

방음 터널 설치에 따른 소음 저감 효과 연구

A Study on Noise Reduction of Railway Noise by Noise Barrier

김다래† · 김태민* · 김정태* · 손정곤** · 박광현** · 류래언**

Da rae Kim, Tae min Kim, Jeung Tae Kim, Jeung gon Son,
Gwang hyeon Park and Raaeon Ryu

Key Words : Noise Reduction(소음저감), Railway Noise(철도 소음), Sound Proof Tunnel(방음터널), Sound Proof Walls(방음벽), Ray Tracing Technique(광음향기법)

ABSTRACT

High speed railroad car and high-rise apartment with development of railway technology cause different problems of noise contrary to the previous generation. It is the most efficient noise reduction countermeasure but we studied that is the way on noise propagation with sound proof wall or sound proof tunnel around railroad. But if it were railroad on bridge, additional cost which is more expensive than installing one on the ground is needed. So sound insulation material considering reducing weight of recent soundproof facilities must be selected. It is in this study that predicted and analyzed acoustical and structural effect for noise reduction by installing soundproof tunnel. If it were departmentalized into additional study, could be able to expect noise reduction effect of sound proof tunnel establishment on the bridge.

1. 서 론

도시민의 거주 지역 개발확대가 지속적으로 증가함에 따라, 철로주변에도 고층아파트 등 공동주택을 건설하려는 수요가 점차 증가하고 있다. 수도권을 포함해 철도변 거주 인구는 500 만 명으로 집계되고 있으며, 이 중 철도운행으로부터 발생하는 소음피해노출 인구 수는 170 만 명에 이르고 있어 철도 소음문제가 사회적 이슈로 등장하고 있다.

철도운행에 의해 발생하는 소음피해를 줄이기 위해서는 소음발생원의 저감 방안부터 수음자 대책까지 여러 가지 공학수단이 있으나, 소음원을 저감시키는 대책은 방법론의 한계로 인해, 소음피해인구를 줄이려는 노력은 수음자 대책에 집중하고 있다.

2. 철도변 거주지역 소음방지대책

2.1 철도변 소음현황

2013년 환경부에서 국가철도소음측정망 운영결과 철도 철도소음과 직접적인 관련이 있는 일일 열차운행횟수는 전국적으로 일일 총 3,154회 운행되고 있으며 이중 여객열차는 2,575 회/일(새마을: 64회, 무궁화: 293회, 통근: 142회 수도권전철: 2,076회)이며, 고속철도는 132 회/일(경부선: 96회, 호남선: 36회) 그리고 화물열차는 447 회/일로 운행되고 있다.

철도를 운행하는 차량의 구성을 살펴보면, 소음도가 높은 무궁화호와 같은 일반열차의 비중이 전체 운행의 81.6 %를 차지하고 있다. 특히 야간소음에 영향을 주는 화물열차는 14.2 %를 차지하고 있다.

고속열차는 4.2 %를 차지하고 있으나 이와 더불어 최근 1년 동안 특정구간(수원-천안구간 복복선 및 서울광명구간 운영 등)으로 인해 소음도가 3 ~ 5 dB 증가하는 현상을 보이고 있다.

† 교신저자; 홍익대학교 음향진동실협실
E-mail : drkim36@naver.com
Tel : 02-320-1113

* 홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

** (주)유신

철도소음한도를 초과한 지점 수는 Table 1과 같이 35개 중 지면 위 측정지점에서 낮과 밤 시간대에 전년도와 증감이 없이 비슷하며, 최고 예상 층의 낮 시간대는 전년과 같으나 밤 시간대에는 18개 지점으로, 12년도에 비해 3개 지점이 낮다. 소음도가 가장 높은 지점은 지면 위의 영등포(낮: 67 dB)이고 완주(밤: 69 dB), 최고 예상층은 열차운행대수가 많은 영등포(밤, 낮: 75 dB)으로 조사되었다.

초과정도는 낮과 밤 모두 지면위보다 방음벽효과가 미치지 못하는 예상 층에서 소음도가 약 4 dB 정도 높고, 차량통행량이 많은 낮 시간대가 밤 시간대 보다 1 dB 정도 높은 것으로 조사되었다.

