

합성수지 방음벽의 성능예측 및 평가

Performance prediction and measurement of the barrier

박진규* · 김관주** · 정환익* · 김상현*** · 최상석****
Jinkyu Park* · Kwanju Kim** · Hwanik Jung* · Sanghun Kim*** · Sangsuk Choi****

Key Words : Noise Barrier, Noise Prediction, Insertion loss, Noise diffraction

ABSTRACT

The insertion loss of a noise barrier comes from the effects of diffraction, transmission loss, absorption coefficient and attenuation by direct propagation. The noise level after the noise barrier, differs greatly from the diffraction on the upper part of the barrier. Maekawa, Kurze and Anderson presented a empirical formula for calculating the diffraction of a semi infinte screen shaped noise barrier. In this syudy, Noise reduction performance software was developed for the proper design and assessment of new plastic barrier . Predicted sound pressure level from using the software is compared with the site-measurement results to verify the noise reduction performance and feasibility of prediction software for insertion loss of noise barrier.

1. 서 론

일반적으로 방음벽은 도로, 공항, 공장 등과 같이 소음이 발생하는 장소에 소음의 감소 또는 소멸을 목적으로 설치되는 시설로서, 도로, 철로변 또는 공항의 활주로는 방음벽을 소음원의 이동로와 평행하게 설치하고 공장 등과 같이 폐쇄된 장소에서는 소음원을 밀폐 또는 감싸는 형태로 설치하여 외부의 소음 유출을 방지하도록 유도하고 있다. 우리나라의 경우에는 도로소음을 줄이기 위하여 차단형 방음벽보다는 흡음형 방음벽을 설치하여 도로 소음을 줄이고 있다.

기존의 방음벽은 외부에는 알루미늄의 판재를 사용하고 내부에 유리섬유 등의 흡음재와 공기층을 두어 음을

흡수시키는 역할을 하고 있다. 이러한 기존의 방음벽에서 문제시되는 것은 알루미늄 외벽의 강도와 부식, 내부 흡음재로 사용되는 유리섬유는 비에 젖거나 비산하는 등의 인체에 미치는 영향과 환경의 파손 등이다.

본 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위하여 환경 친화적인 방음벽의 개발을 통하여 환경 친화적인 방음벽을 설치하였을 때의 방음벽 후면의 소음도를 예측하고 기존 이론식 및 실험식과 실험결과를 토대로 비교 분석하여 성능 평가를 실시하였다.

2. 방음벽의 삽입손실 예측 이론

2.1 소음원의 크기 결정

도로소음원의 크기는 차량의 속도, 차량의 종류, 차량의 수 등을 고려하여 예측을 하게 되는데 본 연구에서는 다음식과 같은 ASJ Model-1998의 예측식⁽²⁾을 이용하였다.

홍익대학교 기계공학과

* E-mail : roxxete@nownuri.net
Tel : (02)8301-305, Fax : (02)8301-356

** 홍익대학교 기·시·디 교수

*** 산업기술시험원

**** (주)금호엔지니어링

$$L_{WA,i} = L_{WA} + \Delta L_i + \Delta L_{A,i} + \Delta L_{adj}$$

여기서

L_{WA} : 차량의 종류에 따른 소음원의 크기(PWL)

ΔL_i : 중심주파수대역에 따른 상대레벨

$\Delta L_{A,i}$: 차량제한 속도에 따른 보정 계수

ΔL_{adj} : A-특성에 따른 보정 계수

차량의 종류에 따른 속도별 소음도는 표 1과 같이 나타내어진다.

Table 1 차량종류에 따른 도로소음의 크기(PWL)

Traffic flow condition	Sound Power Level (highway, motor way)
Speed range V	$40\text{km/h} \leq V \leq 140\text{km/h}$
Large vehicle	$54.4 + 30 \log_{10} V$
Medium vehicle	$51.5 + 30 \log_{10} V$
Light truck	$47.6 + 30 \log_{10} V$
Automobile	$46.4 + 30 \log_{10} V$

차량의 제한 속도에 따른 중심주파수대역에서의 소음도는 아래 ΔL_i 의 식으로 주어진다.

