

## 교통소음 저감을 위한 평행 방음벽의 반사음 영향 분석

윤제원<sup>1\*</sup>, 이주원<sup>1</sup>, 조용성<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>틴버웨어(주), <sup>2</sup>공주대학교 기계자동차공학부

### Analysis of Reflected Sound Effect on Parallel Noise Barrier to Reduce Traffic Noise

Je-Won Yoon<sup>1\*</sup>, Joo-Weon Lee<sup>1</sup>, Yong-Thung Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Timbeware Co., Ltd.

<sup>2</sup>Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

**요약** 본 논문에서는 교통소음을 저감시키기 위해 운행 노선의 양 방향으로 평행하게 방음벽을 설치하는 경우 노선 폭(W) 및 방음벽 높이(H)의 비( $\lambda=H/W$ , 세장비)에 따른 반사음의 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 2차원 경계요소법을 이용하여 소음해석을 수행하였으며, 세장비( $\lambda$ )에 따른 방음벽 후방의 수음점 위치에서 삽입손실의 저하량을 분석하였다. 평가결과, 양 방향으로 반사형 방음벽을 평행하게 설치하면 세장비가 0.05(W:H=20:1)인 경우에는 삽입손실의 저하량은 미미하나 세장비가 0.1(W:H=10:1)인 경우 약 2 dB의 삽입손실 저하가 예상되고 세장비가 증가할수록 삽입손실의 저하량은 더욱 증가하고 있는 것으로 분석되었다. 그리고, 세장비에 따른 삽입손실 저하량을 수식으로 제안하였다. 이러한 평가결과는 철도 또는 도로와 인접한 위치에 고층의 공동주택이 존재하는 경우 평행 방음벽 설계 시 반사음의 영향 검토를 위한 자료로 유용하게 활용이 가능할 것으로 사료된다.

**Abstract** The purpose of this paper is to analyze the effect of reflected sound according to the ratio( $\lambda=H/W$ ) of the width of lane(W) and the height of noise barrier(H) when noise barrier is installed parallel to both directions of the lane to reduce traffic road and railway noise. To this end, noise analysis was performed using 2D BEM, and the amount of degradation of insertion loss(IL) was analyzed at the receiving points at the behind of noise barrier according to the ratio,  $\lambda$ . As a results of the evaluation, if the reflective noise barriers are installed in parallel in both directions, the IL degradation value is insignificant if the ratio,  $\lambda$  is 0.05(W:H=20:1), but if the the ratio,  $\lambda$  is 0.1(W:H=10:1), the IL degradation value is expected by about 2 dB, and the IL degradation is further increasing as the ratio,  $\lambda$  increases. And, the amount of IL degradation of reflective noise barrier according to the ratio,  $\lambda$  was proposed as an equation. These evaluation results are considered to be useful as data for reviewing the reflection effect when designing parallel noise barrier if high-rise apartment houses exist in locations adjacent to traffic road or railway.

**Keywords** : Environmental Noise, Parallel Noise Barrier, Reflected Noise, Insertion Loss(IL), RLS-90, Schall03

\*Corresponding Author : Je-Won Yoon(Timbeware Co., Ltd.)

email: jwoon1017@hanmail.net

Received December 20, 2023

Accepted February 6, 2024

Revised January 22, 2024

Published February 29, 2024

## 1. 서론

도로나 철도에서 발생하는 환경소음을 저감시키기 위해 Table 1 및 Fig. 1과 같이 상당히 높은 방음벽이 설치되어지고 있고, 중앙분리대에도 방음벽을 설치하고 있는 추세이다[1]. 이 경우 소음에 노출되는 정온시설이 노선의 양 방향으로 존재하는 경우 방음벽도 노선을 따라 양 방향으로 평행하게 설치되어지는데 방음벽에 의한 반사음의 영향으로 인해 방음벽의 삽입손실이 예측값보다 저하될 우려가 있다.

국외의 경우 FHWA에서는 반사형 양 방향(평행) 방음벽 설치 시 노선 폭(W) 및 방음벽 높이(H)의 비(W:H)가 20:1( $\lambda=H/W$ ,  $\lambda=0.05$ ,  $\lambda$ : 세장비)보다 큰 경우에는 삽입손실의 변화가 없지만, W:H의 비가 10:1( $\lambda=H/W=0.1$ )보다 작은 경우에는 설계값보다 최소 3 dB 이상 삽입손실이 저하된다고 제시하고 있다[2]. 그리고, 국내의 한국도로공사에서 발간한 연구자료에 의하면 방음벽의 흡음률 조건에 따른 반사음의 영향을 분석한 바 있는데, 해당 보고서에서 대상으로 한 공동주택에 설치된 양 방향(평행) 방음벽의 경우 완전 반사(흡음률: 0)와 완전 흡음(흡음률: 1) 조건으로 가정 시 상호간에 약 8 dB의 소음도 차이가 발생하는 것으로 분석한 바 있다[3].

