

연구논문

예측식을 이용한 철도방음벽의 성능평가에 관한 연구

조준호* · 고효인

한국철도기술연구원

(2010년 9월 7일 접수, 2010년 11월 9일 승인)

A Study on the Performance Evaluation of Noise Reduction for Railway Noise Barrier using Prediction Equation

Jun-Ho Cho · Hyo-In Koh

Korea Railroad Research Institute

(Manuscript received 7 September 2010; accepted 9 November 2010)

Abstract

Railway noise barrier is generally used with welding of joint rail for railway noise reduction in our country. In this study, method for performance evaluation of railway noise barrier using insertion loss was suggested in case of without having noise measurement results before barrier installation. For this, railway noise measurements were performed in commercial high-speed railway site which has railway noise barrier. As a noise level before noise barrier installation, predicted noise level were used. From this method the performance evaluation for railway noise barrier were performed accurately and efficiently.

Keywords : Railway, Noise Barrier, Prediction Equation, Performance Evaluation, Insertion Loss

1. 서론

방음벽은 도로와 철도와 같은 육상교통으로부터 발생된 소음을 저감하기 위해 오래전부터 활용되어 온 기술이다. 도로의 경우 방음벽에 대한 연구 개발이 활발히 진행되어 왔다. 특히 강대준 등(2007), 김철환 등(2008)이 방음벽의 높이상승에 상응하는 효과를 얻기 위하여 방음벽 상단에서 음의 회절현

상을 저감하고자 개발된 상단 소음저감장치의 활용이나 적용 사례를 연구하였으며, 최준집(2006)은 도로소음 차단을 위한 방음벽의 설치 관련, 한국도로공사(2004)는 고속도로 방음벽 설치 기준 개선 등에 대하여 연구하였다.

국내 철도소음 저감에 대한 연구는 1990년대 이후에 환경에 대한 국민의 의식향상에 따른 민원제기 등으로 관심의 대상이 되었다, 이로인해 심상덕

등(2000), 장강석 등(2001) 그리고 한국철도기술연구원(2001, 2009) 등에 의해 여러 가지 유형에 대한 해석연구나 모형실험 연구, 방음벽 상단장치의 철도변 성능효과 검증 등을 위한 현장평가 시험 등이 수행된 바 있다. 철도용 방음벽은 레일 이음매 용접 등과 함께 우리나라 철도소음을 저감하기 위해 가장 보편적으로 사용되고 있다. UIC에 의하면 철도소음을 효율적으로 저감하기 위해서는 철도차량 자체에서 방사되는 소음을 줄이는 소음원에 대한 접근과 전달 경로 상에 방음벽 등의 저감시설 설치에 의한 방법이 동시에 활용될 때 비용편익이 가장 큰 것으로 알려져 있다.

또한 조준호 등(2010)에 의하면 도로 및 철도연변에 설치되는 방음벽은 태양광을 이용한 발전형 투명방음벽, 생태방음벽, 그 외 특수 상단장치를 포함하여 그 성능개선을 위하여 끊임없이 여러 가지 유형이 특허로 출원되고 연구 개발되고 있음을 보고하였다.

이와 같은 방음벽의 성능평가를 위해 우리나라의 경우 환경부(2009)에서 제시한 방음벽의 성능 및 설치기준이 활용되고 있다. 일반적인 흡음율 및 차음성능, 풍하중에 대한 구조 안전 등에 대한 사항이 제시되어 있고 이와 더불어 방음벽의 성능을 평가하기 위해 방음벽의 설치 전 후 소음도를 활용한 삽입손실 계산이 제시되어 있다. 철도의 경우 방음벽

설치 전 소음도가 철도건설 및 여러 가지 여건상 측정되지 않는 경우가 있다.

