

## 형상 방음벽 패널의 반사음 저감효과 평가

### Evaluation of Reduction in Reflection Sound bound from a Shaped Noise Barrier Panel

이재엽 Jaiyeop Lee	Member · Environmental and Plant Engineering Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · Postdoctoral Researcher (E-mail : pas2myth@kict.re.kr)
김일호 Ilho Kim	Member · Environmental and Plant Engineering Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · Senior Researcher (E-mail : ihkim@kict.re.kr) Dept. of Construction Environment Engineering, University of Science&Technology · Associate Professor

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The noise, which is typically generated by fast moving vehicles, can be intercepted by installing a noise barrier with a soundproof panel. However, reflections from the panels cause secondary noise, and hence lower the effectiveness of the panels. In this study, the reduction of reflection noise by considering the shape, especially zigzag one, of the soundproof panel have been evaluated.

**METHODS :** The simulation model used in this study was Nord2000, which simulates real-road situations effectively. Based on the simulation results, the joining angle of  $133^\circ$  with the pattern width (a) equal to 2 m and the projection height (b) equal to 0.5 m was adapted in the zigzag shape as the best profit designing factors.

**RESULTS :** The measuring results at middle height, 15 m showed reduction at all points except the point with average -1.6 dB. At a greater height of 30 m, 2 points showed reduction. A real-sized facility was constructed to investigate the reflected sound from a zigzag shaped panel up to the height of 5 m.

**CONCLUSIONS :** The reduction effects were detected in all the receive points in the range of 2-6 m distances and 1-5 m heights comparing the plane panel. Compared to plane panel, the noises are reduced at an average of 2.4 dBA.

#### Keywords

Noise barrier, Soundproof panel, zigzag shape, Nord 2000, shaped panel

Corresponding Author : Kim, Ilho, Senior Researcher · Associate Professor  
Environmental and Plant Engineering Institute,  
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology 283,  
Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea  
Tel : +82.31.910.0649 Fax : +82.31.910.0291  
E-mail : ihkim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Aug. 11, 2015 Revised Aug. 19, 2015 Accepted Oct. 02, 2015

#### 1. 서론

우리나라의 도시화는 최근 들어 점차 둔화되어 도시지역 인구비율은 90년대 이후 큰 차이를 보이지 않고 있다 (e-domestic index, 2013). 그러나 자동차 등록대수 및 주행량은 지속적으로 증가하고 있다 (e-domestic index, 2013; Traffic Monitoring System, 2013). 이

에 따른 도로 소음 발생 역시 증가하여 2013년에 처리한 환경분쟁 사건 189건 중 소음·진동은 152건으로 81%에 달한다(The central environmental dispute mediation committee, 2013). 이 중 교통에 의한 소음원은 16%로 적지 않은 비중을 차지하고 있다. 또한 도로 주변에서 발생하는 교통소음에 노출되는 인구는

2,400만여 명으로 이는 전국민의 52.7%에 달하는 인구이다(Noise and Vibration Division, 2002). 철도나 항공 소음에 노출되는 인구와 비교해도 10배 이상 높다. WHO의 보고에 따르면 55dB의 소음은 인체에 심각한 스트레스를 가하며 30dB은 불면증을 유발한다고 보고하고 있다(WHO, 1999).

도로 소음을 저감하는 방법으로는 소음원인 차량 자체에서 소음을 저감하는 방법과 도로 내 시설물을 통해 발생 소음을 저감하는 기술로 분류할 수 있다. 소음원에서 저감하는 기술은 차량 엔진 소음을 저감하는 기술(Kwon, 2014)과 배기 소음을 제어하기 위한 기술 등이 선보이고 있다(Kim et al., 2009; Lee et al., 2008). 발생원 소음 저감 기술은 경제적 가치로 인해 자료의 공개가 제한적인 것으로 보인다.

