

교통 소음 특성과 그루빙을 통한 감소 사례 연구

(A Case Study about the Reduction of Traffic
Noise by Pavement Grooving)

김 인 수	한국도로공사 도로교통기술원 연구원
김 주 영	금호엔지니어링 교통물류연구소 (전 한국도로공사 도로교통기술원 과제연구원)
장 태 순	한국도로공사 도로교통기술원 연구원
옥 창 권	한국도로공사 구조물처 대리

1. 서론

최근 들어 국민들의 환경에 대한 의식과 개선 요구 사항이 꾸준히 증가되고 있는 추세이다. 이 중에서 도로는 도로주변의 주민들에 끼치는 소음 공해가 크게 부각되고 있으며 법정소음을 통하여 주민들에 대한 배상 판결이 나기도 했다. 어떤 이유에서 도로에 근접한 건축물의 허가가 낮아지는가 논외로 하더라도 현재 소음과 관련된 불편, 불만의 해소에 관련기관의 맡은바 역할은 충실히 수행되어야 할 것으로 보인다. 본 고찰에서는 첫 번째로 도로의 차량소음과 관련된 특성에 대해서 살펴본다. 두 번째로 도로에서 발생하는 도로교통소음을 감소시킬 수 있는 그루빙 공법과 기타 포장공법들에 대해서 외국의 예를 포함하여 간단하게 살펴본다. 세 번째는 그루빙 시험시공 구간의 소음 측정 결과를 분석하도록 한다.

2. 도로교통 소음 특성

2.1 소음의 정의

인간은 여러 종류의 소리환경에서 생활을 하고 있으며 그 속에서 접하는 소리 일부는 없는 편이 나은 것으로 이를 소음으로 취급한다. JIS의 정의에 따르면 소음이란, 바람직하지 않은 소리, 예를 들어 음성, 음악 등의 전달을 방해하거나 귀에 고통을 주고 장애를 주는 소리로 영어로는 noise, undesired sound로 제시하고 있다.

2.2 음압레벨과 음원의 파워레벨

공기의 조밀 변화에 따라 발생하는 음압의 단위는 Pa(N/m²)이다. 인간이 들을 수 있는 최소의 음압은 거의 2×10^{-5} 이며, 대기압 1,013hPa의 약 100억분의 2라는 작은 변화를 감지한다. 또, 음으로서 들을 수 있는 최소의 음압은 20Pa이

며, 인간이 지각하는 음의 크기의 비는 100만에 이르는 큰 숫자가 된다.

$p_0=2 \times 10^{-5}$ Pa 를 기준으로 다음식으로 음압레벨(SPL : Sound Pressure Level)이 표시된다.

$$SFL=20 \log_{10} p/p_0 \text{ [dB]}$$

여기에서 dB은 B(레벨)의 10분의 1의 단위로, B는 2개의 에너지량의 비의 대수이다. 음압의 변화는 음원이 공기를 진동시킴에 따라서 나타나는 것으로 그 강도는 음향파위를 사용하여 표시하고 단위는 W(Watt)이다.

여기에서는 $p_0=10^{-12}$ W를 기준으로 하여 파워레벨(PWL : Power Level)을 다음식에서 정의한다.

$$PWL=10 \log_{10} P/P_0 \text{ [dB]}$$

위의 식에서 음의 특성은 다음과 같다.

- (1) 음의 에너지는 상대적으로 매우 작다.
- (2) dB의 합과 차에 산술적 개념 적용 불가

윗 식에서 판단하면 3dB 정도의 소음 감소는 효과적인 소음 감소로 보는 것이 옳다. 또한, 인간이 들을 수 있는 고주파수 범위와 음압레벨의 범위는 각각 약 20Hz~20kHz, 0~120dB이나 최

대, 최소 가청레벨은 주파수에 따라서 다르다. 같은 음압레벨의 소리라도 가청레벨 “크기”는 주파수에 따라서 다르며, 낮은 주파수의 소리는 동일 음압레벨의 높은 주파수의 소리보다도 작게 느끼는 것이다.

2.3 자동차의 소음 발생 원인

자동차의 소음 발생원인은 다음 3가지로 대별할 수 있다.

- ① 구동기관음
- ② 타이어/노면 소음
- ③ 아이들링음

구동기관음은 엔진음, 흡·배기계 소음 등의 자동차 가동에 동반되는 기계음이며, 타이어/노면 소음은 타이어 구동에 동반되는 타이어와 노면간에 발생하는 소음이다. 또한, 아이들링음은 기타 소음이다. 일본에서의 조사에 의하면 차종에 따라 「트레드 패턴 진동음」 및 「기타 타이어음+아이들링음」 같은 타이어/노면 소음값이 배수성포장이 더 크게 나타나는데 이는 배수성 포장의 조도가 일반 포장보다 크기 때문이라고 볼 수 있다. 자동차가 도로를 주행하면서 타이어가 포장면에 접했을 때 트레드 홈 안의 공기가 압축되어 방출될

<표 1> 소음 저감에 큰 영향을 미치는 요인

	80km/h 이하	40km/h 이하
승용차	트레드 패턴 에어펌핑음 + 트레드 패턴 진동음	기타 타이어음 + 아이들링음
소형화물차	구동기관음	기타 타이어음 + 아이들링음
대형화물차	구동기관음 + 기타 타이어음 + 아이들링음	좌향 + 트레드 패턴 에어펌핑음

때 에어펌핑음이 발생된다. 이러한 소음은 차량의 주행속도가 빨라질수록 커지게 된다. 차량 정상 주행시 소음 저감에 큰 영향을 미치는 요인을 차종별로 나타내면 <표 1>에 나타낸 것과 같다.

