

국내 고속도로의 저소음포장 기술 동향

About Quiet Pavement Technologies in Korean Highway

문성호[†]·홍승호*·조대승**·김철환*

Sungho Mun, Seung-Ho Hong, Dea-Seung Cho, Chul-Hwan Kim

Key Words : Tire-Pavement Noise(포장마찰음), Traffic Noise(교통소음), Asphalt Concrete Pavement(아스팔트 콘크리트 포장), Portland Cement Concrete Pavement(시멘트 콘크리트 포장)

ABSTRACT

The effects of vehicles and pavement surface types on noise have been investigated at the Korea Expressway Corporation's Test Road along the southbound side of the Jungbu Inland Expressway, South Korea. The study was conducted in 2005 and 2006 through field measurements at nine surface sections of asphalt concrete and Portland cement concrete pavements using eleven vehicles. For the road noise analysis, the sound power levels (PWLs) of combined noise (e.g., tire/pavement interaction noise and power-train noise together) and tire/pavement interaction noise using various vehicles were calculated based on the novel close proximity (NCPX) and pass-by methods. Then, the characteristics of the PWLs were evaluated according to surface type, vehicle type, and vehicle speed. The results show that the PWLs of vehicles are diversely affected by vehicle speed and the condition of the road surface.

1. 머릿말

국내 경제의 지속적인 성장과 더불어 이를 뒷받침하기 위한 사회 간접시설 확충의 일환으로 고속도로가 확장되면서 고속도로 이용차량의 증가와 함께 차량의 대형화와 고속화로 인해 고속도로 교통 소음레벨이 높아지고 있다. 한편, 소득증진과 생활수준 향상에 따른 쾌적한 저소음 환경에 대한 국민의 요구가 날로 증대되고 있고 더불어 고속도로 교통소음으로 인한 민원예방과 함께 효율적이고 경제적인 소음저감 대책을 수립하기 위해 최근 저소음 포장의 요구가 증대되고 있다. 따라서 소음 관련 성능평가를 위해서 고속도로 포장종류에 따라 소음을 측정하여 포장별 소음발생 정도를 조사하였다. 즉 각 포장별의 소음특성을 주파수별로 소음크기를 구하였고 서로 비교를 통해 저소음 포장을 평가하였다.

2. 고속도로 소음계측

고속도로 소음 계측을 위해 사용된 장비 구성, 소음계측 위치, 계측방법, 계측지점은 다음과 같다.

○ 고속도로 소음 계측 적용된 장비 구성

- 소음 계측용 장비: 마이크론, 신호 분석 및 저장 장치

† 한국도로공사 도로교통연구원
E-mail : smun@ex.co.kr
Tel : (031) 371-3360, Fax : (031) 371-3457

* 한국도로공사 도로교통연구원

** 부산대학교 조선해양공학과

- 고속도로 교통 정보 계측용 장비: 스피드건, 캠코더
- 기타: 안전용품 및 기록지
- 계측 위치: 편도 2차선 도로의 1차선 중앙 기준
 - 수평 이격 거리 7.5m: 0.1, 1.2m, 2.0m, 3.0m 및 4.0m 높이
 - 수평 이격 거리 15m(접근 가능한 경우): 1.5m 높이
- 계측 방법
 - 15분 동안의 등가 소음을 2회씩 계측 및 저장
 - 차량 반사 효과 및 주행 차량의 감속 현상을 배제하고자 계측 지점에서 30 ~ 40m 이격된 지점에 교통 정보 및 소음 분석 장비 설치
 - 주행 차량 속도는 차선별로 계측 지점으로부터 70 ~ 100m 이격 지점을 통과할 때 측정
- 계측 대상 노면 및 지점
 - 총 10개 지점
 - 콘크리트: 횡타이닝 2개 지점, 랜덤 1개 지점, 다이아몬드 그라인딩 1개 지점, 15mm 및 30mm 종타이닝 각각 1개 지점
 - 아스팔트: 일반 밀입도 1개 지점, SMA 2개 지점, 배수성 포장 1개 지점

3. 소음 계측 장비의 구성

고속도로 교통소음을 계측하기 위한 주요 계측 장비 목록은 기상 조건 및 교통 정보 계측 장비와 함께 표 1에서 보는 것처럼 구성되어 있으며 또한, 시스템 구성도는 그림 1에서

볼 수 있다. 실제 고속도로에 설치한 예는 그림 2와 같다.