본 논문에서는 노선을 따라 양 방향으로 평행하게 설치되는 방음벽의 반사음에 의한 삽입손실의 저하량을 세장비, 수음점의 이격거리 및 높이에 따라 세분화하여 분석하고자 하였다. 이를 위해 2차원 경계요소법(BEM) 및 상용 환경소음 예측프로그램에서 제공하는 도로 및 철도 소음 예측식을 이용하여 반사음의 영향을 상호 비교하여 평가하였다.

Table 1. Installation status of high-rise noise barrier

Installation year	Number of installation [sites]			Number of total sum [sites]
	<sup>H</sup> 10~12 m	<sup>H</sup> 12~14 m	> <sup>H</sup> 14 m	
~1990	0	0	0	0
1991~1995	8	4	4	16
1996~2000	10	6	0	16
2001~2005	8	3	1	12
2006~2010	9	6	5	20
2011~2015	7	15	13	35



Fig. 1. Photos of noise barrier

## 2. 이론적 고찰 및 분석해석

### 2.1 관련이론

#### 2.1.1 경계요소법(BEM)

경계요소법(BEM)은 경계면의 조건(음압, 진동속도, 음향임피던스)을 이용하여 음장 내의 임의의 지점에 대한 음압, 음향 인텐시티, 음향 방사파워 등을 계산해 내는 수치해석 방법이다[4]. 본 논문에서는 Peter M. Juhl 박사가 개발한 OpenBEM 프로그램을 이용하여 2 차원 소음평가를 수행하였다[5].

#### 2.1.2 도로소음 예측식(RLS-90)

독일에서 1990년도에 제안된 도로소음 예측식인 RLS-90은 점음원 예측방법을 이용하며, 음원모델과 전파모델로 구성되어 음의 확산 및 장애물 등의 영향을 고려하여 수음점에서의 총합소음도를 예측한다[6].

RLS-90의 음원모델은 도로에서 25 m 이격되고 높이가 4 m인 위치에서의 기준소음도( $L_m$ )를 이용하여 소음 예측을 수행한다. Eq. (1)에서 M은 시간당 교통량[대/시간], p는 대형차 혼입율[%]을 의미한다.

$$L_m = 37.3 + 10 \text{Log}_{10} [M \times (1 + 0.082p)] \text{ [dB(A)]} \quad (1)$$

#### 2.1.3 철도소음 예측식(Schall03)

독일에서 1990년도에 제안된 철도소음 예측식인 Schall03(1990)은 레일 중심선으로부터 25 m 이격된 위치 및 3.5 m 높이에서 평가되는 등가소음레벨(방출소음도,  $L_{m,E}$ )을 이용하며, 음원모델과 전파모델로 구성되어 음의 확산 및 장애물 등의 영향을 고려하여 수음점에서의 총합소음도를 예측한다[7]. 음원모델은 Eq. (2)와 같이 계산하며, 식에서  $D_{Ez}$ 은 차종,  $D_D$ 는 브레이크 종류,  $D_L$ 는 철도차량 길이,  $D_V$ 는 차속,  $K$ 는 궤도·교량·건널목·곡선반경에 대한 보정치[dB]를 의미한다.

$$L_{m,E} = 10 \text{Log}_{10} \left[ \sum 10^{0.1 \times (51 + D_{F_s} + D_D + D_T + D_V)} \right] + K \quad (2)$$

[dB(A)]

## 2.2 분석해석

### 2.2.1 해석모델 및 분석방법

양 방향으로 평행하게 설치되는 방음벽에 대한 방음벽 후방에서의 삽입손실 저하량을 분석하기 위해 이격거리 및 높이별로 평가하는 연구 및 2차원 경계요소법을 이용하여 평행 방음벽에 대한 음향특성을 평가하는 연구가 수행된 바 있다[8-10].