Table 1 Railway noise measurement for recent 3 years (unit : dB(A))

구 분	소음한도	년도별평균			2013년			
		'11	'12	'13	최저 지점	최고 지점	한도초과 지점수	
지면 위	낮	주거지역등 70	59	58	58	51 (창원, 순천)	67 (영등포)	- ('12년 0)
		공업지역등 75						
	밤	주거지역등 65	57	57	57	48 (창원, 순천)	69 (완주군)	5 ('12년 4)
		공업지역등 70						
최고 예상층	낮	주거지역등 70	62	62	62	54 (군산)	75 (영등포)	1 ('12년 1)
		공업지역등 75						
	밤	주거지역등 65	62	61	61	52(순천, 곡성군)	75 (영등포)	15 ('12년 18)
		공업지역등 70						

2.2 철도변 소음피해인구

국내에서 철도의 운행으로 인해 발생하는 소음에 노출되어 피해를 보는 인구는 170 여만 명에 이르고 있다. 이는 전 인구수 대비 3 % 수준이며, 철도변 거주인구의 1/3 수준이라고 알려져 있다. 근래에 들어 경부권의 고속철도 운행 빈도수가 증가되는 추세를 감안하면 소음피해 노출인구는 향후 급격히 증가될 것으로 예상된다.

2.3 철도변 방음대책

철도변 소음대책으로는 음원저감이 이상적이고 가장 효율적인 방법이나, 음원대책의 공학적 접근이

어렵다. 이 때문에 설치지역의 주변현황과 지역 여건에 따라 음원 저감대책과 함께, 전달경로에 방음벽 또는 방음터널을 설치하여 수음자 측에 대한 소음저감 효과를 나타내려 노력하고 있다.

(1) 방음벽

방음벽에 의한 감음효과는 철도선로와 수음점을 연결한 가시선(Line of Sight) 아래지역(Shadow Zone)에서 통상 10 ~15 dB를 기대할 수 있고, 방음벽 높이를 가시선보다 1 m 높일 경우 감음효과는 약 1.5 dB/m로 알려져 있다. 일반적으로 평탄구간의 방음벽 설치 시 약 7 층까지는 효과가 있으며, 그 보다 높은 층에서는 방음효과가 없다.

철도변에 위치하고 있는 아파트 단지에 실시된 방음벽 설치효과를 분석하기 위해 현장 소음측정사례를 분석하였다. 신도림~구로 구간에 위치한 아파트 단지는 일반주거지역 내에 있으며, 선로에서 방음벽간 거리는 8 m, 공동주택에서 방음벽간 거리는 12 m, 방음벽 높이는 7.5 m로 조사되었다.

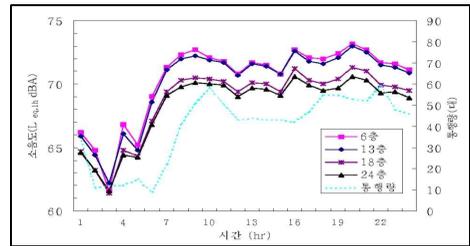


Figure 1 A case of capital area of apartment

Figure 1과 Table 2는 해당아파트 단지의 소음 측정결과와 함께 방음벽의 설치 전후의 효과도 보여 주고 있으며, 이 아파트에서 측정된 주간 등가 소음도는 70 ~ 72 dB(A) 이고, 야간 등가 소음도는 67 ~ 68 dB(A)로 나타났다. 또한, 18층과 24층 소음크기는 6 층의 철도소음보다 2 dB 더 높게 나타났다.

수도권 아파트 사례에서 볼 수 있듯이 철도변에 인접한 중층아파트에서 6 층 이상의 경우, 방음벽의 설치효과는 의미가 없음을 알 수 있다. 이는 소음진동관리법 등에서 법에서 요구하고 있는 기준으로 1 층과 5층의 높이에서 소음측정을 실시하고 그 결과를 가지고 소음기준 달성 유무를 판단하고 방음벽의 높이를 설계 및 시공한 결과에 기인한다.

