

방음벽 설계를 위한 고속도로 소음 특성에 관한 연구

A study on the highway traffic noise characteristics for the design of noise barrier

윤제원⁰ · 이홍기* · 유국현* · 강희만** · 장태순** · 박양흠***

Je-Won Yoon, Hong-Ki Lee, Kuk-Hyun Ryu, Huy-Man Kang, Tae-Soon Jang and Yang-Hum Park

Key Words : 고속도로 소음(highway traffic noise), 방음벽(noise barrier)

ABSTRACT

본 연구에서는 고속도로 발생 소음특성을 측정하여 방음벽 설계 인자를 도출하기 위함이다. 이를 위해 인터체인지 및 영업소 인접부를 포함한 총 20개소를 선정하여 소음측정을 수행하였으며, 소음원의 주파수특성 및 일일 변동특성, 노면 종류에 따른 소음발생특성, 영업소 및 인터체인지 부근에서의 소음특성을 분석하여 방음벽 설계 인자를 도출하였다.

1. 서론

자동차의 급속한 증가로 인하여 교통 소음 문제는 날이 갈수록 심화되고 있으며, 이러한 차량 증가 추세에 맞추어 도로망이 계속 확장되고 있어 소음 피해 지역이 도심지는 물론 농어촌 지역까지 확산되고 있는 형편이다. 이로 인해 도로교통 및 철도에서 발생하는 소음을 저감하기 위해 다양한 종류의 방음벽이 제작되고 설치되어 오고 있으며, 고속도로 방음벽의 설치도 꾸준히 증가하고 있는 추세이다.

방음벽의 중요한 설계 인자는 교통량, 방음벽 높이 및 길이, 지형 조건 등이다. 따라서, 지금까지 알려진 일반적인 식을 사용하여 방음벽의 음향성능을 예측한다면 비교적 정확한 소음영향평가를 수행할 수 있을 것이다. 그러나, 교통 조건의 변화, 지형 조건을 고려하지 않은 상태에서의 소음 예측, 부적절한 방음벽 산정식 및 방음벽의 파손 등의 이유로 인하여 방음벽이 설치된 후에도 실제 소음도가 방음벽 설계시의 예측 소음도를 상회하는 지역이 발생하고 있는 실정이다. 이로 인해 고속도로 건설 후 유지관리 단계에서 교통 소음 문제가 발생할 경우, 추가적인 시공 비용 문제 외에도 소음피해 지역 주민과의 마찰, 공사를 위한 도로 차로 차단 등으로 고속도로를 이용하는 운전자들에게 큰 불편을 초래한다. 이에 따라, 본 연구에서는 방음벽 설치 후에도 예측 소음도를 상회하지 않도록 고속도로 발생 소음 특성을 연구하여 방음벽 설계 인자를 도출하기 위함이다.

2. 본론

2.1 소음 측정

1) 측정목적 및 분석방법

고속도로 교통소음은 차량의 통행량과 주행 속도는 물론 차종 구성비, 차선 수, 포장 종류, 도로 형태 등에 따라 달라진다. 본 연구에서는 기존 고속도로 교통소음 예측 모델의 정확도와 방음벽 설계의 적정성을 검증하기 위한 기초 데이터를 확보하고자 전달감쇠가 거의 없는 차량 주행선 근접 지점(이하 기준점 또는 REF)과 전달 감쇠 특성을 측정할 수 있는 지점(CH1~CH5)에서 동시에 소음을 측정하였다. 또한, 차선 및 차종별 교통량과 차종별 주행 속도를 측정하였다.

