

## 철도환경소음을 줄이기 위한 소음감소기의 설치제안

### Installation Effect on Noise Reducer for Railway Traffic Noise

김정태\* · 홍윤혁\*

Jeung T. Kim · Yoon H. Hong

#### Abstract

Community noise, especially a rail traffic noise has been serious social issues in Korea. Our society needs practical tools to reduce noise levels for public who live near the railway lines. This paper proposes a noise reducer for railway traffic noise. At the beginning, various types of reducers are discussed, with the advantages and disadvantages with respect to acoustical phenomena. Then, the acoustic effects are discussed based on an insertion loss measurement. After several types of reducers are installed at fields, the noise level is monitored with and without the reducer. The result shows that the proper selection of reducers affects the noise level by 6 dB. The statistics of the mean and a standard deviation turns out to be 3.2 dB and 0.8 dB, respectively. Noise reducers are strongly recommended for the place where apartments are densely constructed along the railway. Installation of noise reducers seems to be an effective and practical solution for the community traffic noise reduction.

**Keywords** : Community Noise, Rail Traffic Noise, Noise Reducer, Noise Barrier, 생활소음, 철도소음, 소음감소기, 방음벽

## 1. 서론

철도변에 거주하고 있는 주민들의 환경보호 및 생활소음의 피해를 줄이려는 노력은 사회간접시설의 운영에도 새로운 접근을 요구하고 있다. 일본과 홍콩과 같이 도시화된 국가에서는 고속철도 등 신교통수단의 운행시 생활소음피해지역을 고려하여 불가피하게 고속철도의 속도제한지역을 추가 설정하는 방향으로 있어, 막대한 경비를 투자한 사회간접자본이 효율적으로 운영하는데 취약한 문제가 발생되고 있다. 국제적으로도 생활환경소음(COMMUNITY NOISE)의 관심이 증대되고 있으며, WHO 등에서는 근래 들어 강화된 생활소음기준을 제안하고 있다[1].

국내의 대부분의 도시지역은 소음환경기준을 초과하고 있고, 소음피해를 느끼는 주민의 수는 전 국민의 과반수인 2500만 명으로 조사되어 있다. 철도변에 거주하는 국민의 수는 430여 만명으로 추산되고 있는데, 이중 1/3인 174만 명이 철도변 소음피해 인구이다[2]. 정부에서는 2005년 12월, 생

활소음 문제를 종합적으로 관리하기 위한 방안을 준비한바 있다. 이에 따라, 범 부처차원에서 추진하는 생활소음 줄이기 종합대책은 2007년부터 향후 5년간 진행되며, 기 합의된 세부실천계획에 따라 관리, 운영될 전망이다. 철도변 종합대책이 추진됨에 따라, 철도변에 인접되어 있는 아파트 등 고층건물에 살고 있는 주민에 대한 피해대책의 일환으로 방음벽이 설치되고 있다. 이러한 방음벽은 지표층에 대해서는 소음저감효과가 있으나, 고층화되면서 방음벽의 설치만으로는 전혀 소음저감효과를 얻지 못하는 한계가 있다. 본 연구에서는 방음벽의 소음방지대책을 보완하는 방안으로 소음감소기를 제안하고, 소음감소기의 음향학적 효과와 설치시 나타나는 기대효과를 분석하고자 한다[3,4].

## 2. 소음감소기의 특징과 종류

인구밀집지역을 통과하는 철도변에는 고층의 건물로 이루어진 아파트 등이 산재하고 있다. 철도에 차량이 운행하면서 지속적으로 운영되는 차량은 바퀴와 레일의 소음영향이 많고, 고속철도 등은 공력소음에 영향을 많이 받고 있다. 주변에 거주하는 주민의 정온한 환경을 보장하기 위해서는 차량, 궤도 등 발생원부터 저소음화를 유도하도록 근본적인 소음대

† 책임저자 : 정회원, 홍익대학교 기계시스템디자인공학과

E-mail : jeungk11@yahoo.co.kr

TEL : (02)320-1467 FAX : (02)320-1113

\* 홍익대학교 대학원 기계공학과

책이 절실히 필요하나, 현실적으로는 소음발생원을 통한 근본적 접근에는 많은 어려움과 경비, 시간이 필요하고 있다. 환경정책기본법의 규정에 의한 목표치인 철도소음의 환경기준을 달성하기위한 제도적인 동원수단도 미비한 실정이기도 하다.

