

철도용 터널형 방음벽 개발연구 : 음향 루우버

SOUND ENCLOSURE DESIGN FOR RAILWAY NOISE PROTECTION

김태민*†, 김정태*, 박광현**, 김현무**

Tae-min Kim*†, Jeung-Tae Kim*, Gwang-Hyun Park**, Hyun-Moo Kim**

Abstract In the present study, a tunnel type soundproof wall with partial opening is proposed to reduce the environmental noise caused by railway vehicles traveling on bridge to residents of high-rise apartment buildings while minimizing the load due to wind and the weight of the wall. Applying the principles of the computational fluid dynamics and structural mechanics, and the ray tracing method, the reduction in noise as well as the overall weight of soundproof walls is estimated. Analysis results show proposed soundproof wall with partial opening weigh less while reducing wind loading by up to 30%. To prevent direct propagation of sound through opening in the wall, an acoustic louver which is a type of silencer could be considered for the opening. In order to achieve similar noise effect with existing insulation material, fluid flow and insulation effect of acoustic louver is analyzed. As the opening considered is in the range of 30 ~ 40 % of the total length of the soundproof wall, noise effect and wind load are reduced by 10 dB and 25 % respectively. Consequently, opening some part of tunnel type soundproof walls and installing louver on wall opening have effect on weight-reduction and wind load. If partial opening is applied with proper sound materials applications, a gain of additional 5~10 dB noise reduction can be achieved.

Keywords : Noise Protection Roof, Noise Barrier, Railway Noise, Acoustic Louver, Noise Propagation, Ray Tracing Method

초 록 본 연구에서는 철도 교량 위를 주행하는 철도 소음에 의한 고층 공동주택 거주민들의 철도 소음 피해를 최소화할 뿐 아니라, 방음시설에 미치는 풍하중 및 자중을 동시에 감소시키는 방안으로 터널형 방음벽의 벽면부 개방을 검토하였다. 광음향기법, 전산 유체 역학 및 구조 역학을 이용하여 방음 효과, 유동 효과 및 구조 경량화가 고려된 터널형 방음벽 설계 및 효과를 예측하였다. 해석결과, 터널형 방음벽의 벽면부를 부분 개방하여 경량화 및 풍하중 감소 효과를 얻을 수 있었으며, 방음시설의 풍하중은 최대 30 % 감소되었다. 부분개방으로 인해 철도소음의 피해가 특정 높이에서 증가하기 때문에 이를 보완하기 위하여 개방된 부분에 소음기 형태의 음향 루우버 설치를 검토하였다. 음향 루우버의 경우 기존 방음재료의 차음성능과 유사한 성능이 존재하도록 개공율에 따른 유동 해석과 차음성능 해석을 수행하였다. 개공율 30~40 % 개방 시, 차음성능 10 dB를 만족하며 풍하중이 약 25 % 저감되는 것으로 분석되었다. 결과적으로 터널형 방음벽의 벽면부 개방과 음향 루우버 설치의 경량화 및 풍하중에는 긍정적인 효과를 보여주며, 부분 개방과 함께 적절한 방음 재료와 방음설계가 동시에 적용될 경우, 거주민들이 요구하는 5~10 dB 수준의 소음저감 효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

주요어 : 터널형 방음벽, 방음벽, 철도소음, 음향 루우버, 소음전파, 광음향기법

† 교신저자: 홍익대학교 기계공학과(wowbranden@hotmail.com)

* 홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

** (주)유신 환경부교신저자: 한국대학교 공과대학 철도공학과(cjkim@hk.ac.kr)

1. 서론

철도기술 발전에 따른 철도 주행 속도 증가와 급속한 도시화로 인해 철도 소음피해 인구는 철도 기술 발전과 함께 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 철도 소음 노출 피해에 대한 문제가 심각해지고 있으며, 철도 소음 저감 대책의 수립이 시급한 실정이다[1].

철도 소음 저감 대책에 대한 가장 이상적이고 효과적인 대책은 소음원 자체를 저감시키는 기술을 개발하는 것이지만 이는 설계단계에서 수행되어야 하는 실직적인 제약이 존재하기 때문에 소음 전달 경로를 차단하거나 방해하는 대안인 방음시설이 설치된다. 방음시설이란 교통 소음을 저감하기 위하여 충분한 소리의 흡음 또는 차단효과를 얻을 수 있도록 설치하는 시설을 말하며, 방음시설은 방음벽, 방음터널, 방음둑 등으로 구분된다[2,3].

