

입체형 방음패널의 현장 방음 특성 Soundproof Characteristics of Zigzag-Shaped Panel on Site

이재엽* · 김일호***,†
Jai Yeop Lee* · Ilho Kim***,†

*한국건설기술연구원 환경·플랜트연구소 · **과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과

*Environment and Plant Research Institute, Korea Institute Civil Technology

**Department of Construction Environment Engineering, University of Science and Technology

(Received April 25, 2017; Revised December 8, 2017; Accepted January 11, 2018)

Abstract : A transparent sound-proof panel which was zigzag shaped was developed and tested of its effects for installed with 20 m extension on site. The reflected and diffracted sound were measured for travelling and fixed noise. The noise barrier was tested not only for plane panel, but also mixed composition which was combined shaped and plane ones. In result, the shaped barrier showed average 1.01 dBA for the SUV travelling vehicle. For fixed noise, increased effects for reflected sound was for distant source, especially, 1.18 dBA for 3 m distance from installed noise barrier.

Key Words : Noise Barrier, Traffic Noise, On-Site Soundproof, Shaped Panel

요약 : 지그재그형의 투명형 방음패널을 개발하여 연장 20 m의 실규모로 설치하고 방음효과를 평가하였다. 현장에서는 주행차량 및 고정소음에 대한 반사음과 회절음을 측정하였다. 방음벽은 비교를 위한 평판형 뿐 아니라 평판형과 입체형을 혼합한 혼합형 방음벽도 함께 평가하였다. 평가 결과, 주행차량 중 SUV에 대해서는 입체형 방음벽이 평균 1.01 dBA의 반사음 저감효과가 있었다. 고정소음에 대해서는 거리가 멀수록 반사음 저감효과가 잘 나타났으며 방음벽으로부터 3 m에서 1.18 dBA의 저감효과를 나타냈다.

주제어 : 도로 방음벽, 교통소음, 현장방음, 입체형 패널

1. 서론

방음벽은 도로 위 주행소음을 차단하는 시설로 매년 그 설치 규모가 증가하고 있다.^{1,2)} 최근에는 도로 미관 등의 이유로 투명방음벽이 선호되고 있다.³⁾ 투명 방음벽은 재질 특성상 차음 효과는 뛰어나지만 반사소음이 발생한다. 반사소음은 소음원인 도로로 다시 전달되며, 방음벽 맞은편에 주민 시설이 있을 경우 운전자뿐 아니라 주민의 민원을 고려해야 한다.

따라서 투명형 방음패널의 특성을 유지하며, 반사소음을 저감할 수 있는 기술 개발이 요구된다. 이전 연구에서는 방음패널 전면에 형상을 가하여 반사소음을 저감하는 성과가 있었으며, 형상이 복잡할수록 저감 효과가 개선되는 것으로 보고되었다.^{4,5)} 본 연구진도 투명형 반사소음 저감을 위한 연구로서 전면 형상을 가한 방음패널의 시뮬레이션 설계 및 소음 예측,⁶⁻⁸⁾ pilot 규모의 방음벽 설치 및 시험,⁹⁾ 타 방음패널과의 방음 효과 등을 평가¹⁰⁾했으며 공통적으로 지그재그를 포함한 입체형 방음벽은 평판형 대비 반사음 저감 효과가 있는 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 입체형 방음벽에 대해 실규모(연장 20 m)를 설치하여 도로 주행 및 고정 소음을 평가하였다. 실제 차량 주행에서 발생하는 소음은 차종 및 주행에 따라 소음이 다르게 발생한다. 본 연구의 대상 주행 소음은 승용 SUV 및 1톤 화물차량이었다. 단위 구성 요소로서 입체형 방음패널

의 저감효과를 평가하기 위해 입체형과 평판형이 혼합된 방음벽을 구성하여 시험하였다. 본 연구목적은 다음과 같다.

- 도로 주행 차량에 대한 입체형 및 평판형과 결합한 혼합형 방음벽의 방음 효과 평가, 이와 함께 평판형 방음벽과의 방음 성능 비교
- 고정소음에 대한 입체형 및 혼합형 방음벽의 방음 효과 평가 및 평판형 방음벽과의 비교

2. 연구방법

2.1. 방음벽 구성





지그재그 형상의 방음효과를 비교하기 위해 방음벽 내부 패널 구성을 평판형과 혼용하여 시험하였다. 즉, 지그재그형과 평판형 패널의 단위를 높이 1 m(너비 2 m)로 제작하여, 상단·하단 총 2 m를 다음 Table 1과 같이 구성하였다. 방음패널의 재질은 방음성과 가공성을 고려하여 polycarbonate (PC)로 제작되었다.