이를 위해 멀티채널 주파수 분석기(B&K PULSE) 및 소음측정기(2대)를 이용하여 5분간 등가소음도를 측정하였으며, 소음계의 동특성은 빠름으로, 청감보정회로는 A특성에 고정하였다. 또한, 소음측정과 동시에 그 측정시간 내의 주행 상태를 대표하는 차량을 상·하행선 각 10대 이상 선정하여 스피드건을 이용해 주행속도를 측정하였고, 차종별 통행량은 캠코더를 이용해 분석하였다. 또한, 기상조건은 풍속계 및 온·습도계를 이용하여 측정하였으며, 소음해석을 수행하기 위한 기본적인 지형조건도 조사하였다. 기타 측정방법 및 측정기기의 사용·조작은 “소음·진동공정시험방법”에 준하여 시행하였다. 또한, 수음점은 기준점을 포함하여 총 6개 지점으로 설정하였으며, 도로로부터의 이격 거리는 현장 상황에 따라 약간의 차이는 있으나, 기본적으로 각각 15m, 30m 및 60m로 상호간 이격거리가 2배가 되도록 설정하였다. 여기서, 기준점이란 매 측정마다의 기준값을 상호 비교하기 위한 도로단에서의 측정점을 의미한다.

* 알엠에스테크놀로지(주)

E-mail : rmstech@rmstech.co.kr

Tel : (041)556-7600, Fax : (041)556-7603

** 한국도로공사 도로교통기술원 재료환경연구그룹

*** 한국도로공사 도로처

2) 측정 지점

본 연구에서는 일반적인 고속도로 소음예측 모델에서 제시하고 있는 차량 음향출력레벨 및 전달 감쇠 산정식의 정확도를 종합적으로 검증할 목적으로 [표 1]에 보인 바와 같이 인터체인지 인접부와 영업소 인접부를 포함하여 총 20개소를 선정하여 소음 측정을 수행하였다.

Table 1 소음측정 지점 및 특성

No.	노선	방향	편도 차선수	포장 종류	방음벽	
					높이(m)	형태
01	경부선	서울	4	아스팔트	3.0	반사형
02	경부선	부산	4	아스팔트	4.0	반사형
03	경부선	부산	4	아스팔트	3.0	반사형
04	서해안선	목포	2	콘크리트	2.0	흡음형
05	서해안선	서울	2	콘크리트	2.5	흡음형
06	서해안선	목포	2	아스팔트	2.0	반사형
07	서해안선	목포	2	아스팔트	2.0	반사형
08	서해안선	목포	2	콘크리트	3.0	반사형
09	서해안선	목포	2	콘크리트	2.0	반사형
10	서해안선	서울	2	아스팔트	2.0	반사형
11	서해안선	서울	2	아스팔트	-	-
12	서해안선	목포	2	아스팔트	2.0	반사형
13	서해안선	목포	2	콘크리트	4.0	흡음형
14	서해안선	서울	2	콘크리트	2.5	반사/흡음형
15	서해안선	서울	2	콘크리트	3.0	흡음형
16	서울외곽선	일산	-	콘크리트	-	-
17	중부선	청주	2	콘크리트	-	-
18	경부선	서울	4	아스팔트	-	-
19	중부선	대전	2	콘크리트	인터체인지 소음특성	
20	경부선	서울	4	아스팔트	일반동 소음특성 측정	

※) 방음벽 높이는 옹벽 높이를 포함한 것임.

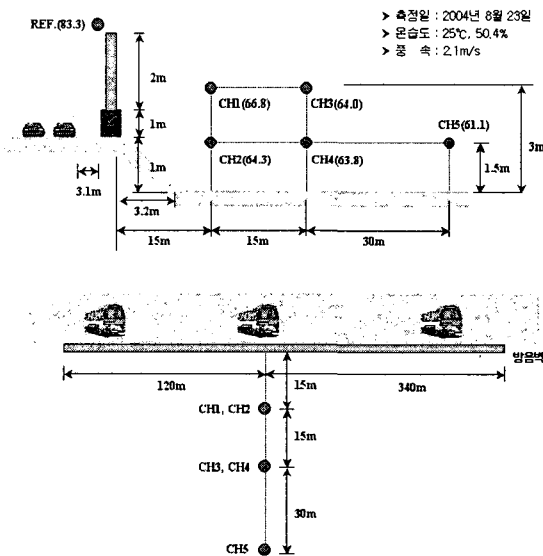


Fig. 1 소음측정 지형 개략도

2.2 교통량 분석 결과

다음은 교통량 분석 결과를 나타낸 것이다.