도로 위 설치된 방음벽은 반사형, 흡음형으로 구분되며 최근에는 투명형 방음벽 설치 요구가 늘어나고 있다(Ahn et al., 2012). 이는 운전 환경을 개선하여 도로상 사고율이나 운전자의 피로도를 경감하기 위한 조치로 보인다. 그러나 투명형 방음벽으로 이용되는 PC, PMMA 등은 차음형 방음벽이다. 즉, 소음을 반사하는 성질을 가지고 있다. 이는 자체 소음 시설을 갖추는 운전자에게는 큰 영향이 없으나, 방음벽 설치 반대편에 거주하는 주민이나 생태계에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다. 특히 방음벽이 설치된 도로 반대편에 다른 방음 시설을 설치할 수 없거나 그 높이가 제한될 경우에는 반사 소음으로 인해 피해가 그대로 노출된다. 설사 높은 방음벽 설치가 허용된다 하더라도 방음벽은 높이에 따라 설치 및 유지 단가가 급수적으로 늘어날 가능성이 있다. 또한 높이가 높은 방음벽은 안전상에도 위험하며 운전자에게도 위협적이다. 실제 도로상에는 이러한 난점이 반영되어 10m 이상 방음벽은 전체 방음벽 연장의 2.3%에 불과하다(Korea Expressway Corporation, 2010).

전술한 점들을 감안하였을 때 방음벽 전면에 형상을 가함으로써 맞은편 고층으로 반사되어 전달되는 반사음을 저감하는 방법이 대안으로 제시될 수 있다. 본 연구 이전에 수행했던 보고에서 지그재그형을 포함한 날개형, 곡선형 방음패널에 대해 전산 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 지그재그형과 곡선형 방음벽에서 평판형 대비 각각 1.2, 1.5dB의 소음 저감 효과가 있는 것으로 예측되었다.

본 연구에서는 지그재그형 방음패널로 구성된 입체형 방음벽을 제작하여 시뮬레이션과 동일한 소음원 발생조건 하에서 반사음 저감효과를 평가하고자 하였다. 반사 소음은 거리별 및 높이별로 측정하였으며 평판형에 대

해서도 동일한 조건에서 소음을 측정하여 지그재그형 방음패널에 의한 반사음 저감효과를 비교하였다.

## 2. 실험방법

실험방법은 크게 시뮬레이션과 현장 방음 평가로 나뉠 수 있다. 시뮬레이션에 적용하는 도로소음 예측 모델로 NORD 2000을 선정하였다. 평가하고자 하는 소음 조건 및 방음 효과를 모사하기 위해 도로 환경을 구체적으로 설정하였다. 한편 방음벽의 반사음 효과를 평가하기 위해 지그재그형 방음벽을 구성하여 도로 환경에 적용하였다. 방음벽은 실제 현장 평가를 위해 설계 요소를 반영하였다. 이상 조합된 조건으로 시뮬레이션을 수행, 방음 효과를 평가하였다.

시뮬레이션에서 얻어진 방음 효과를 기반으로 최적 조건을 도출, 해당 설계 요건으로 지그재그 방음벽을 설계·설치하였다. 설치된 방음벽을 대상으로 지향성 소음을 발생, 실제 현장 실험을 실시하여 현장에서의 방음효과를 확인하였다. 이상 설명한 실험 방법을 흐름도로 표현하여 Fig. 1과 같이 나타내었다.

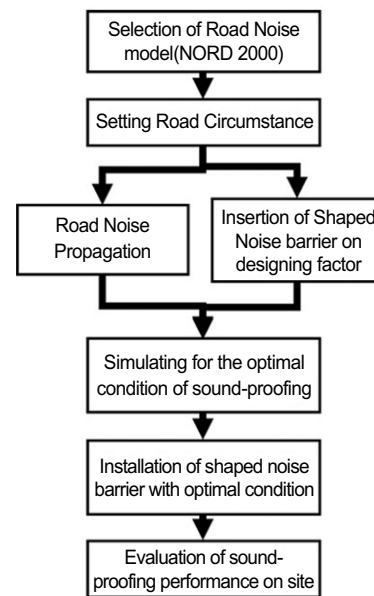


Fig. 1 Flow Chart of the Methodology

### 2.1. 도로소음 예측

본 연구에서는 Nord 2000을 도로소음 예측모델로 이용하였다. NORD 2000에 의한 도로소음은 환경부고시의 소음지도 작성에서 주요 도로 예측식으로 사용되며(Ministry of Environment, 2000), 타 연구에서도 실제

와 가까운 도로 소음을 발생시키는 방법으로 제시되어 있다(Korea Environment Institute, 2012; Kragh, 2011).

