소음저감기법에 대한 성능예측

일반방음벽의 성능개선을 위한 방법들 중, 최근 적용되어 효과가 검증된 방법은 방음벽상단에 소음을 추가적으로 저감 시킬 수 있는 장치를 설치하는 것이나, 대부분의 경우 가시선 아래 수음영역에서 설치효과가 있는 것으로 나타나 가시선 상부에서는 설치효과가 거의 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 BEM 음향해석을 근간으로 주파수튜닝 기법이 적용된 새로운 소음저감기법을 방음벽상단에 적용하고 음향예측을 수행한 결과; 소음이 가장 심한 20층(가시선상부)에서 4m 방음벽(71.1dB(A))에 소음저감기법 적용 시, 7m 방음벽(69.6 dB(A))과 비슷한 방음성능(69.7dB(A))을 나타냈다. 본 연구에서는 방음벽상단 소음저감기법을 4m 방음벽에 상부에 적용했을 경우를 대상으로 일반방음벽(높이별)과의 성능을 비교평가 하였으며, 자세한 해석결과는 <표 3>에 나타내었다.

<표 3> 소음저감기법 적용 후의 음향예측결과

		Unit:Leq dB(A)				
방음벽 높이	주파수	3m	4m	4m (기법적용)	5.5m	7.0m
		125		54.4	52.7	56.2
250		61.4	59.2	54.1	58.2	57
500		67.4	64.2	59.9	63.1	61.8
1k		71.2	68.4	66.4	67.4	66.1
2k		69.7	66.3	64.2	65.3	63.8
4k		60.8	59.0	58.0	58.0	56.5
OverAll		74.9	71.9	69.7	70.9	69.6

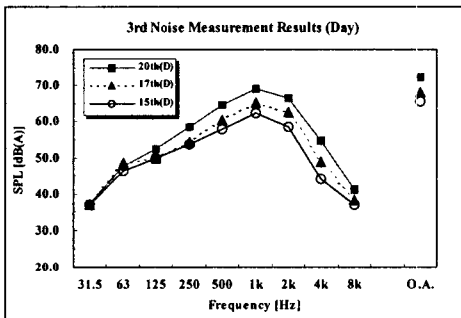
4.3 설치 후 현장측정

4.3.1 일반방음벽 시공 후 현장측정

현장측정결과 가장 높은 20층, 가시선상부에서 72.3dB(A)의 소음레벨을 나타냈으며, 방음시설 전과 비교하여 2.6dB 소음이 줄었다. 한편, 20층 이하에서는 소음감쇠효과가 다소 낮아 1.3dB~1.7dB 소음이 저감되었다. 하행선 구간의 방음벽신설(L: 200m, H: 4m) 및 기존 방음벽의 높이를 1m 증가시키고, 예측한 2.6dB와 일치함을 알 수 있다. 한편, 저층에서도 측정과 예측의 오차가 1dB 미만으로 나타나 시공 후 방음성능이 의도한 바와 같음을 알 수 있었다. 주파수별 특성은 소음원 측정결과와 큰 차이가 없이 나타났으며, 1kHz를 기준으로 500Hz~2kHz에 지배적인 소음영역이 존재했다. 상세한 각 층별 현장측정결과와 주파수대역별 소음특성은 <표 4>와 <그림 3>에 나타내었다.

<표 4> 일반방음벽 설치 후의 현장측정결과

Unit:Leq dB(A)			
구분	20층	17층	15층
소음레벨	72.3	68.3	65.4



<그림 3> 일반방음벽 시공 후 측정결과

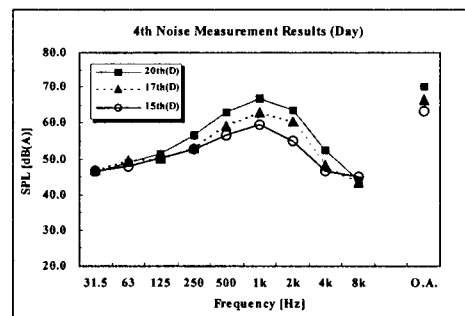
4.3.2 소음저감기법 적용 후 현장측정

방음벽상단에 소음저감기법을 적용하고 측정한 결과, 20층 수음지점의 음압레벨이 70.0dB(A)로 나타났다. 이와 같은 소음레벨은 방음시설 전과 비교하여 4.9dB 소음이 저감되었고, 저층인 15층에서는

3.6dB 정도 소음이 줄었다. 한편 일반방음벽 설치 후와 비교하면 20층 2.3dB, 17층 3.0dB, 그리고 15층에서 2.2dB 정도 삽입손실이 발생했다. 음향예측결과와 비교하면 소음도가 가장 심한 20층에서는 0.1dB, 저층에서는 0.3~2.5dB 정도 차이를 보였다. 그러나 저층의 경우 아파트단지 내의 하부소음 영향이 다소 큰 것으로 판단되며 주간이 야간보다 큰 차이를 나타냈다. 한편, 주파수대역별 소음특성은 250Hz~2kHz 주파수대역의 소음이 크게 저감되었다. 측정결과 소음저감기법을 적용하면 도로소음의 주요 주파수대역의 소음을 효율적으로 제어할 수 있어 큰 소음저감효과를 나타냈으며, 각 층별 현장측정결과와 주파수대역별 특성은 <표 5>와 <그림 4>에 나타내었다.