제한속도가 없는 도로의 경우

$$\Delta L_i = -10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] \text{ dB}$$

제한속도가 80km/h인 도로

$$\Delta L_i = -10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] - 2.5 \log_{10} \left(\frac{f_i}{1000} \right) \text{ dB}$$

제한속도가 80km/h 이상인 도로

$$\Delta L_i = -10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] + 2.5 \log_{10} \left(\frac{f_i}{1000} \right) \text{ dB}$$

2.2 방음벽에 의한 삽입손실 계산

본 연구에서는 방음벽의 삽입손실 계산을 계산하기 위하여 다음과 같은 음의 전파특성을 고려하였다.

- ① 방음벽 상단의 회절에 의한 영향
- ② 방음벽의 흡음에 의한 저감효과
- ③ 방음벽의 투과손실에 의한 저감효과
- ④ 직접음의 감쇠효과

방음벽에 의한 소음저감효과는 위 4가지 영향을 고려하여 다음 식으로 계산이 되어진다.

$$\Delta L_B = -10 \log(10^{-\Delta L_d/10} + 10^{-\Delta L_i/10} + 10^{-\Delta L_m/10}) + \Delta L_a$$

여기서

ΔL_B : 방음벽에 의한 소음 저감 효과

ΔL_d : 회절에 의한 소음 저감 효과

ΔL_i : 투과손실에 의한 저감효과

ΔL_m : 직접음의 감쇠효과

ΔL_a : 흡음효과에 의한 저감효과

본 연구에서는 투과손실에 의한 영향은 방음패널의 실제 투과손실 측정값을 이용하였다.

각 항목에 대한 저감계산은 다음과 같다.

(1) 회절에 의한 효과

회절에 의한 효과는 소음원과 수음점 사이의 방음벽이 설치될 경우 Kurze와 Anderson이 Fresnel 수에 따라 작성한 감쇠곡선⁽⁴⁾으로 나타낼 수 있고 Maekawa에 의한 방음벽 설치에 따른 음의 감쇠⁽³⁾로 나타내어질 수 있다.

Maekawa에 의한 방음벽 설치에 따른 회절영향 효과는 다음과 같이 주어진다.

$$[\Delta L_d] = -10 \log_{10} \frac{1}{2} \left[\left\{ \frac{1}{2} - C(v) \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{2} - S(v) \right\}^2 \right] \text{ dB}$$

여기서 $C(v)$, $S(v)$ 는 변수 v 에 대한 Fresnel's 적분을 의미하고 v 는 다음과 같이 정의된다.

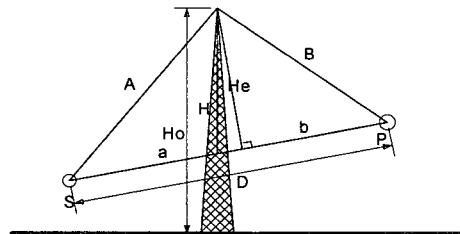


Fig.1 회절의 영향 및 각 길이별 변수

$$v = H_e \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)}$$

H_e : 방음벽과의 유효거리, a: 소음원과 방음벽 사이의 거리, b: 방음벽과 수음점 사이의 거리

Kurze와 Anderson이 Fresnel 수에 따라 작성한 감쇠 곡선에 의한 계산식은 다음과 같다.

$$N = (A + B - D) \times 2f / 340$$

$$= 2f \times (H - H_o)^2 + b^2 + (H - (H_o - H))^2 + (a)^2 - (H_o - H)^2 + (a + b)^2 / 170$$

Fresnel 수에 따른 회절감쇠치는 Fresnel 수에 따라서 다음과 같이 계산된다.

$L_d = 7.5 + 0.6 \log N$	$0 < N \leq 0.1$
$L_d = 10 + 0.6 \log N$	$0.1 < N \leq 0.8$
$L_d = 11 + 0.6 \log N$	$0.8 < N \leq 30$
$L_d = 12 + 0.6 \log N$	$30 < N \leq 60$
$L_d = 22$	$N > 60$

(2) 흡음에 의한 효과

방음벽 설치에 따른 방음벽의 흡음효과에 의한 소음 저감량은 다음과 같이 회절각도(a)와 흡음률(α)에 의해서 결정⁽⁶⁾이 된다.

$$\Delta L_a = \alpha^3 (a/30) \text{ dB} \quad a \leq 120$$

$$\Delta L_a = 1.1 \alpha^3 (a/150) \text{ dB} \quad a > 120$$

(3) 직접음에 의한 효과

직접음에 의한 감쇠효과는 Fig. 2에서 주어지는 것과 같이 나타내며, ΔL_m 으로 표현이 된다.