Table 1. Measurement Equipments.

장비 명	모델 명	수 량	용도
마이크로폰	B&K 4189A, 4190L	6	소음 측정용 센서
16채널 신호분석기	B&K 3560D	1	소음 측정 및 분석
Mic. Calibrator	B&K 4230	1	마이크로폰 교정용
Video recorder	SONY Handycam	1	차량 통행량 계측
디지털 카메라	SONY DSC T7	1	계측상황 촬영
Notebook PC	X-note LS50	1	소음 신호 후처리 및 저장
Wind screen	B&K UA0459	6	바람 유발 노이즈 저감
Tripod	Manfrotto 053 Giant stand	3	마이크로폰 부착
BNC-Lemo Cable (50m)	-	6	소음 신호 전송용
차량용 배터리	-	3	장비 전원 공급
속도측정기	Laser Technology Marksman-II	2	차량 속도 측정
풍향·풍속·온도·습도 계	Davis Weather Monitor-II	1	기상조건 측정
Inverter	-	1	장비 전원공급
Multimeter	-	1	장비 확인
안전용품	-	6	안전표지
줄자(50m, 7.5m)	-	2	지형 측정
고속도로 소음측정 기록지(2종)	-	-	-



(a) Pictures of Noise Measuring System



(b) Pictures of Environment and Speed Measurement

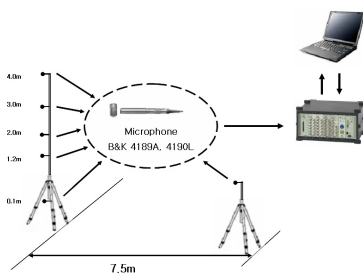
Fig. 2. Pictures of Measuring System.

4. 계측 위치 및 계측 방법

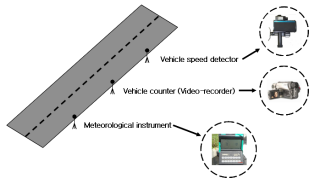
고속도로 소음계측시 마이크로폰은 그림 3에 나타난 바와 같이 편도 2차선 도로를 기준으로 1차선 주행차로 중앙으로부터 수평 이격거리 7.5m 지점에서 0.1m, 1.2m, 2.0m, 3.0m, 4.0m 및 5.0m에 소음 측정 면이 도로 단면에 평행하도록 각각 설치되었다. 또한, 지형적으로 접근이 가능한 경우, 수평 이격거리 15.0m 지점에서 1.5m 높이에도 마이크로폰을 설치하였다. 설치가 완료된 마이크로폰은 마이크로폰 교정기를 이용하여 현장 교정을 실시하였다.

한편, 미국 연방 고속도로국에서는 최대 변동 폭이 10 dB 이내의 비정상 변동 소음신호에 대한 계측시간을 5분으로 권장하고 있다. 따라서, 그림 4에 예시한 바와 같이 각 계측지점에서 15분 동안의 등가 소음도를 중심주파수 63 Hz ~ 8kHz까지의 1/1 옥타브 밴드별로 계측평가하였으며, 자료 보관을 위하여 실시간 신호를 파일 형태로 저장하였다. 이때, 계측 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 각 지점별로 2회씩의 계측을 실시하였다.