따라서 본 연구에서는 철도소음 저감용 방음벽의 소음저감 성능평가를 위해 방음벽 설치 전 소음도를 가지고 있지 않은 경우 삽입손실 평가를 위한 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 철도 고속선 인근 방음벽 개소를 선정하여 철도소음을 측정 분석하였고 방음벽 설치전 소음도가 측정되지 않은 상황에서 방음벽의 삽입손실에 의한 성능을 평가하기 위해 소음 예측식을 활용하였다. 이와 같이 철도 방음벽 설치 전 소음도로써 예측식을 활용하므로 방음벽의 성능을 정도 높게 평가하는 방안에 대해 나타내었다.

II. 철도방음벽 설치 개소에서 소음 측정

본 연구에서는 기존 알루미늄 흡음형 방음벽이 철도인근에 많이 활용되고 있는 바, 이러한 방음벽의 이격거리 및 높이별 소음저감 성능을 현장에서 평가하기 위해 측정 사이트가 선정되었고 총 8개의 마이크로폰을 이용하여 동시 측정함으로써 방음벽의 성능을 평가하고자 하였다. 그림 1에는 철도소음 측정을 위한 측정개략도이며, 표 1에는 각 마이크로폰의 위치를 하행선 철도레일 중심으로부터의 이격거리와 레일레벨로부터의 높이 데이터를 정리하여 나

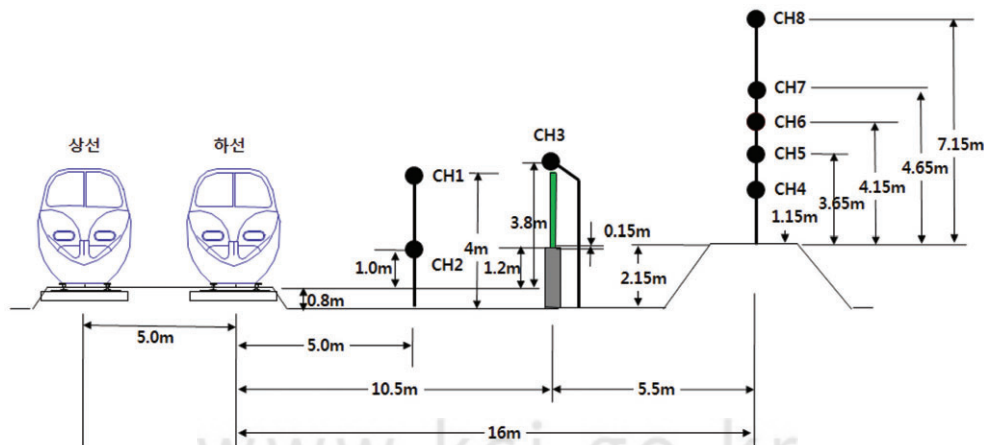


그림 1. 철도방음벽 성능분석을 위한 측정 개략도

표 1. 마이크로폰 설치 위치

Channel	이격거리(m)	높이(m)	비고
CH1	5	3.2	
CH2	5	1.0	
CH3	10.3	3.8	
CH4	16	2.5	
CH5	16	5.0	
CH6	16	5.5	
CH7	16	6.0	
CH8	16	8.5	

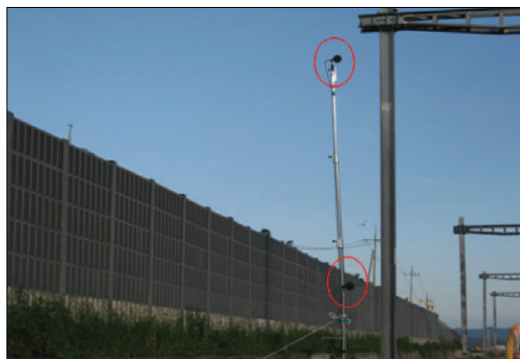
타내었다. 측정 주파수 범위는 20-20kHz까지로 설정하였다. 측정구간은 고속열차가 고속으로 통과하고 방음벽이 설치된 직선구간을 선정하였다.