Table 2 A case of capital area of apartment : status of noise and effect of soundproof walls

측정지역	측정 위치	구분	Lmax		Leq,1h		Leq,passby		Leq,24h
			측정값	평균값	측정값	평균값	측정값	평균값	평균값
아파트 (신도립 ~구로)	6층	주간	80~97	89	69~71	70	73.1~85.1	78.3	68.7
		야간	79~91	85	62~70	67			
	13층	주간	82~97	90	69~71	70	72.7~85.0	77.7	69.2
		야간	82~92	86	61~71	67			
	18층	주간	84~98	91	71~73	72	71.6~83.5	75.8	70.6
		야간	83~91	88	62~72	68			
	24층	주간	84~100	92	71~73	72	70.6~82.5	74.8	70.8
		야간	85~95	88	62~72	68			

(2) 방음터널

방음터널은 7 층 이상의 고층 공동주택에 효과적 이나 도로교통소음에 비해 설치가 어렵고 설치비용 이 완전덮개식의 경우 약 12 백만 원/m 으로 반 덮 개식의 경우보다 고가인 것으로 나타났다. 철도변 방음터널은 현재 국내에 인천 논현택지구간, 전라남 도 순천시 용당동 부근, 서울지하철 2호선 당산철 교, 총 3개소에 설치된 것으로 조사되었다. 설치과 정에서 철도교량을 보강해야 할 경우 방음터널 설비 비용은 기하급수 적으로 늘어나게 되며, 구조물 보 강비용은 방음터널 공사비의 2 ~ 3 배에 이르는 것 으로 나타났다. 국내에 설치된 방음터널의 특징과 장단점은 Table 3과 같다.

Table 3 Characteristics of sound proof tunnel

구분	밀폐형	상부개방형	반개방형
단면 형상			
특징 및 장단점	<ul style="list-style-type: none"> 천정 시공성 난이도 큼 하중이 큼 비용이 고가 	<ul style="list-style-type: none"> 보강 없이 설치가능성 하부구조에 영향이 작음 	<ul style="list-style-type: none"> 보강 불필요 하중 비대칭 시공성 낮음
적용 사례	<ul style="list-style-type: none"> 당산철교 	<ul style="list-style-type: none"> 자동차 전용 도로 	<ul style="list-style-type: none"> 수인선(일부)
비고 (공통 사항)	<ul style="list-style-type: none"> 토공 : 30 m PSC Beam : 25 m PF Beam : 160 m 선로폭 : 10.44 m 방음벽 : 7 m 천정(미개방) : 1 ~ 4 m 지주간격 : 2 m 		

3. 음향학적 및 구조적 재료 특성

3.1 음향학적 재료 분석

방음터널내부에서는 차량운행 중 발생하는 소음 이 차륜, 휠로부터 직접 방사되는 소음원과 함께 레 일트랙의 바닥; 터널 내 벽체 구조에서의 반사까지 포함되는 250 Hz ~ 2k Hz 대역의 소음이 주된 에 너지원이 되고 있다. 이중에서 500 Hz 이하의 소음 은 레일과 바닥 도상 콘크리트 등으로 발생하는 구 조기인 소음의 영향이 지배적이고 1k Hz 이상의 소 음은 휠에서 방사되는 소음에 기인하고 있다. 따라 서, 500 Hz이상의 소음에너지를 효과적으로 저감하 기 위해서는 흡음재료를 활용한 소음감소가 공학적 으로 효과적인 대책으로 알려져 있다. 따라서 터널 내부에서 발생한 소음은 흡음재와 제진장치로 처리 한다. 방음터널의 흡음재료로 고려되고 있는 재료 별 특성표는 Table 4로 정리하였다.

3.2 구조적 재료 분석

방음터널은 구조적으로 철도 고가교량에 설치될 경우 측면 풍압으로 인해 구조물에 결정적인 영향을 미치게 된다. 따라서, 풍압의 영향을 낮추기 위해 서는 방음터널 측면을 개구부로 사용하는 것이 유리하 다. 문제는 터널 측면에 개구부가 존재하게 되면, 철도 주행 시 발생하는 소음에너지도 저감 없이 주 변 아파트의 중·고층부로 전파된다. 따라서 방음터 널 측면 부위를 풍압의 영향은 낮추면서, 소음의 차 단은 가능하도록 해야 할 필요가 있다.