NORD 2000 모델에서 차량 소음의 파워레벨,  $L_w$ (dB)은 도로 중심선에서 10m 떨어진 지점의 소음레벨,  $L_{E, 10m}$ (dB)에 주행속도 보정항을 가산하여 얻는다(Eq. (1)).

$$L_w = L_{E, 10m} + C(50) + 10 \log\left(\frac{V}{50}\right) \quad (1)$$

$C(50)$ 은 주행속도 50km/h에 대한 차량의 고유 보정치이며,  $V$ 는 주행속도이다.

Eq. (1)에서  $L_{E, 10m}$ 는 거리 7.5~15m와 높이 0.2~4m에서 얻어진 소음레벨,  $L_E$ (dB)에 차량 및 도로에 대한 보정에서 구한다.

$$L_{E, 10m} = L_E + 10 \log\left(\sqrt{\left(\frac{d-w}{2}\right)^2 + \frac{h_r^2}{10}}\right) - 10 \log\left(\frac{\Delta a}{2 \tan^{-1}(5)}\right) \quad (2)$$

우변의 두 번째 항과 세 번째 항은 각각 차량과 도로에 대한 보정항이다. 차량 보정항에서  $d$ 는 도로 중심선에서 거리,  $w$ 는 차량 축 너비,  $h_r$ 은 수음점 높이이다. 도로 보정항에서  $\Delta a$ 는 수음점에 영향을 주는 도로 각도(rad, 2.75)이다.

차량 주행에 대한 소음의 파워레벨 산정을 위해 도로 상에 주행하는 차량을 Nord 2000에 따라 3종류로 하여 모의하였다. Nord 2000의 경우 축 수와 무게 기준을 혼합하여 사용하고 있으며 1시간 당 주행 대수와 속도 등의 조건을 Table 1에 나타내었다. 표에서 S1, S2, S3는 각각 승용차, 대형차, 4축 이상 대형차를 나타낸다.

Table 1. Computation Conditions of Sound Power Level

Categorization	Categorized size	Vehicle number	Vehicle speed
S1	mid-size	1000 대/h	100 km/h
S2	full-size w/ 2 axes	20 대/h	100 km/h
S3	full-size w/ 4 axes	10 대/h	100 km/h

소음도 산정은 SoundPlan 7.2에서 도출되는 소음을 Nord 2000 모델에 적용하였다. 도출된 소음도를 Table 2에 주파수별로 나타내었다. Table 2에 제시된 주파수는 방음벽 성능을 투과손실로 규정하여 500Hz, 1000Hz에 대한 기준을 제시하고 있는 환경부의 고시를 따랐다. 즉, 해당 대역은 500Hz과 1000Hz을 기준으로  $2^{-3} \sim 2^3$ 배에 해당하는 범위이며 가청주파수 안에 포함되어 있다.

Table 2. Sound Power Level Applied on the Research(dB)

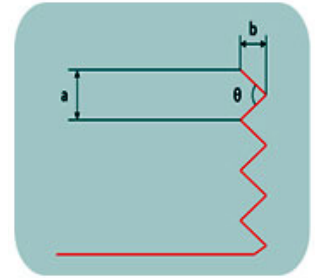
	Height	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1,000Hz	2,000Hz	4,000Hz	8,000Hz	Overall
S1	0.01m	77.39	77.49	77.69	78.59	82.99	80.29	80.19	81.79	89.05
S2	0.3m	70.23	70.33	70.53	71.43	75.83	73.13	73.03	74.63	81.89
S3	0.75m	73.14	73.24	73.44	74.34	78.74	76.04	75.94	77.54	84.8

## 2.2. 대상 방음벽 모형

대상 모델은 높이 5m이며 40m의 연장선을 갖는 것으로 Virtual Lab(v.11-SL2, LMS, Belgium)을 통해 지그재그형과 평판형 방음벽을 구현하였다. 최적 설계인자 도출을 위해 해당 방음벽에서 조절할 수 있는 인자를 반영하였다. 즉, 설계인자는 두 패널이 만나는 형태를 하나의 패턴으로 간주하여 패턴 너비를  $a$ (m), 해당 접합이 만들어 내는 돌출 높이를  $b$ (m)로 두어 설계인자로 하였다. 두 설계인자 조합을 명료하게 표현하기 위해 고유한 번호를 해당 조건과 함께 Table 3에 나타내었다. 예를 들어 패턴 너비  $a$ 가 1m, 돌출 높이  $b$ 가 0.5m 일 경우 Z105로 번호를 정하였다.

