

철도연변 방음시설의 소음측정 사례보고

°심상덕*, 장강석*, 김영찬*, 김두훈*, 조준호**, 정우성**

The Report on the Insertion Loss Measurement by Types of Soundproof Wall for Railway Noise

°Sang-Deok Sim*, Kang-Seek Jang*, Young-Chan Kim, Doo-Hoon Kim*, Jun-Ho Cho**, Woo-Sung Jung**

ABSTRACT

철도 소음에 의한 환경문제가 증가하고 있으나 방음대책으로는 아직까지 방음벽을 철도 연변에 설치하는 것인데 이러한 방음벽은 주위 경관과의 부조화와 열차승객의 시야방해 등으로 높이에 제한을 받는다. 높이를 높이지 않고도 저감효과를 얻을 수 있는 방음벽과 상단형상의 개발이 중요한 연구과제로 대두되고 있다. 본 논문에서는 철도연변에 설치되는 방음벽의 종류별로 삽입손실을 ISO 10847에 근거하여 측정하였으며 그 결과를 상호 비교 분석 평가하였다.

1. 서론

향후 철도는 고속전철의 시대를 앞두고 교통난은 크게 해소될 것으로 기대되지만 경제성장으로 인한 물류난은 점차 증가하고 있어 이를 해소하기 위한 지속적인 선로의 신설은 불가피하다. 이러한 측면에서 철도는 국가의 경제 산업발전에 기여하는 비중이 큰 반면에 소음·진동으로 인한 철도연변 지역주민의 정온한 생활환경을 누릴 권리를 해치며 특히, 생활수준의 향상과 국가의 선진화로 인하여 환경문제에 대한 관심이 날로 고조되고 있어 철도소음으로 인한 민원발생이 증가하는 추세이다. 이러한 철도소음을 차단하기 위한 대책으로 아직까지는 선로변에 방음벽을 설치하는 것인데 이 경우 선로주변 경관과의 부조화와 일조장해와 전파장해 등의 문제뿐만 아니라 인근 주민들에게 심리

적인 중압감을 주며 여행중인 열차 승객의 시야를 방해하는 등의 단점으로 설치높이의 제한을 받는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 방음벽의 높이를 최대한 높이지 않고도 그 이상의 소음 저감효과를 얻을 수 있는 방음벽 상단형상에 대한 관심과 연구가 증가하고 있다. 방음벽은 여러 가지 재료의 특성을 고려하여 설치하여야 하며 지형에 따라서 방음벽의 사용 유형도 달라지게 된다. 방음벽을 포함한 방음시설은 음의 회절경로를 길게 하여 음의 회절감쇠 성질을 이용한 것으로 벽면과 벽상단의 음향 특성에 따라 흡음형, 반사형, 간섭형, 공명형 등으로 구분된다. 이러한 방음벽 중 흡음형이 주로 활용되고 있으며 반사형의 경우는 반대측에서 반사음 영향이 문제되지 않을 때 시공된다. 간섭형 방음장치는 방음벽 상단으로 회절되는 소음을 구조적인 음의 간섭을 통해 저감효과를 얻는다.

공명형의 경우는 또한 저·중음역의 주파수 성분 에 유효하며 방음벽 설치 높이를 낮추고도 소음저

* 유니슨기술연구소

**한국철도기술연구원

감효과를 기대 할 수 있어 흡음형이나 반사형 보다 상대적으로 유리한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 철도 연변을 중심으로 열차 소음원의 특성을 분석하였고 옥외에서 방음벽 성능을 평가하는 삽입손실 측정방법¹⁾인 ISO 10847에 근거하여 최근 도로변이나 주택가에 설치되는 방음벽의 종류에 따라 2.5m, 3m, 4m높이로 철도 연변에 설치하여 삽입손실을 측정하였다.

