

## 저소음 포장도로의 도로교통소음 특성 연구

소음진동팀

임성철 · 류인철 · 서광석 · 김현국 · 오광록 · 여인학 · 어수미

## A Study on the Road Traffic Noise Characteristics of Porous Asphalt Pavement

*Noise and Vibration Team*

Sung-chul Lim, In-cheol Ryu, Kwang-suk Seo,  
Hyun-kook Kim, Kwang-rok Oh, In-hak Yeo and Soo-mi Eo

### Abstract

Porous asphalt pavements are being constructed as part of a plan to reduce traffic noise. This study was conducted to investigate the road traffic noise characteristics of the porous asphalt pavement at Gangbyeon Expressway, in 2013. Compared with a nonporous asphalt pavement, the porous asphalt pavement's noise reduction was increased in July, but reduced between October and December. The 1/3 octave band analysis showed that porous pavements were particularly effective at reducing band sound pressure level for speeds in excess of 70km per hour at frequencies over 1,650Hz. A correlational analysis of noise and traffic volume, speed, temperature, and humidity showed that noise and temperature were positively correlated, whereas noise negatively correlated with speed and humidity. A regression analysis found that speed had the highest effect.

**Key words** : porous pavement, road traffic noise, meteorology, octave band

### 서론

최근 들어 자동차의 증가와 도로의 확대, 주택이 도로와 인접해서 건설됨에 따라 교통소음으로 인한 피해건수는 해마다 늘고 있고 발생민원도 역시 증가하고 있는 실정이다(1). 중앙환경분쟁조정

위원회는 '91.7.19~'12.6.30까지 총 3,198건을 접수하여 2,727건을 처리하였으며, 이 중 소음·진동으로 인한 피해는 2,336건(86%)으로 가장 큰 비중을 차지하였다(2). 2012년도 환경소음측정망 운영결과에 의하면 전국 44개 도시 357개 지역 1,766개 소음측정망의 2012년 소음도가 도로변

지역의 경우 낮 시간대는 주거지역은 17개 도시 39%, 상업지역은 2개 도시 5%가 환경기준을 초과하고 있으며, 밤 시간대는 주거지역은 31개 도시 70%, 상업지역은 26개 도시 60%가 환경기준을 초과하고 있는 것으로 조사되었다(3).

도로교통소음을 줄이기 위한 대책의 하나로 기존의 일반 밀입도 포장에 비해 소음 저감효과가 양호한 노면배수 및 우천시 야간 전조등에 의한 반사를 최소화하는 장점을 가진 저소음포장도로가 시공되고 있다(4).

이 연구에서는 저소음도로와 일반포장도로와의 비교측정을 통하여 일반포장도로에 대한 저소음도로의 소음저감 정도를 평가하고, 저소음도로에 영향을 미치는 주요인자들과의 상관관계를 분석하여 도로교통소음 추정모형을 제시하고자 한다.

## 연구방법

본 연구는 저소음포장도로의 소음저감효과 및 도로교통소음과 도로소음 영향인자들과의 상관관계를 지속적으로 파악하기 위해 2013년 6월 저소음포장도로가 시공된 강변북로 자유로 방향의 편도 4차선 도로인 원효로 4가에서 2013년 7월, 10월, 12월에 각 2주씩 총 6주의 기간 동안 소음이동측정차량을 이용하여 실시하였다.

저소음포장도로와 일반도로와의 비교측정을 위해 저소음도로변과 저소음도로 400 m 전방 일반도로변에 각각 소음이동측정차량을 주차하고 시설관리공단과 사회적 기업 더 좋은 세상에서 전기를 공급받아 기기를 가동하였다. 지면에서 2m의 높이의 위치인 차량 상부의 지지대에 옥외용 마이크로폰과 기상장비를 고정시킨 후 5분 간격으로 24시간 연속 소음, 주파수, 온도, 습도를 측정하였다. 소음계(싸이언社, HM70101)는 소음진동공정시험법에 따라 5분 등가소음(Leq), 동특성은 빠름(fast)으로 설정하였으며, 주파수 분석기(싸이언社)는 1/3 옥타브밴드로 중심주파수 20 Hz~16 kHz 대역에서 측정하였다. 온도, 습도는 Davis社의 vantage pro2를 사용하여 측정하였다.