Table 3. The Designing Factor of Zigzag Shape Panel

Sample no.	a(m)	b(m)
Z105	1	0.5
Z108		0.8
Z110		1
Z114		1.4
Z205	2	0.5
Z208		0.8
Z210		1



도로 소음과 방음벽에 의한 반사음을 측정하기 위한 수음점은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. R1은 방음벽의

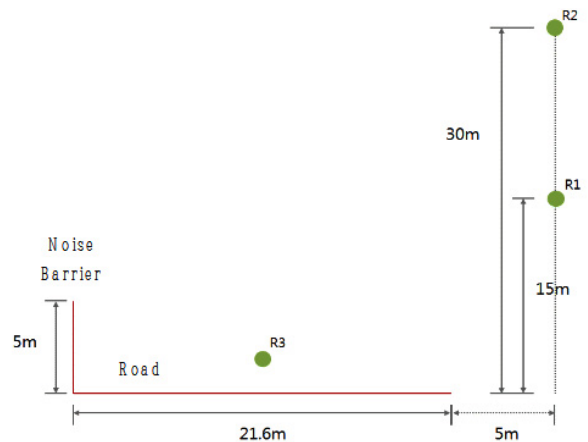


Fig. 2 Receiver Points in the Simulation Condition

도로 반대편 15m, R2는 30m, R3는 도로 중심부에서 발생하는 소음을 나타낸다.

### 2.3. 반사음 측정

시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 패널을 지그재그로 연결한 방음벽을 제작, 설치하고 이에 대한 실제 반사음을 측정하였다. 해당 형상 방음벽의 총 높이는 2,000mm으로 273mm의 판넬 8개가 상기의 각도로 접합되어 총 높이는 2,000mm가 되도록 하였다. 너비는 교체형 방음패널 규격인 1,960mm이며, 두께는 8mm였다.

소음원 발생장치는 AP601(CESVA, Spain)였으며 상기 조건의 도로에서 발생하는 소음을 샘플링하여 음원을 발생시켰다. 방음벽으로부터 2, 4, 6m 지점에서 소음을 발생시켜 1, 2, 3, 4, 5m 높이별로 소음을 측정하였다. 평판형에 대해서도 동일한 조건의 소음을 발생, 측정된 결과를 실증된 지그재그형의 방음벽과 비교하였다. 평판형 방음패널의 너비와 높이, 두께는 동일하게 설치하였다. 해당 설계도와 실제 설치 사진을 Fig. 3에 나타내었다.

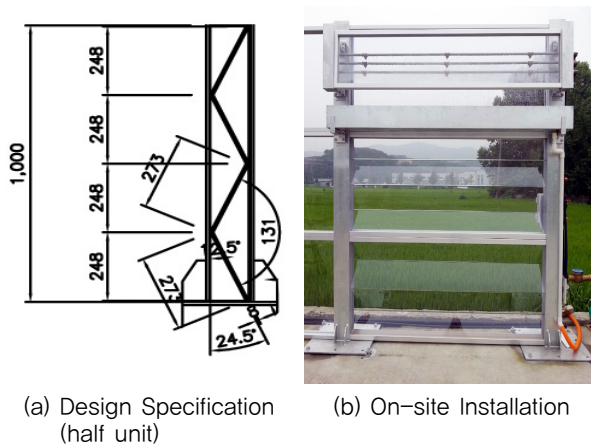


Fig. 3 Design and Installation of Zigzag Noise Barrier

## 3. 실험결과

### 3.1. 소음 예측모델에 의한 반사음 저감효과

설계인자에 대한 반사음 시뮬레이션 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그래프는 유의한 결과를 나타내는 수음점 R1, R2에 대해서만 나타내었다. R1에서는 총 7경우의 설계인자 중 6경우에서 저감효과가 나타났다. 반면 R2에서는 단 3경우에서 저감효과가 나타났다. 평균 저감효과는 -1.6dB였다. R3에서 역시 3경우에서만 저감효과가 나타났으며 저감효과가 b 0.8에 대해 유의한 결과가 나타났으므로 따로 나타내지 않았다.