철도 소음원과 스피커 음원에 대해서 삽입손실을 측정하였으며 삽입손실의 측정을 통해 철도 소음원에 대한 방음벽의 종류별로 감음 효과를 상호 비교하였다. 이러한 시험결과를 바탕으로 향후 철도 소음원에 적합한 방음벽 및 상단형상 개발의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

2. 열차 소음원 및 거리감쇠 특성

방음벽에 의한 철도소음 저감대책을 세우기 위해서는 먼저 설치구간의 열차 소음원의 주파수 특성을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 경부선 철도연변을 중심으로 철도소음을 측정된 보고서²⁾에 의하면 열차 소음원은 일반적으로 차종, 레일, 선로지구조물, 이음매, 속도 등에 따라 주파수 특성이 다르게 나타나지만 대체로 100~5kHz로 비교적 넓은 주파수 대역을 갖는다. 보다 더 자세히 살펴보면 저주파수의 경우는 125Hz 부근에서 피크가 빈번히 나타나는데 이것은 전동차가 디젤기관차일 때 주로 나타나고 있고 고주파수 대역에서는 500~2kHz 부근의 음압레벨이 가장 높게 나타나는 경향을 볼 수 있다.

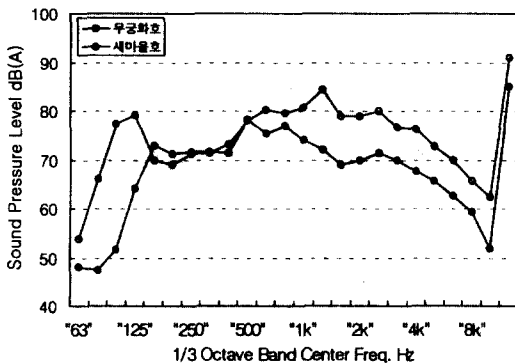


Fig. 1 SPL of pass train at distance 7.5m

Fig. 1은 평지구간의 선로중심에서 7.5m 떨어진 거리에서 측정된 새마을호와 무궁화호 열차의 주파수 밴드별 음압레벨을 나타낸다. 열차소음은 평지구간에서 거리가 2배 멀어지면 4~6dB 감소하며 거리가 멀어질수록 감소 폭은 줄어든다. 일반적으로 무궁화호의 소음이 새마을호보다 2dB~5dB 높게 나타나고 있다.

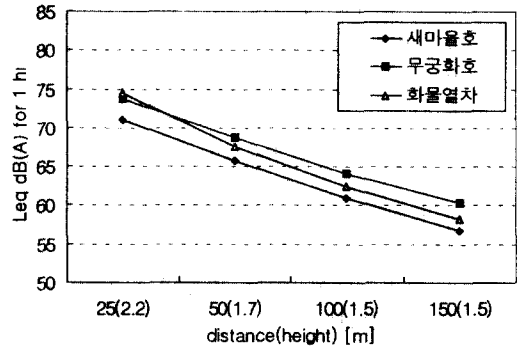


Fig. 2 1hour Leq of pass train on steel bridge

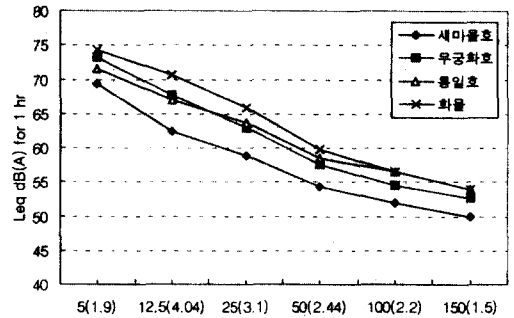


Fig. 3 1hour Leq of pass train on plane earth

Fig. 2는 강제 고가구간에서 거리별로 측정된 등가소음도(Leq)를 나타내며 일반 성토구간보다 5~10dB 크게 나타나고 있다.

Fig. 3은 환경기준 철도소음 규제에 적용되는 1시간 동안의 거리별로 측정된 등가소음도(Leq)를 경부선의 평탄한 성토구간에서 거리별로 측정된 값을 나타낸다. 화물열차의 소음도가 가장 큰 것을 알 수 있으며 새마을호에 비해 무궁화호가 5dB(A) 높게 나타났으며 일정한 비율로 줄어들고 있으며 거리가 멀어질수록 레벨이 완만하게 줄어들고 있다.