본 논문에서도 노선의 양 방향으로 평행하게 설치되는 방음벽에 의한 방음벽 후방에서의 반사음에 대한 영향을 분석하기 위해 Table 2 및 Fig. 2와 같이 다양한 해석조건을 가정하였다. 우선, 노선 폭(W)은 10, 20, 40, 50 m, 방음벽 높이(H)는 2~10 m까지 2 m 간격으로 가정하여 총 20 가지 경우에 대해서 삽입손실의 저하량을 평가하였다. 그리고, 음원은 노선 폭의 중앙(W/2) 바닥에 위치하는 것으로 가정하였다. 방음벽의 흡음조건은 경계요소법 사용 시에는 음향임피던스(Z)로 입력하였고, 상용 프로그램 사용 시에는 반사계수로 입력하였다. 방음벽 후방에 위치한 소음평가 위치는 Fig. 2와 같이 이격거리 및 높이를 고려하여 총 15개 지점으로 선정하였고, 방음벽은 세장비를 명확하게 표현하기 위해 수직 형상('I')만 고려하여 소음평가를 수행하였다.

소음해석결과는 Eq. (3)과 같이 방음벽 설치 전·후의 삽입손실(IL)로 평가하되, 최종 삽입손실 저하량( $\Delta IL$ )은 Eq. (4)와 같이 양 방향 방음벽 대비 한 방향 방음벽 설치 시에 대한 삽입손실의 차이로 평가하였다. Eq. (3)에서  $SPL_1$  및  $SPL_2$ 는 각각 방음벽 설치 전·후 동일 위치에서의 예측 소음레벨을 의미한다. 경계요소법을 이용하는 경우 교통소음의 주요 발생 주파수인 1 kHz를 관심 대상으로 하되 500 Hz 및 2 kHz까지 확장하여 총 3개의 주파수에 대해서 평가하였고, 해석결과는 모든 평가위치에서 주파수별로 각각의 삽입손실을 예측한 후 산술평균하여 정리하였다. 그리고, RLS-90 및 Schall03을 이용하는 경우에는 총합소음도(Overall noise level) 예측결과를 이용하여 삽입손실을 구하고 상기와 같은 방법으로 지점별 삽입손실을 산술평균하여 삽입손실 저하량을 분석하였다.

$$IL = SPL_1 - SPL_2 \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

$$\Delta IL_{\text{de gradation}} = IL_{\text{parallel}} - IL_{\text{single}} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Table 2. Case of simulation model

Case	W	H
Dimension	10, 20, 40, 50 m	2~10 m (2 m step)

\*) W : Width of lane, H : Height of noise barrier

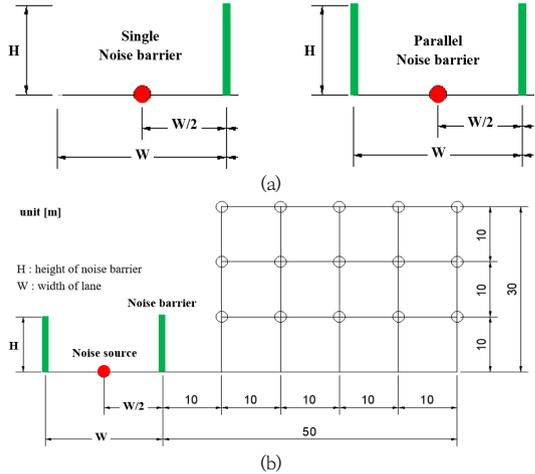


Fig. 2. Noise simulation model

(a) location of noise barrier (single / parallel)  
(b) location of noise source and evaluation points

### 2.2.2 분석결과

#### (1) 경계요소법을 이용한 해석결과

방음벽의 흡음률이 '0'(Z=∞)인 반사형 방음벽에 대해 수행한 평가결과를 Fig. 3~6에 나타내었다.

Fig. 3은 노선 폭(W) 50 m, 방음벽 높이(H) 10 m, 평가주파수가 1 kHz인 경우에 대한 한 방향 및 양 방향(평행) 반사형 방음벽 설치 시의 소음레벨 분포도를 나타낸 것으로, 소음원 부근에서의 소음레벨 분포는 유사하지만 양 방향(평행) 반사형 방음벽 설치 시에는 추가로 설치되는 방음벽에 의한 반사음 영향으로 인해 방음벽 후방의 가시선(음원과 방음벽 상단을 잇는 가상의 선) 하부에서의 소음도가 증가하고 있으며, 이것은 반사형 방음벽을 양 방향(평행)으로 설치하게 되면 방음벽의 삽입손실이 저하됨을 의미한다.