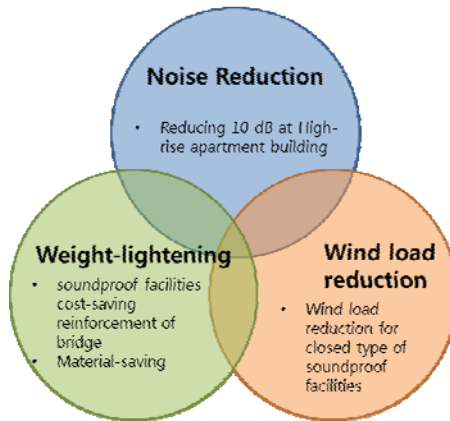


Fig. 1 Design conditions of weight-lighting sound proof tunnel

본 연구에서는 교량위에 설치되는 방음시설 설계에 있어 Fig. 1과 같이 3 가지 조건을 만족하는 방음시설을 설계하고자 한다. 첫째로, 고층까지의 소음저감 효과가 가능하도록 한다. 교량 위를 철도가 주행하는 경우 철도 소음피해 지역이 확대된다. 지반에 설치되어 있는 선로의 경우 인근 건물의 소음피해는 저층에서 가장 높으며 고층으로 갈수록 거리 감쇠에 의해 소음도가 감소된다. 하지만 교량 위에 위치한 선로의 경우 소음원 자체가 높게 위치하기 때문에 하부층부터 상부층까지 소음 피해 지역이 증가하게 된다. 따라서 고층까지 소음 저감이 가능한 방음시설이 요구된다.

둘째로, 지반에 설치되는 방음시설과는 달리 교량위에 방음시설 설치 시 교량 안전을 위해 추가적인 보강작업이 이루어진다. 이는 방음시설 건설비용을 크게 증가 시키게 되는 요인으로 최소의 보강 작업이 이루어 질 수 있도록 방음터널을 경량화 할 수 있는 구조가 요구된다.

셋째로, 풍하중에 의해 발생하는 유지보수 문제이다. 교량위에 설치되는 방음시설은 지반과는 달리 바람과 같은 외부 유동에 의해 피로 하중을 받게 되며 이에 따라 교량 하부에 응력이 반복적으로 집중된다. 이는 안정상에 문제를 야기하며 교량 수명에도 치명적으로 작용된다. 따라서 풍하중을 저감 할 수 있는 구조가 요구된다.

종합적으로 본 연구에서는 철도변 소음 저감을 위해 설치되는 방음시설 설계에 있어, 고층 건물의 방음효과, 경량화 및 풍하중 저감의 세 가지 목표를 고려한 방음시설의 설계 방향을

제시하였으며 제시되는 설계 방향에 대해 검토하였다[4]. 추가적으로 예상되는 음향학적 문제를 고려하여 인근 건물의 높이 별 균형 있는 소음 저감 효과가 존재 할 수 있도록 개선안을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 음향 루우버 설계

2.1.1 음향 루우버의 개공율

풍하중 저감과 일정 크기 이상의 차음성능 설계에 있어 전체 면적에 대한 개방부의 면적의 비율, 즉 개공율이 중요 변수로 작용하며 개공율에 따른 방음재료의 차음성능 및 풍하중 저감량을 전산해석을 이용하여 예측하였다. 목표로 하는 음향 루우버의 차음성능은 기존 방음시설의 재질과 유사할 수 있도록 10 dB로 선정하였다[5]. Fig. 2는 1 x 1 m의 방음재료의 9개의 개구부를 생성하여 개구부 크기를 변화하여 차음성능 및 풍하중을 해석 모델을 나타낸다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 개구부의 개수는 동일하게 유지하면서 크기를 변화하여 개공율을 10 ~ 60 %까지 변화하도록 구성하였다.