지그재그 형상은 시뮬레이션 결과 접합하는 두 패널의 길이가 2 m, 기울어진 두께가 0.5 m인 결합 구조가 가장 저감효과가 우수한 것으로 나타났다(각도 127°).⁷⁾ 실제 제작 과정에서는 프레임이 수납되는 구조를 고려하여 두 패널의 각도가 133°로 결합되었다.⁹⁾

† Corresponding author E-mail: ihkim@kict.re.kr Tel: 031-910-0649 Fax: 031-910-0291

Table 1. Upper and bottom soundproof panel composed by unit panel and symbol

	Shaped type	Mixed type-1	Flat type	Mixed type-2
Upper	Zigzag	Flat	Flat	Zigzag
Bottom	Zigzag	Zigzag	Flat	Flat
Symbol	Z-Z	Z-P	P-P	P-Z

Form	Shaped type	Mixed type-1	Flat type	Mixed type-2
				

2.1. 방음벽 연장 및 설치

방음벽 높이는 2 m로 설치하였다(Fig. 1(a), (b)). 주행 속도 및 방음벽의 연장은 현장 반사음 측정에 필요한 시간을 1.0 초로 두고 결정하였다. 즉, 주행속도가 70 km/h (19.4 m/s)일 때, 방음벽 연장은 19.4 m가 된다. 현장에서는 너비 2 m 단위 방음패널 10개를 연장하여 H빔 총 20.15 m로 설치하였다(Fig. 1(c)).

방음벽 등 방음 시설 연장 바깥에서 발생하는 소음은 안 쪽으로는 통상 약 3°를 제외하고 인입된다. 연장 19.4 m를 고려하면 $19.4 \text{ m}/2 \times \tan 3^\circ (=0.0524)$ 로 소음의 간섭을 받지 않는 지점은 0.51 m로 매우 제한적이다. 따라서 외부 소음이 거의 없는 지역을 섭외하여 설치, 실험하였다. 실제 설치된 구성 및 위치와 방음벽, 분석장비 등의 현장사진을 Fig. 2에 정리하였다.

2.3. 측정 방법

시험음원은 주행 차량과 고정 소음원이었으며 차량은 승용 SUV와 1톤 화물차였다. 주행속도는 앞서 도출된 속도 70 km/h이며 각각 동일한 운전자가 주행하였다. 측정 위치는 방음벽 설치 맞은편 도로와 갓길을 지난 10.6 m에서 높

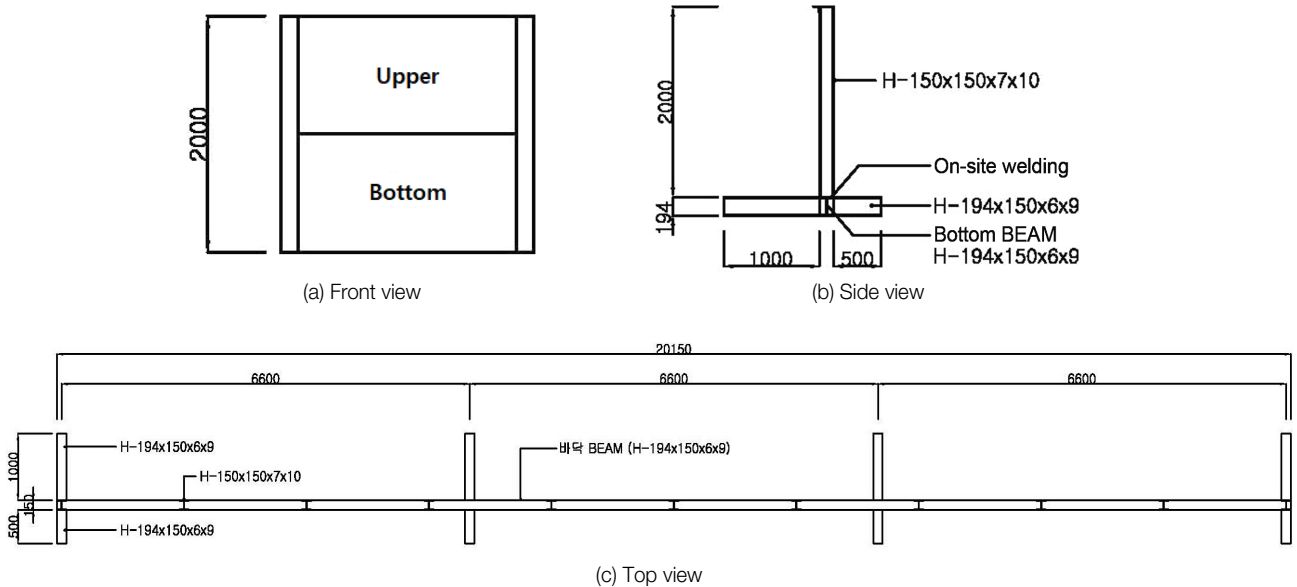


Fig. 1. Specification of Installed Noise barrier.