철도소음에 대한 방음벽의 성능을 현장측정결과를 이용하여 분석하기 위해 마이크로폰을 방음벽 앞 측 소음원인 철도 인근과 방음벽 상단 그리고 방

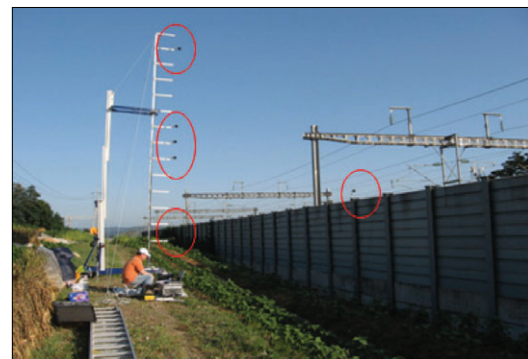
음벽 후방의 주요 높이별로 설치하여 소음을 측정하였다. 이와같이 철도소음 측정하는 장면을 그림 2에 나타내었다. 사진에서 마이크로폰은 빨간색 원으로 표시하였다. 소음측정시 통과한 열차의 속도는 주로 260~300km/h의 분포를 나타내었다.

측정결과 상/하행선에 고속열차가 통과할 때 전형적인 소음도 시간 이력 곡선을 그림 3, 4에 나타내었다. 또한 표 2와 3에는 열차가 상행선과 하행선을 통과할 때 통과시간, 통과속도 그리고 열차가 마이크로폰 앞을 진입해서 빠져나가는 통과시간(passing time) 동안의 등가소음도를 소음측정 마이크로폰 위치별로 나타내었다.

그림 3과 그림 4의 시간이력곡선에서 알 수 있듯이 상행선 열차 통과시 방음벽 앞쪽 소음원 근처에 위치한 ch 1과 ch 2의 소음도는 거의 동일한 특성을 나타내었다. 이는 소음원으로부터 마이크로폰까



(a) 방음벽 안쪽



(b) 방음벽 바깥쪽

그림 2. 철도방음벽구간 소음측정 장면

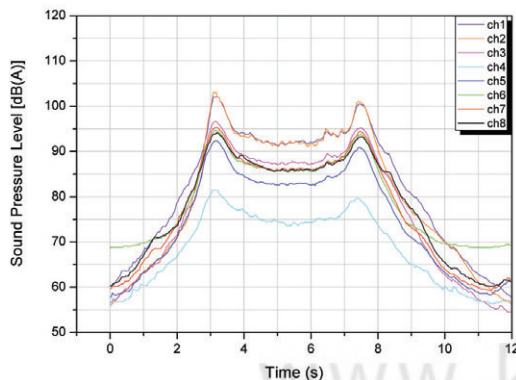


그림 3. 고속열차 상행선 통과시의 채널별 소음도 이력

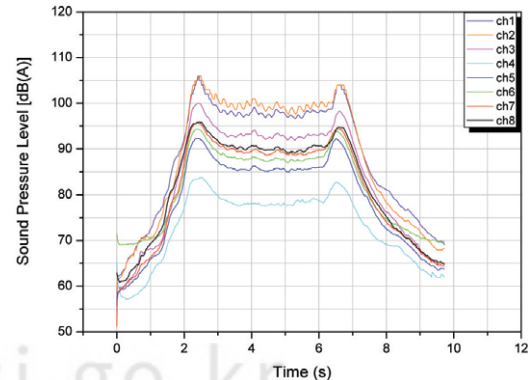


그림 4. 고속열차 하행선 통과시의 채널별 소음도 이력

지의 거리가 거의 유사한 특성으로 판단된다. 그러나 하행선 열차통과시의 ch 1과 ch 2의 소음도는 상부 위치보다 하부 위치에서 소음도가 높게 나타났다. 이는 열차 통과하는 평균 시간 동안의 소음도

에 지배적인 소음원의 위치가 ch 1 즉 3.2m 높이보다 ch 2 즉 레일레벨로부터 1m 위치에 가까운 것을 의미한다고 판단된다.

