도로소음원에 대한 방음패널 형상별 반사소음 저감효과

A Reduction Effect in Noise Reflection by Different Shapes of Soundproofing-panel

김일호^{*,†} · 박태호 · 장서일^{**} · 이혜인^{*}

Ilho Kim^{*,†} · Taeho Park · Seoil Chang^{**} · Haein Lee^{*}

*한국건설기술연구원 환경·플랜트연구소 ·

서울시립대학교 에너지환경시스템공학과 · **서울시립대학교 환경공학과

**Environmental and Plant Engineering Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology*

Department of Energy and Environmental System Engineering, University of Seoul

***Department of Environmental Engineering, University of Seoul*

(Received March 14, 2014; Revised November 20, 2014; Accepted February 26, 2015)

Abstract : With rapid urbanization, the volume of traffic in urban area has been significantly increased. This in turn led to problem which can be described as Road Traffic Noise. Currently, to alleviate the road traffic noise damage, a demand for installation of soundproofing walls is rising. Among different shapes of soundproof walls being installed, the reflection-type acoustical insulation panel is highly drawing attentions of residents due to the fact that it does not obstruct their field of vision in contrast with the opaque acoustical insulation panel. On the other hand, improving the soundproofing wall of the reflection-type acoustical insulation barrier panel needs to be focused on since it has a possibility to cause a secondary damage by reflected sounds. Therefore, in this research, study has been carried out to improve the forms in order to minimize travelling of reflected sounds through changing the frontal surface shape and geometrical shape of the reflection-type soundproofing panel. A result from comparison between the normal reflection-type soundproofing panel and the improved soundproofing panel, with reduction effects in the noise reflection, showed that the curved type of soundproofing panel has an impact on reducing the noise up to 1.5 dB. Furthermore, from the research conducted, it appears that the increase and decrease in the reflected sounds can be changeable depending on various design factors. Thus, it turns out that the study shows a potential possibility to develop a reduction technology of the reflected sounds pertaining to overall condition on the soundproofing walls.

Key Words : Noise Barrier, Sound Insulation Properties, Panel Shape, Reflection Noise, Curved Noise Barrier

요약 : 도시화의 가속화와 더불어 도심의 교통량의 증가로 도로소음피해를 최소화하기 위하여 방음벽의 설치 수요가 증가하고 있다. 설치되고 있는 여러 형태의 방음벽 중, 반사형 방음패널의 경우 불투명 방음패널과 달리 시야를 가리지 않으므로 방음시설을 요구하는 거주자들에게 인기를 얻고 있다. 하지만 반사형 방음패널의 경우, 반사음에 의한 2차 피해를 유발시켜 피해를 줄일 수 있는 방음벽 개발의 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 반사형 방음패널의 전면형상 및 기하학적 형태를 변화시켜 반사음의 전달을 최소화 시킬 수 있는 형상을 연구하였다. 일반형 반사형 방음패널과 형상별 방음패널의 반사소음 저감 효과를 비교 한 결과, 곡선형 방음패널이 1.5 dB의 소음저감 효과가 있었다. 또한, 반사음의 증가 또는 감소는 형상별 설계인자에 따라 변화하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 방음벽 전면 현상에 따른 반사소음의 저감 기술의 가능성을 보여주는 결과라고 판단된다.

주제어 : 방음벽, 음향차음특성, 패널형상, 반사소음, 곡선형 방음벽

1. 서론

도시화가 가속화됨에 따라 도로 주변의 주거지역 개발 및 교통량 증가로 도로소음피해가 점차 증가하고 있다. 이에 소음피해의 대책으로 방음벽 설치 수요가 증가하고 있는 추세이다.^{1,2)} 특히 투명형 방음벽의 경우 조망 확보가 가능하다는 장점이 있어 투명 방음벽 설치는 증가될 것으로 보인다. 하지만 투명 방음패널의 경우, 방음벽이 설치된 맞은편 도로변 거주자에게 반사음으로 인한 2차 피해를 야기할 수 있다. 따라서 투명 방음패널의 형태를 개량하여 시야를 가리지 않는 범위에서 반사 소음 피해를 줄일 수 있는 방법을 연구할 필요성이 있다고 사료된다.

본 연구에서는 반사소음 저감을 위하여 방음벽 형상에 따

른 소음저감효과를 수학적 모델을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 이로부터 방음벽에서 반사음이 반사되어 도로 방향으로 나아가는 것을 최소화 시킬 수 있도록 방음패널의 형상 및 반사음 저감효과를 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1. 소음 예측 모델

본 연구를 진행하는데 있어 소음 모델은 도로에서 발생하는 소음을 현실에 가깝게 모사하는데 있어 중요한 요소이다. 본 연구에서 사용된 소음 모델은 이론적인 음향모델 중에서 Nord 2000의 모델에 따라 정의되었다.³⁻⁶⁾ 도로 중

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

심선으로부터 10 m에 떨어진 곳의 소음레벨($L_{E, 10m}$, dB)은 거리 7.5~15 m, 높이 0.2~4 m에서 측정된 소음레벨(L_E , dB)에서 차량과 도로에 대한 보정으로부터 구해진다.