따라서, 발생원제어를 통한 근본적인 접근은 제도적 여건이 아직은 결여되어 있다. 이에 대한 보완적인 방법인면서, 주로 소음피해지역에 대한 단기적인 대책으로 활용되는 방법이 방음벽 설치라 할 수 있다. 방음벽의 설치 시 가시선 이하에서 살고 있는 아파트 저층의 주민들에게는 소음측면에서 효과적이다. 그러나 아파트의 높은 층고에서는 지표면만큼 방음벽효과가 나타나지 않는다. 일반적으로, 고층의 소음도는 지면 위(1.2~1.5 m)보다도 4 dB정도 소음이 높게 측정된다. 한편, 방음벽이 설치되지 않은 지역과 설치지역의 소음도 차이는 약 4 dB 수준이다.

근래 들어 방음벽위로 소음감소기를 추가로 설치하여 소음저감 효과를 보는 사례가 증가하고 있다. 이러한 소음감소기의 종류는 다양하고, 새로운 제품이 매년 개발되어 상품화되고 있는 추세이다. 다만, 아직까지는 국내에서 소음감소기의 성능을 평가할 수 있는 여건이 마련되어 있지 않으며, 표준화된 측정방법 및 평가방법이 없는 실정이며, 그 결과 소음감소기의 성능을 정량화하기에는 어려움이 따르고 있다. 따라서 음향학적 이론을 적용하여 국내에는 사용되는 소음감소기의 설치효과를 분석하는 일은 의미 있는 일이며, 향후

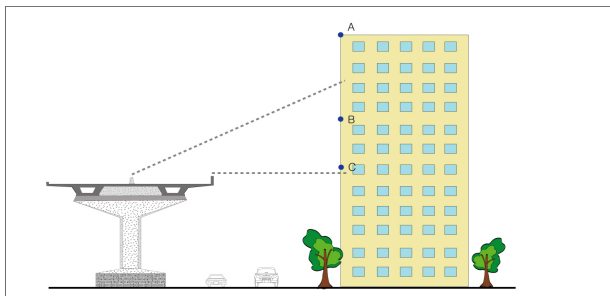


Fig. 1(a). Location of Noise Barrier and Noise Reducer



Fig. 1(b). Various Types of Noise Reducers.

철도변 소음방지대책의 합리적 추진을 위해서도 필요한 선행연구대상이라고 할 수 있다.

음향학적 효과를 분석하기위하여, 우선 소음감소기의 설치개요와 국내의 다양한 제품을 검토해보자. Fig. 1(a)은 철도변에 위치한 아파트단지와 방음벽, 그리고 소음감소기의 설치위치에 대한 개략적인 그림을 보여주고 있으며, 방음벽상단에 설치되는 감소기의 대표적 형태는 Fig. 1(b)에 보여져 있다. 소음감소기는 크게 흡음형(a type), 회절형(d type), 간섭형(i type) 등으로 구분될 수 있다[5].

### 3. 소음감소기의 삽입손실특성

소음감소기는 0.55~0.86 m의 높이를 가지고 있으며, 방음벽 위에 설치된다. 소음감소기의 성능평가는 방음벽에 소음감소기를 설치하지 않은 상태(높이 2.3 m)의 소음도와 방음벽 상단에 소음감소기를 설치한 후(높이 2.85~3.16 m)의 소