Fig. 4는 노선 폭(W)이 50 m, 평가주파수가 1 kHz인 경우에 대한 양 방향 반사형 방음벽의 높이 증가에 따른 소음레벨 분포도를 나타낸 것으로, 방음벽 높이가 증가하면 회절량이 증가하여 방음벽 후방에서의 소음레벨이 감소하다가 방음벽의 높이가 더욱 증가하게 되면 즉, 세장비가 증가하게 되면 반사음의 영향으로 인해 방음벽 후방에서의 소음레벨이 다시 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 노선 폭(W)이 50 m이고 방음벽 높이(H)가 10 m인 반사형 방음벽에 대한 주파수별 소음레벨 분포도를 나타낸 것으로, 가시선 상부에서는 소음레벨이 큰 감소없이 전파되는 반면에, 가시선 하부에서는 방음벽에 의한 차단 효과로 인해 소음레벨이 급격히 감소되어 삽입손실은 방음벽 후방의 하단부로 갈수록 더욱 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 주파수가 증가할수록 회절량이 증가하여 방음벽 후방에서의 소음레벨이 점차 감소하고 있음을 볼 수 있다. 그러나, Fig. 3(a)의 한 방향 방음벽에 비해 가시선 하부에서의 소음레벨은 반사음의 영향으로 인해 뚜렷한 소음레벨의 저감을 나타내고 있지 않고 있다.

Fig. 6은 반사형 방음벽을 한 방향에만 설치하는 경우 대비 양 방향으로 설치 시 반사음의 영향으로 인해 저하되는 삽입손실의 저하량을 세장비( $\lambda=H/W$ )로 나타낸 것으로, 한 방향 대비 양 방향으로 반사형 방음벽을 평행하게 설치하면 세장비가 0.05인 경우에는 삽입손실의 저하량은 미미하나 세장비가 0.1인 경우 약 2 dB의 삽입손실 저하가 예상되고 세장비가 증가할수록 삽입손실의 저하량은 더욱 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 세장비에 따른 삽입손실 저하량을 주파수별로 분석한 결과도 Table 3 및 Fig. 6에 함께 나타내었는데, 저주파(500 Hz)보다는 회절감쇠량이 상대적으로 큰 고주파(2 kHz)에서 삽입손실 저하량이 더욱 큰 것으로 분석되었고, 3개의 주파수를 평균하여 삽입손실 저하량을 분석한 결과는 1 kHz에 대해 분석한 추세선과 유사한 것으로 분석되었다. 이러한 삽입손실 저하는 양 방향 방음벽 설치 시 한 방향 방음벽 설치 시에는 발생하지 않았던 반사음의 영향으로 인해 방음벽 후방의 소음평가 위치에서 소음레벨이 증가하기 때문이며 세장비가 증가할수록 즉, 방음벽의 높이가 증가할수록 반사음의 영향도 더욱 증가함을 알 수 있고, 이러한 내용은 서론에서 언급한 기존의 연구 결과와도 비교적 잘 일치하고 있다[2,3]. 참고로, Table 3의 주파수별 삽입손실 저감량은 소음원의 주파수 특성에 따라 구별하여 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 3. IL degradation value( $\Delta IL$ ) according to  $\lambda(H/W)$  for reflective parallel noise barrier compared to single noise barrier using 2D BEM

Frequency [Hz]	IL degradation value [dB]
500	$\Delta IL_{degradation} = -24.731\lambda + 0.9955$
1k	$\Delta IL_{degradation} = -33.510\lambda + 1.5593$
2k	$\Delta IL_{degradation} = -43.621\lambda + 1.7585$
Average	$\Delta IL_{degradation} = -34.115\lambda + 1.4938$

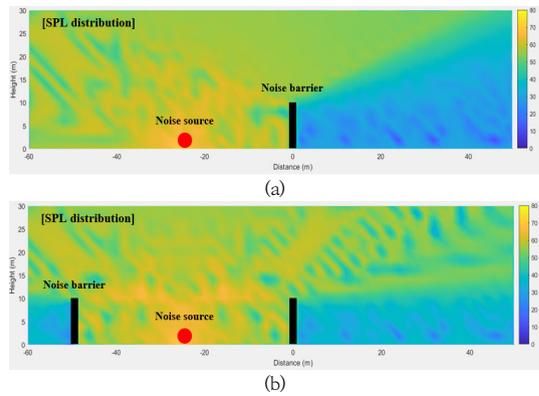


Fig. 3. SPL distribution for reflective single and parallel noise barrier (W : 50 m, H : 10 m, frequency : 1 kHz)  
(a) single(one side) noise barrier  
(b) parallel(both sides) noise barrier

