고속도로 발생소음의 특성 분석

Characteristics Analysis of Highway Traffic Noise

김 철 환[†] · 장 태 순^{*} · 김 득 성^{*}
Chulhwan Kim, Taesun Chang and Deuk Sung Kim

(Received August 8, 2012 ; Revised September 7, 2012 ; Accepted October 24, 2012)

Key Words : Highway Traffic Noise(고속도로소음), Noise Characteristics Analysis(소음특성 분석), Highway Noise Spectrum(고속도로 소음 스펙트럼), Low-noise Pavement(저소음 포장)

ABSTRACT

Highway traffic noise is the one of the most frequent pollutant source of environmental claims in Korea for the last 10 years. For abating the noise from the highways, characteristics of highway noise source should be investigated and identified before performing the abatements. Highway noises are affected by traffic volume, vehicle types and speed, tyre and pavement types. In this study, highway noises which measured from different pavements have been analyzed and compared. Especially, the noise from the asphalt concrete pavement, cement concrete pavement and low-noise pavement have been measured simultaneously at the same traffic condition and compared each other. Hopefully, the data of the study may be used for abating highway noise and further studies.

1. 서 론

도로교통소음은 최근 10년 동안 우리나라에서 소음민원의 많은 부분을 차지하고 있다. 특히 도시확장, 신도시 건설 등에 의해 고속도로 주변에 대규모의 공동주택 단지가 건설되면서 고속도로 소음은 환경소음 문제의 큰 원인이 되어 왔다. 고속도로 소음 대책으로 방음벽이 일반적으로 사용되어 왔지만 최근에는 상단 소음저감장치, 방음터널 등 다양한 방법들이 시도되고 있다.

이러한 소음대책 방법들을 보다 효과적으로 적용하기 위해서는 포장의 종류 등에 따른 고속도로 발생소음의 특성 분석이 기본적으로 이루어져야 한다. 현재 우리나라 고속도로의 포장 종류는 콘크리트 포

장이 약 55 %, 아스팔트 포장이 약 45 %이며, 최근에 저소음 아스팔트 포장의 본격적인 현장 적용을 위하여 내구성능 등을 검증 중에 있다. 이 연구에서는 이와 같이 종류가 다른 포장에서 발생하는 소음을 측정하고 특성을 분석하여 향후 도로소음 대책의 기초자료가 되도록 하고자 하였다.

2. 측정 및 분석방법

이 연구의 목적은 장소와 시간, 그리고 교통량을 달리하는 조건에서 고속도로의 아스팔트, 콘크리트 및 저소음 포장에서 발생하는 소음의 특성 및 주파수 특성을 분석하고 비교하는 것에 있다. 발생소음의 파악을 위한 측정위치는 도로단으로 하였으며 이는 방음벽의 설치위치와 거의 동일한 지점이다. 또

[†] Corresponding Author ; Member, Korea Expressway Corporation Research Institute
E-mail : c.h.kim@ex.co.kr
Tel : +82-31-371-3366, Fax : +82-31-371-3496

^{*} Member, Korea Expressway Corporation Research Institute

[‡] Recommended by Editor Jin Oh Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

한, 발생소음의 지향 특성을 고려하여 소음의 측정 지점을 도로면으로부터 1 m, 3 m, 5 m, 7 m 높이의 4개 지점으로 하여 모두 동시에 측정하였다. 6 m 높이에는 모니터링 마이크를 설치하고 기록지형 레벨기록계와 연결하여 측정시에 발생하는 특이사항이나 고속도로 발생소음 이외의 소음이 측정될 경우 기록지에 메모하여 분석시에 참고하였다. Fig. 1에 측정위치 및 측정의 개요를 나타내었다.

Fig. 1과 같은 위치에서 고속도로 소음을 20분간 연속으로 측정하고, 측정된 소음의 5분간 등가레벨

Fig. 1 Schematic drawing of highway traffic noise measurements

Table 1 Time variation of highway traffic noise

Asphalt concrete pavement Traffic volume : 8,692/hr		
Sample1	$L_{Aeq,5min}(0\sim5\text{ min})$: 82.9 dB(A)	$L_{Aeq,5min}(5\sim10\text{ min})$: 82.4 dB(A)
	$L_{Aeq,5min}(10\sim15\text{ min})$: 82.4 dB(A)	$L_{Aeq,5min}(15\sim20\text{ min})$: 82.6 dB(A)
Cement concrete pavement Traffic volume : 1,638/hr		
Sample2	$L_{Aeq,5min}(0\sim5\text{ min})$: 80.1 dB(A)	$L_{Aeq,5min}(5\sim10\text{ min})$: 79.9 dB(A)
	$L_{Aeq,5min}(10\sim15\text{ min})$: 79.7 dB(A)	$L_{Aeq,5min}(15\sim20\text{ min})$: 79.9 dB(A)