계측 시에는 계측 장비 탑재 차량으로 인한 반사 효과와 차량 속도 계측으로 인한 고속도로 주행차량의 속도 감소를 방지하기 위해 그림 2에 예시한 바와 같이 마이크로폰 설치 지점으로부터 전방 30m ~ 40m 지점에 운전자에게 최대한 은닉되는 지점에 차량 통행량 측정용 비디오카메라와 속도 측정기를 설치하였다. 또한, 반대편 차선에서 주행하는 차량들의 교통량 정보는 안전한 이동통로를 통하여 반대편으로 이동 후 계측 대상 주행 방향과 동시에 측정하였다. 한편, 차량 속도 및 발생 소음도에 대한 계측 오차를 최소화하기 위해서 정속 주행 상태가 유지되는 도로교통 상황에서만 계측을 실시하였으며, 차량 속도는 대상 차량이 속도 측정 장치가 설치된 지점으로부터 전방 70 ~ 100m 지점을 통과할 때 계측하였다. 또한, 각 차선 및 차종별 교통량은 그림 5에 나타난 바와 같이 계측시간 동안 녹화된 비디오 분석을



(a) Noise Measuring System



(b) Environment and Traffic Condition Measurement

Fig. 1. Measuring Systems.

통하여 평가하였으며, 차종 및 차선별 평균 주행 속도는 측정된 자료를 각각 평균하여 산정하였다.

도로교통 소음의 전달 감쇠에 영향을 미치는 온도, 습도, 풍향 및 풍속은 도로 주행 차량의 영향을 받지 않도록 노면에서 이격시켜 소음 계측과 동시에 5분 간격으로 측정하였다. 이때, 온도 및 습도의 경우는 2회 계측시간에 해당하는 30분간의 평균값을 사용하였으며, 변동이 심한 풍향 및 풍속의 경우에는 빈도수가 가장 높은 대표 값을 사용하였다.

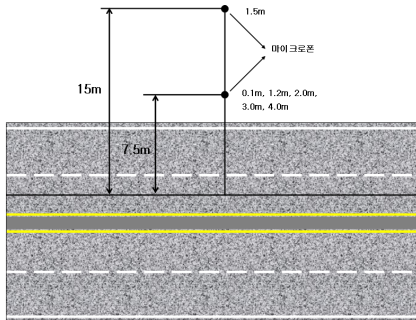


Fig. 3. Microphone Locations.

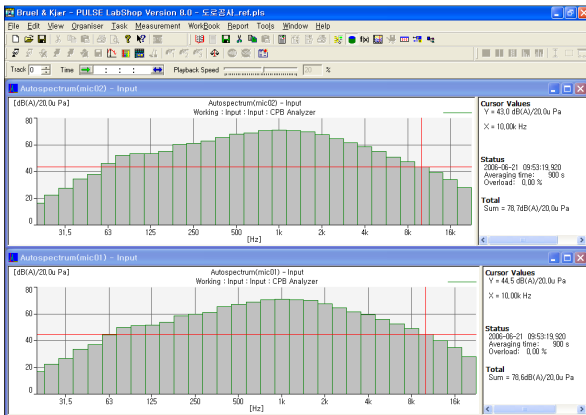


Fig. 4. Signal Analysis using Pulse Software.



Fig. 5. Traffic Volume Measurement.

5. 계측 대상 노면 종류 및 위치

계측 대상 지점은 고속도로에 시공되어 있는 노면을 대상으로 6개의 콘크리트 포장구간과 4개의 아스팔트 포장구간으로 구성된 총 10개로 선정하였다. 지점별 구조 특성, 기준 통행 방향 및 특성, 현지에서 취득한 정보를 바탕으로 표 2에 나타내었다.

Table 2. Traffic noise measurement in Highway.