3. 삽입손실 측정

방음벽의 삽입손실은 ISO 10847¹⁾에 근거하여 수행하였다. ISO에서 규정하는 측정방법은 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나뉘는데 직접적인 방법은 방음벽 설치 전과 후에 같은 위치에서 음압 레벨의 차에 의해서 구하며 간접적인 방법은 이미 방음벽이 설치된 경우 설치전의 상황과 유사한 다른 장소에서 동일한 환경을 구현하여 삽입손실을 구하는 방법이다. 이미 설치된 방음벽의 성능을 평가할 때에는 간접적인 방법을 많이 사용하는데 실제로 방음벽을 설치 전과 동일한 음원특성, 마이크로폰 위치, 지면특성, 지형, 주변건물, 기상상태 등을 만족해야 하므로 이러한 환경조건을 찾는 것은 매우 어렵기 때문에 본 시험은 직접적인 방법으로 수행하였다.

직접적인 측정방법에 의한 방음벽의 삽입손실은 다음과 같이 표현된다.

$$D_{IL} = (L_{ref, A} - L_{ref, B}) - (L_{r, A} - L_{r, B})$$

여기서,

$L_{ref, A}$: 방음벽 설치전 기준점에서의 음압레벨

$L_{ref, B}$: 방음벽 설치후 기준점에서의 음압레벨

$L_{r, A}$: 방음벽 설치후 수음점에서의 음압레벨

$L_{r, B}$: 방음벽 설치전 수음점에서의 음압레벨

본 시험은 Fig. 4와 같이 철도 연변에 설치될 방음벽을 기준으로 앞 2지점과 뒤 2지점을 수음점을 선정하였다. 수음점 R1은 방음벽으로부터 15.5m 떨어지고 철도 소음원과는 4m 스피커 음원과는 2m 떨어진 곳에 설치하여 기준점으로 사용하였다.

설치될 방음벽의 총 길이는 140m이며 측정위치는 방음벽 길이방향으로 중앙지점에서 측정하였으며 방음벽의 종류별로 높이에 따라 나누어서 측정하였다. 측정할 방음벽의 종류는 Table 1과 같다.

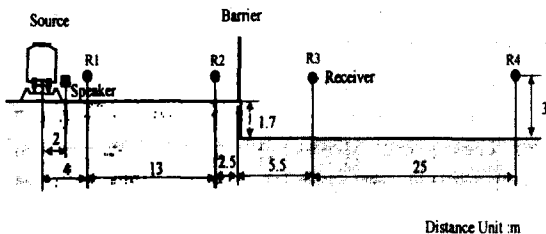


Fig. 4 Schematic of microphone position

한 종류의 방음벽을 시공하는데 대략 3일이 소요되었으며 총 2달 정도의 공기가 소요되었다. 측정은 방음벽 1종류에 대해 1일간 수행하였다. ISO규격에서 기후조건은 방음벽 설치 전·후의 온도차이는 10℃이하, 풍속은 항상 2m/s 이내 일 때 측정해야 하며 지면은 비나 눈이 내린 상태는 피해야 한다. 본 시험에서는 풍속계와 온도계를 설치하여 수시로 점검하여 ISO의 환경조건에 만족하도록 실시하였으며 온도차는 -2.5~5℃, 풍속은 1.5~2m/s이며 상대습도는 44~65%이었다.

Table 1 Sorts of barrier and height

Types of Barrier	Height
A-type	2.5m, 3m
B-type	3m
B-type	4m
C-type	4m
D-type	4m

스피커 시험을 위한 시스템 구성은 Fig. 4에서와 같이 스피커를 선로 중심에서 2m 떨어진 지점에 0.8m 높이에 설치하였고 수음점 4곳에 마이크로폰을 지면에서 1.3m 높이에 설치하였다.