($L_{Aeq,5min}$)에 대하여 1/3 옥타브밴드의 중심주파수로 분석하였다. 이때, 항공기 소음 등 정상적인 고속도로 발생소음 이외의 소음은 분석에서 제외하였다. Table 1에 교통량과 포장의 종류가 다른 두 지점에서 20분간 측정된 데이터의 0~5분, 5~10분, 10~15분, 15~20분의 5분간 등가소음도를 비교한 사례를 나타내었다. 결과에 나타난 것과 같이, 교통량의 변동이 크지 않은 시간대의 정상적인 교통흐름에서의 고속도로 소음은 20분간의 측정시간에 따른 레벨 변동이 크지 않기 때문에 5분간의 등가소음도와 20분간의 등가소음도는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서, 이 연구에서는 20분간 측정된 데이터 대신 항공기 소음 등 이상 소음을 제외한 5분간의 측정 데이터를 사용하기로 하였다.

3. 아스팔트 포장의 발생소음 특성

Fig. 2에 아스팔트 포장의 발생소음 측정에 대한 개요를 나타내었다. Site1과 Site2의 측정일자는 각각 2010년 4월 14일과 2011년 3월 15일이며, 시간과 장소를 달리하는 2개 지점의 아스팔트 포장에 대하여 Fig.1에 나타난 방법으로 고속도로 갓길에서 20분간 소음을 측정하고 고속도로 발생소음 이외의 소음에 대한 영향이 없다고 판단되는 5분간 연속소음의 등가소음에 대한 스펙트럼을 1/3 옥타브밴드의 중심주파수로 분석하였다.

Fig. 2 Sites for the noise measurements from asphalt concrete pavement

Fig. 3에 Site1과 Site2에서 높이별로 측정된 소음의 스펙트럼을 비교하여 나타내었다. 두 지점 모두

Fig. 3 Highway noise spectra from the asphalt concrete pavement with variant heights

1 m 높이를 제외하면 유사한 형태의 스펙트럼 특성을 보이고 있다. 이는 도로변 1 m 높이에 대한 소음 특성은 다른 높이의 그것에 비해 특이함을 나타내는 결과이며, 1 m 높이에서는 도로 전체에서 발생하는 소음보다는 측정지점 가까이 통과하는 차량소음의 영향을 크게 받은 결과로 생각된다. 또한 두 지점 모두 1000 Hz를 중심으로 한 중간 주파수 영역대의 영향이 크게 나타나 있음을 알 수 있다.

Fig. 4에 두 지점에 대한 동일 높이에서의 스펙트럼을 비교하여 나타내었다. 1 m 높이를 제외하면 모든 높이의 125 Hz 이상 영역에서는 유사한 형태의 주파수 특성을 나타내고 있다. 두 지점의 높이별 소음도를 Table 2에 나타내었다. 높이가 높아질수록 소음도의 차이는 줄어들며 1 m 높이에서는 Site2의 교통량이 적음에도 불구하고 높은 소음도를 나타내고

Table 2 Measured noise from the sites of asphalt concrete pavement

	Overall level[dB(A)]				Traffic volume (vehicles/hr)	
	1 m	3 m	5 m	7 m		
Site1	83.6	84.4	83.5	83.4	8,692	8-lane road
Site2	85.3	83.8	83.0	83.0	8,048	8-lane road

Fig. 4 Highway noise spectra from the asphalt concrete pavement at different heights

있어 측정높이가 낮을 경우에는 전체 교통량보다 측정점과 인접한 차선을 통과하는 차량의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 두 지점간 교통량의 차이는 644대이며 1m 높이를 제외한 높이에서 0.4~0.6 dB(A)의 소음도 차이를 보이고 있다.