소음 및 주파수 자료는 소음측정차량에 내장된

자료수집 장치인 harmony 3.0에 실시간으로 수집되어 무선인터넷을 통해 5분 단위로 연구원에 전송되어 noise TMS에 저장되며, 온도, 습도는 차량 컴퓨터의 weatherlink 폴더에 5분 단위로 text 파일로 저장된다. 소음, 주파수, 온도, 습도의 5분 자료는 각각 산술평균하여 1시간 자료로 변환하여 사용하였으며, 교통량과 평균차속은 소음도 측정시기와 동일한 기간에 강변북로 자유로 방향의 원효대교와 마포대교 사이에 설치되어 있는 서울 도시고속도로 교통관리센터의 1시간 검지기 자료를 이용하였다. 소음도와 소음도 영향인자와의 상관분석 및 회귀분석은 SPSS20 프로그램을 이용하여 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 소음도 분석

표 1은 소음측정 결과를 나타낸 것이다. 계절별로 주간(06~22시) 평균소음도는 저소음도로는 74.5~76.8 dB(A)이었고 일반포장도로는 78.1~78.4 dB(A)로 측정되었으며, 계절별 야간(22~06시) 평균소음도는 저소음도로는 74.8~77.1 dB(A)이었고 일반포장도로는 78.1~78.9 dB(A)으로 나타났다. 주·야간 모든 지점에서 소음환경기준을 초과하였으며 일반포장도로의 경우 계절별 평균소음도의 차가 주·야간 각각 0.3과 0.8로 변동폭이 적었다.

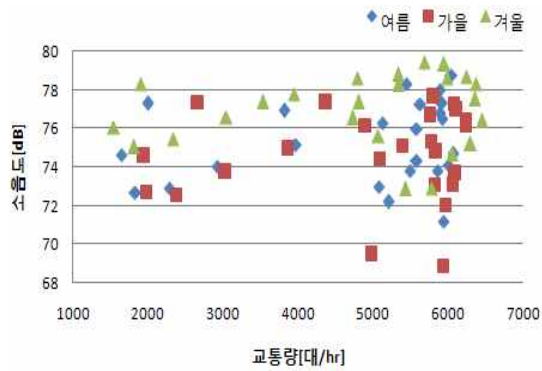
저소음포장도로에 의한 소음저감효과는 주·야간 평균소음도가 여름에 2.7/3.2 dB(A)에서 가을에 3.6/4.1 dB(A)로 증가하였고 겨울에는 1.6/1.8 dB(A)로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 저소음포장도로 시공 후 6개월이 경과한 시점에서 주야간 소음저감도가 1.6/1.8 dB(A)로 나타나, 기존의 연구에서 시공 후 2년까지 3~4 dB(A)의 소음저감효과를 보이는 결과(5)와 차이를 나타냈다.

### 2. 교통조건에 따른 특성

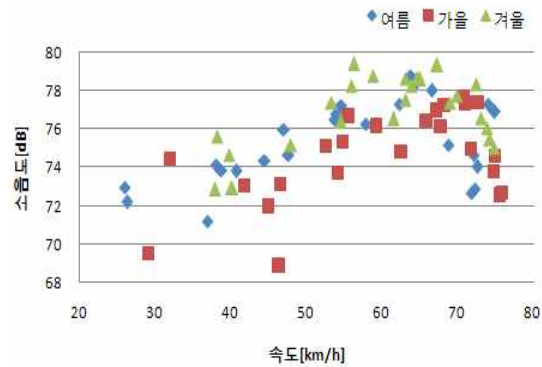
교통량은 시간당 1,650~6,450대, 속도는 26~76 km/h로 나타났으며 시간당 교통량과 속도는 계절별로 유사한 경향을 보였다(그림 1~2). 시간대