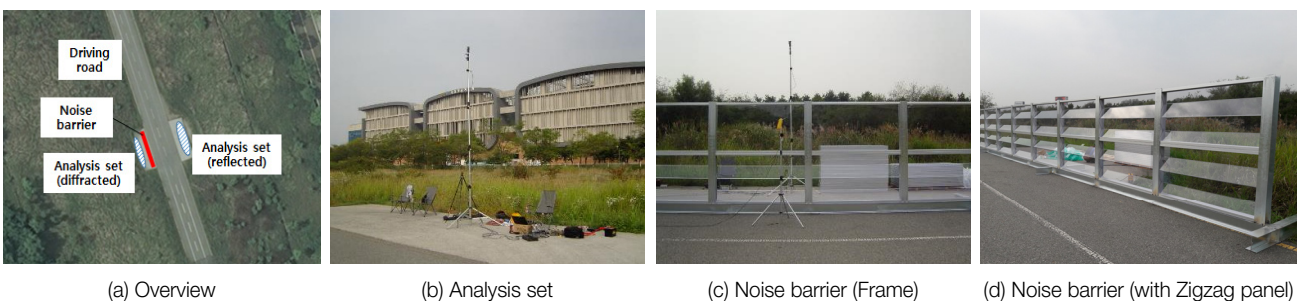


Fig. 2. Field Photos with Installed experimental sets.

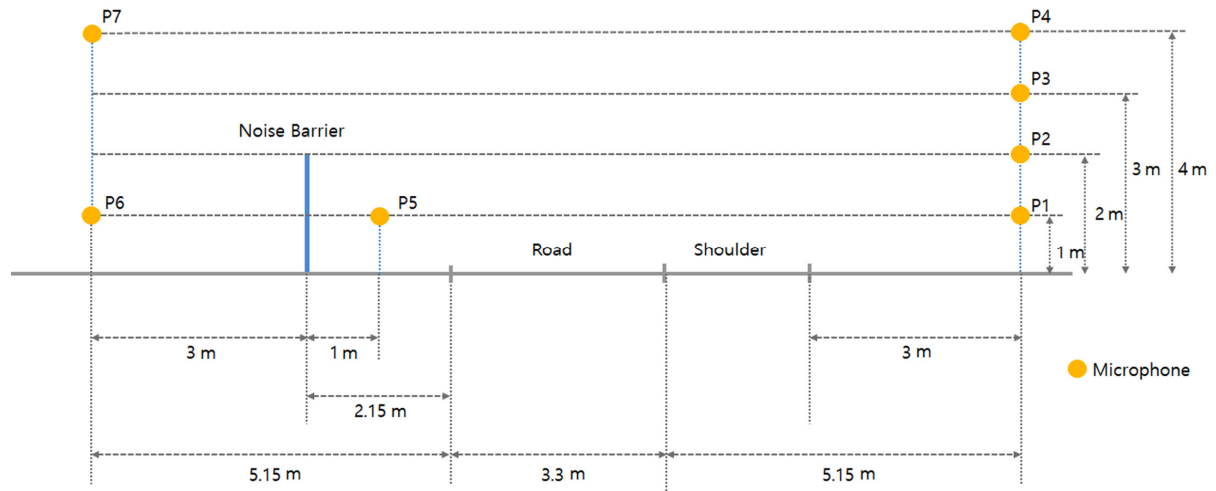


Fig. 3. Positions of microphones for analysis.

Table 2. Analysis equipment and software

	Model	Spec.
Microphone	Model 378B02 / PCB	- Sensitivity : 50 mV/Pa - Frequency range : 3.75~20,000 Hz - Dynamic range : > 135 dB
DAQ	NI cDAQ 9174 / NI	- Multi-channel data collection
Software	NEWWAVE 2.0.1 / NewWave	- Data record and analysis program
Speaker (Fixed noise, Pink noise)	Yamaha MSP7 Studio	- Frequency answer : 45 Hz ~ 40 kHz - Maximum output : 106 dB in 1 m - S/N : ≥ 99 dB