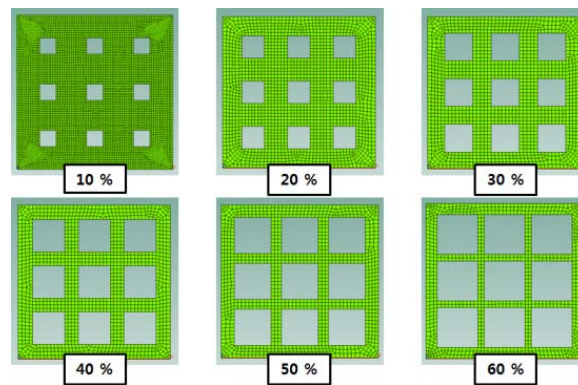


Fig. 2 Analysis Model : Opening of side walls

Fig. 3은 개공율에 따른 풍하중 및 차음성능 해석 결과를 나타낸다. 차음성능 10 dB 이상을 위해서는 음향 루우버의 개공율이 40 % 이하에서 가능한 것으로 예측되었으며, 이때 풍하중은 약 20 % 저감되는 것으로 예측된다. 음향 루우버의 개공율을 40 % 개방 시 차음성능은 약 9 dB 가능한 것으로 예측되었으며, 풍하중은 24 % 감소하고 있는 것으로 예측되었다. 따라서 차음성능 10 dB 이상을 위해서는 개공율 30 ~ 40 %가 적정할 것으로 판단되며 흡음재 부착을 통해 개선된 차음성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

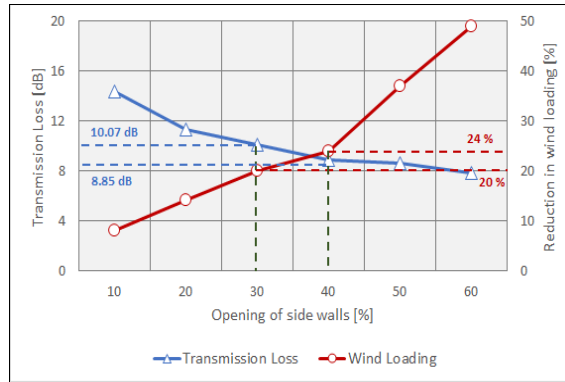


Fig. 3 Results of Wind Loading and Transmission Loss

2.1.2 음향 루우버 설계안

차음성능 10 dB이상을 유지하면서 풍하중 약 20 % 저감 가능한 개공율 36 %의 음향루우버를 설계하였다. Fig. 4는 본 연구에서 검토한 음향 루우버를 나타낸다. 음향 루우버의 두께는 300 mm 로 선정하였으며 개구부 외의 공간을 흡음재의 종류인 polyethylene foam으로 내부를 구성하였다.

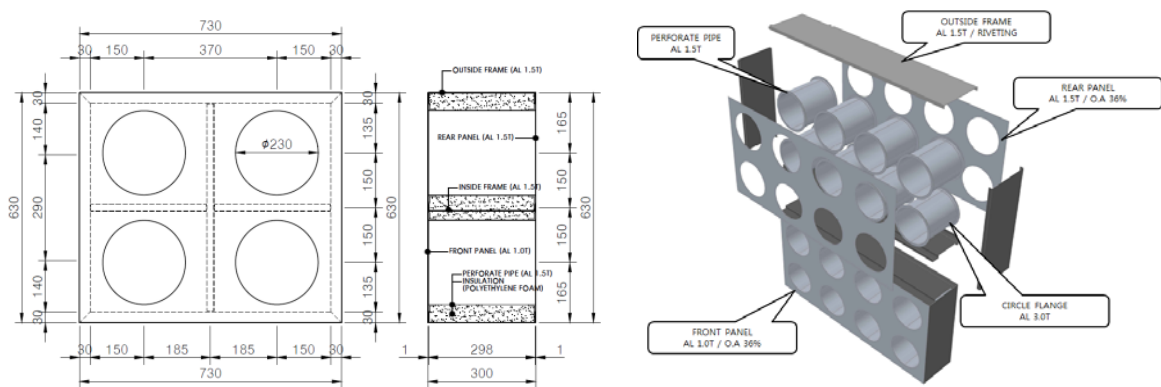


Fig. 4 Drawing of Acoustic Louver

Fig. 5는 전산해석을 이용하여 앞서 설계된 음향 루우버의 차음성능 예측결과를 나타낸다. 설계된 음향 루우버는 전 주파수 대역에서 10 dB 이상의 차음성능을 갖는 것으로 예측되었다.