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

여기서 d 는 도로 중심선부터의 거리(m), w 는 차량 축 너비(m), h_r 는 수음점 높이(m), $\Delta \alpha$ 는 수음점에 영향을 미치는 도로각도(rad, 2.75)이다. 식 (1)로부터 주행속도 보정항을 계산하면 차량의 파워레벨(dB)을 계산할 수 있다.

$$L_W = L_{E, 10m} + C(50) + 10 \log \left(\frac{V}{50} \right) \quad (2)$$

여기서 $C(50)$ 은 차량에 의해 정해지는 주행속도 50 km/h에 대한 고유한 보정치이며, V 는 주행속도(km/h)이다.

음향파워레벨의 산정조건을 위한 차량 조건은 Table 1과 같다. 각 수치는 1시간의 평균 소음도로 도출되는 값을 이용하였다. Table 1에 표기한 조건은 Nord 2000의 차량 분류 조건을 따른 내용이다. 국내의 차량분류는 국토해양부에서 12 차종으로 분류하고 있으며, 도로공사의 경우 국토해양부의 12 차종 분류를 이용하여 5 차종으로 재분류하여 소음을 산정하고 있다.^{7,8)} 또한 국내의 차량분류 기준은 차량의 축 수를 기준으로 하고 있으나, Nord 2000의 경우 축 수와 무게 기준을 혼합하여 사용하고 있다. Table 1의 차량 조건

Table 1. Computation conditions of sound power level

	Vehicle number	Vehicle speed
S1	1000 대/h	100 km/h
S2	20 대/h	100 km/h
S3	10 대/h	100 km/h

Table 2. Sound power level applied on the research (dB)

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

Fig. 1. Design factors and forms of the noise barrier.

은 대형차의 혼입률 2.9% 정도로 일반적인 도로의 상황과는 다소 차이가 있으나 본 연구의 적용 지점이 소음에 민감한 시내 지역임을 고려하여, 승용차를 주요 소음원으로 설정하였다. Table 1에서 S1, S2, S3는 각각 승용차, 대형차, 4축 이상 대형차를 나타낸다.

소음도 산정은 편의를 위해 SoundPlan 7.2에서 도출되는 Nord 2000 모델에서의 소음도를 함께 이용하여 Table 2와 같은 음향파워레벨을 산정하였다. 환경부 고시 등에 따르면 방음판 성능을 투과손실로 규정하여 500 Hz, 1000 Hz에 대한 기준을 제시하고 있다. 따라서 Table 2에 제시된 주파수는 500 Hz와 1000 Hz를 기준으로 가청주파수 대역 내에서 2^{-3} ~ 2^3 배에 해당하는 범위이다.

보통 차량의 크기에 따라 소음이 증가하지만 본 연구에서는 승용차의 차량대수를 주요 소음원으로 설정하였으므로 S1의 소음도가 가장 크다. 실제 측정된 차종별 차량 소음은 1000 Hz에서 80 dB 정도의 최대값에서 포물선형을 그리는 것으로 보고된 바 있다.⁹⁾

또한, 소음원의 높이는 수학적 모델에서 사용되는 도로바닥에서 방사되는 소음원의 높이를 의미하며, 차량의 분류와 모델의 종류에 따라 각기 다르지만 가장 낮은 음원의 경우 타이어와 도로 노면과의 마찰 소음, 중간 높이의 소음원은 소형차의 경우 배기소음, 대형차의 경우 엔진소음을 의미한다. 가장 높은 높이의 음원은 소형차의 경우 엔진소음, 대형차의 경우 배기소음을 의미한다. 이는 절대적이지는 않으며 각기 모델에 따라 달라 질 수 있다. 본 연구의 지향성 역시 비교적 자료가 풍부한 Nord 2000 모델을 이용하여 산정하였으며, 각 시뮬레이션은 ray-tracing 기법을 기반으로 하여, 방출된 음원에서의 소음이 개별 수음점으로 전달되는 데 있어 방음벽 및 도로에 의한 반사와 직접 전달되는 음의 크기를 각각 계산하여 방음벽의 성능을 검토하였다.

2.2. 대상 모델

방음벽 전면 형상에 의한 반사음의 저감효과를 분석하기 위하여 Fig. 1과 같이 날개형, 지그재그형, 곡선형으로 나누

Fig. 2. Sound transfer of Noise barrier by traffic lane.

Fig. 3. Location map of comparison point about noise level.