이 4 m까지 반사소음을 측정하였다(P1~P4, Fig. 3). 방음벽 회절음은 3 m 거리의 높이 1, 4 m에서 측정하였다(P6, P7). 고정소음은 동일한 구성이며 CH1~7로 구분하였으며 소음원은 방음벽에서 2.3, 3.3, 4.3 m 거리에 두었다. 각 측정점에는 마이크론을 설치하였으며, 데이터 수집 및 분석 프로그램 등은 Table 2에 사양을 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 주행 소음 방음 효과

SUV 차량과 1톤 화물차로 주행하여 측정된 반사음 및 회절음 결과를 Fig. 4에 나타내었다. SUV에 대해서 입체형(Z-Z)으로 구성된 방음벽은 반사음 평균 72.3 dBA로 다른 시험대상 구성 중에서 가장 낮은 소음을 보였다. 혼합1형(Z-P)은 73.0 dBA, 혼합2형(P-Z)은 73.1 dBA로 평판형의 반사음 73.3 dBA에 대해 보다 작은 소음으로 측정되었다. 화물차의 경우 입체형, 혼합1·2형의 반사소음이 각각 78.8, 78.6, 78.8 dBA로 평판형 78.9 dBA보다 근소하게 작은 효과를 보였다.

투과음에 해당하는 방음벽 뒤편 높이 1 m에서 측정된 결과는 평판형이 우수하게 나타났다. SUV에 대해서는 평판형 56.8 dBA보다 입체형 57.5 dBA, 혼합1형 57.4 dBA, 혼합2형 57.7 dBA 등이 높게 측정되었다. 이는 지그재그 패널의 절곡부분에서의 얇은 두께에 의한 것으로 보인다. 반면 회절음인 높이 4 m에서는 입체형 63.0 dBA, 혼합1형 62.7 dBA, 혼합2형 63.0 dBA로 평판형 62.8 dBA과 거의 차이

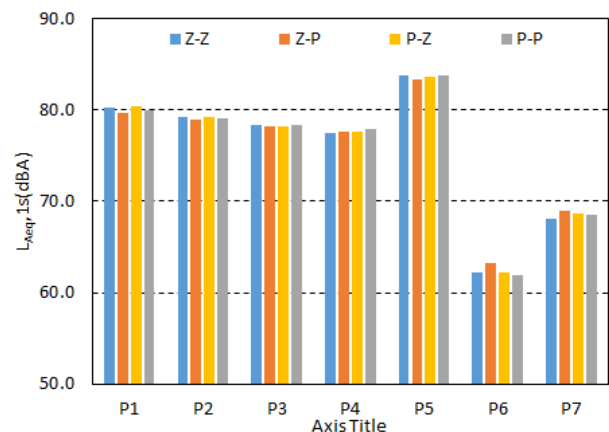
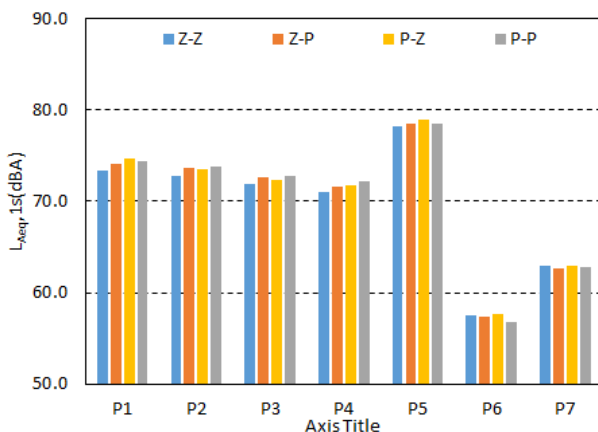


Fig. 4. Reflected and diffracted sound of travelling vehicles.

가 나지 않았다. 화물차에서는 입체형의 회절음이 높이 1, 4 m에서 각각 62.3, 68.1, 혼합1형이 각각 63.3, 68.9 dBA, 혼합 2형이 62.2, 68.7로 평판형 61.9, 68.6보다 근소하게 높게 나타났으나 SUV와 같이 4 m에서는 큰 차이가 나지 않았다.

3.2. 주행소음의 평판형 대비 비교

다음 Fig. 5는 일반 반사형인 평판형으로 구성된 방음벽 (P-P)과의 높이별 반사음 효과를 비교한 것이다. 양(+) 방향이 효과가 있음을 나타낸다. SUV에서 입체형 방음벽은 평판형 대비 반사음 1.01 dB 저감 효과가 있었다. 높이별로 도 모든 부분 0.91~1.18 dBA의 적은 편차의 고른 저감 효과를 보였다.