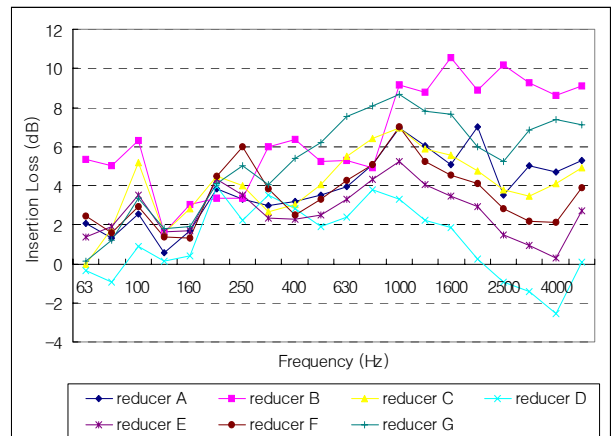


Fig. 2(a). Insertion Loss at 1/3 Octave: Near

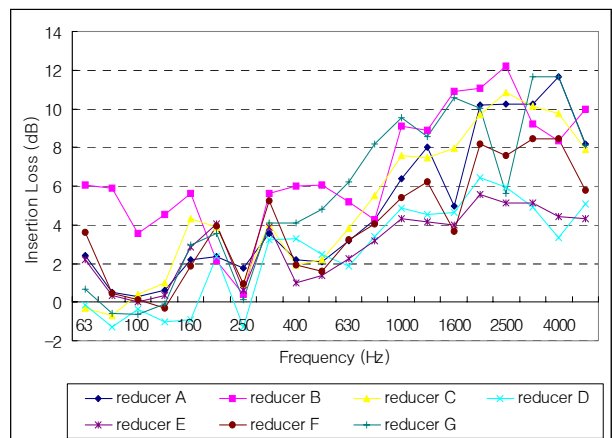


Fig. 2(b). Insertion Loss at 1/3 Octave: Far

음도 차이를 비교하게 된다[6,7]. 일반적인 높이의 방음벽에 소음감소기후 음향평가를 위해 측정된 삽입손실의 특성은 Fig. 2에 보여져 있다. Fig. 2(a)는 방음벽인접위치에서 평가된 결과이다. 감소기 A, B, D를 제외한 나머지 감소기들은 1,000 Hz대역에서 감소가 가장 크고, 감소기 B는 1,600 Hz에서 감소가 가장 크게 나타난다. 한편, 100 Hz나 200 Hz부근에서 소음도 감소가 다소 크게 나타나는 것은 소음감소기에 의한 간섭 및 흡음 효과라 볼 수 있다.

한편, Fig. 2(b)와 같이 마이크론의 위치가 멀어지면, 대체적으로 회절 경로차 및 거리감쇠의 영향을 많이 받는 고주파수 대역으로 갈수록 소음도 감소가 커지게 된다. Fig. 2(c)는 방음벽에 의한 경로차가 생기지 않는 지점이다. 소음도의 차이는 거의 나타나지 않고 있다. 소음감소기에 따라서는, 그러나, 60, 80, 160 Hz에서 감소효과는 나타나고 있으며, 이는 소음감소기의 회절 간섭에 의한 영향으로 판단된다[8,9].

Fig. 3은 방음벽과 소음감소기의 설치로 인한 소음도 차이를 분석하기 위하여 환경과학원에서 제안한 마이크론의 위치별 측정방법을 보여주고 있다[10].

Fig. 3(a)는 방음벽과 떨어진 거리, 높이에 따른 마이크론 1~10까지의 위치를 표시하여 소음감소기 A~G 설치 전·후의 소음도 차이를 차례로 나열하고 있다. Fig. 3(b)는 그 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 방음벽으로부터 5 m 떨어지고 높이가 3.5 m 지점인 마이크론 2에서 소음감소효과가 가장 큰 값을 가진다. 이는 소음감소기를 설치함으로써 회절에 의한 경로차가 가장 크게 발생하고, 소음감소기에 의한 간섭, 흡음 등의 영향이 가장 크게 나타나기 때문으로 판단된다. 반면에 회절에 의한 경로차가 거의 발생하지 않는 지점인 방음벽으로부터 5 m 떨어지고 높이가 7.5 m 지점인 마이크론 4와 방음벽으로부터 10 m 떨어지고 높이가 7.5 m 지점인 마이크론 8에서의 소음감소 효과는 미미하다. 소음감소기의 성능은 Table 1에 정리되어 있다. 소음감소기가 나타내는 삽입손실의 효과는 작게는 1.9 dB, 크게는 7.4 dB, 값을 보여준다. 소음감소기에 따라, 소음감소기의 성능에서 차이가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 소음감소 효과가 높게 나타나기 위해서는 Table 2의 결과에서 볼 수 있듯이, 소음감소기의 높이를 증가시키고(약 0.26 m), T자 형태로 만들어서 회절 경로차를 증가시켜야 한다[10].