표준음발생기(B&K 4228)를 사용하여 마이크로폰을 교정하였으며 소음발생기(B&K 1405)와 파워증폭기(B&K 2712)를 사용하여 옥타브 밴드벨로 63~8kHz 까지 일정한 음을 스피커로 발생하여 수음점 R1~R4위치에서 마이크로폰으로 신호를 받아 다채널증폭기(Larson Davis 2210)와 실시간 분석기(Larson Davis 3200)로 레벨을 확인한 후에 기록기(DAT: SONY PC208Ax)에 녹음하여 실험실에서 데이터를 분석하였다.

4. 음압레벨 측정

측정시간(T) 동안의 등가소음도(L_{eq})는 다음과 같이 표현된다.

$$L_{eq, T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB}$$

여기서,

t_1, t_2 : 측정시간

$T = t_2 - t_1$: 측정시간

$p(t)$: 측정음압
 p_0 : 기준음압($20 \mu\text{Pa}$)

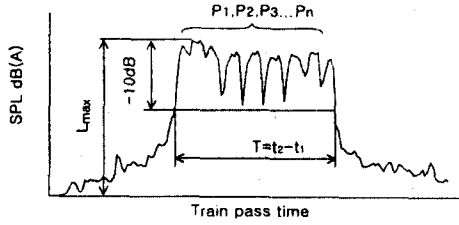
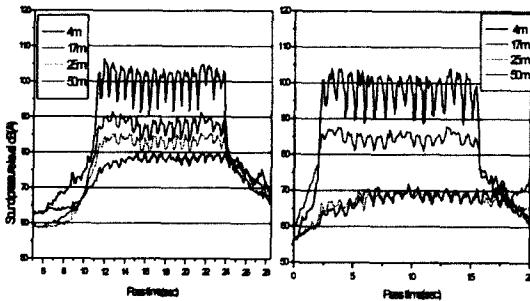


Fig. 5 Time history of pass train

철도소음에서의 노출시간은 소음이 발생하여 없어질 때까지의 시간을 말하며, 통상 순간 최대값보다 10dB 낮은 음압레벨 이상으로 지속된 시간을 말한다.³⁾ 본 시험은 열차 소음에 대한 음압레벨은 Fig. 5에서와 같이 방법으로 노출시간과 최대 소음레벨을 이용하여 계산하였다. 음압레벨 측정은 무궁화호를 대상소음으로 최소 7대 이상을 측정하였고 방음벽 설치 전과 후의 압소음은 48~52dB 이었다.

Fig. 5는 열차가 통과 할 때 시간에 따른 음압레벨의 변화를 나타낸 시간선도이며 열차가 마이크 로폰 앞에 진입했을 때 음압이 상승하며 열차가 통과 중에는 음압이 일정한 음압레벨을 유지하며 통과 후에는 점차 줄어드는 모습을 보여준다.



(a) barrier install before (b) barrier install after
 Fig. 6 Time history by pass train

Fig. 6은 새마을호 열차 16량에 대한 방음벽 설치 전과 후의 시간선도를 나타내고 있으며 (a)는 방음벽 설치전이며 (b)는 방음벽 설치후의 음압레벨의 변화를 보여 주고 있다.

5. 시험결과 및 고찰

Fig. 7은 ISO 10847에 근거하여 열차 음원에 대하여 방음벽의 삽입손실을 측정 분석한 결과 방음벽 높이를 2.5m에서 3m로 높였을 경우에 삽입손실이 2.2dB 증가하였고 3m에서 4m로 높였을 경우에는 삽입손실이 0.3dB 증가하였다. 방음벽 높이 2.5m의 경우 수용점의 높이와 1.2m 차이밖에 나지 않아 높이를 0.5m 높였을 때 삽입손실은 1m 높인 것 보다 크게 나타났으며 높이가 증가할수록 삽입손실은 증가하고 있으나 증가폭은 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 방음벽 높이 3m와 4m의 경우에 스피커 시험으로 측정한 삽입손실을 옥타브 밴드별로 측정한 것으로 비교적 고 주파수 대역에서 삽입손실이 커지는 경향을 볼 수 있다.