혼합1형은 1, 4 m에서 저감효과를 보였으며 평균 0.26 dBA 저감효과가 있었다. 혼합 2형은 2~4 m에서 점차 효과가 상승하였으며, 평균 0.22 dBA 저감효과를 나타내었다. 화물차의 경우는 혼합1형에서 평균 0.16 dBA의 고른 효과가 나타났으나 입체형, 혼합2형에서는 4 m를 제외하고는 역(-)효과가 나타났다. 이는 1.9 m에 해당하는 화물차종의 상대적 높이에 의한 것으로 보인다.

3.3. 고정 소음 방음 효과

앞 절의 주행차량에 대한 방음효과와 비교하기 위해 소음원을 고정시켜 놓고, 동일 구성의 방음벽을 설치하여 방음

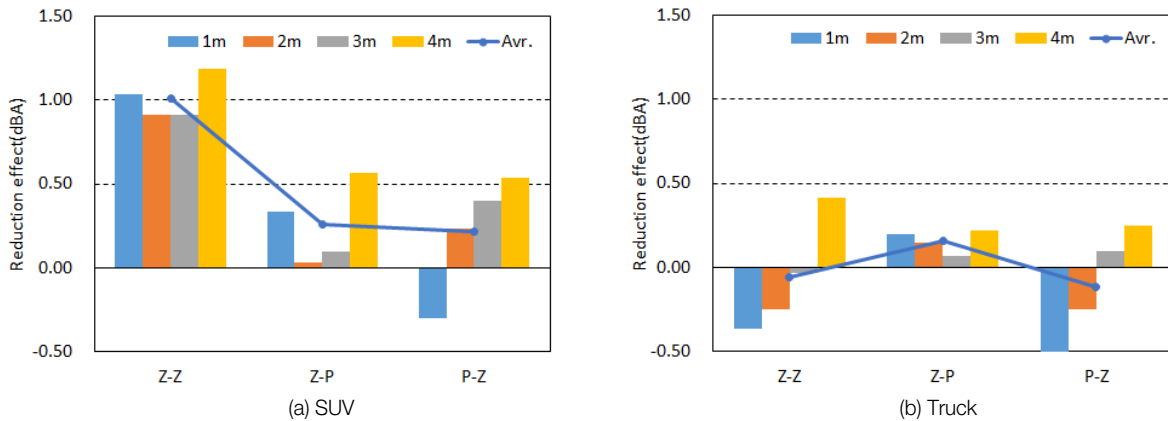


Fig. 5. The comparison of reflected sound to plane-noise barrier by height for travelled.