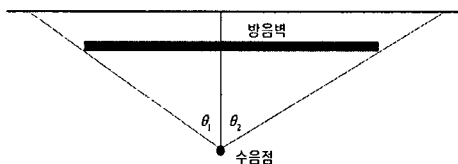


Fig. 2 직접음에 의한 감쇠 효과

$$\Delta L_m = 10 \log [2 / \{2 - (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)\}] \text{ (dB)}$$

3. 방음벽 설치 따른 예측

방음벽 설치에 따른 소음 저감량을 예측하기 위하여 재활용이 가능한 합성수지 방음벽을 적용하여 방음벽의 성능을 예측하였다.

방음벽의 성능예측을 위하여 본 연구소는 2절의 이론식을 정리하여 성능예측이 가능한 소프트웨어를 제작하였으며 이를 이용하여 방음벽의 성능을 예측하고 실험적으로 검증하므로써 실제 사용 가능성을 확인하고자 하였다. 현재 건물의 위치는 도로보다 6m위에 설치되어 있으며, 방음벽의 높이 3.5m, 길이는 100m로 설치 상태를 예측하였다.

수음점의 위치는 건물의 영향이 없는 부분을 골라 방음벽 중심부의 후면 10m, 20m, 30m 떨어진 부분에서의 삽입손실을 예측하였다.

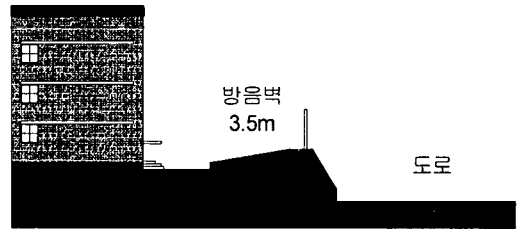


Fig. 3 방음벽 설치 위치 및 전경

설치된 합성수지 방음벽의 흡음률과 투과손실 값은 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

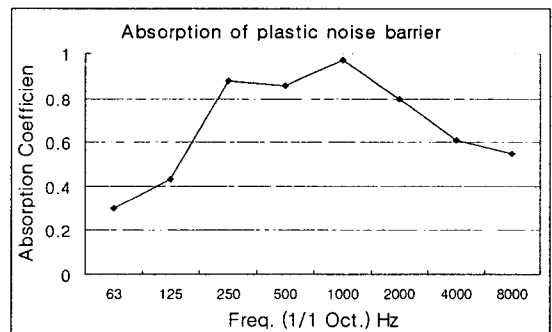


Fig. 4 합성수지 방음벽의 흡음률

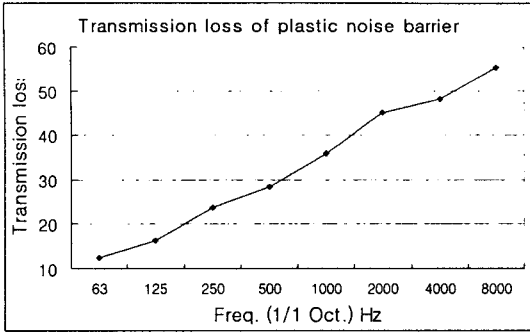


Fig. 5 합성수지 방음벽의 투과손실 값

방음벽 설치 이전과 이후의 방음벽 후면의 음압을 방음벽의 흡음률, 투과손실, 방음벽의 길이, 상부 회절을 적용하여 방음벽 후면의 10m, 20m, 30m 지점에서의 음압을 예측해 보면 Fig. 6(방음벽 설치 이전의 소음도), Fig. 7(방음벽 설치 이후의 소음도)과 같이 나타내어진다.