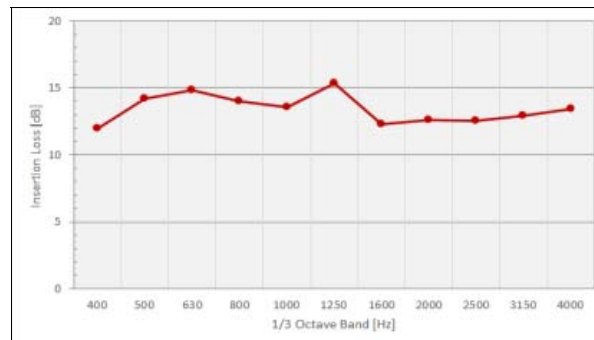


Figure 5. Transmission Loss of Acoustic Louver

2.2 음향 루우버 적용

방음재료 적용에 따른 환경소음 영향을 분석하기 위해 실제 철도 차량이 운행되는 인근지역을 해석 대상으로 선정하였다. 이 지역은 약 6 m 높이의 교량에 철도가 설치되어 있으며 가장 근접해 있는 주거지역은 약 48 m 이격거리를 두고 있다. Fig. 6은 가장 인접해 있는 공동주택과 교량의 상대적 위치를 나타낸다.

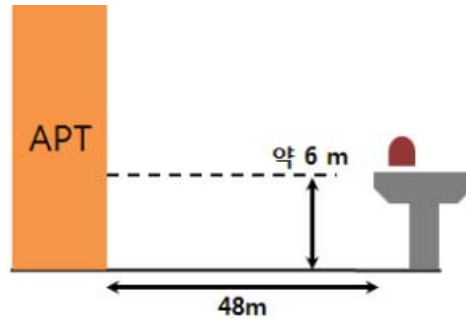
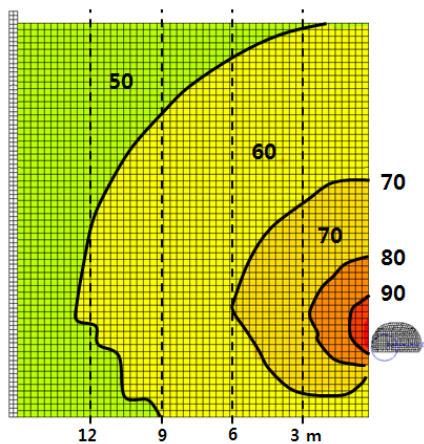
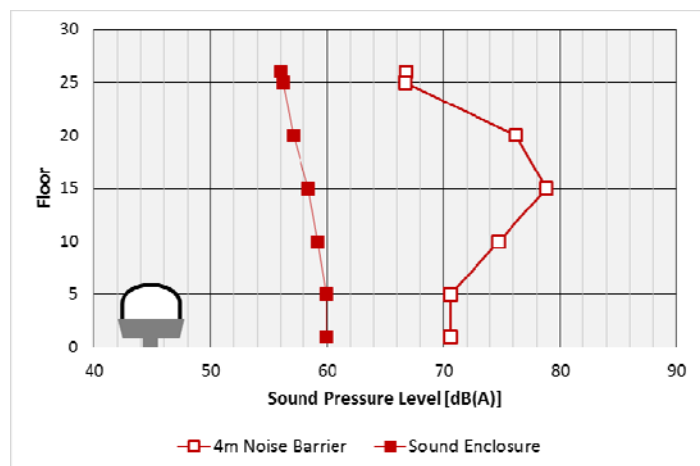