지점	포장 종류	고속 도로	위치 (km)	편도 차선 수	도로 형태	중단 구배 (%)	방음 벽	계측 방향	주변 환경 및 특기사항
1	A* 일반밀입도	영동	202.2	2	평탄	0.30	×	상하행	·하천과 야산
2	A SMA	중부	256.0	2	평탄	0.31	×	상하행	·전원(논)
3	A SMA	호남	37.5	2	평탄	1.95	×	상하행	·전원(비닐하우스 사이에 논과 밭)
4	C** 30mm 횡 타이닝	경부	92.0	2	평탄	0.30	×	상하행	·전원(논)
5	C 30mm 횡 타이닝	영동	74.6	4	절토	0.95	×	상하행	·전원(논)
6	C 15mm 종 타이닝	중부 내륙	210.6	2	절토	1.40	×	상하행	·야산 인접지역 ·하행선은 횡 타이닝 구간
7	C 30mm 종 타이닝	중부 내륙	211.0	2	절토	1.40	×	상하행	·야산 인접지역 ·하행선은 횡 타이닝 구간
8	C 랜덤 횡 타이닝	익산 포항	42.0	2	평탄	4.88	×	상하행	·야산 인접지역 ·상행선 하행구배 ·하행선은 횡 타이닝 구간
9	A 저소음 포장	중부	262.4	2	평탄	0.79	×	상하행	·전원(논)과 가옥
10	C 다이아몬드 그라인딩	중앙	111.2	2	성토	0.63	상하행	·야산 인접지역	

* A: 아스팔트 포장 ** C: 콘크리트 포장

6. 포장노면에 대한 소음 예측 방법 및 발생 소음도 평가 결과

- 고속도로 포장노면의 경우, 참조문헌 (1)에 자세히 언급된 시험도로에서 실시한 차량별 단독 주행 시험을 실시하여 음향파워레벨 산정식을 도출하는 것이 원칙임
- 단독 주행 시험이 용이치 않은 경우, 기준 노면에 대한 음향파워레벨 산정식과 함께 계측치 및 예측치와의

- 오차를 이용한 보정 계수를 도출하여 평가할 수 있음
- 콘크리트 다이아몬드 그라인딩 노면과 아스팔트 배수성 포장 노면에 대한 보정 계수를 평가하여 각각의 차중별 음향파워레벨 산정식을 도출하였음
 - 상기 노면들은 도로 소음에 지배적인 영향을 미치는 1kHz 이상의 주파수 대역에서 다이아몬드 그라인딩은 다른 콘크리트 포장노면에 발생하는 소음에 비해 낮고 또한 배수성 포장은 다른 아스팔트 포장소음의 음향파워레벨에 비해 낮게 측정되었다.
- 콘크리트 포장과의 비교시 다이아몬드 그라인딩 노면의 경우, 45km/h ~ 100km/h 속도 구간에서는 승용차 정상 주행시 A-가중치 총합 소음도 기준으로 최대 3 dB 정도의 소음 저감 효과를 가지며, 그 이상의 속도 구간에서는 18mm 횡타이닝 구간과 유사한 소음 발생도를 보임
- 아스팔트 배수성 포장의 경우 승용차 정상 주행시 A-가중치 총합 소음도 기준으로 PMA 및 SMA 포장 노면 대비 낮은 소음도를 전 속도 구간에서 보임

한편, 본 측정에서 선정된 고속도로 소음계측 지점 중, 콘크리트 다이아몬드 그라인딩 노면 및 아스팔트 배수성 포장 노면에 대해서는 시험도로에 해당 노면이 존재하지 않아 별도의 단독 차량 주행 실험을 실시하지 못하였다. 따라서 다이아몬드 그라인딩 및 배수성 포장 노면에 대한 음향파워레벨 산정식은 해당 노면에 대한 고속도로의 계측치와 함께 콘크리트 및 아스팔트 기준 노면에 해당되는 횡타이닝 30mm 및 일반 밀입도 노면에 대한 식을 이용하여 평가하였다.

상기 노면들에 대한 음향파워레벨 산정식을 정립하기 위해서 기준 노면인 횡타이닝 30mm 및 일반 밀입도 노면에 대한 차중별 음향파워레벨 산정식과 함께 계측 당시의 차중·차선별 교통량 및 평균속도를 입력변수로 사용하고 고속도로 주변 지형·지물 등을 포함한 소음 예측 모델을 생성하여 소음예측프로그램인 KRON¹⁾을 이용하여 결과물인 음향레벨을 구하였다. 이때, 편도 2차선 도로를 기준으로 1차선 노면 중심에서 수평거리 7.5m, 수직거리 1.2m 이격된 기준 마이크로폰에서의 소음 예측값은 실제 고속도로에서 계측한 결과와 1/1 옥타브밴드별로 비교하였으며, 그 차를 계측 차수별로 구하였다.