표 2, 표 3에서 정량적으로 알 수 있듯이 상행선

표 2. 열차가 상행선 통과시의 소음 측정 결과

No	Speed (kph)	Passing time(s)	LeqTp, dB(A)							
			Ch.1	Ch.2	Ch.3	Ch.4	Ch.5	Ch.6	Ch.7	Ch.8
1	296	4.72	98.3	98.2	94.5	79.0	88.6	92.1	93.6	93.1
2	296	4.72	95.1	94.7	91.1	77.7	86.6	89.1	89.7	89.5
3	297	4.70	93.7	93.7	90.2	76.0	85.7	88.2	88.8	88.3
4	282	4.95	94.2	93.9	90.4	76.9	86.4	88.9	89.2	88.5
5	294	4.75	94.6	94.1	90.3	77.5	86.3	88.5	88.8	89.1
6	279	5.00	94.8	94.9	91.2	77.4	87.2	89.5	89.7	89.2
7	294	4.75	94.9	95.1	91.1	76.9	86.7	89.5	90.0	89.3
8	297	4.70	94.9	94.5	91.2	77.0	86.4	89.1	90.1	89.6
9	304	4.60	95.1	95.0	91.3	77.5	87.5	89.6	89.8	89.4
10	292	4.78	93.7	93.5	90.0	76.3	86.0	88.1	88.1	88.0
11	296	4.72	95.1	95.7	93.0	78.8	88.3	90.9	91.8	91.3
12	292	4.79	92.7	93.3	90.8	77.3	86.9	89.1	89.4	88.8

표 3. 열차가 하행선 통과시의 소음 측정 결과

No	Speed (kph)	Passing time(s)	LeqTp, dB(A)							
			Ch.1	Ch.2	Ch.3	Ch.4	Ch.5	Ch.6	Ch.7	Ch.8
1	299	4.68	100.3	101.1	96.1	83.7	88.5	90.3	91.8	93.6
2	300	4.65	98.7	100.0	94.9	79.9	88.0	89.9	91.2	92.0
3	290	4.82	99.6	100.2	95.5	83.1	88.2	90.0	91.5	92.9
4	263	5.32	96.6	98.0	92.6	77.1	84.9	86.9	88.4	89.8
5	297	4.71	98.8	100.3	95.0	80.2	87.9	89.9	91.2	92.1
6	294	4.75	99.0	100.2	95.0	80.5	87.1	89.3	90.8	92.4
7	290	4.82	98.8	100.0	94.9	79.9	88.0	90.0	91.3	91.9
8	297	4.70	99.5	100.5	95.7	82.5	88.4	90.2	91.6	92.8
9	300	4.66	100.3	101.2	96.1	82.8	88.6	90.4	91.9	93.3
10	300	4.66	98.8	99.9	94.8	79.6	87.4	89.6	91.0	91.8
11	297	4.70	100.0	101.8	97.4	81.6	89.0	91.2	93.1	94.8
12	299	4.68	96.9	98.7	94.5	79.6	87.3	89.3	90.6	91.8

에 열차 통과시에는 ch 1과 ch 2 위치에서 소음도가 0.5dB이내에서 같은 레벨을 나타내고 있고, 하행선에 열차 통과시에는 하부 위치인 ch 2 위치에

서 1~2dB 까지 소음도가 높음을 알 수 있다.

이와같이 낮은 위치는 차륜과 레일의 접촉에 의한 전동소음과 하부 차륜이 부착되는 보기(bogie)