Table 2 교통량 분석 결과

No.	노선	측정 횟수	교통량 [대/hr]						
			상행	하행	합계	혼입비			
01	경부선 상행 359.0km	1회	1,404	3,072	1,260	3,744	2,664	6,816	28.1%
		2회	1,344	3,060	1,404	3,312	2,748	6,372	30.1%
		3회	1,380	3,120	1,344	3,576	2,724	6,696	28.9%
		평균	1,380	3,084	1,332	3,540	2,712	6,624	29.0%
02	경부선 하행 374.5km	1회	1,488	2,640	1,536	4,308	3,024	6,948	30.3%
		2회	1,452	2,844	1,500	4,380	2,952	7,224	29.0%
		3회	1,296	2,964	1,416	4,824	2,712	7,788	25.8%
		평균	1,416	2,820	1,488	4,500	2,892	7,320	28.3%
03	경부선 하행 360.0km	1회	1,273	2,407	2,052	2,734	3,325	5,141	39.3%
		2회	1,594	2,381	2,027	2,999	3,621	5,380	40.2%
		3회	1,347	2,331	1,829	2,772	3,177	5,103	38.4%
		평균	1,405	2,373	1,969	2,835	3,374	5,208	39.3%
04	서해안선 하행 165.5km	1회	264	444	300	516	564	960	37.0%
		2회	180	540	240	552	420	1,092	27.8%
		3회	276	492	264	492	540	984	35.4%
		평균	240	492	264	516	504	1,008	33.3%
05	서해안선 상행 165.5km	1회	272	403	198	630	470	1,033	31.3%
		2회	222	454	185	391	408	844	32.6%
		3회	275	410	185	647	460	1,057	30.3%
		평균	256	422	189	556	445	978	31.3%
06	서해안선 하행 127km	1회	309	391	297	668	606	1,068	36.4%
		2회	260	504	235	529	494	1,033	32.4%
		3회	124	315	87	277	210	592	26.2%
		평균	231	403	206	491	437	894	32.8%
07	서해안선 하행 119.5km	1회	136	252	136	353	272	605	31.0%
		2회	161	302	124	239	284	542	34.4%
		3회	185	277	198	227	383	504	43.2%
		평균	161	277	152	273	313	550	36.2%
08	서해안선 하행 57.8km	1회	124	151	74	239	198	391	33.6%
		2회	74	176	74	139	148	315	32.0%
		3회	148	239	87	88	235	328	41.8%
		평균	115	189	78	155	193	344	35.9%
09	서해안선 하행 31.5km	1회	87	113	49	252	136	365	27.1%
		2회	87	151	37	202	124	353	25.9%
		3회	62	189	49	164	111	353	24.0%
		평균	78	151	45	206	124	357	25.7%
10	서해안선 상행 108km	1회	124	202	161	227	284	428	39.9%
		2회	136	189	148	315	284	504	36.1%
		3회	74	164	111	265	185	428	30.2%
		평균	111	185	140	269	251	454	35.4%
11	서해안선 상행 123km	1회	148	315	210	227	358	542	39.8%
		2회	136	290	210	365	346	655	34.6%
		3회	148	340	136	454	284	794	26.4%
		평균	144	315	185	349	330	664	33.6%
12	서해안선 하행 123km	1회	210	315	111	328	321	643	33.3%
		2회	87	328	49	428	136	756	15.2%
		3회	161	302	148	315	309	617	33.4%
		평균	152	315	103	357	255	672	27.3%
13	서해안선 하행 208km	1회	309	454	297	668	606	1,121	35.1%
		2회	284	441	247	479	531	920	36.6%
		3회	321	504	309	567	630	1,071	37.1%
		평균	305	466	284	571	589	1,037	36.2%