#### 4. 소음감소기의 설치효과 [11,12]

소음감소기를 방음벽현장에 신설 설치하여 소음저감효과를 분석한 결과를 보여주고자 한다. 설치 구간은 지역특성과 거주주민의 의견을 고려하여 선정하고, 소음측정을 진행하였다.

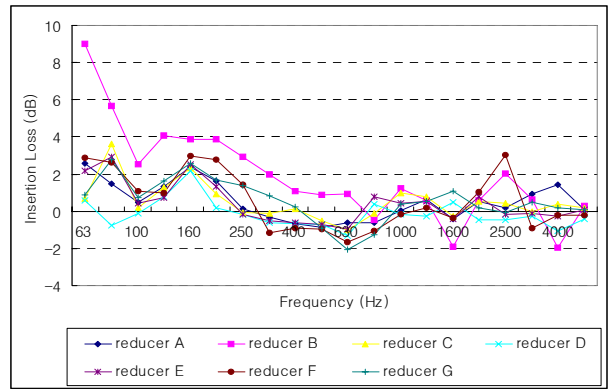


Fig. 2(c). Insertion Loss at 1/3 Octave: Middle

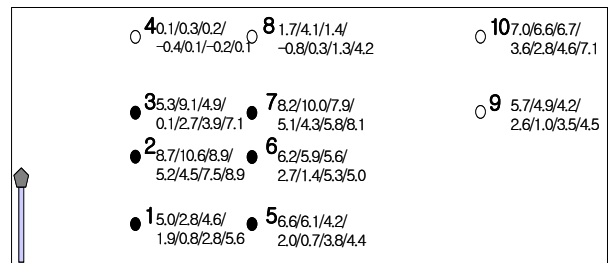


Fig. 3(a). Insertion Loss: Overall SPL at Mic Positions

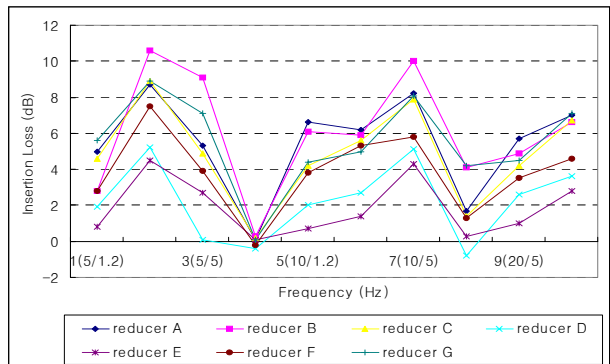


Fig. 3(b). Insertion Loss of Noise Reducers

Table 1. Noise Reducer Effect

Classification	Mean I.L. of Mic.1~3, 5~7(dB)	Mean I.L. of Mic.1~10(dB)
reducer A	6.7	5.5
reducer B	7.4	6.0
reducer C	6.0	4.9
reducer D	2.8	2.2
reducer E	1.9	1.9
reducer F	4.9	3.8
reducer G	6.5	5.5