7. 저소음 포장의 소음평가결과

다양한 차량종류를 고려하기 위해 다음과 같은 총 4개의 그룹으로 차량소음특성을 고려하였고 분류는 대형차량, 중차량, 소형트럭 + 버스 + 경차량, 승용차로 하였다. 여기서 + 표기는 포함시켜서 계산한다는 의미이다. 자세한 분류기준은 표 3과

같다.

Table 3. Vehicle Categorization.

차량종류	자세한 분류조건
승용차	7인승 이하
경차량	8-10인승의 미니밴, SUV
버스	30인승 이상의 버스
소형트럭	차량의 길이가 5 - 6m인 소형트럭
중차량	대형차량을 제외한 6m 이상인 트럭 11 - 29인승인 버스
대형차량	10톤 이상인 덤프트럭, 트레일러 등

그림 6에서 9까지는 해당 차량그룹별 소음특성을 속도별 Overall 값으로 나타낸 것이다. 여기 Overall 값을 계산하는 방법은 각 주파수별 음향파워레벨을 로그 스케일로 합산한 값이다. 그림에 대한 분석은 다음과 같다.

대형차량 속도별 음향파워레벨: 그림 6에서 보는 바와 같이 저소음 포장은 다른 포장형식과 비교했을 경우 적게는 4 데시벨에서 6 데시벨 정도의 소음 저감효과가 나타나는 것을 보여 주고 있다. 특히 다이아몬드 그라인딩 공법이 적용된 콘크리트 포장의 경우 일반 아스팔트 포장의 소음 스펙트럼과 유사하다는 것을 알 수 있다. SMA 경우 속도가 90 km/h 이상일 경우 일반 아스팔트 보다 소음저감 효과가 두드러지고 있다.

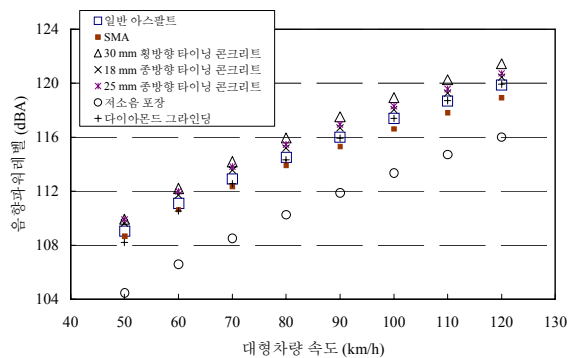


Fig. 6. Traffic noise characteristics in case of heavy vehicle.

중차량 속도별 음향파워레벨: 그림 7에서는 중차량이 다양한 포장면에서 주행했을 경우의 소음특성을 보여 주고 있다. 저소음 포장의 경우 4에서 7 데시벨까지 소음저감 효과를 보여 주고 있으며 그 저감효과는 속도에 상관없이 일정한 특성을 보여 주고 있다. 여기서 특이한 점은 일반 아스팔트 포장과 SMA 포장을 비교했을 경우 소음의 스펙트럼이 거의 유사한 점을 발견할 수 있다. 또한 다이아몬드 그라인딩 공법 포장의 경우 80 km/h 이하에서는 콘크리트 포

장 보다 저소음 효과가 어느 정도 보여 주고 있으나 이상일 경우 종방향 타이닝 콘크리트 포장과 유사한 소음특성을 보여 주고 있다.

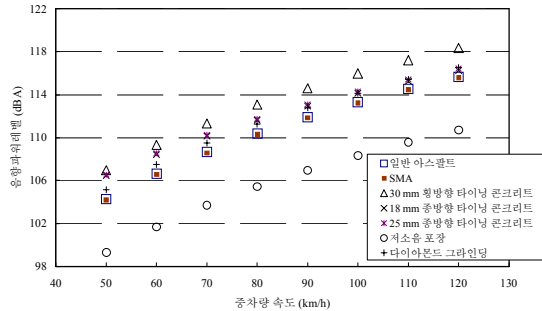


Fig. 7. Traffic noise characteristics in case of medium heavy vehicle.