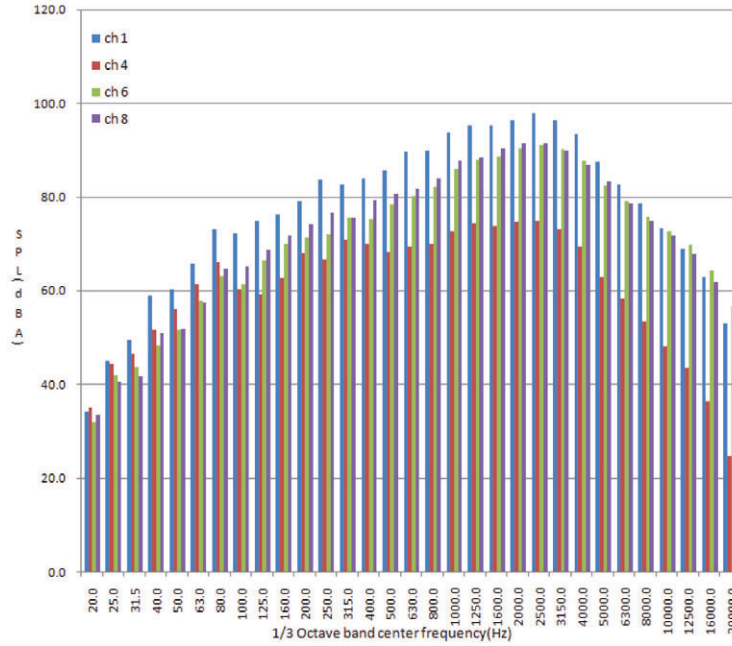


그림 5. 고속열차 상행선 동력차 통과시의 주파수 스펙트럼

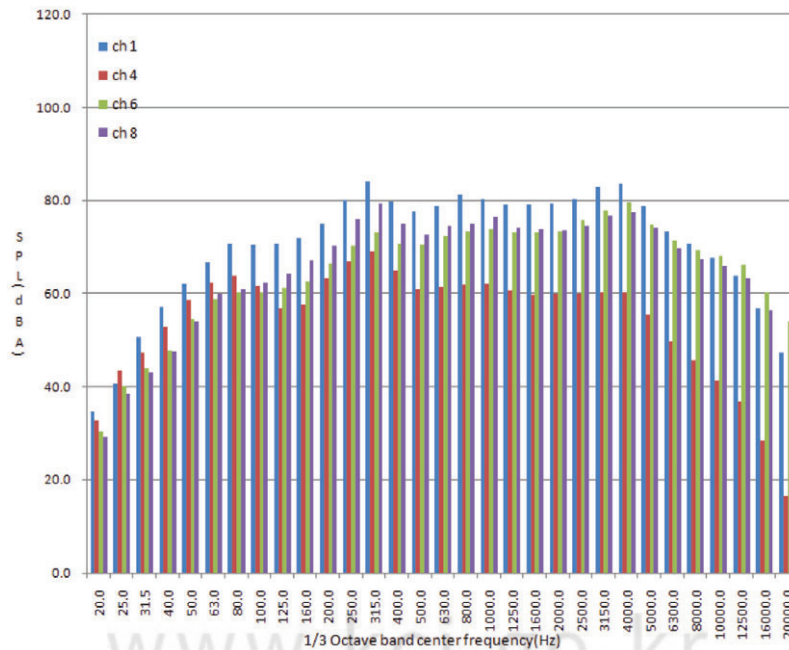


그림 6. 고속열차 상행선 객차 통과시의 주파수 스펙트럼

인근에서 발생하는 공력소음이 주 소음원이다.

방음벽에 의한 철도소음의 저감효과를 검토하기 위해 전두부 동력차 통과시의 최대소음도 및 객차 통과하는 동안에 대한 주파수 스펙트럼을 분석하였으며 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다. ch 1을 기준으로 비교하면 저주파수는 거의 효과가 미미하고 고주파로 갈수록 방음벽에 의한 소음저감효과가 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 동력차가 통과할 때에는 소음원 근접위치에서 2500Hz대역이 가장 높은 소음도 성분을 가지는 특성을 보였고 주로 전동음과 하부 및 차간 공력소음이 영향을 끼치는 객차부위가 통과하는 때에는 315Hz 및 3150Hz에서 피크를 보이고 그 내부는 현수선 형태의 주파수 특성을 보이고 있다.