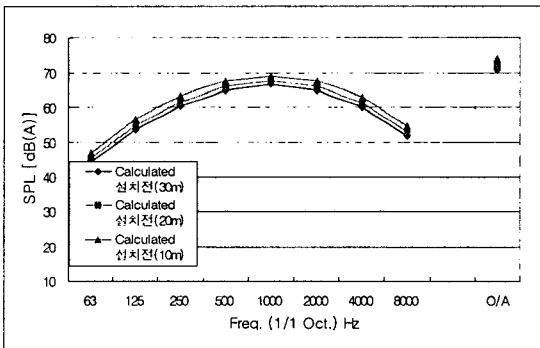


Fig. 6 방음벽 설치 이전의 소음도

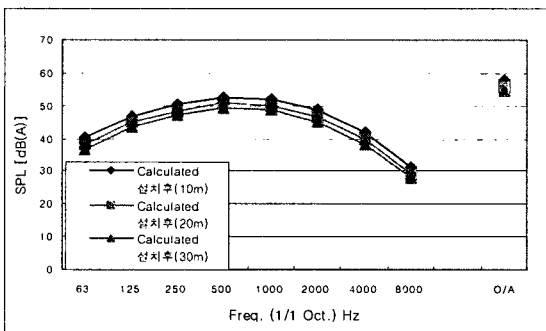


Fig. 7 방음벽 설치 이후의 소음도

Fig. 6과 Fig. 7과 같이 예측된 결과를 바탕으로 방음벽 설치 이전과 이후의 음압에 따른 삽입손실 값은 Fig.8과

같이 나타나며 약 16dB의 삽입손실 값을 나타낸다.

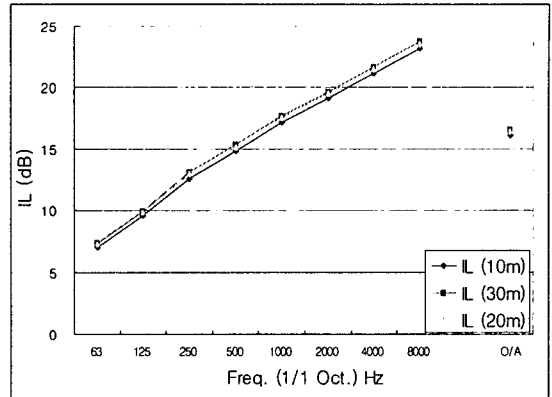


Fig. 8 방음벽 후면의 거리에 따른 삽입손실 값

4. 방음벽 삽입손실 측정

4.1 방음벽의 삽입손실 값 측정 및 계산법

방음벽의 삽입손실 값 측정은 ISO 10847⁽¹⁾에 의해서 측정 계산이 된다.

방음벽 설치 이전의 음압을 측정하고, 방음벽 설치 이후의 음압 측정을 통하여 삽입손실(D_{IL})이 계산되어지는데 그 식은 다음과 같다.

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

여기서 $L_{ref,B}$: 방음벽 설치 전의 기준점에서의 소음도

$L_{r,B}$: 방음벽 설치 전의 수용점에서의 소음도

$L_{ref,A}$: 방음벽 설치 이후의 기준점에서의 소음도

$L_{r,B}$: 방음벽 설치 이후의 수용점에서의 소음도

4.2 측정 위치 및 방음벽의 설치

방음벽 설치 이전의 소음도를 얻기 위하여 방음벽이 설치되지 않는 위치에 기준 마이크로폰과 수용점 마이크로폰을 설치하고, 방음벽 설치 이후의 소음도를 얻기 위해서 방음벽의 높이 상단 1.5m 위치에 기준 마이크로폰을 설치하고 방음벽 후면의 10m, 20m, 30m 떨어진 지점에 높이 1.5m로 측정 마이크로폰을 설치하였다. 방음벽 설치 전경과 측정위치는 Fig. 9, Fig. 10과 같다.