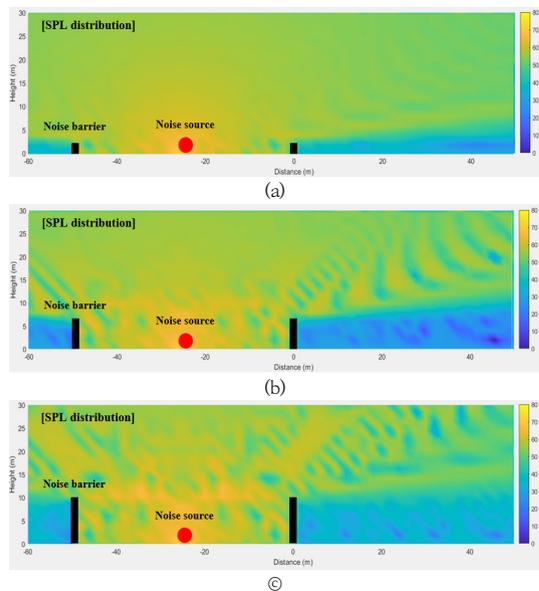
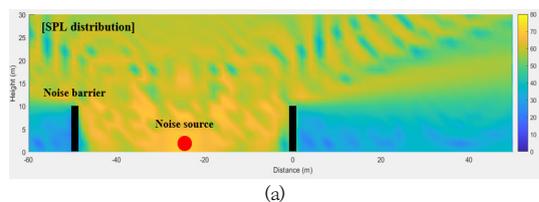


Fig. 4. SPL distribution according to height for reflective parallel noise barrier (W : 50 m, frequency : 1 kHz)  
(a) height of noise barrier : 2 m  
(b) height of noise barrier : 6 m  
(c) height of noise barrier : 10 m



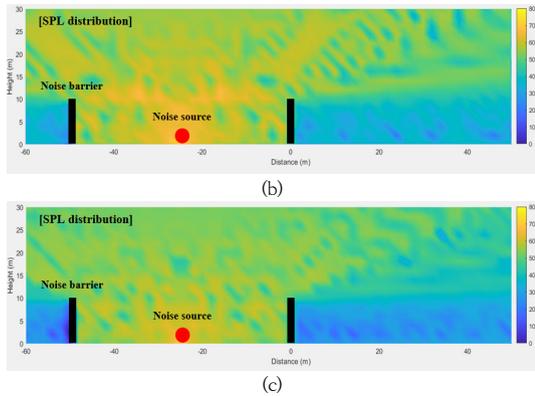


Fig. 5. SPL distribution according to frequency for reflective parallel noise barrier (W : 50 m, H : 10 m)  
 (a) at 500 Hz  
 (b) at 1 kHz  
 (c) at 2 kHz

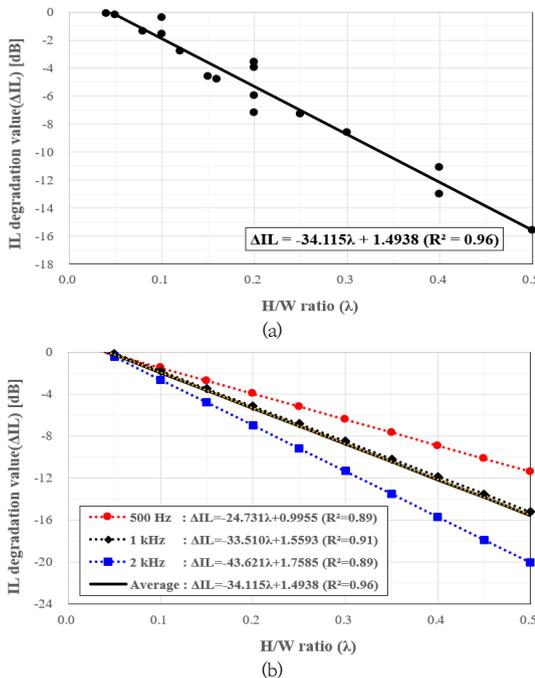


Fig. 6. IL degradation value( $\Delta IL$ ) according to  $\lambda(H/W)$  for reflective parallel noise barrier compared to single noise barrier using 2D BEM  
 (a) trendline analysis results of frequency average data  
 (b) trendline analysis results according to frequency

(2) 상용 환경소음 예측프로그램을 이용한 해석결과 국내 환경영향평가 사업 수행 시 가장 많이 사용되고 있는 RLS-90(도로소음 예측식) 및 Schall03(철도소음 예측식)이 탑재되어 있는 상용 환경소음 예측프로그램인