어 형상 및 설계인자를 설계하였다. 본 연구의 곡선형과는 달리 현재까지 설치된 곡선형의 경우 높이 상승을 방지하기 위해 위로 올라갈수록 구부러지는 형상이다. 이에 반해 본 연구에서 적용한 곡선형은 반사소음 저감 및 미관 등을 고려하여 적용된 설계 형상이 다르다(Fig. 1(c)).

Table 1과 2에 의해 발생된 소음원은 6차선 발생하며 각 차선에 대한 음향 전달은 Fig. 2에 나타내었다. 차선별 차량의 위치는 21.6 m를 6등분한 구간의 중앙 지점이다. 소음원에 대한 수음점은 환경소음의 측정시, 공동주택의 경우 특별한 요소가 없는 경우에 5층 단위로 측정을 한다는 점에서 착안하여, 반사소음 평가는 방음벽이 설치되지 않은 맞은편 도로의 5층, 10층 높이에 해당하는 15 m (R1), 30 m (R2)높이를 설정하였다. 도로내측(R3)의 경우 평판형 대

비 소음의 증가여부를 확인하기 위하여 도로 중심에서 2 m 높이를 목표지점으로 설정하였다(Fig. 3). 이 높이는 자동차 관리법에 의한 자동차 구분이 대부분 승용차, 승합차 등의 높이를 2 m 이하로 산정하고 있어 참고하였다.

3. 연구 결과

방음벽 전면 형상에 의한 반사음의 저감효과를 분석하기 위하여 높이 5 m, 길이 5 m의 방음벽에 형상을 설계하였으며, 편도 3차로에 차량의 출입이 있다고 가정하여 소음 시뮬레이션을 하였다. 이러한 결과는 연구 대상 방음벽과 규격이 같은 일반 평판형 방음벽의 반사효과와 비교하였다. Fig. 3은 평판형 방음벽의 반사소음을 예측한 결과이다. Table 2에서와 같이 Nord 2000 모델에서의 음향파워레벨을 산정한 결과 1,000 Hz에서 가장 높은 파워레벨을 나타내어 도로교통소음원의 중심이 되는 500, 1,000, 2,000 Hz에서의 측정 결과만을 Fig. 4에 나타내었다.

평판형 방음벽은 주파수의 변화에 따라 조금씩의 차이는 있지만, 전체적으로 방음벽에 부딪힌 반사음이 대각선 방향으로 뻗어 올라가는 형상을 하고 있으며, 반사음 측정 결과는 Table 3과 같이 예측되었다.

Table 3. A noise prediction result for the flat noise barrier

A noise prediction result about comparison point(dB)		
R1 : 15 m	R2 : 30 m	R3 : middle of the road (2 m)
68.7	64.9	82.4

Fig. 4. A result of the radiated sound of the flat noise barrier.

Table 4. A noise prediction result of the comparison target noise barrier

Noise barrier	Design factors			A noise prediction result about comparison point (dB)		
	a (m)	b (m)	θ (°)	R1 : 15 m	R2 : 30 m	R3 : middle of the road (2 m)
Vane-type	0.4	0.64	39	67.9 (-0.8)	65.1 (0.2)	82.4 (0.0)
Zigzag-type (1)	1	1	90	68.0 (-0.7)	64.9 (0.0)	82.4 (0.0)
Zigzag-type (2)	0.5	0.5	90	67.5 (-1.2)	64.8 (-0.1)	82.4 (0.0)
Curve-type	1.5	4	-	67.2 (-1.5)	64.0 (-0.9)	82.3 (-0.1)
Reference(flat type)				68.7	64.9	82.4

이와 대비하여 방음벽 전면 형상에 따른 반사소음의 예측 결과는 **Table 4**에 나타내었으며, 괄호 안의 수치는 평판형 대비 반사소음의 감소치를 나타낸 것이다.

날개형 방음패널의 설계인자는 $a = 0.4$ m, $b = 0.64$ m, $\theta = 39^\circ$ 이며, R1에서 67.9 dB, R2에서 65.1 dB, R3에서 82.4 dB로 측정되었다. 평판형 방음패널과 비교하여 R1 지점에서는 0.8 dB의 소음 감소효과가 나타났다. R2 지점의 소음도는 미량 증가하였는데, 이는 평판형과 같이 날개형 방음벽에 부딪힌 반사음이 대각선 방향으로 뻗어 올라가는 형상을 하고 있기 때문으로 판단된다. 또한 R3 지점의 소음도는 평판형 방음패널과 동일하여, 날개형 패널의 경우 평판형 방음패널과 비슷한 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다 (Fig. 5).

지그재그형 방음패널의 경우 2가지 모델로 시뮬레이션을

Fig. 5. A result of the radiated sound of the vane-type noise barrier.

Fig. 6. A result of the radiated sound of the zigzag-type (1) noise barrier.