Table 2. Noise Reduction : Various Noise Reducers

distance (m)	height (m)	reducer A			reducer B			reducer C			reducer D			reducer E			reducer F			reducer G		
		before	after	I.L.	before	after	I.L.	before	after	I.L.	before	after	I.L.	before	after	I.L.	before	after	I.L.	before	after	I.L.
5	1.2	73.9	68.9	5.0	72.1	69.3	2.8	70.7	66.1	4.6	71.6	69.7	1.9	67.9	67.1	0.8	69.9	67.1	2.8	66.6	61.0	5.6
	3.5	83.5	74.8	8.7	87.0	76.4	10.6	83.4	74.5	8.9	82.4	77.2	5.2	79.2	74.7	4.5	82.9	75.4	7.5	77.5	68.6	8.9
	5	92.2	86.9	5.3	91.7	82.6	9.1	91.2	86.3	4.9	93.0	92.9	0.1	88.8	86.1	2.7	89	85.1	3.9	86	78.9	7.1
	7.5	81.8	81.7	0.1	89.0	88.7	0.3	90.5	90.3	0.2	93.6	94.0	-0.4	88.2	88.1	0.1	85.9	86.1	-0.2	87.6	87.5	0.1
10	1.2	67.6	61.0	6.6	71.9	65.8	6.1	68.5	64.3	4.2	68.4	66.4	2.0	65.8	64.6	0.7	69.4	65.6	3.8	64.1	59.7	4.4
	3.5	70.8	64.6	6.2	75.6	69.7	5.9	80.7	75.1	5.6	74.7	72.0	2.7	71.8	69.9	1.4	75	69.7	5.3	69.3	64.3	5.0
	5	77.0	68.8	8.2	85.3	75.3	10.0	81.3	73.4	7.9	83.1	78.0	5.1	78.7	74.4	4.3	79.7	73.9	5.8	75.9	67.8	8.1
	7.5	82.1	80.4	1.7	87.8	83.7	4.1	88.1	86.7	1.4	89.5	90.3	-0.8	85.2	84.9	0.3	85	83.7	1.3	83.5	79.3	4.2
20	5	66.8	61.1	5.7	72.9	68.0	4.9	69.4	65.2	4.2	71.3	68.7	2.6	67.1	66.1	1.0	69.9	66.4	3.5	65.5	61.0	4.5
	7.5	72.3	65.3	7.0	78.1	71.5	6.6	76.6	69.9	6.7	77.5	73.9	3.6	73.9	71.1	2.8	75	70.4	4.6	71.6	64.5	7.1
height of barrier(m)		2.3	3.0	0.7	2.3	3.16	0.86	2.3	3.0	0.7	2.3	2.9	0.6	2.3	2.85	0.55	2.3	2.98	0.68	2.3	3.15	0.85

Table 3. Barrier Installation Effect

position	Reference point	Before newly silencer set up		newly silencer set up	final result
A	Top of the Apartment	A.1	1.1dB decrease	5.9dB decrease	4.8 dB decrease
		A.2	0.7dB decrease	3.3dB decrease	2.6 dB decrease
B	Top of the new building	B.1	2.5dB decrease	5.6dB decrease	4.1dB decrease
		B.2	4.2dB decrease	8.9dB decrease	5.7dB decrease
C	Top of the Apartment	C.1	1.4dB decrease	6.9dB decrease	5.5 dB decrease
D	Top of the Apartment	D.1	0.2dB increase	2.8dB decrease	3.0 dB decrease
		D.2	4.0dB decrease	7.9dB decrease	3.9 dB decrease
E	The hill near the silencers	E.1	0.9dB increase	10.4dB decrease	11.3 dB decrease
		E.2	6.6dB decrease	10.6dB decrease	4.0 dB decrease

소음감소기는 경제성, 소음저감효과 등 제품의 우수성, 제품의 구조적특성 및 유지관리의 용이성, 설치실적 등을 고려하였으며, 종류는 버섯 흡음형과 원통 회절형, 간섭형의 세 가지가 있다. 이러한 소음감소기는 방음벽의 상단에 구조물의 연결을 통해 설치된다. 방음벽 및 소음저감장치의 설치 효과에 대한 분석 방법은 방음벽과 소음저감장치의 시공이 완료되는 각각 단계마다 지정된 측정지점에서의 소음의 크기를

최소 2회에서 최대 3회 측정하고 비교, 분석하였다. 측정 장비로는 소음계와 레벨레코더, 그리고 DAT를 이용하였고 전 실험 분석 과정에서 동일한 장비를 사용하여 객관성을 유지하였다[13,14].

