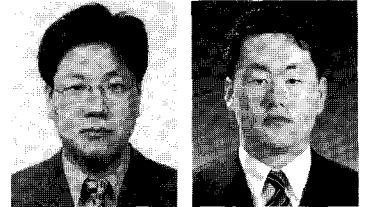


저소음 아스팔트 포장



문 성 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
 홍 승 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

국내 경제의 지속적인 성장과 더불어 이를 뒷받침하기 위한 사회간접시설 확충의 일환으로 고속도로가 확장되면서 이용차량의 증가와 함께 차량의 대형화와 고속화로 인해 교통소음 레벨이 높아지고 있다. 한편, 소득증진과 생활수준 향상에 따른 쾌적한 저소음환경에 대한 국민의 요구가 날로 증대되고 있고, 교통소음으로 인한 민원예방과 함께 효율적이고 경제적인 소음저감대책을 수립하기 위해 최근 저소음 포장의 요구가 증대되고 있다. 따라서 소음 관련 성능평가를 위해서 고속도로 포장종류에 따라 소음을 측정하여 포장별 소음발생정도를 조사하였다. 또한 각 포장별 소음특성을 주파수별로 구분하였고 서로 비교를 통해 저소음 포장을 평가하였다.

1. 고속도로 소음계측

고속도로 소음계측을 위해 사용된 장비구성, 소음계측위치, 계측방법, 계측지점은 다음과 같다.

- 고속도로 소음계측에 적용된 장비 구성
 - 소음계측용 장비 : 마이크로폰, 신호분석 및 저장장치

- 고속도로 교통정보 계측용 장비 : 스피드건, 캠코더
- 기타 : 안전용품 및 기록지

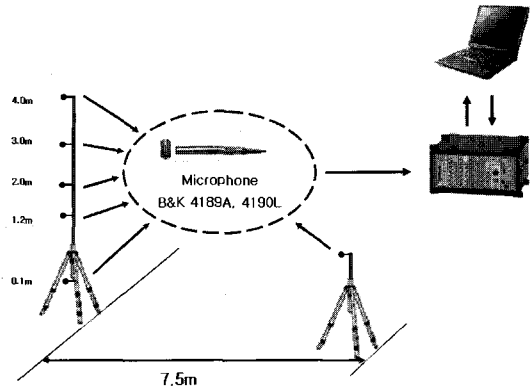
- 계측위치 : 편도 2차선 도로의 1차선 중앙 기준
 - 수평 이격거리 7.5m : 0.1m, 1.2m, 2.0m, 3.0m 및 4.0m 높이
 - 수평 이격거리 15m(접근 가능한 경우) : 1.5m 높이
- 계측방법
 - 15분 동안의 등가소음을 2회씩 계측 및 저장
 - 차량 반사효과 및 주행차량의 감속현상을 배제하고자 계측지점에서 30~40m 이격된 지점에 교통정보 및 소음분석장비설치
 - 주행차량 속도는 차선별로 계측지점으로부터 70~100m 이격지점을 통과할 때 측정
- 계측대상 노면 및 지점
 - 총 10개 지점
 - 콘크리트 : 횡타이닝 2개 지점, 랜덤 1개 지점, 다이아몬드 그라인딩 1개 지점, 15mm 및 30mm 종타이닝 각각 1개 지점
 - 아스팔트 : 일반밀입도 1개 지점, SMA 2개 지점, 배수성 포장 1개 지점

2. 소음계측장비의 구성

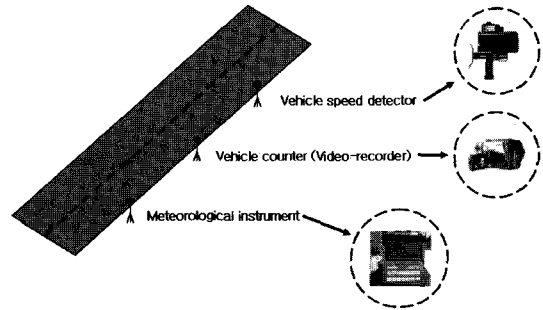
고속도로 교통소음을 계측하기 위한 주요 계측장비 목록은 기상조건 및 교통정보 계측장비와 함께 표 1에서 보는 것처럼 구성되어 있다. 또한 시스템 구성도는 그림 1과 같고 실제 고속도로에 설치한 예는 그림 2와 같다.