4. 콘크리트 포장의 발생소음 특성

아스팔트 포장의 경우와 마찬가지로 시간과 장소

를 달리하여 콘크리트 포장에서 발생하는 소음을 측정하여 분석하였다. 4개 지점에서 소음을 측정하였으며, Fig. 5에 측정지점의 개요를 나타내었다. 각 지점의 측정일은 Site3, Site4, Site5, Site6의 순서대로 각각 2010년 4월 15일, 2010년 8월 12일, 2011년 3월 15일, 2011년 3월 17일이다. 고속도로의 갓길에서 Fig. 1에 나타난 방법으로 20분간 소음을 측정하고 고속도로에서 발생한 소음 이외에는 영향이 없다고 판단되는 5분간 연속소음의 등가소음에 대한

Site3	Site4	Site5	Site6

Kyongbu-line (Hwanggan I.C.-Kimchon I.C.)	Chungbu-line (Jeungpyong I.C.-Ochang I.C.)	Kyongbu-line (Ansung I.C.-Chonan I.C.)	Taejeontongyeong-line (Yonhwasan I.C.-Jinju J.C.)
Traffic volume : 1,638/hr	Traffic volume : 3,896/hr	Traffic volume : 8,048/hr	Traffic volume : 816/hr

Fig. 5 Sites for the noise measurements from cement concrete pavement

Fig. 6 Highway noise spectra from the cement concrete pavement at different heights

Table 3 Measured noise from the sites of cement concrete pavement

	Overall level[dB(A)]				Traffic volume (vehicles/hr)	The number of lanes
	1 m	3 m	5 m	7 m		
Site3	83.0	81.6	80.8	80.5	1,638	4
Site4	87.3	86.1	84.9	84.1	3,896	4
Site5	85.4	87.4	86.3	85.9	8,048	8
Site6	77.2	77.0	76.0	76.0	816	4

(a) Normal

(b) Low-noise

Fig. 7 Normal asphalt pavement and Low-noise asphalt pavement considered in the study

스펙트럼을 1/3 옥타브밴드의 중심주파수로 분석하였다. Fig. 6에 각 측정지점에서의 높이별 소음 스펙트럼을 비교하여 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이, 아스팔트 포장의 경우와 마찬가지로 4개 지점 모두 1 m 높이에서 측정한 스펙트럼을 제외하면 나머지는 유사한 형태의 스펙트럼을 보이고 있다. 4개 지점 모두 1000 Hz를 중심으로 한 중간 주파수 영역의 영향이 크게 나타나 있으나 Fig. 3의 아스팔트 포장의 경우와 비교할 때 800 Hz에서도 비교적 높은 레벨을 나타내고 있다. Table 3에 각 지점에 대한 높이별 소음레벨을 나타내었다. Site3과 Site4는 약 2.4배의 교통량 차가 나고 따라서 계산상 소음도 차는 $3.8 \text{ dB}(=10 \times \log 2.4)$ 이며 측정값에서도 유사한 차이를 나타내고 있다. Site4와 Site5는 약 2.1배의 교통량 차로 약 $3.2 \text{ dB}(=10 \times \log 2.1)$ 의 소음도 차가 나야하지만 측정값에서는 약 1.5 dB의 차이 밖에 나지 않고 있으며, 1 m 높이에서는 오히려 교통량이 적은 Site4의 소음도가 높게 나타나고 있어 측정점의 위치가 낮은 경우에는 도로에서 발생하는 소음을 제대로 계측할 수 없음을 알 수 있다. 이 결과로부터 도로에서 발생하는 소음을 측정하고자 할 경우에는 측정점의 높이를 너무 낮게 해서는 안 됨을 알 수 있다.

5. 저소음 아스팔트 포장의 발생소음 특성

최근 도로소음의 대책방법으로 주목을 받고 있는 것 중의 하나가 저소음 포장이다. 콘크리트 포장에도 다이아몬드 그라인딩(diamond grinding) 등의 표면처리를 통한 저소음 공법이 시도되고 있지만 이 연구에서는 골재의 굵기와 포장재료 배합의 공극률 조절에 의한 아스팔트 저소음 포장에 대해서만 검토하였다. Fig. 8에 저소음 아스팔트 포장 발생소음 측정의

개요를 나타내었다. 각 지점의 측정일은 Site7이 2010년 8월 12일, Site8이 2011년 3월 17일이다. 저소음 포장의 소음저감 특성은 포장의 사용연수에 따라 바뀌는 것으로 알려져 있어 일률적으로 저감량을 단정하는 것은 어려운 일이다. 이 연구에서 검토한 저소음 포장은 각각 2004년(Site7)과 2005년(Site8)에 시공된 것으로 시공후 6년이 경과된 상태에서 발생소음을 측정한 것이므로 일반적으로 이야기되고 있는 저소음 포장의 내구연한 5년은 경과한 것으로 볼 수 있다.