#### 4.1 방음벽만의 설치효과

방음벽이 설치되어있지 않았던 5개 구간에 방음벽을 신설하고 그 효과를 분석하였다. 방음벽의 선정 기준은 설치 지역의 특성과 내용은 다음과 같다.

##### (1) A 지점

방음벽 형식은 굴곡형으로 선정하였고 소음 및 주변 경관을 고려하여 흡음형 방음판으로 선정. 인근 주민의 전망권 확보를 위해 하부는 흡음형 방음벽으로 하고 상부는 투명형으로 선정.

##### (2) B 지점

인접교육시설을 감안하여 기존 투명방음벽에 흡음성과 미적경관을 제공할 수 있는 원통형 투명 방음판으로 선정.

##### (3) C 지점

기존 방음벽과 동일한 형태인 투명형 방음판 선정, 기존 토공부와 연결 설치할 경우와 상단 구간만 설치하는 경우 소음도의 차이가 미소하여 교량 상단 구간만 설치.

##### (4) D 지점

주민의 산책로로서 시계 확보 및 조망권을 고려하여 투명형 방음판으로 선정.

##### (5) E 지점

인접주민의 조망권 확보 요구사항을 반영하여 지주 등을 나무로 감싸는 형태의 투명형 방음판으로 선정.

**Table 4.** Noise Reducer Effect

position	Reference point	Before noise reducer set up		Outside noise reducer set up	Median strip set up	Noise reducer of Median strip set up	final result
F	Top of the Apartment	F.1	0.3dB increase	1.5dB decrease	-	-	1.8dB decrease
		F.2	3.7dB decrease	5.5dB decrease	-	-	1.8dB decrease
G		G.1	0.2dB decrease	0.9dB decrease	-	-	0.7dB decrease
H		H.1	1.5dB decrease	3.5dB decrease	-	6.3dB decrease	4.8dB decrease
		H.2	3.0dB decrease	6.0dB decrease		8.9dB decrease	5.9dB decrease
		H.3	2.1dB decrease	7.0dB decrease		9.8dB decrease	7.7dB decrease
I		I.1	2.1dB decrease	-	4.1dB decrease	5.0dB decrease	2.9dB decrease
J		J.1	1.4dB decrease	-	3.0dB decrease	5.1dB decrease	3.7dB decrease
		J.2	5.3dB decrease		4.8dB decrease	7.1dB decrease	1.8dB decrease
K		K.1	3.8dB decrease	4.5dB decrease	-	5.4dB decrease	1.6dB decrease
L	L.1	2.9dB decrease	3.2dB decrease	-	3.9dB decrease	1.0dB decrease	
M	M.1	4.2dB decrease	0.1dB decrease	-	3.3dB decrease	0.9dB increase	
	M.2	4.7dB decrease	3.8dB decrease		4.6dB decrease	0.1dB increase	

신설 방음벽 설치 구간 5개소에 대한 방음벽 설치 효과는 방음벽 설치 전과 설치 후에 각각 같은 지점을 선정하여 측정하였고 교통소음에 대한 기준을 제시하기 위하여 각 지역의 특성에 따라 방음시설 효과가 없는 지역을 선정하여 기준점을 제시하고 기준점 대비 측정 지점에 대한 효과를 비교하고 설치 전 후의 결과를 분석하는 방법을 사용하였다.

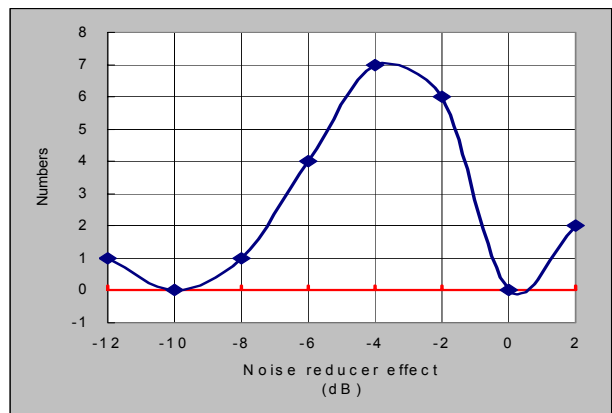
측정치를 비교 검토한 결과 방음벽을 설치하게 되면, 방음벽 주변에서 기대되는 방음효과의 폭은 작게는 3 dB, 높게는 11dB 수준으로 나타난다. Table. 3은 방음벽의 신설구간에 대한 효과 분석을 정리한 결과이다.