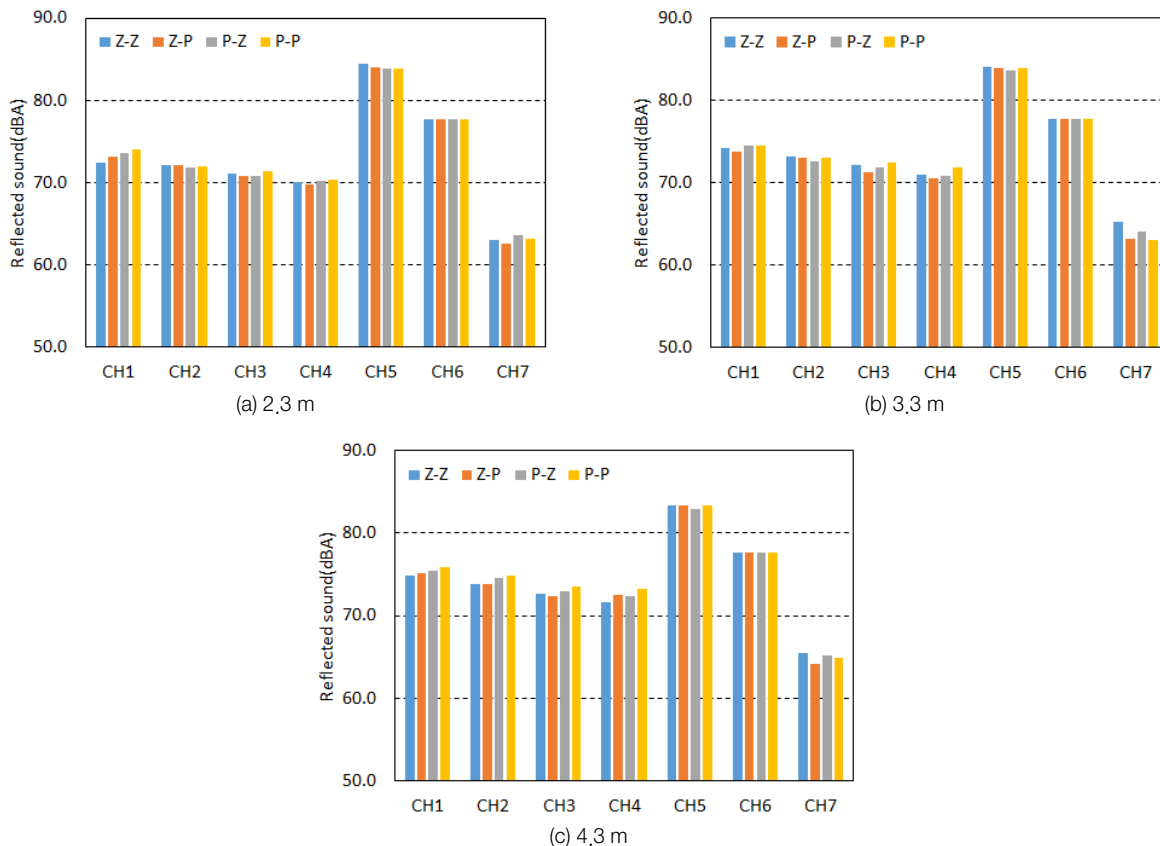


Fig. 6. Reflected and diffracted sound of fixed sound source.

효과를 측정, 분석하였다(Fig. 6). 소음원은 방음벽으로부터 각각 1, 2, 3 m의 위치에서 발생하였다.

소음원 거리 1 m에서 입체형 방음벽의 반사음의 평균은 71.4 dBA이며, 혼합1형은 71.4 dBA, 혼합2형은 71.6 dBA였다. 모두 평판형 72.0 dBA보다 낮게 나왔다. 회절음을 대표하는 CH7에서는 각각 입체형 63.0 dBA, 혼합1형 62.6 dBA, 혼합2형 63.6 dBA로 입체형과 혼합1형이 근소하게 낮게 나왔다. 거리 2 m에서 입체형 방음벽 반사음 평균은 72.6 dBA이며, 혼합1형은 72.1 dBA, 혼합2형은 72.4로 평판형 72.9 dBA보다 낮게 나왔다. 회절음을 나타내는 CH7에서는 입체형 65.2 dBA, 혼합1형 63.1 dBA, 혼합2형 64.0 dBA으로, 평판형 63.0 dBA보다 다소 높게 측정되었다. 거리 3 m에서 반사음 평균은 입체형 73.3 dBA, 혼합1형 73.5 dBA, 혼합2형 73.9 dBA로 평판형 74.4 dBA보다 낮게 측정되었다. 회절음은 입체형, 혼합1형, 혼합2형이 각각 65.5, 64.1, 65.2 dBA로 평판형보다 낮게 측정된 구성은 혼합1형이었다.

3.4. 고정소음의 평판형 대비 비교

각 높이별 반사음 효과를 비교하기 위해 평판형 대비 효과를 Fig. 7에 소음원 거리별로 나타내었다. 우선 소음원 거리 2.3 m에서는 입체형 높이 1 m에서 1.6 dBA로 높은 저감효과를 나타내었다. 방음효과의 평균은 입체형, 혼합1형,

혼합2형 각각 0.55, 0.53, 0.38 dBA로 입체형과 혼합1형이 방음효과가 높았으나, 혼합2형이 높이별로 고른 방음효과를 나타냈다. 소음원 거리 3.3 m에서는 혼합1형에서 높이 3, 4 m에서 방음효과가 1.20, 1.30 dBA로 높게 나타났으며 평균 효과도 0.78 dB로 가장 높았다. 입체형, 혼합2형도 높이 4 m에서 0.70, 0.80 dBA의 저감 효과를 나타냈다. 소음원 거리 4.3 m에서는 입체형 구성의 저감효과가 평균 1.18 dBA로 가장 두드러졌다. 높이별로도 모두 1.00 dBA 이상의 고른 저감효과를 나타냈다. 혼합1형도 평균 0.92 dBA였으며 높이별로 고른 저감효과를 나타냈다. 혼합2형은 평균 0.58 dBA 저감효과를 보였으며, 4 m에서 0.90 dBA의 효과를 보였다.

개발된 입체형 방음패널의 반사음 저감 효과는 소음원의 거리가 멀수록 효과가 나타나는 것으로 보인다(Fig. 8). 입체형 방음벽을 제외하고는 소음원의 거리가 멀어질수록 반사음의 저감 효과가 높았다. 한편 Fig. 8을 통해 입체형 방음벽의 소음 저감 효과가 가장 높은 것도 확인할 수 있었다. 이는 기존 연구의 입체형 패널과 기울어진 평판형 결합 방음벽의 효과와 비슷한 경향이다.¹⁰⁾ 즉, 하단의 지그재그 판넬과 상단의 기울어진 구조에 평판형을 결합했을 때 반사음 측정 범위 내에서 거리가 멀어질수록 저감 효과가 우수했다. 따라서 현장에서 입체형 방음벽 설치 위치를 고려할 때 3 m 이내의 거리에서는 소음원에서 멀어질수록 방음효과가 우수할 것으로 기대된다.