<표 5> 소음저감기법 적용 후 현장측정결과

Unit:Leq dB(A)			
구분	20층	17층	15층
주간	70.0	66.5	63.4



<그림 4> 소음저감기법 적용 후 측정결과

5. 주파수대역 별 성능평가

5.1 일반방음벽 시공 후 성능평가

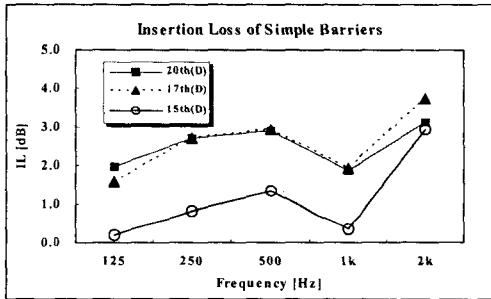
일반방음벽 시공 전/후의 성능평가를 위해 소음원 측정자료와 일반방음벽 시공 후 측정자료를 비교/분석한 결과, 소음도가 가장 심한 20층에서 주간 2.6dB 그리고 야간 2.5dB 정도 소음이 감소했으며 17층 및 15층에서는 다소 낮은 소음감쇠를

나타냈다.

<표 6> 일반방음벽 시공 전/후 삽입손실비교
(Unit: dB)

구분	20층	17층	15층
삽입손실	2.6	2.8	1.3

일반방음벽 시공 후 주파수대역 별 감쇠특성은 500Hz에서 고주파영역으로 갈수록 소음감쇠효과가 크게 나타났으며, 4kHz 주파수대역의 소음이 가장 크게 감소된 것으로 나타났다.



<그림 4> 주파수대역 별 삽입손실 비교

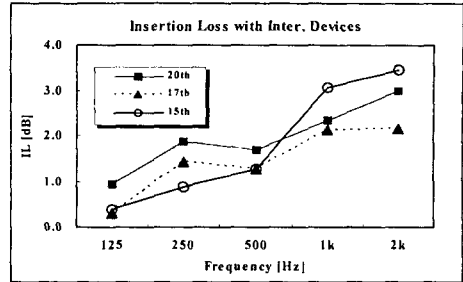
5.2 소음저감기법 적용 후 성능평가

소음저감기법 적용 전/후의 성능을 비교/분석한 결과, 소음도가 가장 큰 20층에서 적용 전보다 2.3 dB 삽입손실이 발생했으며, 방음시공 전과 비교하면 20층 수음지점에서 4.9dB정도 소음이 줄었다.

<표 7> 소음저감장치 시공 전/후 삽입손실비교
(Unit: dB)

구분	20층	17층	15층
삽입손실	2.3	1.8	2.0

주파수대역별 특성은 음의 간섭으로 인해 다소 다른 양상으로 나타났으며, 자세한 주파수대역 별 특성은 <그림 5>에 나타내었다.



<그림 5> 주파수대역 별 삽입손실 비교

6. 결론

- 1) 음향예측(BEM, 음선법) 등을 이용해 소음을 최소화하기 위한 가장 합리적인 방음대책 수립방안을 제시하였다.
- 2) 높은 수음지점(가시선상부)의 소음을 줄이기 위한 소음저감기법 개발 및 다양한 음향해석을 통해 방음시설물별 적용 후의 성능을 예측하였다.
- 3) 성능예측의 타당성 검증에 위해 방음시설물 설치 단계별 현장측정을 수행해 음향해석결과와 상호 비교/평가 하였다.
- 4) 기존방음시설의 한계인 가시선상부의 소음을 저감하는 기법의 효용성을 현장성능평가를 통해 검증하였다.
- 5) 현 지역과 같은 경우 소음을 1dB 낮추기 위해서는 방음벽의 높이를 1m 정도 높여야 하는 것을 감안하면, 소음저감기법이 적용되면 방음벽의 높이를 낮출 수 있음이 입증되었다.

참고문헌

- (1) "방음시설의 구조 및 설치기준 제정을 위한 연구", 한국환경과학연구협의회, 1994
- (2) "방음벽의 성능 및 설치기준", 환경부, 1999
- (3) 장강석 외 3인, 철도소음 저감을 위한 간섭장치개발, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.537-542, 2000.
- (4) 장강석 외 3인, 교통소음제어를 위한 간섭형 방음장치 형상개발에 관한 연구, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1778-1783, 2000.
- (5) 김두훈 외 2인, 교통소음제어를 위한 간섭형 방음장치 개발연구, 대한전문건설협회 철물공사 기술자료집, pp.108-121, 9. 2000.