이러한 방음대책의 방법으로 활용될 수 있는 수 단으로, 본 연구에서는 풍압 영향은 감소시키면서

Table 4 Characteristics by materials considered as sound absorption material of sound proof tunnel
(a measure of superiority of each characteristic : ◎(very good),○(good),△(normal),×(poor))

	폴리우레탄폼	멜라민폼	광물섬유/ 유리섬유	폴리에스터 섬유	천연 섬유	세라민질 흡음재	독립기포 폴리에테렌폼
흡음성능	◎	◎	◎	◎	○	◎	○
난연성	×	◎	◎	×	×	◎	×
친환경성	△	△	×	○	◎	◎	○
재활용성	×	×	×	○	△	◎	○
내구성	△	△	○	△	△	◎	△
내수성	×	×	×	△	×	◎	◎
기계강도	○	○	○	○	○	◎	◎
중량	◎	◎	◎	◎	◎	×	◎

방음효과 및 차음효과를 기대할 수 있는 음향 루버(Louver), 타공판 구조를 검토하였다.

(1) 음향 루버(Louver)

건물이나 공장설비에서 소음을 줄이는 방법으로 사이렌서가 있다. 사이렌서는 작동하는 압력 변동을 최고화 하면서 유체가 통과하면서 소음 에너지도 유동 경로 상에서 흡수시킴으로써 음향감소 효과를 볼 수 있는 방법이다. 음향루버의 설치를 통해 기대되는 소음 감소 효과는 삽입손실 특성으로 평가된다. 삽입손실특성은 루버의 두께와 단면적의 직경에 의해 결정된다. 일반적으로 건축구조나 산업기계에서 사용되는 루버의 삽입손실 정도는 500 Hz 기준에서 10 dB 내의 수준으로 알려져 있다. 그러나 방음터널과 같이 공기유동 흐름을 방해하지 않고 소음감소 효과를 보기 위해서는 개구부의 직경은 최소 500mm 이상, 최대 1000 mm 수준은 되어야 할 것으로 판단되고 있다. 따라서 방음터널 용도로 루버를 설치 할 경우, 예상되는 삽입손실 크기는 5 dB 수준 이내일 것으로 추정된다.

(2) 타공판

풍압의 영향을 감소시키기 위한 또 다른 방법으로 타공판의 활용가능성을 고려하고 있다. 타공판의 경우, 부분적인 공기 유동을 보장하면서 통과과정에서 소음을 감소시키는 효과를 기대할 수 있다. 물론 타공판의 재질 및 타공률에 따라 소음방지효과를 현격하게 차이가 있다. 방음터널에 타공판을 활용할

경우, 앞에서 검토된 방음 루버보다는 풍압 영향을 낮추는 효과는 약할 수 있으나, 소음 방지 측면이나 설치 측면에서 유리한 면이 있다.

타공판의 설치를 통한 소음방지 효과는 삽입손실이 결정하므로 타공율에 대한 영향을 분석하여야 한다. 알루미늄 타공판의 타공율을 변화하면서 측정된 주파수대역 별 소음방지 효과는 Figure 2에 제시하였다. 알루미늄은 상대적으로 밀도가 높고 강성이 크기 때문에 두께가 2 mm 임에도 중·고주파수 대역에서의 삽입손실 값은 크게 나타나고 있다.

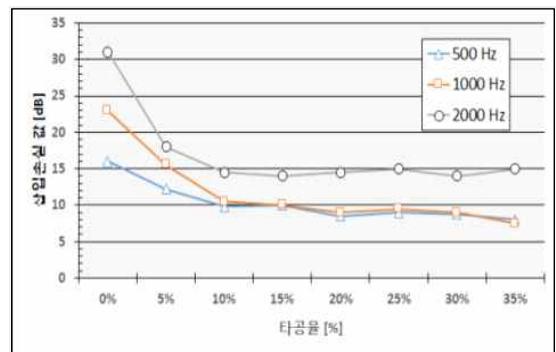


Figure 2 Insertion loss of aluminum plate by perforated rate by frequency

따라서, 방음터널 측면재료로 알루미늄 타공판을 사용할 경우, 타공율 30 % 수준의 재료사용을 통해 풍압 영향을 최소화시키면서 일정수준의 소음방지효과를 기대해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