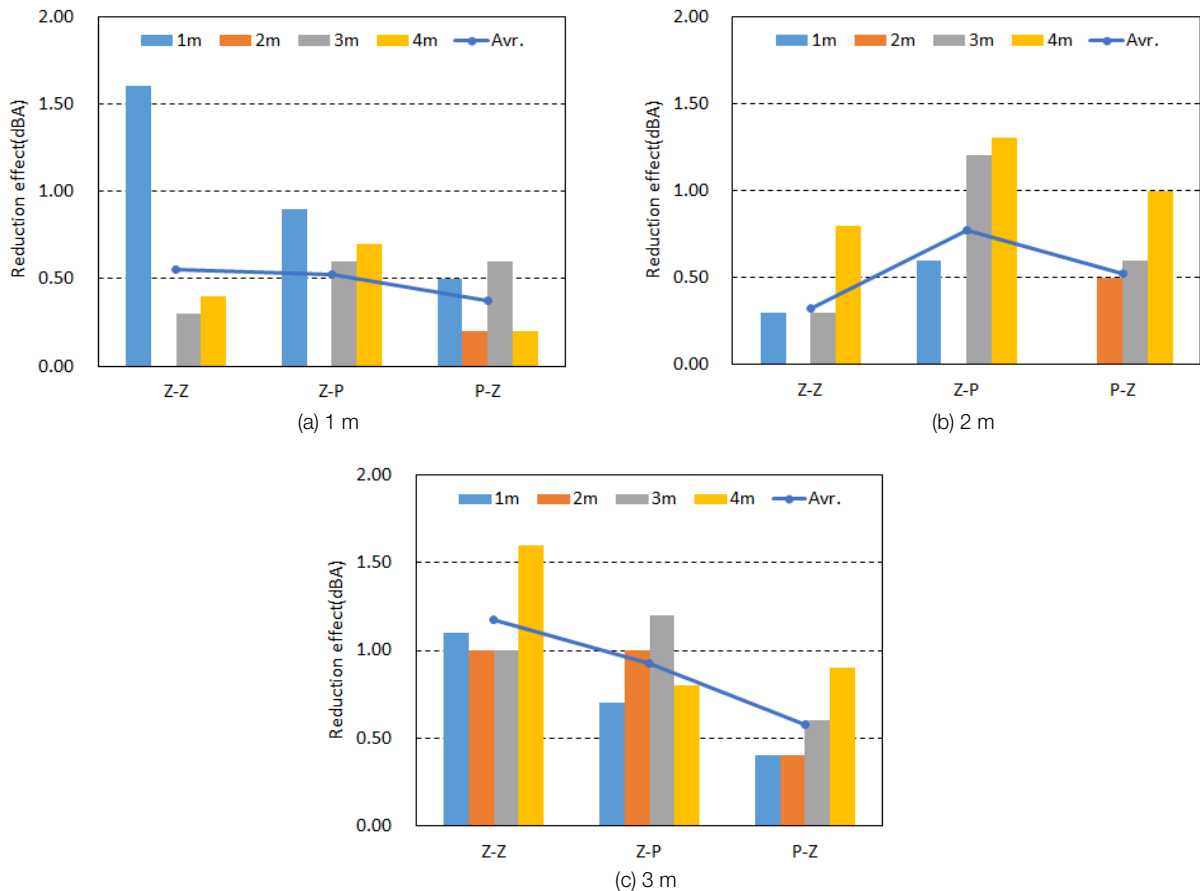


Fig. 7. The comparison reflected noise to plane panel by sound source distance for fixed.

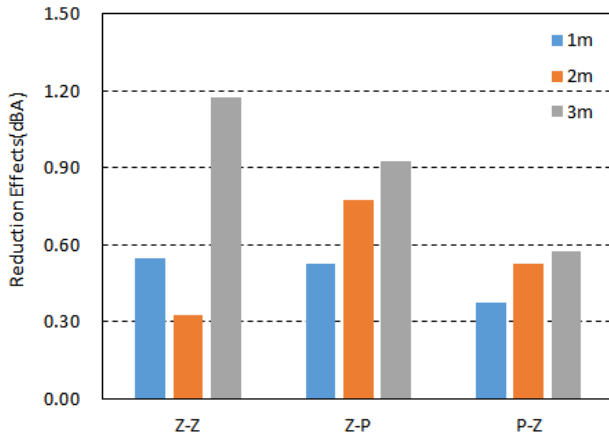


Fig. 8. Reduction effects of noise barriers by noise source distance.