표 1. 계측장비 목록

장비명	모델명	수량	용도
마이크로폰	B&K 4189A, 4190L	6	소음측정용 센서
16채널 신호분석기	B&K 3560D	1	소음측정 및 분석
Mic. Calibrator	B&K 4230	1	마이크로폰 교정용
Video recorder	SONY Handycam	1	차량통행량 계측
디지털 카메라	SONY DSC T7	1	계측상황 촬영
Notebook PC	X-note LS50	1	소음신호후 처리 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	소음신호 전송용
차량용 배터리	-	3	장비 전원공급
속도측정기	Laser Technology Marksman-II	2	차량속도 측정
풍향·풍속·온도·습도계	Davis Weather Monitor-II	1	기상조건 측정
Inverter	-	1	장비 전원공급
Multimeter	-	1	장비 확인
안전용품	-	6	안전표지
줄자(50m, 7.5m)	-	2	지형측정
고속도로소음 측정 기록지(2종)	-	-	-

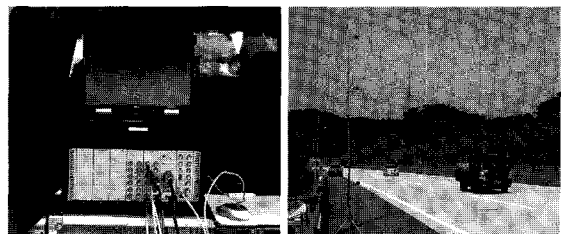


(a) 소음계측 시스템

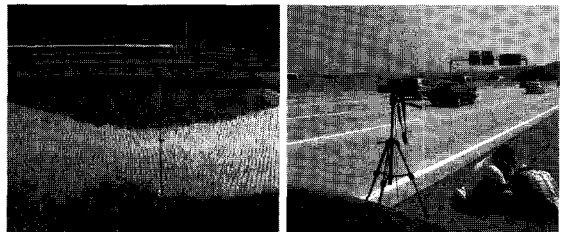


(b) 기상조건 및 교통상태 계측

그림 1. 계측 시스템의 구성도



(a) 소음계측 시스템



(b) 기상조건 및 교통상태계측 시스템

그림 2. 계측 시스템 설치모습 예

3. 계측위치 및 계측방법

고속도로 소음계측에 사용한 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 측정면이 도로단면에 평행하도록 각각 설치

되었다. 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 연방고속도로국에서는 최대변동폭이 10dB 이내의 비정상 변동 소음신호에 대한 계측시간을 5분으로 권장하고 있다. 따라서, 그림 4에서 예시한 바와 같이 각 계측지점에서 15분 동안의 등가소음도를 중심주파수 63Hz~8kHz까지의 1/1 옥타브 밴드별로 계측·평가하였으며, 자료보관을 위하여 실시간 신호를 파일 형태로 저장하였다. 이때, 계측결과와 신뢰성을 확보하기 위하여 각 지점별로 2회씩의 계측을 실시하였다.

계측 시에는 계측장비 탑재차량으로 인한 반사 효과와 차량속도 계측으로 인한 고속도로 주행차량의 속도감소를 방지하기 위해 그림 2에 예시한 바와 같이 마이크로폰 설치지점으로부터 전방 30m~40m 지점에 운전자에게 최대한 은닉되는 지점에 차량통행량 측정용 비디오카메라와 속도측정기를 설치하였다. 또한, 반대편 차선에서 주행하는 차량들의 교통량 정보는 안전한 이동통로를 통하여 반대편으로 이동 후 계측대상 주행방향과 동시에 측정하였다. 한편, 차량속도 및 발생소음도에 대한 계측오차를 최소화하기 위해서 정속주행상태가 유지되는 도로교통 상황에서만 계측을 실시하였으며, 차량속도는 대상 차량이 속도측정장치가 설치된 지점으로부터 전방 70~100m 지점을 통과할 때 계측하였다. 또한, 각 차선 및 차종별 교통량은 그림 5에 나타난 바와 같이 계측시간동안 녹화된 비디오 분석을 통하여 평가하였으며, 차종 및 차선별 평균 주행속도는 측정된 자료를 각각 평균하여 산정하였다.