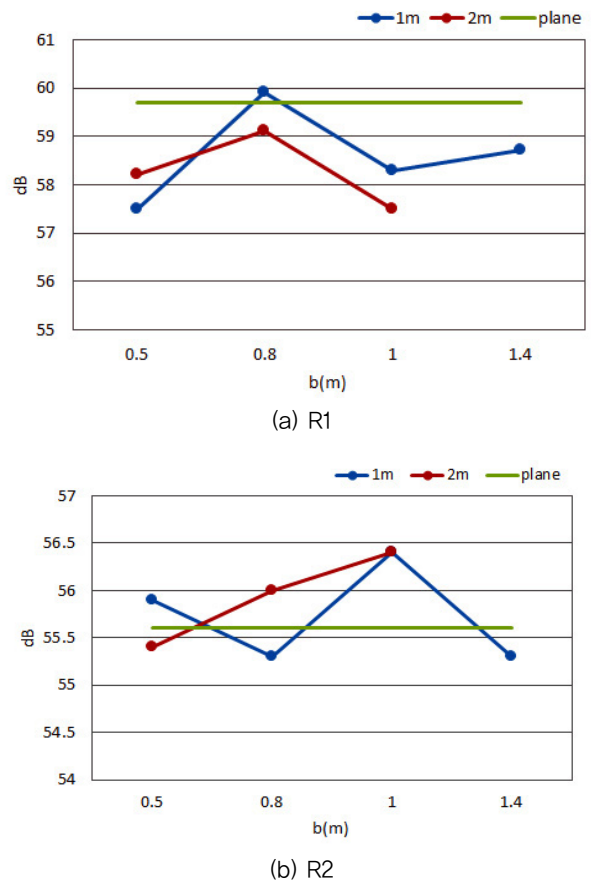


Fig. 4 The Reflected Sound from the Zigzag Shaped Panel Comparing to Plane

각 설계인자 별 반사음 저감효과를 Table 4에 정리하였다. 설계인자 별 뚜렷한 경향성을 나타내지 않으므로 설계인자로 제시했던 7가지의 경우를 살펴 최적 설계인자를 도출하였다. R1에서 저감효과를 갖는 순서는 Z210, Z105, Z205, Z110, Z114, Z208이며 각각 2.2, 2.2, 1.5, 1.4, 1.0dB의 저감 효과가 나타났다. 각각의 해당 각도는 각각 90°, 90°, 127°, 53°, 39°로 각도에 대한 망대, 망소 특성은 없는 것으로 확인되었다. R2에서는 Z108, Z114, Z2015에서 각각 0.3, 0.3, 0.2dB 저감이 나타났다. R3에서는 Z208, Z108, Z205 순으로

Table 4. Reduction Ranks of Designing Factor at Each Receiver

R1			R2			R3		
a, b	Angle	$\Delta$ (dB)	a, b	Angle	$\Delta$ (dB)	a, b	Angle	$\Delta$ (dB)
2, 1	90	-2.2	1, 0.8	64	-0.3	2, 0.8	103	-1.7
1, 0.5	90	-2.2	1, 1.4	39	-0.3	1, 0.8	64	-0.4
2, 0.5	127	-1.5	2, 0.5	127	-0.2	2, 0.5	127	-0.1
1, 1	53	-1.4	-	-	-	-	-	-
1, 1.4	39	-1.0	-	-	-	-	-	-
2, 0.8	103	-0.6	-	-	-	-	-	-

1.7, 0.4, 0.1dB 저감이 나타났다.

R1, R2, R3에서의 반사음 저감정도를 토대로, 반사음을 가장 잘 저감가능한 설계조건은 a가 2m, b가 0.5m, 각도 127° 인 설계인자로 확인되었다. 이 연구결과를 토대로 방음벽을 제작, 설치하여 실제 반사음 저감효과를 평가하였다.

### 3.2. 실측에 의한 반사음 저감효과 평가

앞서 도출한 설계인자를 토대로 실제 지그재그형 방음벽을 설계, 제작하였다. 단, 방음벽의 제작 시 프레임 구조 등을 감안하여 설계각도는 131°로 제작하였다. 실