4. 결론

본 연구는 투명형 방음벽에서 가능한 지그재형 패널의 반사음 저감효과를 분석한 내용으로 실험 결과, 다음과 같은 주요한 결론을 도출할 수 있었다.

1) 주행소음 측정 결과 SUV 차량의 경우 입체형 방음벽에서 반사소음 저감 효과가 있었다. 높이별로 0.91~1.18 dBA로 적은 편차에 평균 1.01 dBA의 저감효과를 나타냈다. 반면 트럭의 경우는 하단 입체형-상단 평판형을 혼합한 혼합 1형에서 평균 0.16 dBA의 저감효과가 있었으나 대체적으로 주목할만한 효과는 나타나지 않았다. 이는 설치 방음벽과 주행 화물차의 높이가 거의 비슷하기 때문인 것으로 보인다.

2) 고정소음 측정 결과는 거리가 멀어질수록 저감효과가 있었다. 즉 반사음 측정거리 1~3 m 사이에서 입체형, 혼합형의 반사음 저감효과는 거리가 멀어질수록 대체로 증가하였다. 특히 입체형 방음벽과 거리 3 m에서 가장 높은 효과가 나타났다.

3) 투과음은 평판형에 비해 다소 높았는데, 제작 과정 특성상 절곡 부분의 두께가 얇아졌기 때문으로 보인다. 추후 양산과정에서 보완할 수 있을 것으로 보인다. 한편 회절음은 평판형과 거의 비슷한 수준으로 측정되었다.

투명형 방음벽에서 예상되는 2차 소음 발생을 저감하기 위해 전면에 형상을 가한 입체형 방음벽을 개발하고 성능을 현장 주행 및 고정 소음으로 평가하였다. 기존 방음벽 설계 및 설치는 소음 발생 지점에 높이 방향의 회절 효과나 시행착오에 의해 규모를 결정하므로 예산 등의 소요 자원 예측 등에 어려움이 있어왔다. 그러나 최근 시뮬레이션을 결합

한 소음 예측 기술이 발달하고, 방음벽의 방음효과 또한 정밀하게 모사가 가능함으로서 관련 산업의 수요에 효율적으로 대응할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 시뮬레이션에서 시작된 방음패널의 설계, 예측 기술이 현장의 실규모로 설치, 평가 되었다는 점에 의의가 있으며 반사소음을 저감하는 방안으로 이용될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(2017-0537)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

KSEE

References

- Kim, H. S. and Huh, Y., "Improvement for Maintenance Management System of Noise Barrier," *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, **2003**(5), 214~218(2003).
- Cha, S. G., "A study on actual maintenance and improvement of noise barrier in Gyeongin Expressway," *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, **2013**(4), 608~610 (2013).
- Ahn, H., Kim, I., Park, J., Lee, J. and Kim, K., "Analysis of Research Trend and Development Direction on Domestic and International Noise Barriers," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(12), 847~854(2012).
- Kim, H., "An Experimental Study on the Reduction Effect of Reflected Sound and Diffraction Effect by Types of Noise Barrier," *Trans. Korean Soc. Noise and Vibrat. Eng.*, **6**(2), 245~250(1996).
- Waubke, H. and Kasess, C., "Implementation of on insertion loss of arbitrarily shaped noise barriers into noise mapping software," *ISCV22, Florence, Italy*, 12-16 July(2015).
- Kim, I., Park, T., Chang, S. and Lee, H., "A Reduction Effect in Noise Reflection by Different Shapes of Soundproofing-panel," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **37**(2), 120~125(2015).
- Lee, J., Kim, J., Park, T., Chang, S. and Kim, I., "Reduction Effects of Shaped Noise Barrier for Reflected Sound," *J. Civil & Environ. Eng.*, **5**(2), 171~177(2015).
- Lee, J., Kim, I. and Chang, S., "Analysis of highway reflection noise reduction using transparent noise barrier types," *Environ. Eng. Res.*, **20**(4), 383~391(2015).
- Lee, J. Y. and Kim, I. H., "Evaluation of Reduction in Reflection Sound bound from a Shaped Noise Barrier Panel," *Int. J. Highw. Eng.*, **17**(5), 19~24(2015).
- Lee, J., Lee, H. and Kim, I., "Reduction Effects of Shaped Noise Barrier by Composition with Adsorbed Filter Panel," *Int. J. Smart Home*, **10**(12), 193~202(2016).