승용차 속도별 음향과위레벨: 승용차의 경우 적게는 6 데시벨 크게는 10 데시벨까지의 소음저감을 보여 주고 있다. 특히 속도가 높아질수록 소음저감 효과가 커지는 것을 그림을 통해 알 수 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법이 적용된 콘크리트 포장의 경우 90 km/h 이상의 속도로 주행했을 경우 종방향 타이닝 콘크리트 포장보다 소음크기가 약간 증가되는 것을 볼 수 있다. 일반 아스팔트 포장과 SMA 포장은 여기서도 거의 유사한 소음특성을 보여 주고 있다.

소형트럭 + 버스 + 경차량 속도별 음향과위레벨: 여기서 저소음 포장은 4에서 9 데시벨까지 저소음 효과를 보여 주고 있음을 알 수 있다. 특히 다이아몬드 그라인딩 공법이 적용된 콘크리트 포장의 경우 속도와 상관없이 종방향 타이닝 콘크리트 포장보다 1 데시벨 보다 큰 소음주행을 함을 알 수 있고 SMA 포장은 고속에서 일반 아스팔트 포장보다 1 데시벨 정도 저소음 효과를 보여 주고 있다.

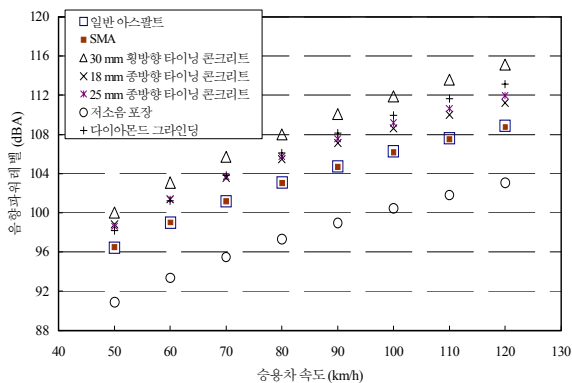


Fig. 8. Traffic noise characteristics in case of passenger car.

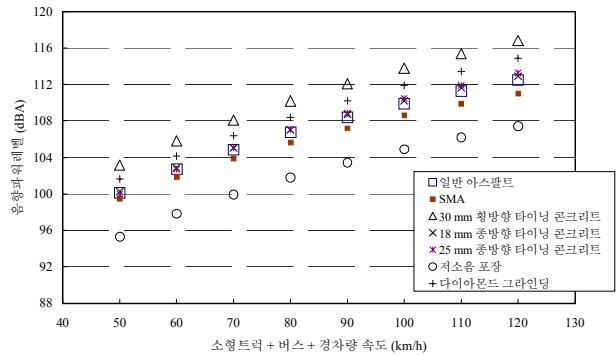


Fig. 7. Traffic noise characteristics in case of van + small truck + bus.

8. 맺음말

저소음 포장의 소음저감효과는 위의 분석을 통해서 알 수 있듯이 차종 및 속도별로 다양한 특성을 보여 주고 있다. 특히 소형차량의 경우 저감효과가 크고 중차량 및 대형차량의 경우 그 저감효과는 적어짐을 살펴 볼 수 있다. 또한 최근 콘크리트 포장의 표면처리 공법의 하나로 널리 쓰이고 있는 다이아몬드 그라인딩 표면은 중형 및 대형차량에서 소음저감 효과를 보여 주고 있다. SMA 포장은 대형차량, 소형트럭 + 버스 + 경차량의 경우 일반 아스팔트 포장에 비해 소음저감의 효과가 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- 1) 고속도로 포장노면과 타이어간의 마찰음 분석 및 평가기법 연구, 도로교통 PA-06-19, 2006, 한국도로공사, 도로교통기술원