시간과 장소를 달리하는 2개 지점의 저소음 포장 고속도로 갓길에서 Fig. 1과 같은 방법으로 20분간 소음을 측정하고 아스팔트 및 콘크리트 포장의 발생소음 측정에서 설명한 분석방법과 마찬가지로 고속도로 발생소음 이외의 소음에 대한 영향이 없다고 판단되는 5분간 등가소음에 대한 스펙트럼을 1/3 옥타브밴드의 중심주파수로 분석하여 측정 높이별로 Fig. 9에 나타내었고, 각 지점에 대한 높이별 소음레벨을 Table 4에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 1 m 높이에서 측정한 스펙트럼을 제외하면 3 m, 5 m, 7 m 높이에서 측정한 스펙트럼은 유사한 형태를 나타내며 이 양상은 아스팔트 및 콘크리트 포장의 발생소음과 같은 결과이다. 다만, Site7과 Site8의 스펙트럼 형태가 동일한 교통량의 차이가 있는 Site4와 Site6의 콘크리트 포장에서 발생한 소음의 스펙트럼과 비교해 볼 때 그 특성이 다름을 알 수 있다. 1 m 높이에서 측정한 스펙트럼을 제외한 3 m, 5 m, 7 m의 측정소음 스펙트럼을 에너지 평균하여 Site4와 Site6, 그리고 Site7과 Site8의 주파수별 레벨 차이를 비교하여 Table 5와 Fig. 10에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 동일한 교통량 차이에서 콘크리트 포장과 저소음 포장 모두 8.7 dB의 오버울

Table 4 Measured noise from the sites of low-noise pavement

	Overall level[dB(A)]				Traffic volume (vehicles/hr)	The number of lanes
	1 m	3 m	5 m	7 m		
Site7	81.5	79.4	78.6	78.6	3,896	4-lane road
Site8	68.1	70.1	70.2	70.2	816	4-lane road

Fig. 8 Sites for the noise measurements from low-noise pavement

(a) Site7

(b) Site8

Fig. 9 Highway noise spectra from the low-noise pavement at different heights**Table 5** Level difference according to the traffic volume at the cement concrete and low-noise pavements

Frequency [Hz]	Level difference [dB] (Site4 & Site6)	Level difference [dB] (Site7 & Site8)
50	-1.0	0.3
63	-3.6	-1.3
80	-3.3	-1.7
100	-4.5	-3.9
125	-4.6	-3.2
160	-4.9	-5.0
200	-6.4	-7.1
250	-6.2	-8.4
315	-7.4	-8.9
400	-7.3	-8.6
500	-7.3	-10.2
630	-6.1	-11.5
800	-6.8	-11.5
1k	-9.0	-9.6
1.25k	-10.1	-6.9
1.6k	-9.6	-4.5
2k	-9.8	-2.8
2.5k	-9.7	-2.5
3.15k	-9.8	-3.4
4k	-11.1	-4.8
5k	-12.3	-4.2
6.3k	-10.8	-3.8
8k	-9.9	-3.3
O.A.	-8.7	-8.7

Fig. 10 Spectra of noise difference according to the traffic volume difference

레벨(overall level)차이를 보이고 있지만 차이를 보이는 주파수 영역대가 콘크리트 포장에서는 고주파수 영역대, 저소음 포장에서는 630~800 Hz를 중심으로 한 중간주파수 영역대에서 큰 차이를 보이고 있음을

(a) Site2 and Site5

(b) Site4 and Site7

(c) Site6 and Site8

Fig.11 Comparison of noises under the assumption of same traffic condition

알 수 있다. 이 결과로부터 콘크리트 포장에서 교통량이 증가할 때에는 고주파수 영역의 소음이 커지는 반면 저소음 포장에서는 교통량이 증가할 때 중간주파수 영역의 소음이 커지는 것으로 판단할 수 있다.

6. 포장종류별 발생소음 비교

이 연구의 측정에서 Site2와 Site5, Site4와 Site7, 그리고 Site6과 Site8은 동일한 시간에 동일한 고속도로 구간에서(I.C.와 I.C.사이) 동시에 측정하였으므로 포장의 종류를 제외한 교통량 및 주행속도는 거의 동일한 것으로 가정할 수 있어, 이 조건에서 포장 종류에 따른 발생소음의 차이를 비교분석하였다.

Table 6 Difference of noise level according to the pavement under the same traffic condition

Sites	Pavements	Overall level [dB(A)]	Level difference(dB)
Site2	Cement con'c	86.6	3.3
Site5	Asphalt con'c	83.3	
Site4	Cement con'c	85.1	6.2
Site7	Low-noise	78.9	
Site6	Cement con'c	76.4	6.2
Site8	Low-noise	70.1	

동일한 교통조건 가정에서 포장의 종류에 따른 발생소음 특성을 비교한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 이 결과는 1 m 높이를 제외한 3 m, 5 m, 7 m 높이에서 측정한 값을 에너지 평균하여 제시한 것이다. 각 지점별로 평균한 소음의 주파수 특성에 대한 오버올 레벨을 Table 6에 나타내었다. 이 결과로부터 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 약 3 dB, 그리고 아스팔트 포장은 저소음 아스팔트 포장에 비해 약 3 dB의 높은 소음을 발생시킴을 알 수 있다.