SoundPlan(V9.0)을 이용하여 양 방향 방음벽의 반사음에 대한 영향평가를 수행하였다. 예측 프로그램에서의 반사차수는 '3차'로 입력하였으며, Eq. (5)의 세장비에 따른 보정값을 추가로 적용하여 평가하였다. 다만, 소음 평가는 소음레벨의 상대적인 차이값을 의미하는 삽입손실의 저하량으로 평가하였으므로 RLS-90 및 Schall03을 이용한 소음예측 시 예측조건(차종, 차속, 운행대수 등)은 본 논문에서 별도로 명기하지 않았다. 참고로, 상용 프로그램에서 반사음의 영향을 분석하려면 반사차수(Reflection order)를 높이고 다중 반사조건(Multiple reflection)의 항목을 활성화시켜야 소음평가가 가능하다. 반사차수는 '3차' 이상부터는 '3차'로 입력하여 예측한 결과와 차이가 1 dB 이내임을 확인하였다. 그리고, 다중 반사조건에 대해 SoundPlan에서는 Eq. (5)와 같이 평가하고 있는데, 세장비( $\lambda=H/W$ )에 따라 보정값은 다르며, 반사형은 최대 3.2 dB, 흡음형은 최대 1.6 dB의 반사음 보정값이 해석결과에 추가 적용되며, 전체적인 소음도를 세장비에 따른 보정값만큼 단순히 '+'시켜 높게 예측한다[11].

$$D_{refl} = 4 * H / W \leq 3.2 \text{ [dB]} \quad : \text{ Reflective}$$

$$D_{refl} = 2 * H / W \leq 1.6 \text{ [dB]} \quad : \text{ Absorptive (5)}$$

우선, 예측식 종류별 반사음에 의한 삽입손실 저하량을 분석하여 Table 4에 나타내었는데, 노선 폭(W)이 50 m이고 반사형 방음벽의 높이(H)가 10 m인 조건에 대해 평가한 결과, 상호간의 차이는 0.7 dB로 크지 않아 예측식별 차이는 미미한 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 경계요소법을 이용하여 삽입손실의 저하량을 평가한 2.2.1절의 예측조건을 동일하게 적용하여 SoundPlan의 Schall03 예측식으로 삽입손실 저하량을 평가한 결과로, 2 차원 경계요소법으로 예측한 결과와 비교적 잘 일치하여 상호간에 해석결과에 대한 신뢰성은 확보되는 것으로 판단된다. 다만, 세장비가 높아질수록 상호간의 차이는 조금씩 증가하고 있으나 그 차이는 크지 않으며, 세장비가 0.5로 상당히 큰 경우에도 상호간의 삽입손실 저하량의 차이값은 2 dB 정도의 수준으로 분석되었다.

Fig. 8은 상용 프로그램을 이용하여 방음벽의 흡음조건에 따른 삽입손실 저하량을 분석한 결과로, 세장비가 0.1인 경우에는 상호간에 차이가 1 dB 정도로 미미하지만, 세장비가 0.2인 경우 방음벽을 고흡음으로 가정 시 완전 반사에 비해 약 3 dB 정도의 삽입손실이 개선되는

것으로 분석되었고, 흡음형 방음벽 설치 시 반사형에 비해 세장비가 증가할수록 삽입손실의 저하량이 감소되는 것으로 분석되었다.

Fig. 9는 상용 프로그램을 이용하여 노선 폭(W)이 50 m이고 방음벽 높이(H)가 10 m인 조건에서 방음벽 설치 전·후 및 방음벽 흡음조건에 따른 총합소음레벨 (Overall SPL) 분포도를 나타낸 것으로, 양 방향의 반사형 방음벽 설치 시 한 방향 방음벽에 비해 방음벽 후방에서의 소음레벨이 증가하는 반면에, 흡음형 방음벽 설치 시에는 흡음능력이 증가할수록 방음벽 후방에서의 소음레벨이 점차 감소하고 있는 현상을 잘 나타내 주고 있다. 또한, 양 방향 방음벽의 흡음조건을 완전 흡음으로 가정(Fig. 9(e))하면 방음벽 후방에서의 예측소음도는 추가로 평행하게 설치되는 맞은편 방음벽에 의한 반사음의 영향이 없기 때문에 한 방향 설치 시(Fig. 9(b))와 동일한 소음도를 갖는 것으로 예측되었다. SoundPlan에서의 방음벽에 대한 흡음조건은 반사계수(reflection loss)로 입력하며, 완전 반사(perfect reflection)는 흡음률이 '0', 고흡음(high absorption)은 흡음률이 '0.842', 완전 흡음(perfect absorption)은 흡음률이 '1'에 해당한다.