No.	노선	측정 횟수	교통량 [대/hr]						혼입율
			상행		하행		합 계		
			대형	소형	대형	소형	대형	소형	
14	서해안선 상행 231.5km	1회	334	769	222	731	556	1,499	27.0%
		2회	297	630	260	731	556	1,361	29.0%
		3회	222	756	309	605	531	1,361	28.1%
		평균	284	718	264	689	548	1,407	28.1%
15	서해안선 상행 245.3km	1회	358	1,373	396	882	754	2,255	25.1%
		2회	297	1,323	433	869	729	2,192	25.0%
		3회	272	1,084	334	819	606	1,903	24.1%
		평균	309	1,260	387	857	696	2,117	24.7%
16	시흥영업소 (일산방향)	1회	1,323	2,432	1,434	3,011	2,756	5,443	33.6%
		2회	1,051	2,533	1,421	2,696	2,472	5,229	32.1%
		3회	1,261	2,621	1,360	2,772	2,620	5,393	32.7%
		평균	1,211	2,528	1,405	2,827	2,616	5,355	32.8%
17	중부선 하행 258km	1회	618	832	581	1,096	1,199	1,928	38.3%
		2회	655	769	643	1,424	1,298	2,192	37.2%
		3회	630	844	655	1,184	1,285	2,029	38.8%
		평균	634	815	626	1,235	1,261	2,050	38.1%
18	경부선 하행 385km	1회	1,384	1,550	1,842	4,297	3,226	5,846	35.6%
		2회	1,298	2,596	1,446	3,982	2,744	6,577	29.4%
		3회	1,323	1,865	1,656	4,372	2,979	6,237	32.3%
		평균	1,335	2,003	1,648	4,217	2,983	6,220	32.4%

※ 대형차 혼입률 = (대형차 통과 대수)/(상하행 전체 차량 통과 대수)

2.3 소음 측정 결과

1) 소음 측정 결과

노선별 이격거리(위치별)에 따른 소음측정 결과는 [표 3]과 같고, 각 위치(CH1~CH5)의 높이는 [그림 1]과 같다.

Table 3 소음측정 결과

No.	노선	REF	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
01	경부선 상행 359.0km	83.3	66.8	64.3	64.0	63.8	61.1
02	경부선 하행 374.5km	83.6	63.9	62.2	63.5	62.1	57.7
03	경부선 하행 360.0km	83.7	64.9	62.8	64.7	62.1	60.6
04	서해안 하행 165.5km	81.0	57.5	57.1	56.6	56.8	55.5
05	서해안 상행 165.5km	80.7	58.9	57.9	59.1	59.7	58.4
06	서해안 하행 127.0km	72.9	53.2	52.2	51.5	51.1	50.1
07	서해안 하행 119.5km	74.7	53.8	53.7	52.9	52.4	51.7
08	서해안 하행 57.8km	74.9	56.0	55.1	54.2	53.2	52.0
09	서해안 하행 31.5km	75.4	54.6	53.6	52.6	51.9	51.1
10	서해안 상행 108.0km	74.3	55.8	55.3	55.0	54.6	54.4
11	서해안 상행 123.0km	75.5	57.6	56.0	58.1	57.0	57.5
12	서해안 하행 123.0km	75.5	54.2	53.2	53.3	53.1	52.5
13	서해안 하행 208.0km	81.2	53.9	53.2	56.2	55.2	52.5
14	서해안 상행 231.5km	81.1	61.7	60.3	61.5	59.9	60.3
15	서해안 상행 245.3km	82.1	58.7	56.9	59.3	58.9	57.3
16	서울의곽선(일산방향)	73.3	76.2	71.0	74.0	76.1	69.5
17	중부선 하행 258.0km	80.8	67.6	64.7	66.9	66.7	65.7
18	경부선 하행 385.0km	83.9	69.9	69.3	67.6	65.1	-

2) 소음원의 주파수 특성

교통소음원의 주파수특성을 알아보기 위해 고속도로 갖길에 설치한 기준점(REF)에서의 측정값을 1kHz의 소음레

벨을 기준으로 각각의 옥타브밴드 중심주파수에 해당하는 소음레벨의 상대적인 차이를 [그림 2]와 같이 나타내었다. 그러나, 도로 포장 종류(아스팔트와 콘크리트 포장)에 따른 소음원의 주파수특성 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