**Table 1.** Section analysis of noise measurements

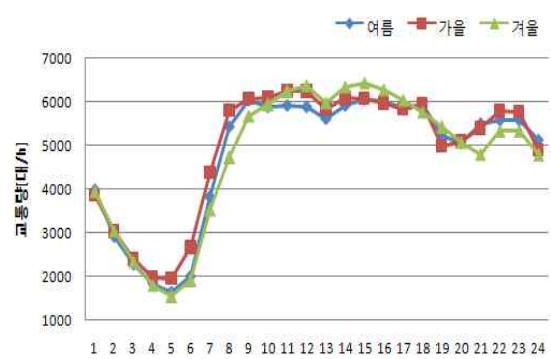
		여름		가을		겨울	
		저소음	일반	저소음	일반	저소음	일반
평균	주간	75.4	78.1	74.5	78.1	76.8	78.4
	야간	74.9	78.1	74.8	78.9	77.1	78.9
평균차 (일반-저소음)	주간	2.7		3.6		1.6	
	야간	3.2		4.1		1.8	
최대		78.8	81.1	77.7	81.2	79.4	80.6
최소		71.2	73.4	68.9	73.2	72.9	74.8
최대-최소		7.6	7.7	8.8	8.0	6.5	5.8
표준편차	주간	2.3	1.3	2.7	1.3	2.1	1.1
	야간	1.6	1.3	1.7	1.3	1.4	1.1



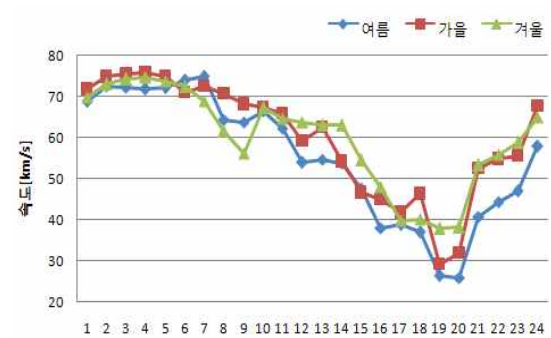
**Fig. 1.** Traffic volume and sound level.



**Fig. 2.** Speed and sound level.



**Fig. 3.** Hourly variation of traffic volume.



**Fig. 4.** Hourly variation of speed.

별 교통량은 오전 1시 이후 감소하기 시작하여 오전 5시에 최저치를 나타냈으며 출근시간대인 오전 7시부터 급격히 증가하였다(그림 3~4). 주행속도의 경우 교통량과는 반대로 새벽시간대인 오전 1시~오전 5시에 최고치를 나타냈으며 이후 점차로 감소하다 퇴근시간대인 오후 6시부터 오후 8시까지 교통정체로 인해 주행속도의 급격한 감소를 보였다.

교통량에 따른 소음도의 관계는 교통량의 증가에 따른 뚜렷한 소음증감형태는 나타나지 않았으며, 속도가 증가할수록 대체로 소음도가 증가하는 것으로 나타났다.

### 3. 주파수 특성

도로교통소음의 평가 및 대책 시에는 주파수 특성을 고려할 필요가 있으며, 방음벽의 설계 시 세심한 주의가 필요가 것으로 알려져 있다(6). 그림 5와 그림 6은 속도별로 일반도로와 저소음도로의 주파수 특성을 비교한 것으로 저소음도로가 일반도로에 비해 시속 70km 이상의 경우 1.6kHz 이상의 대역에서 6.0~9.3dB(A), 200~250Hz 대역에서 5.6~5.7dB(A)의 음압레벨 감소가 나타났고, 시속 40km 미만의 경우 1.6kHz 이상의 대역에서 4.9~8.6dB(A), 200~250Hz 대역에서 5.3~5.6dB(A)의 음압레벨 감소를 보이고 있다.

또한, 속도에 관계없이 저소음도로와 일반도로는 800Hz~1.6KHz 주파수 대역에서 음압레벨이 가장 높으며, 1KHz에서 최대치를 나타내고 있다. 이는 조(6)의 도로교통소음이 중간 및 고주파 대역에서 높게 나타나며, 1KHz에서 최대치를 보이는 결과와 일치한다.