Table 4. Comparison of IL degradation value between Schall03 and RLS-90 (reflective parallel noise barrier, W : 50 m, H : 10 m)

Case	Schall03	RLS-90	Difference [dB]
IL degradation value [dB]	-5.2	-4.5	0.7

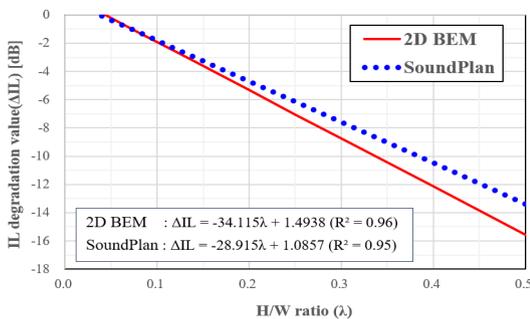


Fig. 7. IL degradation value( $\Delta$ IL) according to  $\lambda$ (H/W) for reflective parallel noise barrier using 2D BEM and SoundPlan

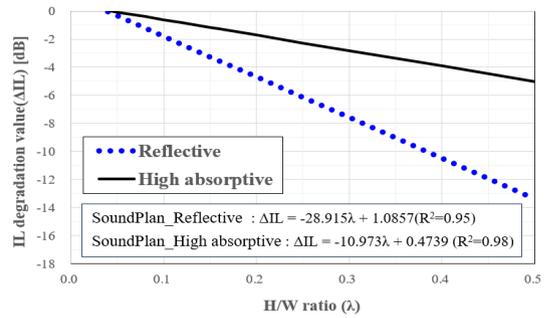


Fig. 8. IL degradation value( $\Delta$ IL) according to  $\lambda$ (H/W) for reflective and high absorptive parallel noise barrier using SoundPlan

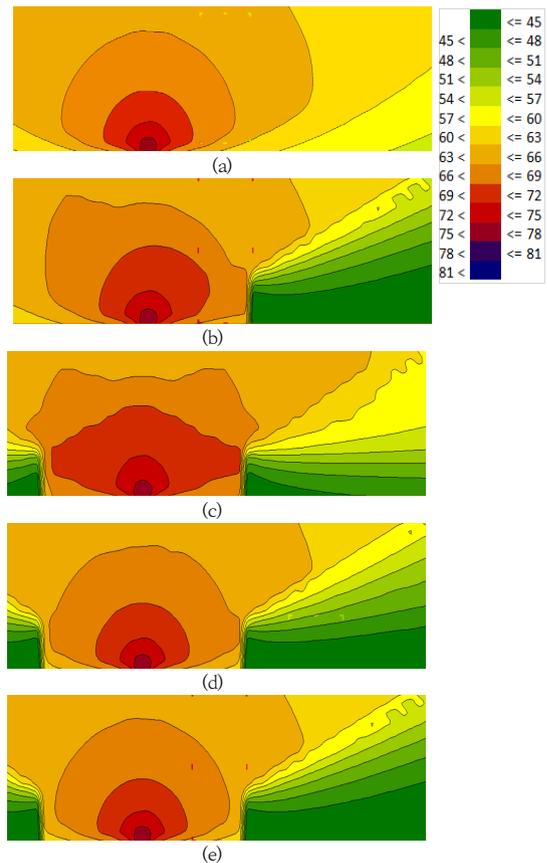


Fig. 9. Overall SPL distribution for single and parallel noise barrier using SoundPlan (W : 50 m, H : 10 m)  
 (a) no noise barrier  
 (b) perfect reflective single(one side) noise barrier  
 (c) perfect reflective parallel(both sides) noise barrier  
 (d) high absorptive parallel(both sides) noise barrier  
 (e) perfect absorptive parallel(both sides) noise barrier

### 3. 결론

도로나 철도에서 발생하는 환경소음을 저감시키기 위해 양 방향으로 평행하게 설치하는 방음벽에 의한 반사음 영향으로 인해 발생하는 삽입손실 저하량을 분석한 결론은 다음과 같다.

- (1) 경계요소법을 이용한 해석결과 양 방향(평행)으로 반사형 방음벽을 평행하게 설치하면, 한 방향 반사형 방음벽 설치 시 대비, 세장비가 0.05인 경우에는 삽입손실의 저하량은 미미하나 세장비가 0.1인 경우 약 2 dB의 삽입손실 저하가 예상되고, 세장비가 증가할수록 삽입손실의 저하량은 더욱 증가하고 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 경계요소법을 이용한 해석결과 양 방향(평행)으로 반사형 방음벽을 설치하는 경우 반사음의 영향으로 인해 발생하는 세장비(0.05~0.5 범위)에 따른 삽입손실 저하량을 분석한 결과는 다음과 같다. 다만, 하기 식은 극히 단순한 노선 폭 및 지형에 대해 검토한 결과이므로 이보다 폭이 넓은 노선(차선 또는 선로가 다수인 경우) 및 복잡한 지형을 갖는 현장에 대해서는 현장 상황을 고려하여 보다 상세한 검토가 필요할 것으로 사료된다.  