3) 도로 노면 종류에 따른 발생 소음 특성

지형조건 및 교통량, 대형차 혼입률 등이 동일한 조건하에서 노면 종류(아스팔트 및 콘크리트 포장)에 따른 발생 소음의 특성을 조사하고자 하였으나 상기 조건을 모두 충족하는 데이터의 확보가 매우 어려워 상호간의 정량적인 차이를 도출하지는 못했다. 그러나, 확인 가능한 사항은 기준점에서의 소음레벨을 예측프로그램으로 평가해 볼 때 아스팔트 포장이 콘크리트 포장에 비해 기준점(REF)에서 2~3dB(A) 정도 낮은 것으로 판단되지만 시간이 지남에 따라 아스팔트 노면 포장은 아스팔트의 경화 및 먼지 등과 같은 미립자에 의해 공극이 채워짐에 따라 발생소음은 콘크리트 포장과 비슷해지는 현상을 확인할 수 있었다. 다만, 아스팔트 노면 경화 상태에 따른 소음레벨의 변화를 정량화하여 이를 방음벽의 설계시 소음원의 입력값으로 반영하는 것이 바람직하나, 이를 정량화하기는 매우 어려우므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4) 소음 전달에 따른 감음 현상

이론적으로 교통소음과 같은 선음원에 대한 거리감쇠는 거리가 2배로 늘어나면 3dB(A)씩 감소한다고 알려져 있으나, [표 4]에서 보는 바와 같이 실제 계측 결과 이론값보다는 적은 양으로 감소되는 것으로 조사되었다.

5) 교통량 및 혼입률에 따른 측정소음도의 변화

대형차 혼입율이 비슷한 경우 소음도는 $10\text{Log}(N)$, 즉 시간당 교통량(N)에 비례하는데, [표 5]에서 보는 바와 같이 동일한 노면 포장 조건에 대해서 상기 식이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 또한, [표 6]에서 보는 바와 같이 교통량이 비슷한 경우 대형차 혼입률이 증가할수록 소음도는 증가하는 것으로 나타났다.

6) 영업소 부근에서의 소음전파 특성

영업소에서 발생하는 소음은 1kHz에서 피크를 보이고 있어 일반적인 주행 본선 구간과 비교해 볼 때 스펙트럼의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

7) 인터체인지 부근에서의 소음전파 특성

인터체인지 부근에서 발생하는 소음은 1kHz에서 피크를 보이고 있어 일반적인 주행 본선 구간과 비교해 볼 때 스펙트럼의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 또한, 주행 본선 구간에서 발생하는 소음이 램프 부근에서 발생하는 소음보다 주된 소음원으로 작용하고 있는 것으로 분석되었다.

8) 일일변동 소음특성

교통 소음레벨의 일변동 패턴을 조사하기 위해 죽전휴게소 부근에서 24시간 동안 매시각 정각에 5분간 측정된 등가소음레벨을 해당 측정 지점을 지나는 차량이 통과하는 톨게이트(개방형)의 해당시간 출입 대수와 비교하였다. [그림 3]에서 보는 바와 같이 측정된 소음레벨과 교통량이 대체로 양호한 상관관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 주간 에 비해 야간의 경우 교통량에 대한 소음도가 다소 높은 경향을 나타내고 있는데, 이는 교통량이 적은 야간에 상대적으로 높아지는 차량의 주행속도 영향인 것으로 판단된다.