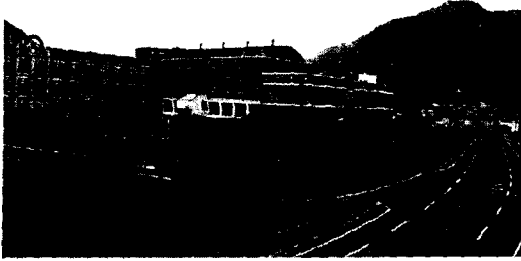


Fig. 9 방음벽 설치 전경

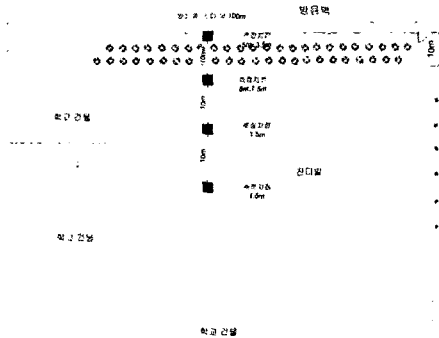


Fig. 10 방음벽 후면의 음압 측정 지점

4.3 방음벽 설치 전, 후의 소음도 측정 결과

방음벽의 성능을 확인하기 위하여 측정 환경에서 15분간 평균소음도와 순간의 소음도를 측정하였다. 하지만 주변 환경조건이 도로소음에만 노출되어있는 조건이 이루어지지 않아서 15분간의 평균소음도는 유용한 데이터를 얻지 못하였으며 따라서 차량이 지나가는 순간의 소음도 레벨⁽⁵⁾을 가지고 삽입손실 값을 측정, 계산하였다.

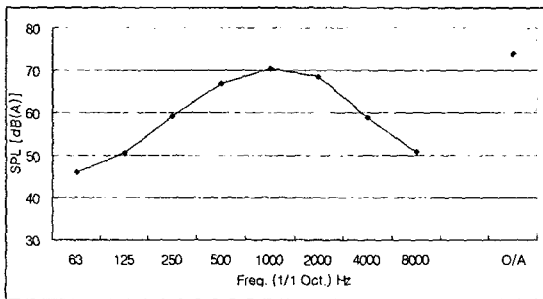


Fig. 10 방음벽 설치 이전의 방음벽 설치 후면 10m 지점에서의 소음도[SPL : dB(A)]

방음벽 설치 이전 장소에서의 소음도는 방음벽 후면 10m 지점, 높이 1.5m 지점에서 측정하였으며 그 결과는 73.9dB(A)의 소음도를 나타내며 Fig. 10과 같다.

방음벽 설치 이후의 결과는 측정 지점이 바닥에서 높이 1.5m이고, 방음벽 후면에서 10m, 20m, 30m 떨어진 위치에서 측정하였다. 그 측정 결과 방음벽 후면 10m, 20m, 30m 지점에서 약 55-58dB(A)의 소음도를 나타내며 Fig. 11, Fig. 12와 같이 나타났다.

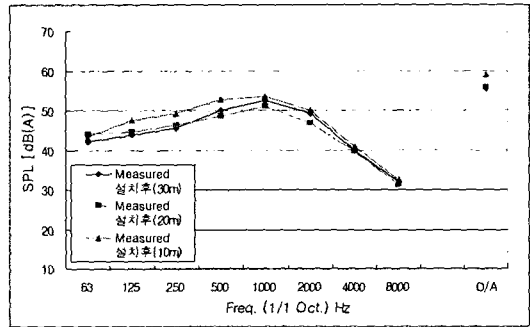


Fig. 11 방음벽 설치 이후의 소음도

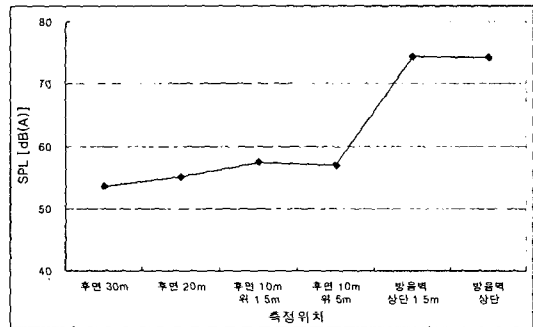


Fig. 12 방음벽 설치 이후의 측정 위치별 소음도

5. 측정지점의 음압 및 삽입손실의 비교

방음벽의 설치 이전과 이후의 소음도 예측 결과와 측정 결과는 Fig.13, Fig. 14에 나타내었다. 그 결과 본 연구에서 방음벽의 삽입손실 이론을 이용하여 적용한 예측값과 실측된 값은 약 1-2dB 정도의 낮은 오차를 나타내고 있다. 측정된 방음벽 설치에 따른 삽입손실은 16dB의 삽입손실을 나타내는 것으로 알 수 있었다. 옥타브 대역별 삽입손실은 Fig. 15와 같다.