7. 결 론

도로에서 발행하는 소음은 포장의 종류와 사용연수, 주행차량의 종류와 주행속도, 차량의 연식, 타이어의 종류와 마모정도 등 많은 인자들의 영향을 받으므로 세밀하게 그 정도를 분석하기란 매우 어렵다. 따라서 일반적인 상황에서 소음을 측정하고 그때의 상황들을 기록하여 데이터베이스화 하는 작업들이 필요하다. 이 연구는 그러한 취지에서 출발하였고 정리된 결과는 다음과 같다.

(1) 고속도로 갓길의 1 m, 3 m, 5 m, 7 m 높이에서 소음을 측정하고 분석한 결과, 1 m 높이에서 측정한 소음의 스펙트럼은 3 m, 5 m, 7 m 높이에서 측정한 소음의 스펙트럼과는 다른 형태를 보였으며 이는 측정지점과 가까운 주행차량의 영향을 크게 받은 결과로 판단된다. 따라서, 도로소음의 특성 분석을 목적으로 갓길에서 소음을 측정할 경우 1 m 정도의 낮은 높이에서 측정하는 것은 바람직하지 못한 것으로 생각한다. 또한, 5 m, 7 m 높이에서 측정한 소음은 스펙트럼의 형태도 비슷하지만 레벨의 크기

도 비슷하게 나타났다. 따라서 도로소음의 갓길 측정은 3 m, 또는 5 m가 적절한 높이로 판단된다.

(2) 교통량과 포장의 종류가 유사한 조건에서는 장소가 다르더라도 발생소음의 스펙트럼 형태도 유사하게 나타났으며 이 결과로부터 교통 특성과 포장 조건이 유사한 지점의 발생소음 특성은 거의 동일한 것으로 판단된다.

(3) 콘크리트 포장에서 교통량이 증가하면 고주파수 영역의 소음이 증가하는 반면 저소음 포장에서 교통량이 증가하면 630~800 Hz를 중심으로 한 중간 주파수 영역의 소음이 증가하였으며 동일한 교통량의 증가에서 상승하는 오버올 레벨은 같더라도 인간이 느끼는 청감적 효과는 다를 수 있음을 확인하였다.

(4) 동일한 조건을 가정하여 아스팔트 포장과 콘크리트 포장, 콘크리트 포장과 저소음 포장의 발생소음을 동시에 측정하여 비교한 결과 아스팔트 포장은 콘크리트 포장에 비해 약 3 dB, 저소음 포장은 콘크리트 포장에 비해 약 6 dB 저감됨을 알 수 있었고 이 결과로부터 아스팔트 포장은 콘크리트 포장에 비해 약 3 dB 소음이 저감됨을 유추할 수 있었다.

참 고 문 헌

(1) Kim, C. H., et al., 2010, A Study on the Test Method for Noise Reduction Devices Installed on the Noise Barriers, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 791~796.

(2) Hur, D. J., et al., 2007, Study of the Annoyance Sensitivity for the Frequency Band of Road Traffic Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 398~404.

(3) Kim, D. S., et al., 2005, A Study on the Computation and Application of Sound Power Level for Road Traffic Noise of Renewal Area, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 635~644.

(4) Bhaskar, et al., 2006, Study of Vehicle Noise under Different Operating Conditions, 6th Swiss Transport Research Conference.

Chulhwan Kim received Ph.D. degree in Acoustic Design from Kyushu Institute of Design(Japan) in 1997. He is currently a chief researcher at Korea Expressway Corporation Research Institute.

His research interests include environment noise and vibration analysis, road traffic noise prediction model, and road traffic noise impact assessment.

Taesun Chang received Ph.D. degree in Chemical Engineering from Hanyang University in 2010. He is currently a senior researcher at Korea Expressway Corporation Research Institute. His work focuses on materials and environmental science in road construction and management.

He has been also involved in research in the areas of application and evaluation of road traffic noise reducing devices.

Deuk Sung KIM received Ph.D. degree in Environment Engineering from University of Seoul in 2009. He is currently a researcher at Korea Expressway Corporation Research Institute. His research interests include environment

noise and vibration analysis, road traffic noise prediction model, and road traffic noise impact assessment.