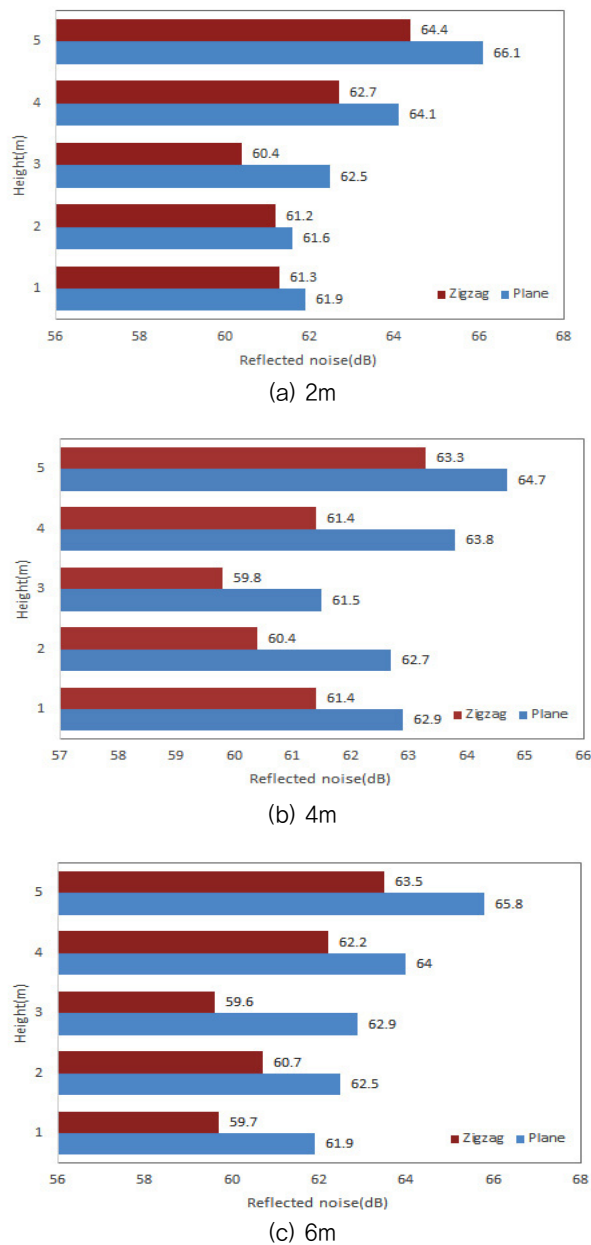


Fig. 5 Reflected Sound from Zigzag and Plane Panel by Heights and Distance

험 결과는 Fig. 5에 나타내었으며, 전체적으로 지그재그형이 평판형보다 평균 2.4dB의 소음저감 효과가 있어 해당 조건의 시뮬레이션 예측치였던 1.5dB보다 더 높은 저감 효과가 확인되었다.

우선 측정치의 절대값을 비교해보면, 거리에 상관없이 공통적으로 높이 5m, 4m, 3m 순으로 반사음이 크게 나타났다. 3m 높이 이하에서는 역으로 1m, 2m, 3m 순으로 반사음이 크게 나타났다. 전체적인 수치는 3m 이상 높이에서 크게 나타났다.

최대 저감 효과가 나타나는 높이를 살펴보면, 거리 2m 지점에서는 높이 3m를 기준으로 아래 쪽에 저감효과가 잘 나타났다. 거리 4m에서는 전체적으로 고르게 나타났으나 2, 4m의 높이에서 2dB이 넘는 저감효과가 나타났다. 거리 6m에서는 거리 4m에서와 다르게 3m를 기준으로 높이 1, 3, 5에서 높게 나타났다. 지그재그 형상에 의한 반사음이 어떤 각도를 갖고 거리별로 퍼져 나간다는 것을 생각할 수 있다.

최대 저감 효과가 나타나는 거리를 살펴보면 높이별로 살펴봐왔던 것과 같이 최대 저감 효과가 도출되는 거리가 높이마다 다르게 나타났다. 높이 5m에서는 거리 6m가, 높이 4m에서는 거리 4m가, 높이 3m에서는 거리 6m가 높이 2m에서는 거리 4m가, 높이 1m에서는 거리 6m가 나왔다. 최대 저감 효과가 나타나는 거리는 높이 4m와 6m에서 교대로 나타났다. 이는 방음벽의 지그재그 형상의 영향을 받아 최대 저감 영역이 교대로 나타나기 때문으로 보인다. 따라서 이러한 반사음 패턴 현상을 적절하게 활용할 경우 반사음이 효과적으로 저감된 거리, 높이의 영역이 있을 것으로 예상된다.

### 4. 결론

본 연구는 지그재그 형상의 방음벽을 대상으로 소음 예측모델과 실측에 의한 반사음 저감효과를 평가하였으며, 결론은 다음과 같다.