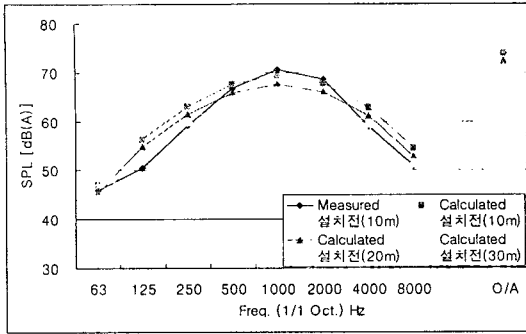


Fig. 13 방음벽 설치 이전의 음압 비교 결과

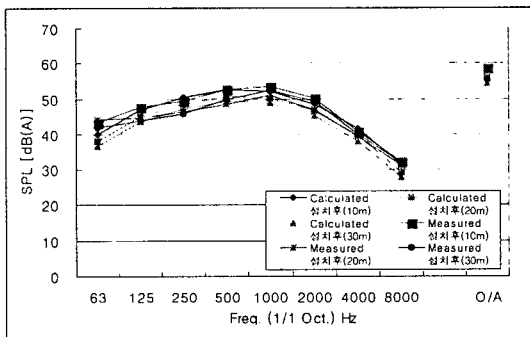


Fig. 14 방음벽 설치 이후의 음압 비교 결과

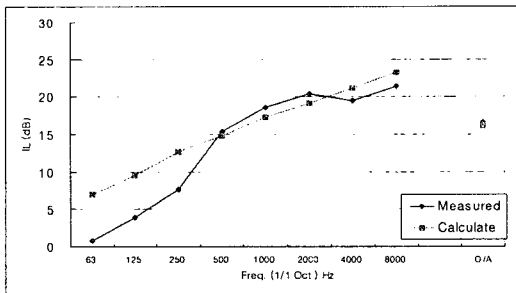


Fig. 15 방음벽의 삽입손실 비교 결과

특이한 점은 측정된 삽입손실과 예측된 삽입손실 값이 저주파에서 약 5dB정도의 차이를 보였다. 이는 측정점의 음압의 차이보다는 기준점의 음압차에 의해서 실험된 결과가 차이가 나타나는 것으로 판단하였다.

방음벽의 설치에 따른 삽입손실의 평가는 4.1절의 ISO 10487에서 정의되어지는 것과 같이 결정이 되는데 본 연구에서는 방음벽 설치전에 측정하지 못하고 방음벽 설치 후에 측정을 통하여 방음벽 설치 전후를 비교하는 과정

에서 기준점을 약 60m 떨어져 설정하였기 때문에 두 기준점 간의 음압차이가 삽입손실의 저주파 편차로 나타난 것으로 판단하였다.

6. 결론

본 연구에서는 합성수지 방음벽의 개발사업과정에서의 개발품의 사업화를 위한 제품 평가의 일환으로 방음벽의 설치 전후의 성능예측과 개발품을 통한 소음저감효과를 병행하여 평가하고자 하였다.

본 연구에서는 방음벽의 삽입손실 예측식을 이용하여 방음벽의 설치 현장에 대한 설치 전후의 소음도를 예측할 수 있는 소프트웨어를 적용하였으며, 이에 대한 검증을 위하여 실제 현장평가를 수행하였다. 본 시험에서는 방음벽 설치 전후에 10m, 20m, 30m 이격 거리에서의 측정 소음도를 비교하여 약 1~2dB의 적은 오차를 보이는 좋은 성능 예측 효과를 볼 수 있었다.

본 연구에서는 방음벽 설치 전후의 효과를 한번에 시험하고 그 결과를 처리하는 과정에서 저주파에서의 삽입손실에 오차를 보였으나 추후 다른 현장에 대한 추가시험을 통하여 이에 대한 고찰을 추가할 계획이다.

후기

본 연구는 특정연구개발과제의 일부분으로서 과기부의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- (1) ISO 10847, "Acoustics-In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types"
- (2) ASJ Model 1998: 1999, Prediction model for road traffic noise.
- (3) Y.M.Lam, 1994, Using Maekawa's Chart to Calculate Finite Length Barrier Insertion Loss", Applied Acoustics 42 pp. 29-40
- (4) Kruze. U.J. 1974 "Noise Reduction by Barriers. J.Acoust. Soc. Am., 55(3), pp. 504-518
- (5) U.S. Department of Transportation "Highway Noise Barrier Design Handbook"
- (6) 한국도로공사, 1996, "도로설계 실무편람"