III. 고속철도 소음 전파 예측

방음벽의 성능은 설치 전후의 삽입손실로 평가하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 기 설치된 방음벽의 성능을 평가하기 위해 방음벽 설치 전 소음도를 개활지 소음도 측정된 결과를 이용하여 예측식을 구성하고 그로부터 산출하였다. 고속열차가 개활지를 통과하는 2개의 개소를 선정하여 총 34대의 고속철도 소음을 측정 분석하였다. 그림 7에는 측정개념도, 그림 8에는 측정 마이크로폰 설치 장면을 나타내었다. 마이크로폰은 측정대상 선로중심으로 부터 7.5m, 15m, 25m, 50m 위치에서 설치하여 측정하였다. 이와같이 측정된 데이터는 최고소음도와 열차 통과시의 통과소음도로 분석하였으며 그 결과의 일부를 표 4에 나타내었다. 이들 데이터를 이용하여 그림 9에 나타낸 바와 같이 거리별 예측소음도를 실험식으로 제시하였다. 이러한 예측

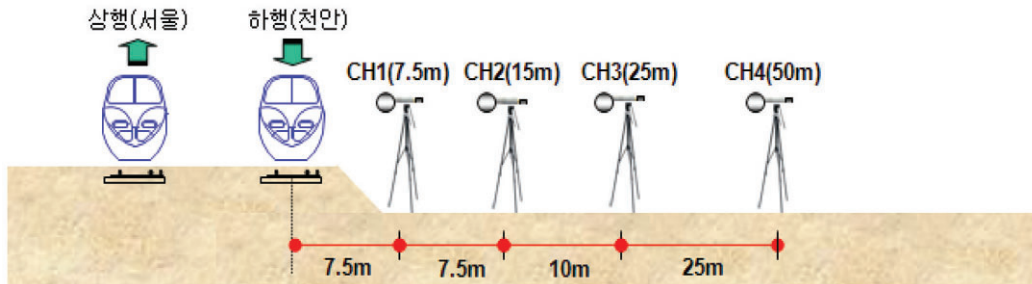


그림 7. 고속열차 개활지 통과 소음 측정 개념도



소음원 방향



수음점 방향

그림 8. 고속열차 개활지 통과 소음 측정 장면

표 4. 고속열차 개활지 통과 소음 측정결과 예

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
차 종	KTX	KTX	KTX	KTX	KTX	KTX	KTX	KTX	KTX		
상하행	하행										
량 수	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
속도(km/h)	293	296	293	292	295	266	295	290	293		
통과시간(s)	4.77	4.72	4.76	4.78	4.74	5.26	4.74	4.82	4.76		
이격거리 (m)	Lmax	7.5	101.7	101.1	101.7	101.1	98.8	100.1	102.2	102.7	102.5
		15	97.1	95.9	96.2	96.2	93.3	94.5	97.0	97.5	97.3
		25	93.0	91.9	92.7	91.7	89.4	90.6	93.1	93.8	93.5
		50	87.7	87.7	87.7	88.0	84.8	85.8	89.1	88.8	88.4
	LeqTp	7.5	96.0	96.2	95.6	96.8	93.6	94.0	97.6	97.0	96.8
		15	91.9	92.0	91.5	92.6	89.5	89.7	93.3	92.8	92.8
		25	89.0	89.4	89.0	90.0	87.1	87.1	90.5	90.1	90.0
		50	85.9	86.4	85.7	86.9	83.9	83.6	87.5	86.9	86.4
비 고											

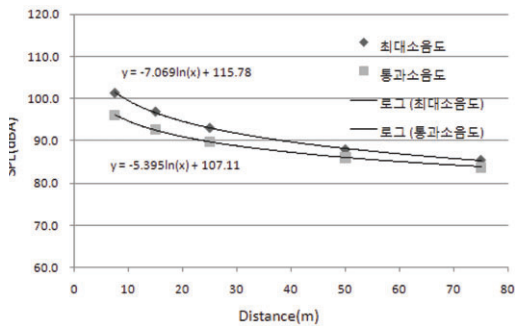


그림 9. 고속열차 통과시 이격거리별 최대소음도 및 통과 소음도 예측식

소음도 실험식은 큰 건물의 반사나 차폐 등의 영향이 없는 비슷한 개활지 조건의 경우 충분히 활용가능하리라 판단된다.