도로교통 소음의 전달감쇠에 영향을 미치는 온도, 습도, 풍향 및 풍속은 도로주행차량의 영향을 받지 않도록 노건에서 이격시켜 소음계측과 동시에 5분 간격으로 측정하였다. 이때, 온도 및 습도의 경우는 2회 계측시간에 해당하는 30분간의 평균값을 사용하였으며, 변동이 심한 풍향 및 풍속의 경우에는 빈도수가 가장 높은 대표값을 사용하였다.

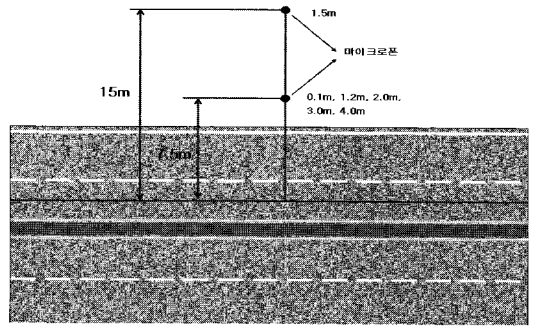


그림 3. 마이크로폰 설치위치

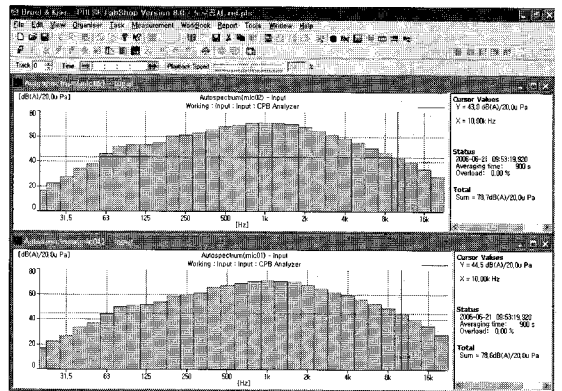


그림 4. 소음 신호 분석 및 저장 예



그림 5. 교통량 분석 예

4. 계측대상 노면종류 및 위치

계측대상지점은 고속도로에 시공되어 있는 노면을 대상으로 6개의 콘크리트 포장구간과 4개의 아스팔트 포장구간으로 구성된 총 10개로 선정하였다. 지점별 구조특성, 기준통행방향 및 특성, 현지에서 취득한 정보를 바탕으로 표 2에 나타내었다.

표 2. 고속도로 소음계측지점

지점	포장 종류	고속도로	위치 (km)	편도 차선수	도로 형태	중단 구배(%)	방음벽	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	×	상행	• 야산 인접지역 • 하행선은 횡 타이닝 구간
7	C 30mm 종 타이닝	중부 내륙	211.0	2	절토	1.40	×	상행	• 야산 인접지역 • 하행선은 횡 타이닝 구간
8	C 랜덤 횡 타이닝	익산 포항	42.0	2	평탄	4.88	×	상행	• 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	상행	하행	• 야산 인접지역

주) A: 아스팔트 포장 C: 콘크리트 포장

5. 포장노면에 대한 소음예측방법 및 발생 소음도 평가결과

- 고속도로 포장노면의 경우, 참고문헌 (1)에 자세히 언급된 시험도로에서 실시한 차량별 단독 주행시험을 실시하여 음향파위레벨 산정식을 도출하는 것이 원칙임
- 단독주행시험이 용이치 않은 경우, 기준노면에 대한 음향파위레벨 산정식과 함께 계측치 및 예측치와의 오차를 이용한 보정계수를 도출하여 평가할 수 있음
- 콘크리트 다이아몬드 그라인딩 노면과 아스팔트 배수성 포장 노면에 대한 보정계수를 평가하여 각각의 차종별 음향파위레벨 산정식을 도출