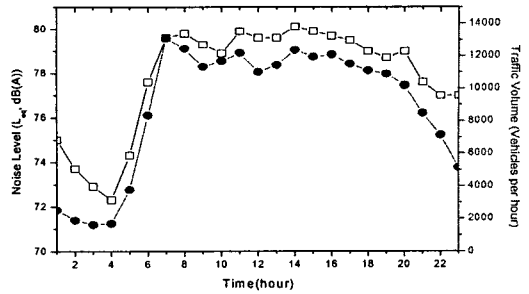


Fig. 3 교통량과 측정소음도와와의 상관 관계

Table 4 이격거리별 소음도의 변화

경부선 하행 385km	도로단으로부터의 이격거리			
	15m	30m	60m	120m
측정소음도	70	69	68	65

Table 5 유사한 대형차 혼입률 조건 시 교통량 변동에 따른 측정소음도의 비교

항 목	아스팔트 포장		콘크리트 포장		아스팔트 포장		콘크리트 포장	
	NO.01	NO.02	NO.14	NO.05	NO.03	NO.07	NO.08	NO.13
혼입율	29.0%	28.3%	28.1%	31.3%	39.3%	36.2%	35.9%	36.2%
교통량	9,336	10,212	1,955	1,423	8,582	863	537	1,627
측정값	83.3	83.6	81.1	80.7	83.7	74.7	74.9	81.2

* ① 교통량은 상하행을 모두 포함한 교통량을 의미함. [대/hr]
 ② 대형차 혼입률 = (대형차 통과 대수)/(상하행 전체 차량 통과 대수)

Table 6 유사한 교통량 조건 시 혼입률 변동에 따른 측정소음도의 비교

항 목	아스팔트 포장				콘크리트 포장		
	NO.03	NO.18	NO.01	NO.02	NO.05	NO.04	NO.13
교통량	8,582	9,203	9,336	10,212	1,423	1,524	1,627
혼입율	39.3%	32.4%	29.0%	28.3%	31.3%	33.3%	36.2%
측정값	83.7	83.9	83.3	83.6	80.7	81.0	81.2

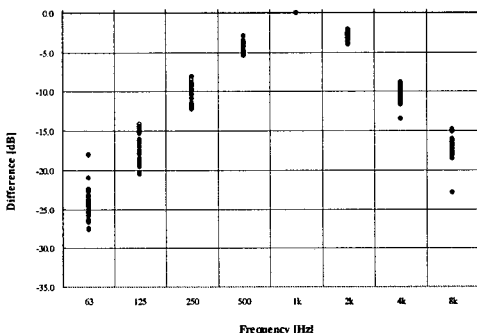


Fig. 2 교통 소음원의 주파수 특성 비교(아스팔트 포장)

3. 결론

- 1) 측정 소음레벨을 이용하여 옥타브밴드에 따른 음압레벨의 상대적인 차이를 1kHz를 기준으로 비교·분석하였다.
- 2) 콘크리트 포장보다 아스팔트 포장이 조용하지만, 아스팔트 포장 역시 노면 포장 후 시간에 지남에 따라 아스팔트의 경화 및 먼지 등과 같은 미립자에 의해 공극이 채워짐에 따라 발생소음은 콘크리트 포장과 비슷해지는 현상을 확인할 수 있었다.
- 3) 대형차 혼입율이 비슷한 경우 소음도는 $10\text{Log}(N)$, 즉 시간당 교통량(N)에 비례하는 것으로 나타났다.
- 4) 영업소 및 인터체인지에서 발생하는 소음은 1kHz의 성분이 크며, 이는 본선 주행구간의 발생소음에 기인한다.
- 5) 교통소음의 일변동특성은 교통량 변화와 매우 유사하다.

후 기

본 논문은 2004년도 한국도로공사 도로교통기술원의 공동 연구인 “고속도로 방음벽의 설치효율 향상방안 연구용역” 과제로 지원되었음.

참 고 문 헌

1. (사)한국소음진동공학회, “소음진동편람”, pp. 145-161
2. “Environmental Noise Barriers”, Benz Kotzen and Colin English
3. ISO 10847, “Acoustics - In situ determination of IL of outdoor noise barriers of all types”
4. KS F 4770-1 ~ KSF 4770-4, 방음판(금속재, 금속재 칼라, 비금속재 칼라, 목재)
5. Handbook of Noise and Vibration control, 5th Edition by R.H.Warning
6. 소음진동규제법 및 소음진동공정시험법
7. 방음벽의 성능 및 설치 기준, 환경부고시 제 2002-184호
8. 방음벽, 주택공사 표준시방서
9. 도로공사 표준시방서(1300 부대공, 1308 방음시설)