예측식에서 알 수 있는 바와 같이 거리가 2배(double distance, dd)로 될 때 소음도 저감은 최고소음도의 경우 4.9 dB/dd, 통과소음도의 경우 3.7 dB/dd를 나타내었다.

IV. 철도방음벽 설치개소 소음저감 성능 분석

본 장에서는 철도방음벽의 소음저감 성능을 분석하기 위해 소음 측정값의 차이를 이용하여 정성적

인 분석을 수행하였고, 개활지를 통과하는 고속열차 전파 소음 예측식을 이용하여 방음벽의 설치전 소음도를 활용한 삽입손실을 평가하였다.

먼저 2장에서 측정한 방음벽 앞과 뒤쪽에서 동시 측정한 소음도를 이용하여 성능을 분석하였다. 기준마이크로폰을 방음벽 전방 측 소음원 인근의 ch 2 (하행선 기준 5m 이격, 레일레벨 기준 1.0m 높이)으로 선정하여 방음벽 후방 채널 위치별 소음도 차이(noise reduction)를 계산하여 표 5에 나타내었다. 표 5에서 알 수 있듯이 방음벽에 가까운 선로인 하행선에 열차 통과시 기준 마이크로폰과 방음벽 후방 위치 마이크로폰의 소음도 차이는 7.7 ~ 19.3 dBA를 나타내었고 방음벽에서 먼 선로인 상행선에 열차 통과시에는 5.2 ~ 17.4 dBA를 나타내었다. 소음원이 같은 크기의 소음을 방사할 때 방음벽은 소음원에 가까이 또는 수음점에 가까이 설치한 경우 소음저감 효과를 더 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

또한 방음벽 후방의 마이크로폰 즉 높이별로 얻어

표 5. 방음벽 인근 철도 소음도 차이

Classification	ch4	ch5	ch6	ch7	ch8
Downward line	19.3	12.4	10.4	9.0	7.7
Upward line	17.4	7.8	5.3	4.8	5.2

진 소음도는 상행선에 열차가 통과할 때 ch 6 (5.5m 높이)이상에서는 소음도 차이가 4.8~5.3dBA로 거의 차이가 없음을 볼 때 방음벽의 효과가 없는 위치로 판단할 수 있다. 하행선에 열차가 통과하는 경우는 ch 8(즉 레일레벨로부터 8.5m 위치)까지 소음 저감효과가 있음을 알 수 있다.

방음벽의 소음저감 성능은 방음벽 설치 전후의 삽입손실로 평가하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서와 같이 방음벽 설치 전 소음도를 사전에 측정하지 않은 경우 3장에서 나타난 개활지통과 즉 방음벽 없는 지역을 통과하는 소음도 예측식을 간접적으로 활용하여 삽입손실을 평가하였다. 방음벽이 없을 때의 ch 4에서 ch 8 위치에 대한 소음 예측은 방음벽에 의한 영향이 적은 ch 3 위치의 소음도 값과 3장에서 나타난 전파특성식을 이용하여 계산하였고 이로부터 얻어진 삽입손실 결과를 표 6과 7에 나타내었다.

표 6에서 알 수 있는 바와 같이 ch 5까지 2.6~12.2 dBA의 삽입손실이 얻어진다고 평가되었고 그 이상의 높이에서는 효과가 없는 것으로 평가되었다. 표 7의 경우는 ch 7 위치 즉 레일레벨로부터 8.0m 높이까지 소음저감효과가 있으며 그 이상에서는 효과가 없는 것으로 평가되었다. 이와 같은 결과는 기준 마이크로폰을 사용하여 방음벽 후방 높이별 소음도 차이를 평가한 결과와 매우 유사한 분석결과를 준다.