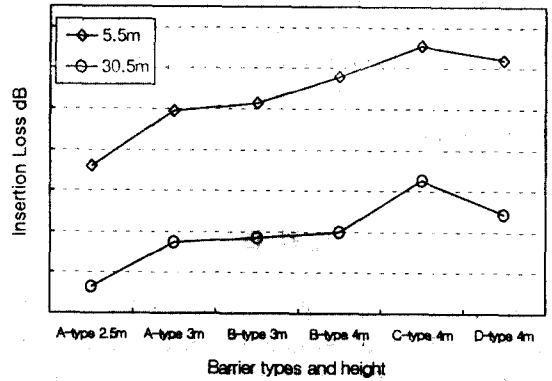


Fig. 7 Insertion Loss for railway noise

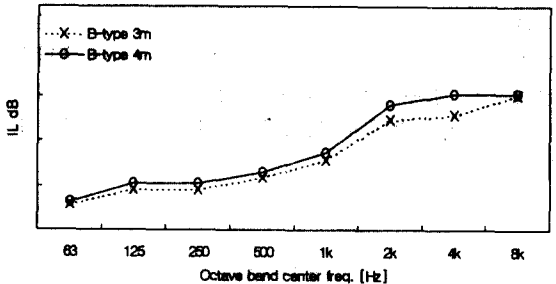


Fig. 8 Insertion Loss at barrier rear 30.5m

Fig. 7은 B-type 방음벽에 비해 C-type의 삽입손실이 2.5dB, D-type의 삽입손실은 0.9dB 증가하였고 수용점 R3이 R4보다 전반적으로 삽입손실이 크게 나타났다.

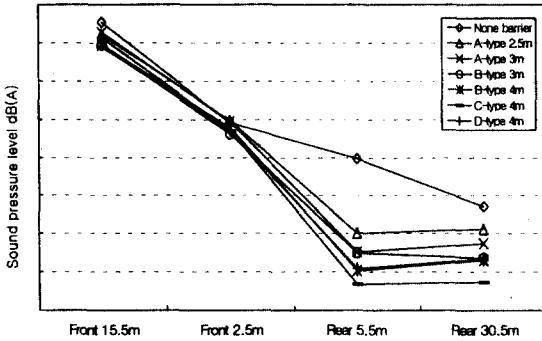


Fig. 9 Sound pressure level of pass train

Fig. 9는 열차소음에 대하여 방음벽 설치 전과 후에 방음벽의 종류에 따라 측정된 음압레벨로 열차수와 통과시간이 유사한 7대를 샘플링하여 산술 평균으로 얻은 결과이다.

수음점 R4에서 높이 2.5m 에서 3m로 높였을 때 효과가 크게 나타났고 방음벽 종류에 따라 방음벽으로부터 30.5m 떨어진 지점에서 7~10dB의 방음벽 설치효과가 있는 것을 알 수 있다.

6. 결론

열차 소음원에 대한 방음벽의 삽입손실은 높이가 1m 높아졌을 때 0.2~0.4dB 증가하였고 2.5m 높이의 방음벽의 경우 높이와 수음점 높이 차이가 크게 나지 않는 경우에 방음벽 높이를 조금만 높여도 저감 효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

또한 방음벽 2종류간 삽입손실의 차가 0.5dB이하 수준으로 거의 차이가 없었으며 C-type 방음벽을 설치했을 경우 같은 높이의 방음벽에 비해 최고 2.5dB의 삽입손실의 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. ISO 10847, In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types, 1997(E)
2. 철도소음·진동의 측정 및 분석연구, 유니슨 기술연구소 보고서, 1998. 11.
3. "Guide du Bruit des Transport Terrestres,

Prevision des Niveau Sonores", CETUR, 1980

4. Yamamoto, K., Taya, K., Yamasbita, M. and Tanaka, K., Reduction of road traffic noise by basorptive cylinder adapted at the top of a barrier. Proceedings internoise '89, 1989, 349-352.
5. Hothersall, D.c., Chandler-Wilde, S. N. & Hanmirzae, N. M., Efficiency of single noise barriers. J. Sound and Vibr., 146(2)(1991) 303-21