하였음

- 상기 노면들은 도로소음에 지배적인 영향을 미치는 1kHz 이상의 주파수 대역에서 다이아몬드 그라인딩은 다른 콘크리트 포장노면에 발생하는 소음에 비해 낮고 또한 배수성 포장은 다른 아스팔트 포장소음의 음향파위레벨에 비해 낮게 측정됨.
- 콘크리트 포장과의 비교시 다이아몬드 그라인딩 노면의 경우, 45km/h~100km/h 속도 구간에서는 승용차 정상주행 시 A-가중치 총합소음도 기준으로 최대 3dB 정도의 소음저감효과를 가지며, 그 이상의 속도구간에서는 18mm 종타이닝 구간과 유사한 소음 발생도를 보임
- 아스팔트 배수성 포장의 경우 승용차 정상주행

시 A-가중치 총합소음도 기준으로 PMA 및 SMA 포장 노면 대비 낮은 소음도를 전속도 구간에서 보임

한편, 본 측정에서 선정된 고속도로 소음계측지점 중 콘크리트 다이아몬드 그라인딩 노면 및 아스팔트 배수성 포장 노면에 대해서는 시험도로에 해당 노면이 존재하지 않아 별도의 단독차량 주행실험을 실시하지 못하였다. 따라서 다이아몬드 그라인딩 및 배수성 포장 노면에 대한 음향파위레벨 산정식은 해당 노면에 대한 고속도로의 계측치와 함께 콘크리트 및 아스팔트 기준노면에 해당되는 횡타이닝 30mm 및 일반밀입도 노면에 대한 식을 이용하여 평가하였다.

상기 노면들에 대한 음향파위레벨 산정식을 정립하기 위해서 기준노면인 횡타이닝 30mm 및 일반 밀입도 노면에 대한 차종별 음향파위레벨 산정식과 함께 계측당시의 차종·차선별 교통량 및 평균속도를 입력변수로 사용하고 고속도로주변 지형·지물 등을 포함한 소음예측 모델을 생성하여 소음예측 프로그램인 KRON[®]을 이용하여 결과물인 음향레벨을 구하였다. 이때, 편도 2차선 도로를 기준으로 1차선 노면중심에서 수평거리 7.5m, 수직거리 1.2m 이격된 기준 마이크로폰에서의 소음예측값은 실제 고속도로에서 계측한 결과와 1/1 옥타브밴드별로 비교하였으며, 그 차를 계측차수별로 구하였다.

6. 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.

그림 6에서 9까지는 해당 차량그룹별 소음특성을 속도별 Overall 값으로 나타낸 것이다. 여기서 Overall 값을 계산하는 방법은 각 주파수별 음향파

표 3. 차량의 분류기준

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

위레벨을 로그 스케일로 합산한 값이다. 그림에 대한 분석은 다음과 같다.

대형차량 속도별 음향파위레벨 : 그림 6에서 보는 바와 같이 저소음 포장은 다른 포장형식과 비교했을 경우 적게는 4dB에서 6dB 정도의 소음저감효과가 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 90km/h 이상일 경우 일반 아스팔트보다 소음저감효과가 두드러지고 있다.

중차량 속도별 음향파위레벨 : 그림 7에서는 중차량이 다양한 포장면에서 주행했을 경우의 소음특성을 보여주고 있다. 저소음 포장의 경우 4에서 7 데시벨까지 소음저감효과를 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 80km/h 이하에서는 콘크리트 포장보다 저소음효과가 어느 정도 보여 주고 있으나 이상일 경우 종방향 타이닝 콘크리트 포장과 유사한 소음특성을 보여 주고 있다.