**4.2 소음감소기 추가설치효과**

기존 방음벽이 설치되어 있었던 구간에 대한 소음저감장치의 추가 설치 구간은 총 8개소로써 방음벽의 효과만으로는 소음저감효과가 미흡하다고 판단되는 지점에 추가로 설치하였다. 소음저감장치 제품의 경제성, 소음저감효과 등 제품의 우수성, 제품의 구조적특성 및 유지관리의 용이성, 설치실적 등으로 가중치 적용 후 제품을 선정하였다. 종류는 버섯 흡음형과 원통 회절형, 간섭형 Green wave 등이다.

소음감소기의 효과 분석은 소음저감장치가 설치되기 전과 설치된 후의 각각의 단계에서 동일한 위치를 지정하여 같은 시간에 기준점과 수음점을 동시에 측정하였고 각각의 측정된 소음도를 기준점과 비교하였고 설치 전, 후의 효과를 비교분석하여 소음감소기의 효과를 예측하였다. 또한 중앙분리대 구간에 대해 흡음형 방음벽과 소음저감장치를 추가로 설치하였다.

**Table 5.** Noise Reducer Effect: Mean and Deviation



The mean of noise reducer effect (dB)	3.2
Standard deviation (dB)	2.8

설치와 해체가 용이하고 연계성 및 주변 환경 등을 고려하여 선정하였으며 양면형 알루미늄 흡음판, 양면 대나무형 흡음판, HDPE 양면 흡음판의 세 가지 형식을 설치하였다. 다음의 Table 4는 소음감소기 설치구간의 효과 분석을 정리한 것이다.

방음벽이 기 설치되어 있던 곳에 소음저감장치가 추가되면 1~7dB정도의 소음 저감 효과가 있는 것으로 데이터가 정리되고 있다. 소음감소의 정도는 측정 점 인근에 위치한 교통량과 주변 환경에 영향을 받게 되므로, 위치에 따라 그 정도에 많은 변화가 존재한다. 소음감소소기에 비해 소음발생원의 변화크기를 무시할 수 없기 때문이다. 따라서 소음감소효과

를 정량화하기 위해서는 측정된 데이터를 평균과 표준편차로 통계처리를 하여야 한다. Table 5는 소음감소기의 설치효과를 통계 처리한 결과를 보여주고 있다. 평균적으로 3.2 dB 수준이므로, 개략적으로 3-3.5 dB수준의 저감효과가 나타난다고 볼 수 있다.

## 5. 결론

국내 철도변에서 나타나는 소음피해는 심각한 사회문제로 대두되고 있으며, 철도변의 소음피해를 줄이기 위해서는 근본적으로 발생원에서 나타나는 소음원 자체를 감소시켜야 한다. 그러나 이는 현재 운영되고 있는 철도차량과 차륜, 레일을 구조적으로 변경시켜야 하는 어려움이 따른다. 따라서 소음원의 감소를 통한 중장기적 접근은 지금 당장에 철도변 소음 노출인구를 저감시키는 데는 근본적인 대책이 될 수가 없다 [15,16,17].

단기적이고 현실적인 소음방지대책은 철도변에 방음벽을 설치하는 방법이다. 방음벽을 설치하는 경우, 소음감소기를 추가로 시공하면, 소음방지효과는 증대된다. 이는 철로 변에 있는 중, 저층 건물 등 아파트에 거주하는 주민들에게 다소나마 정온한 환경을 제공하여 철도변의 소음피해주민수를 줄이고 주거환경을 개선하는데 기여하고 있다.