Fig. 7. A result of the radiated sound of the zigzag-type (2) noise barrier.

Fig. 8. A result of the radiated sound of the curved noise barrier.

수행하였으며, 지그재그형 (1)의 설계인자는 $a = 1$ m, $b = 1$ m, $\theta = 90^\circ$ 이며, 지그재그형 (2)의 설계인자는 $a = 0.5$ m, $b = 0.5$ m, $\theta = 90^\circ$ 로 설계하였다. 지그재그형 (1)의 경우, R1에서 68.0 dB, R2에서 64.9 dB, R3에서 82.4 dB로 측정되었으며, R1 지점에서만 0.7 dB의 소음 감소효과가 나타났다 (Fig. 6).

지그재그형 (2)의 경우, R1에서 67.5 dB, R2에서 64.8 dB, R3에서 82.4 dB로 측정되었으며, R1 지점에서 1.2 dB, R2 지점에서 0.1 dB의 미량의 소음 저감효과가 나타났다 (Fig. 7). 지그재그형 (2)의 설계 조건이 (1)보다 우수할 것으로 예상된다.

곡선형 방음패널의 설계인자는 $a = 1.5$ m, $b = 4$ m이며, R1에서 67.2 dB, R2에서 64.0 dB, R3에서 82.3 dB로 측정되었다. 평판형 방음패널과 비교하여 모든 지점에서 소음 감소효과가 나타났으며, R1 지점에서는 1.5 dB, R2 지점에서는 0.9 dB, R3 지점에서는 0.1 dB의 저감효과를 나타내었다 (Fig. 8).

본 연구결과, 방음패널의 설계인자에 따라 반사소음 증감이 나타났고, 전면 형상의 변화에 따라 반사소음의 저감효과가 다양하게 변화하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 반사형 투명 방음벽의 반사소음을 최소화하기 위하여 방음벽 전면 형상을 달리하여 다양한 형상 방음패널의 반사소음을 예측하였다. 형상 방음패널은 날개형, 지그재그형, 곡선형으로 구분하여 각각 설계인자를 달리하여 모델링을 실시하였다. 또한, 동일한 소음원에서의 반사소음 저감 효과를 분석하기 위하여 평판형 방음패널과 비교분석하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1) R1 지점에서 본 연구에서 제시한 형상 방음벽 모두가 반사소음 저감 효과를 보았으며 순서는 곡선형, 지그재그형, 날개형 순으로 나타났다. 곡선형에서는 1.5 dB의 저감효과를 보였으며 지그재그형에서도 세부적인 크기 및 각도에 따라 부분적으로 효과가 있었다.

2) R2 지점에서도 곡선형 방음패널이 0.9 dB의 소음도 저감효과가 예측되어 형상 방음패널 중 가장 좋은 효과를 나타내었으며 그 외의 형상은 특별한 저감효과가 나타나지 않았다.

3) R3에서는 곡선형에서 0.1 dB 저감효과가 있었을 뿐 그 외의 형상에서는 효과가 나타나지 않았다.

소음도 예측 결과를 종합하여 볼 때, 곡선형의 형태가 반사음의 저감에 가장 효과적일 것으로 판단된다. 예측한 곡선형 방음벽을 교통량이 증가하고 있는 도심지역에 적용할 경우, 불투명 방음벽과 달리 주변 시야확보가 가능하며, 평판형 투명 방음벽에 비하여 반사음의 2차 피해를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 형상을 가미한 방음벽의 경우, 평판형 방음패널에 비하여 심미적인 효과도 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(2014-0031)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

KSEE

References

1. Kim, H.-S. et al., "Improvement for Maintenance Management System of Noise Barrier," *Proc. KSNVE Annual Spring Conference*, **2003**, 214-218.
2. Cha, S. G., "A study on actual maintenance and improvement," *Proc. KSNVE Annual Spring Conference*, **2013**, 608-610.
3. Jonasson, H. G., "Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles," SP Swedish National Testing and Research Institute(2006).
4. Bendtsen, H., "Noise Barrier Design : Danish and Some European Examples," Danish Road Institute Report, p. 174 (2010).
5. Kragh, J. et al., "Nordic Environmental Noise Prediction Methods, Nord2000 Summary Report," Danish Electronics

- Light & Acoustics(2002).
6. Plovsing, B. et al., "Nord 2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1 : Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction," Danish Electronics Light & Acoustics(2002).
 7. Korean Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Vehicle classification guide for traffic volume survey," Korean Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2008).
 8. Korea Expressway Corporation. Transport Statistics [Internet]. Korea Expressway Corporation; c2014 [cited 2015 March 19]. Available from:<http://www.ex.co.kr>.
 9. Park, S.-I. et al., "A Study on The Traffic Noise Level and Frequency Characteristics as Per Types of Cars in the City," 1(2), (2008).