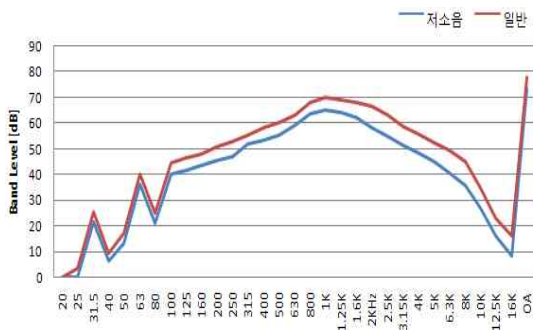


Fig. 5. Noise spectra over 70km per hour.

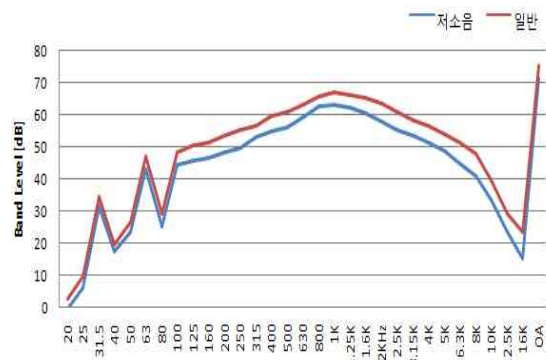


Fig. 6. Noise spectra less than 40km per hour.

### 4. 도로교통소음 모형 개발

표 2에 소음도와 속도, 온도, 습도, 풍속, 교통량의 상관분석을 하여 그 결과를 나타내었다. 저소음도로에서 측정된 자료를 이용하여 분석을 시행하였으며, 상관분석 결과 소음도와 온도는 0.782로 유의수준 0.05에서 강한 양의 상관관계를 나타냈다. 소음도와 습도는 0.693으로 강한 음의 상관관계를 보였으며 소음도와 속도는 0.617로 강한 음의 상관관계, 소음도와 풍속은 0.389로 약한 양의 상관관계를 나타냈고 교통량은 통계적으로 유의한 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다.

표 3은 소음도를 종속변수로 속도, 풍속, 온도, 습도를 독립변수로 놓고 모형선택방법은 전진을 사용하여 다중회귀분석한 결과를 요약한 것이다. R2은 0.591로서 각각의 독립변수가 종속변수인 소음도를 59.1% 설명하고 있다. 수정된 R2은 0.552로 예측된 모형의 설명력이 비교적 높음을 알 수 있다. 오차항들과의 상관관계를 나타내는 Durbin-Watson 값이 2를 중심으로 나타나면 오차항들은 서로 독립적이어서 영향을 미치지 않으며 표에서는 1.207이므로 오차항의 독립성을 만족한다.

표 4는 소음도 예측모형 계수이다. 여기서 표준화 계수를 볼 때, 소음도에 영향을 가장 큰 영향을 미치는 요인은 풍속으로 표준화계수가 2.768로 나타났다. 그 다음으로 표준화계수가 0.058인 속도로 나타났다. 풍속과 속도의 다중공선성 통계량의 공차는 0.1이상, VIF(분산팽창요인)는 10 이

**Table 2. Correlation Analysis**

	소음도	속도	온도	습도	풍속
소음도	1				
속도	-0.617***	1			
온도	0.782**	-0.596**	1		
습도	-0.693**	0.492*	-0.964**	1	
풍속	0.389**	0.219	-0.052	0.107	1

\* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

\*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

**Table 3. Predicted Model summary of noise levelc**

모형	R	R제곱	수정된 R제곱	추정값의 표준오차	Durbin-Watson
1	0.679 <sup>a</sup>	0.461	0.436	1.4006	
2	0.769 <sup>b</sup>	0.591	0.552	1.2491	1.207

a. 예측값 : (상수), 풍속

b. 예측값 : (상수), 풍속, 속도

c. 종속변수 : 소음도

**Table 4. Predicted Model coefficient of noise levela**

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	공선성 통계량		
	B	표준오차	베타			공차	VIF	
1 (상수)	69.631	1.704		40.875	0.000			
	풍속	3.143	0.725	0.679	4.336	0.000	1.000	1.000
2 (상수)	67.003	1.822		36.784	0.000			
	풍속	2.768	0.663	0.598	4.178	0.000	0.952	1.051
	속도	0.058	0.022	0.369	2.581	0.017	0.952	1.051

a. 종속변수 : 소음도

하인 것으로 보아 회귀분석모델은 통계적으로 타당하다는 것을 알 수 있다. 각 모수에 대한 t값이 모두  $p < 0.05$ 수준에서 의미가 있다. 전진선택법에 의해 추정된 모형은 아래와 같이 도출되었다.

$$\text{소음도} = 67.003 + 2.768 \text{ 풍속} + 0.058 \text{ 속도}$$

## 결론

본 연구는 강변북로 자유로방향 원효로 4가에서 2013년 6월 저소음포장이 완료된 도로와 저소음 도로 400m 전방 일반도로를 대상으로 2013년 7

월~2013년 12월까지 교통량, 속도, 온도, 습도, 주파수 등의 변화에 따른 소음도 등을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시간당 교통량과 주행속도는 여름, 가을, 겨울 별로 유사한 경향을 나타냈으며, 시간당 교통량은 약 1,650~6,450대로 오전 5시에 최저치를 보이다 오전 8시 이후 증가하였다. 평균주행속도는 26~76km/h로 퇴근시간대인 오후 7시~오후 8시에 최저치를 나타냈다.
2. 소음도와 속도, 풍속, 온도, 습도와 상관관계를 분석한 결과 소음도와 풍속은 0.679, 소음도와 속도는 0.500, 소음도와 습도는 0.222, 소음도와 온도는 0.218로 나타났다. 추가적으로 회귀 분석결과 풍속, 속도 순으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다.
3. 1/3 옥타브밴드로 주파수 분석결과 저소음도로와 일반도로는 속도에 관계없이 1kHz 대역에서 최대 밴드음압레벨을 나타냈으며, 저소음도로는 일반도로에 비해 70km 이상의 고속주행시 40km 미만의 저속 운행시보다 1.6kHz 이상의 주파수 대역에서 0.5~2.7dB(A)의 음압레벨 저감이 나타났다.
4. 저소음 포장도로는 일반포장도로와 비교하여 주야간 평균소음 저감도가 여름 2.7/3.2dB(A), 가을 3.6/4.1dB(A)로 증가하다 겨울에 1.6/1.8dB(A)로 감소하였다. 저소음포장도로의 소음저감효과는 포장방법, 포장자재의 종류

(7), 먼지퇴적에 의한 공극의 막힘, 시공 연수의 경과(8) 등에 따라 달라지므로 이에 대한 지속적인 연구와 조사가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 환경부 : 도로교통소음 개선에 관한 연구. 2004.
2. 중앙환경분쟁조정위원회 : 통계자료, 2013
3. 환경부 : 2012년도 환경소음측정망 운영결과. 2013.
4. 이상염, 김인태, 문성호, 권수안 : 서울시 배수성 아스팔트 포장의 기능적 평가 연구. 한국도로학회지, 14(3):33~39, 2012.
5. 김재원, 이민희, 이호정, 김인태 : 자동차전용도로 연차별 소음 및 투수성능조사. 한국도로학회지, 14(4):59~65, 2012.
6. 조창근 : 교통조건에 따른 간선도로변 도로교통소음 특성에 관한 실험적 연구. 한국생활환경학회지, 17(5):585~594, 2010.
7. 이상염, 진정훈, 문성호, 문학룡 : 서울시 내부순환도로 교면포장 형식에 따른 소음특성연구. 한국도로학회지, 14(2):19~28, 2012.
8. 옥창권·김진환·이종섭 : 아스팔트 저소음 포장의 개발 및 공용성 평가. 한국도로학회지, 12(1):29~37, 2010
9. 김충련 : SPSS20 데이터 분석, 21세기사. 2012.