표 6. 상행선 열차 통과시의 방음벽의 삽입손실 추정

Classification	Ch 4	Ch 5	Ch 6	Ch 7	Ch 8
Measurement (With Barrier)	77.4	86.9	89.4	89.9	89.5
Prediction (Without Barrier)	89.6	89.5	89.5	89.5	89.3
Estimated Insertion Loss	12.2	2.6	0.1	-0.4	-0.2

표 7. 하행선 열차 통과시의 방음벽의 삽입손실 추정

Classification	Ch 4	Ch 5	Ch 6	Ch 7	Ch 8
Measurement (With Barrier)	80.9	87.8	89.8	91.2	92.4
Prediction (Without Barrier)	92.9	92.8	92.7	92.7	92.4
Estimated Insertion Loss	12.0	5.0	3.0	1.5	0.0

기준 마이크로폰을 통해 정성적으로 분석한 결과와 더불어 전파소음 예측식을 활용하여 방음벽 삽입손실을 정도높게 추정 산출할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 철도소음 저감을 위한 방음벽의 효과를 실제 방음벽 설치 운영현장의 철도소음을 측정함으로써 그 저감특성을 분석하였다. 소음원 인근의 소음도 측정을 통해 고속열차 통과시의 평균 소음도에 대한 소음원 위치를 추정해 보았으며, 실제 방음벽에 의해 저감되는 주파수 특성을 확인하였다. 또한 방음벽에 의한 철도소음 저감효과를 방음벽 설치 전후가 아닌 방음벽 전후방의 소음도를 동시 측정함으로써 정성적으로 평가하는 방법을 검토하였으며, 개활지를 통과하는 고속열차 예측식을 활용하여 방음벽 설치전 소음도를 구하고 방음벽 설치 후 소음도는 측정치를 활용하여 철도 방음벽의 삽입손실을 계산하였다. 이와같이 철도소음 예측식을 활용함으로써 여건상 방음벽 설치전 철도소음을 측정하지 못하는 경우 방음벽의 성능을 정도 높게 평가할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- 강대준, 이재원, 구진희, 2007, 방음벽 상단의 소음 감소기 성능평가, 한국소음진동공학회 논문집, 17(12), 1139-1144.
- 김철환, 장태순, 강희만, 전기성, 김동준, 장서일, 2008, 방음벽 상단 소음저감장치의 성능평가 방법에 관한 연구(3) - 시험 및 평가방법의 제안, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, KSNVE08S-20-02.
- 심상덕, 장강석, 김영찬, 김두훈, 조준호, 정우성, 2000, 철도연변의 방음시설의 소음측정 사례 보고, 한국소음진동공학회 창립10주년 기념 소음진동학술대회 논문집, 1350-1354.
- 장강석, 윤제원, 김영찬, 김두훈, 2001, 철도전파소

- 음 저감을 위한 간섭장치의 성능평가, 한국
철도학회추계학술대회 논문집, 192-197.
- 조준호, 고효인, 김홍섭, 2010, 방음벽 및 방음장치
특허 동향 분석, 한국철도학회 2010년도 춘
계학술대회 논문집.
- 최준집, 2006, 도로소음 차단을 위한 방음벽 설치
에 관한 연구, 서울산업대학교 산업대학원
석사학위논문.
- 한국도로공사, 2004, 고속도로 방음벽 설치기준 개
선 연구 보고서.
- 한국철도기술연구원, 2001, 철도소음 저감용 방음
벽 상단 간섭장치의 성능평가 연구 보고서.
- 한국철도기술연구원, 2009, 고속화에 따른 소음진
동 저감방안 연구 보고서.
- 환경부, 2009, 방음벽의 성능 및 설치기준, 환경부
고시(2009-221).
- 최종원고채택 10. 11. 10