4. 철도 소음 방음 시설 효과 예측

4.1 광음향기법을 이용한 해석 모델링

본 연구는 주행하는 철도 소음이 미치는 철도변 소음 영향을 분석하기 위함이며 대상이 되는 소음원이 철도 소음으로서 중·고주파 대역이기 때문에 광음향기법의 사용이 적합하다. 따라서 광음향기법 상용 소프트웨어인 RAYNOISE를 사용하여 철도 소음에 의한 방음터널의 소음저감효과를 해석하였다.

(1) 해석 대상 지역 모델

Figure 3과 같이 소음 해석 시 대상이 되는 철로 앞에 있는 공동주택 4 곳을 모델링하였다. 대상으로 선정된 논현역 인근 지역의 철도는 교량위에 위치하고 있으며 교량의 높이는 약 13 m로 공동주택의 5층 높이에 해당한다.

(2) 소음원 모델

광음향기법을 이용한 철도변 지역 소음 해석을 위해 RAYNOISE에서 철도 차량 모델을 구축 하였다. 본 연구에서 대상이 되는 철도 차량의 소음원은 도시 철도 차량이며 도시 철도의 특성 상 속도가 빠르지 않기 때문에 크게 보기(Bogie) 부분과 열차 사이의 차간공간 부분에서 발생되는 공력기인 소음원과 차륜-레일 소음에 의한 구조기인소음원으로 분류하여 고려하였다. 이는 기존 확보된 연구 결과를 토대로 각각의 음원에 대하여 대상 지역을 주행하는 철도 차량의 속도로 환산하여 사용하였다.

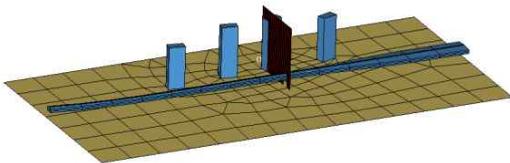


Figure 3 Analytical model : near In-cheon station, Su-in line

(3) 방음터널 부위 구분

해석 대상이 되는 지역은 철도에서 발생하는 소음 전파를 저감하기 위해 방음터널이 설치되었다.

방음터널의 벽 높이는 총 7.5 m로 되어 있으며 지붕 상단에 약 1 m 개방되어 있는 구조로 구성되어 있다. 철로의 너비는 11.2m ~ 34.9m, 해석 대상 철로의 길이는 약 689.5m, 지면으로부터의 철로의 높이는 13.18m이다.

Figure 4와 같이 방음터널의 구조를 크게 4개의 부위로 구분하여 각 부위의 구조 및 재질 변경을 통해 소음 저감 효과를 살펴보았다.

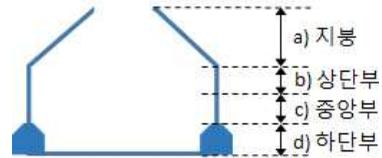


Figure 4 Separation of structure of sound proof tunnel

4.2 광음향기법을 이용한 소음저감효과 예측

(1) 방음벽

Figure 5는 방음벽을 설치한 경우 공동주택에서의 철도소음을 예측한 결과이다. 방음벽 설치 시 직접음 이하의 층에서는 소음 저감효과가 큰 것을 확인할 수 있지만 직접음 이상의 층에서는 방음벽 설치에 대한 소음저감 효과가 상대적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 따라서 철도변 인근 지역에 고층건물이 있는 경우 고층까지의 소음 저감 장치로는 부적합 할 것으로 판단된다.