본 연구에서는 철도소음의 방지대책의 효과적인 방법으로 방음벽의 상단부에 소음감소기의 설치를 제안한다. 철도변 인접에 있는 아파트에는 더욱 효과적인 수단이다. 이와 함께, 제안된 소음감소기의 설치효과를 알아보기 위하여, 음향학적 효과를 삼입손실의 측정데이터를 통해 정량화하였다. 또한, 방음벽위에 추가하여, 소음감소기로 보완하였을 때 나타난 소음 측정데이터를 활용하여 소음감소기의 실제 설치효과를 객관적으로 보여주었다. 소음감소기의 설치를 통해 나타나는 저감 효과는 평균적으로 3dB(A)에서 3.5dB(A)를 보여주고 있다.

따라서, 철도변소음을 저감시키기 위한 정책방향은 1차적으로 방음벽과 소음감소기를 동시에 설치하게 되면, 현실적이고 단기적으로 효과를 볼 수 있다. 이와 함께, 중장기적으로 철도차량, 궤도, 레일 등의 구조 개량을 통해 소음원의 발생크기를 줄이려는 노력, 방음시설 설치/관리지침 작성 및 친환경 철도 설계 지침서 제정, 소음방지시설투자 확대, 그리고 방음시설 제품개발 유도 등 소음을 저감시킬 수 있는 대책의 수립이 요구되고 있다.

## 후 기

본 연구는 홍익대학교 2006년도 학술연구조성비의 지원으

로 이루어졌습니다.

## 참 고 문 헌

1. Commission of the European Communities, "E.C Environment Legislation", Vol 5 Noise, 1992.
2. 장성민, 강대준 등, "교통소음 노출인구 산정에 관한 연구", 2001, 국립환경연구원.
3. 박영민 등, "21세기 소음진동 환경정책방향", 2001.4, 환경부.
4. 김정태, 박영민, 손정곤, 김정수 등, "생활소음저감 종합대책수립을 위한 연구", 2005.9, 환경부.
5. Shono, Yutaka, Yoshida, Yukinelow and Yamamoto, Kohei, 1994, "Development of noise abatement devices applied at the top of highway noise barriers", Journal of construction management and engineering, Japan society of civil engineers, Vol. 25, No. 504.
6. 日本建設省告示 1324号, 1992, 技術評價制度 測定法.
7. Okubo, Tomonao, 2004, "先端 改良刑 防音壁", 騒音制御, Vol. 28, No. 5, pp.317~322.
8. Fujiwara, Kyoji, Hothessall, David C. and Kim, Chul-hwan, 1998, "Noise Barrier with Reactive Surfaces", Applied Acoustics, Vol. 53, No. 4, pp.255~272.
9. Watts, G. R. and Morgan, P. A., 1996, "Acoustic Performance of an Interference-Type Noise-Barrier Profile", Applied Acoustics, Vol. 49, No. 1, pp.1~16.
10. 강대준, 이재원, 구진희, 2006, "방음벽 상단의 소음감소기 성능 시험", 한국소음진동공학회 2006년 추계학회.
11. Kim, J. T., Kim, J. S., 2006, Analysis institution effect of noise reducers on road traffic noise, Transactions of Seoul Metropolitan Facilities Management Corporation.
12. Son, J. G., Jeong, K. G., Kim, J. T., 2006, The execution design and Analysis institution effect of noise reducers on road traffic noise, Transactions of Seoul Metropolitan Facilities Management Corporation.
13. KSNVE, Handbook on Noise and Vibration.
14. Park, Y. M., Choi, J. K., Chang, S. I., 2005, Technical Improvement of Traffic Noise Environmental Impact Assessment I, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp.55~58.
15. Kim, J. T., Park, Y. M., 2006, Community Noise: New Guidelines and Policy, Journal of KSNVE, 1226-0924 Vol.16, No.3 pp.23~26.
16. Kang, D. J., Kim, J. M., Park, J. C., 2004, Road Traffic Noise Status and Prediction, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 1598-2785 Vol.14, No.10, pp.1015~1020.
17. Jang, S. K., Kang, D. J., Lee W. S., Lee, J. W., Kim, Y. C., Lee, J. Y., 2002, A study on the calculation of population exposed to transportation noise II, Report of NIER. Korea Vol. 24, pp.259~275.

(2007년 4월 16일 논문접수, 2007년 6월 5일 심사완료)