Fig. 6 Modeling Area for Railway Noise Analysis using Ray Tracing Method

Fig. 7은 광음향 기법을 이용한 철도 주행에 따른 환경소음 예측 결과를 나타낸다. 해석 결과는 터널형 방음벽 설치 전과 설치 후에 따른 가장 인접한 공동 주택의 높이 별 최대 소음도를 나타낸다. 터널형 방음벽의 설치 시 기존 방음벽에 비해 약 10 dB 소음 저감 효과가 있는 것을 확인 할 수 있다. 현재 4 m 방음벽이 설치되어 있으며, 15 층 이하의 높이에서는 기존 방음벽에 의해 소음 저감이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 상부층에서는 직접음에 의해 하부층에 비해 높은 소음도로 예측되었다. 터널형 방음벽 설치 시 직접음 영향이 적은 하부층은 약 10 dB, 직접음 영향이 많은 15 층 높이는 약 15 dB 소음 저감 효과가 있는 것으로 예측되었다. 결과적으로 터널형 방음벽의 소음기 설치에 따른 소음저감 효과는 기존 방음벽 대비 긍정적인 효과가 있는 것으로 판단된다.



(a) Noise map



(b) Sound enclosure effect for noise protection

Fig. 7 Noise protection effect of sound enclosure

3. 결 론

주행하는 철도 차량의 소음은 인근 지역의 심각한 소음 피해를 야기한다. 따라서 철도 소음 피해를 저감하기 위해 많은 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 방음시설로서의 터널형 방음벽 설계 시, 풍하중과 중량을 저감시키며, 고층까지 소음 피해를 저감 할 수 있는 방음시설 설계 방향을 제시하였다. 터널형 방음벽은 방음벽에 비해 고층까지의 소음 저감이 가능하였으며, 이는 직접음형태의 소음 전파를 모든 방향으로 차단하기 때문에 방음벽에 비해 상부층 소음 저감에 유리한 것으로 판단된다.

방음시설 설치에 따른 비용 및 유지 보수 문제가 존재하기 때문에 이를 고려하여 터널형 방음벽 벽면의 일부를 개방하는 방법을 고려하였다. 벽면 개방에 따라 풍하중은 최대 30 % 저감이 가능하였으나 개구부를 통해 직접음 형태의 소음 피해 지역이 발생하였다.

직접음 형태의 소음피해 지역을 보완하기 위해 개방된 터널형 방음벽의 벽면부에 소음기 설치를 검토하였으며 검토된 소음기 형태는 음향루우버이다. 음향 루우버의 설계 시 개공율은 음향 루우버의 소음 저감과 밀접한 관련이 있으며 이에 따른 영향을 전산유동해석과 차음성능을 분석하였다. 해석 결과 개공율이 30 ~ 40 % 개방 할 경우 기존 방음재료와 유사한 차음성능 10 dB를 만족하는 것으로 분석되었으며 풍하중은 약 25 % 저감되는 것으로 분석되었다. 결과적으로 터널형 방음벽의 벽면부 개방과 음향 루우버 설치는 경량화 및 풍하중에는 긍정적인 효과를 보여주며, 부분 개방과 함께 적절한 방음 재료와 방음설계가 동시에 적용될 경우, 거주민들이 요구하는 5~10 dB 수준의 소음저감 효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

후 기

본 논문은 2014년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 “철도소음 예측 및 평가를 위한 상사모델 시험기법 연구(NRF-2010-0021032)” 와 국토교통부의 “철도 선로변 지속가능 저소음화 기술개발 중 터널형 방음벽 측면 및 상부소재 해석 및 성능실험” 로 수행된 연구 결과의 일부입니다.

참고문헌

- [1] D. J. Kang, W. S. Lee, J. W. Lee, Y. C. Kim, et al. (2002) A study on the calculation of population exposed to transportation noise(Ⅱ), Report of NIER. Korea, National Institute of Environmental Research, Vol.24,
- [2] H. S. Na, Y. G. Kim, T. R. Seong(1999) Reduction of traffic noise using soundproof tunnel, Proceedings of the autumn Conference of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 75-80.
- [3] B. S. Kim, T. K. Lee, S. I. Han, D. Y. Y, et al., Counter plan for reduction of Elevated Railway Bridge Noise, Proceedings of the spring Conference of the Korean Society for Railway, (2010), pp. 6-12.
- [4] B. Kotzen(2009) Environmental Noise Barriers: A Guide to Their Acoustic and Visual Design, Taylor & Francis, London, England, pp. 1-264.
- [5] Yooshin co.,Ltd.(2014) Technology development for railway lightweight tunnel, Korea Railroad Research Institute.