1. Nord 2000을 이용하여 지그재그 형상의 방음벽에 대한 반사음 저감효과를 예측한 결과, 평판형과 비교하여 15m 지점에서 평균 1.6dB 더 높은 저감효과가 예측되었다. 한편, 검토된 모든 수음점에서 반사음 저감효과를 보인 설계인자는 패턴 너비는 2m, 돌출 높이는 0.5m이며, 각도는 127°로 나타났다.
2. 시뮬레이션 결과로부터의 설계인자를 반영하여 제작된 지그재그형 및 평판형 방음벽을 이용하여 실제 반

사음 저감 효과를 평가하였다. 평가결과, 반사음 저감효과는 거리에 따라 차이는 있지만 모두 저감 효과를 나타내었으며, 평균 2.4dB로 나타났다. 각 거리에서 높이별 저감효과는 상이한 결과를 나타냈으나 높이 3m 부근을 중심으로 거리가 멀어질수록 저감효과가 더 높아지는 것으로 나타났다. 또한 측정지점에 따라 교대로 최대 저감영역이 나타났다.

- 본 연구를 통해 방음벽 전면 형상에 따른 반사음 저감 효과를 확인할 수 있었다. 먼저 시뮬레이션에 의한 예측 방법으로 평판형 대비 1.6dB였으며, 이를 기반으로 실제 현장 실험에서도 평판형 대비 2.4dB의 저감효과를 확인할 수 있었다. 또한 실제 방음벽 효과를 예측하는데 있어서 NORD 2000에 의한 사전 시뮬레이션 방법이 유효한 것을 확인할 수 있었다.

지그재그형 방음벽은 시뮬레이션 및 실측 결과를 토대로 기존 평판형 방음벽으로부터 반사되는 소음의 저감에 효과가 있는 것으로 확인되어, 기존의 반사형 방음벽의 문제점으로 지적되고 있는 반사음에 의한 소음피해를 줄일 수 있는 대안으로 이용될 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 방음벽 상단부에 투명패널 대신 흡음형 패널 또는 대기오염물질 저감 기능을 갖춘 기능형 패널을 장착하여 상호 효과를 평가하고자 한다. 한편 실용화를 고려하여 전면 형상의 반사광에 의한 운전자의 시야장애 여부 및 이에 대한 방안도 논의되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(2015-0152)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCE

- Ahn, H., Kim, I., Park, J., Lee, J., Kim, K. (2012) Analysis of Research Trend and Development Direction on Domestic and International Noise Barriers, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 34(12), pp. 847~854.
- e-domestic index (2013) <http://www.index.go.kr>, "city present state, vehicle registration state", Statistics Korea.
- Kim, I., Park, T., Chang, S., Lee, H. (2015) A Reduction Effect in Noise Reflection by Different Shapes of Soundproofing-panel, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 37(2), pp. 120~125.
- Kim, Y., Joo, W., Bae, J. (2009) A Study on the Performance Improvement of Medium Speed Diesel Engine Exhaust Silencer in the Low-frequency Range Using Array Resonators, *Transactions of the Korean society for noise and vibration engineering*, Vol. 19, No. 7, pp. 693-698.
- Korea Environment Institute (2012), Guideline of 3-D Noise Prediction Model in EIA.
- Korea Expressway Corporation (2010), A study of diversification plan for noise barrier facility.
- Kragh J. (2011) Traffic Noise Prediction with Nord2000 - An Update, *Proceedings of ACOUSTICS 2011*, Paper Number 10.
- Lee, T., Joo, W., Bae, J. (2008) Exhaust Noise Control of Marine Diesel Engine by using Resonator Type Silencer, *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, Vol. 2008, No. 4, pp. 340-344.
- Ministry of Environment(Korea) (2000), Notice 2010-72 Drawing up method of noise map.
- Noise and Vibration Division, Air Quality Research Department (2002) A study on the calculation of population exposed to transportation noise(Ⅱ), National Institute of Environmental Research.
- The central environmental dispute mediation committee (2013), *Casebook for environmental dispute mediation*, Vol. 22, Ministry of Environment.
- Traffic Monitoring System (2013), <http://www.road.re.kr>, "statistic reference", Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- WHO, 1999, "Guidelines for Community Noise", WHO-Expert Task Force Meeting, London, UK.