$$\Delta L_{de\ gradation} = -34.115\lambda + 1.4938 \text{ [dB]}$$
- (3) 상용 환경소음 예측프로그램을 이용하여 양 방향(평행) 방음벽에 대한 삽입손실 저하량을 평가한 결과 다중 반사조건에 따른 보정값도 포함시켜 평가해야 2 차원 경계요소법으로 예측한 결과와 비교적 잘 일치하는 것으로 분석되었다.
- (4) 상용 환경소음 예측프로그램을 이용한 반사음 평가결과, 양 방향(평행) 방음벽 설치 시 세장비는 0.1(W:H=10:1) 이하로 설치하되, 반사형 대신에 고품음형으로 설치하면, 한 방향 반사형 방음벽 설치 시 대비, 삽입손실 저하량은 약 1 dB 정도의 미미한 수준으로 예상된다.
- (5) 이러한 평가결과는 복잡한 해석 과정 없이도 본 논문에서 제안한 삽입손실 저하량 식을 이용하여, 철도 또는 도로와 인접한 위치에 고층의 공동주택이 존재하는 경우 양 방향(평행) 방음벽 설계 및 사양 검토 시 반사음의 영향 검토를 위한 판단자료로 유용하게 활용이 가능할 것으로 사료된다.

### References

- [1] T. S. Chang, Effective maintenance of deteriorated noise barrier, Research Report, Korea Expressway Corporation Research Institute, Korea, pp.33-38.
- [2] FHWA(Federal Highway Administration), Techniques for reviewing noise analyses and associated noise reports, Technical Report, U.S. Department of Transportation, U.S.A., pp.46.
- [3] C. H. Kim, Performance optimization and improving guidelines of noise barrier design for preventing road traffic noise complaints, Research Report, Korea Expressway Corporation Research Institute, Korea, pp.70-73.
- [4] J. K. Lee, Fundamentals and applications of Acoustic BEM, p.220, Journal of KSNVE, 1993, pp.85-108
- [5] Peter M. Juhl, OpenBEM [Internet]. Available From: <https://www.openbem.dk> (accessed April 2, 2014)
- [6] The Federal Minister of Transport Department of road construction, Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90(English : Guidelines for noise protection on streets), Technical Report, Germany, pp.13-14.
- [7] DB(Deutsche Bundesbahn(English : Germany Federal Railways)), Richtlinien zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen(English : Guidelines for the calculation of sound immission near railroad lines), Schall03, Technical Report, Germany, pp.10-12.
- [8] W. Bowlby, L. Cohn, R. A. Harris, "A review of studies of insertion loss degradation for parallel noise barriers", *Noise control engineering*, Vol.28, No.2, pp.40-53, April 1987.  
DOI: <https://doi.org/10.3397/1.2827697>
- [9] D. S. Kim, J. H. Son, H. J. Chun, T. R. Choung, C. H. Kim, "Effect of reflection noise according to ratio of height and parallel barrier", *Proceedings of the KSNVE Spring Conference*, Gwangju, South Korea, pp.430, June 2017.  
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07185185>
- [10] M. R. Monazzam, Samaneh. M. B. Fard, "A study on the effect of different median barrier shapes in presence of single or parallel noise screens", *Advanced materials research*, Vol.383-390, pp.5432-5437, Nov. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.5432>
- [11] Soundplan GmbH, Soundplannoise 9.0 manual, Soundplan GmbH, p.603, Soundplan GmbH Publishers, 2023, pp.137.

윤 제 원(Je-Won Yoon)

[정회원]



- 1996년 2월 : 숭실대학교 기계공학 (공학석사)
- 2017년 2월 : 공주대학교 기계공학 (공학박사)
- 2005년 5월 ~ 2023년 7월 : 유니스테크놀러지(주) 전무
- 2023년 7월 ~ 현재 : 팀버웨어(주) 소장

<관심분야>

플랜트 및 교통분야(도로, 철도, 항공기) 환경소음진동

---

이 주 원(Joo-Weon Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 숭실대학교 기계공학 (공학석사)
- 1997년 1월 ~ 2003년 4월 : 대우건설 기술연구소 연구원
- 2006년 8월 ~ 2012년 2월 : 서울과학기술대학교 기계공학과 겸임교수
- 2014년 7월 ~ 현재 : 팀버웨어(주) 대표이사

<관심분야>

플랜트 및 교통분야(도로, 철도, 항공기) 환경소음진동

---

조 용 성(Yong-Thung Cho)

[정회원]



- 2002년 5월 : Purdue 대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 5월 : Purdue 대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 경일대학교 기계자동차공학부 조교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 부교수

<관심분야>

자동차 소음진동, 소음진동 가시화