승용차 속도별 음향파위레벨 : 승용차의 경우 적게는 6dB 크게는 10dB까지의 소음저감을 보여주고 있다. 특히 속도가 높아질수록 소음저감효과가 커지는 것을 그림을 통해 알 수 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법이 적용된 콘크리트 포장의 경우 90km/h 이상의 속도로 주행했을 경우 종방향 타이닝 콘크리트

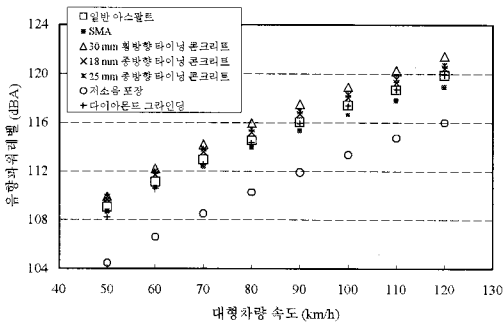


그림 6. 대형차량 속도에 따른 음향파워레벨의 Overall 값

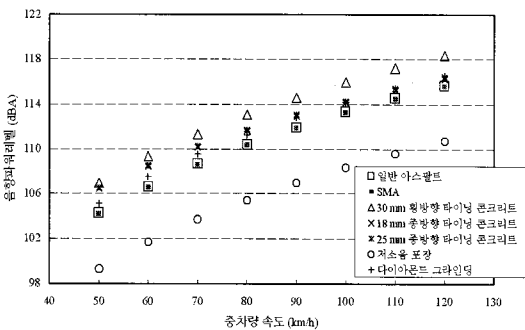


그림 7. 중차량 속도에 따른 음향파워레벨의 Overall 값

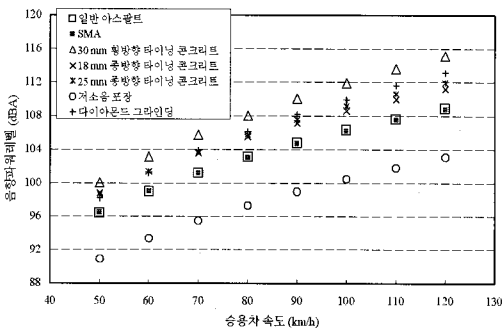


그림 8. 승용차 속도에 따른 음향파워레벨의 Overall 값

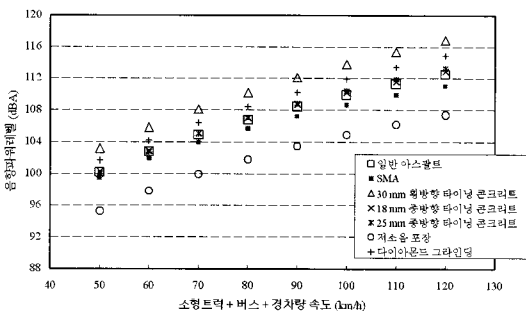


그림 9. 소형트럭 + 버스 + 경차량 속도에 따른 음향파워레벨의 Overall 값

포장보다 소음크기가 약간 증가되는 것을 볼 수 있다. 일반 아스팔트 포장과 SMA 포장은 여기서도 거의 유사한 소음특성을 보여 주고 있다.

소형트럭+버스+경차량 속도별 음향파워레벨 : 여기서 저소음 포장은 4dB에서 9dB까지 저소음 효과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 특히 다이아몬드 그라인딩 공법이 적용된 콘크리트 포장의 경우 속도와 상관없이 종방향 타이닝 콘크리트 포장보다 1dB 큰 소음주행을 함을 알 수 있고 SMA 포장은 고속에서 일반 아스팔트 포장보다 1dB 정도 저소음효과를 보여 주고 있다.

7. 결론

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 적어 짐을 살펴볼 수 있다. 또한 최근 콘크리트 포장의 표면처리 공법의 하나로 널리 쓰이고 있는 다이아몬드 그라인딩 표면은 중형 및 대형차량에서 소음저감효과를 보여 주고 있다. SMA 포장은 대형차량, 소형트럭+버스+경차량의 경우 일반 아스팔트 포장에 비해 소음저감의 효과가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

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