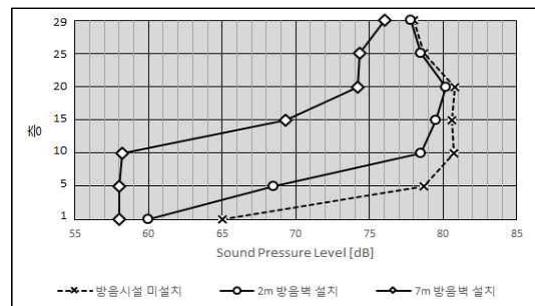


Figure 5 Estimation of noise reduction effect by installation of sound proof walls

(2) 방음터널

방음 터널을 설치하는 경우 Figure 6과 같이 인근 공동주택 전 층에 대해 소음 저감 효과가 존재하

는 것을 확인 할 수 있다. 방음벽에 비해 고층까지 약 10 dB 소음 저감 효과가 존재하는 것을 확인 할 수 있으며 철도변 주변에 고층건물이 있는 경우 효과적인 소음저감 장치로 판단된다.

방음 터널의 경우 집전계 설치를 위해 상부를 개방하는 경우가 존재하는데, 이 경우 터널 내부의 반사음이 터널 상부 공간을 통해 고층에 직접음 형태로 전파되는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 방음 터널의 경우 직접음 형태의 소음 전파를 차단하여 효율적인 소음 전파를 차단하지만 일부 열린 공간이 존재 하는 경우 해당 영역 층에서 소음이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

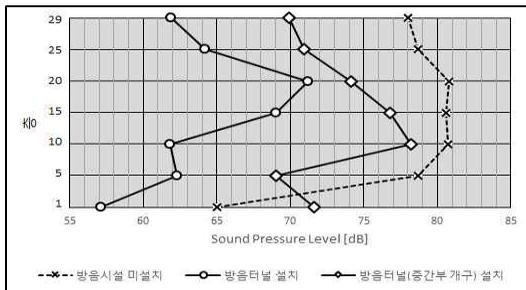


Figure 6 Estimation of noise reduction effect by installation of sound proof tunnel

Figure 7은 방음벽 및 방음터널의 직접음 전달 경로를 나타낸다. 직접음이 전달되는 층에서 높은 소음도로 예측되었으며 직접음 전달을 차단하는 것이 소음저감에 주요 고려 대상으로 판단된다.

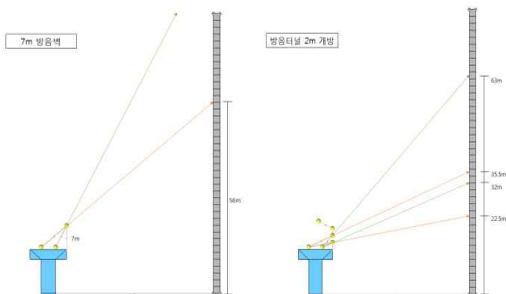


Figure 7 Direct sound transfer path of sound proof walls and tunnel

5. 결 론

국내 열차의 운행이 활발해짐에 따라 철도 소음 피해 인구가 증가 하고 있다. 따라서 소음피해를 줄이기 위해 철도변에 방음 시설이 설치되는데, 이때 주변 환경을 고려한 방음시설의 종류 및 재료의 선정이 중요하다. 본 연구에서는 철도 변 환경 및 주거 지역에 따른 효과적인 방음시설 설치를 위해 방음 시설의 종류 및 재료에 대해서 분석하였다.

방음터널의 경우 방음벽에 비해 고층까지 소음저감에 효과적인 것으로 분석되었지만 설치에 따른 경제적 비용이 방음벽에 비해 많이 요구된다.

방음 시설의 경우 피해 예상 지역을 소음원으로 부터 직접음 형태로 작도하여 예상할 수 있는데 방음벽의 경우 소음저감효과 지역 높이 예측에 유용할 것으로 판단된다. 방음터널의 경우 경량화를 위해 루버 및 타공판 타입의 재료 등을 선정한다. 루버 및 타공판의 경우 소음 차단에는 기존 흡음형 패널 보다 취약하기 때문에 소음 저감 효과가 취약해 지는 높이를 예측할 수 있으며 이에 따른 효과적인 방음터널 설계가 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업의 “철도소음 예측 및 평가를 위한 상사모델 시험기법 연구 (2014045600)”와 국토해양부의 “철도 선로변 지속 가능 저소음화 기술개발 중 방음터널 음향분야 기술 정보 지원 (201400710001)”로 수행된 연구 결과의 일부입니다.