3. 소음저감 관련 외국 사례

외국의 소음과 관련한 연구결과 및 실제 적용 사례는 다음과 같다.

그루빙 및 소음과 관련된 연구들을 살펴보면 Kuemmel 등 (2000)이 PCC(Portland Cement Concrete)포장에 그루빙을 시공한 결과 차량바깥에서 측정된 소음이 1~3dB 낮아졌고, 아스팔트포장의 경우는 5dB까지 낮아졌다고 주장하였고 자동차실내에서 측정결과는 외부 측정값의 반정도라고 주장하였다. Burge 등 (2001)은 신설 PCC 구간에 대하여 종방향 그루빙과 횡방향 타이닝을 시공하고 일년 후에 미끄럼저항 실험과 소음조사를 실시하였다. 미끄럼저항 실험결과 일반적인 횡방향 타이닝을 시공했을 경우보다 종방향 그루빙을 시공한 결과가 더 좋은 결과를 보여주고 있었고, 2~5dB 정도 낮은 소음도를 보여주는 것으로 나타났다고 하였다. Laforce와 Schlaefer(2001)은 미국 콜로라도 교통청의 지원으로 단일차량으로 4개의 서로 다른 표면 텍스춰에 대하여 소음조사와 미끄럼조사를 실시하였다.

조사결과 미끄럼 저항치는 앞의 Kuemmel et al(2000)의 연구결과와 비슷하였고 미끄럼 저항치는 별다른 차이는 없는 것으로 나타났다. 미국 유타주 교통청(2000)에서는 소음조사를 통하여

일반적으로 트럭이 60mile per hour 이상이면 트럭의 엔진음이 포장과 타이어가 접촉하여 발생하는 소음보다 더 큰 경우가 일반적이며, 종방향 타이닝 시공 결과 소음감소 효과를 보였음을 주장하였다. Billera et al(1997)은 3개 포장 구간에 대해 1/3과 1/12 옥타브 음역까지 측정 가능한 실시간 측정 장비를 이용하여 소음조사를 실시한 결과 횡방향 그루빙의 소음이 가장 큰 것으로 나타났으며 종방향 그루빙의 경우는 전체적인 소음의 정도가 낮았다고 보고하였다.

이처럼 국외의 연구결과를 살펴보면 그루빙을 설치함으로써 미끄럼방지 외에 주행 중에 발생하는 소음의 감소효과가 있음을 알 수 있다. 그루빙 이외에 현재까지 개발된 포장 공법중에 소음저감에 효과적인 것으로 알려진 포장은 배수성포장(고점도 바인더를 사용한), SMA 포장 등이 있다. 이들 포장에 대한 소음 감소효과를 실측한 결과에 따르면 현장조사환경의 불균일성을 제외하고 소음 감소효과가 있는 것으로 조사되었다.

3.1 그루빙

그루빙(안전흡)공법은 일반도로, 고속도로 등에서 감속유도 및 미끄럼 사고를 미연에 방지하기 위한 기술로 처음 FAA에서 각 공항에 적용하였다. 이 공법은 노면에 흠을 파는 것으로, 노면 배수의 원활, 수막에 미끄러지는 현상, 노면의 동결방지, 제동거리의 단축화, 주행소음감소 등으로 뛰어난 장점을 발휘하는 것으로 알려져 있다.

[그림 1]과 <표 2>는 종방향 및 횡방향 그루빙 설치 사례 및 특성을 보여주고 있다.



[그림 1] 그루빙 시공 사례

<표 2> 종방향 및 횡방향 그루빙 시설의 특성

종방향 그루빙	횡방향 그루빙
<ul style="list-style-type: none"> · 커브구간, 경사면, 횡풍구간에 적합 · 타이어와 그루빙포장체의 기계적인 작용에 의해 커브 등에서 주행의 안정성을 향상 · 고속도로 등에서 우천시에 타이어와 노면의 접지면적을 줄이고 미끄럼사고의 원인이 되는 수막을 제거 	<ul style="list-style-type: none"> · 다리 위 등 횡풍구간의 주행 안정성 확보 · 급브레이크 사용시, 접지력 향상 · 동결노면의 얼음막을 분산 · 타이어로부터 전달되는 소음, 진동을 통해 졸음 운전의 방지, 감속 및 경고 · 고속도로 톨게이트의 앞에 시공 · 우천시의 젖은 노면에서 제동거리를 단축

3.2 특수 아스팔트 포장의 종류

배수성포장은 '90년대 말에 처음 남부지방에

시공된 이후 배수성능 및 소음 성능을 계속 유지·관찰하고 있으며 공극막힘 현상 등의 유지

<표 3> 도로교통 소음대책기술

대분류	중분류	소분류
발생원 대책	자동차 대책	구동기관음(엔진 소음, 냉각계 소음, 흡·배기계소음 등) 대책 저소음 타이어, 타이어 커버 아이들링 대책
	도로(포장) 대책	타이어/노면 소음대책(저소음 포장), 교량 구조물 소음대책
	교통흐름 대책	교통량 억제, 대형차교통량 억제 교통량 분산, 주행상태 개선 규제·단속
전파경로대책	도로(포장) 대책	고가·수로구조화, 차음벽, 흡음판 저소음 포장, 환경시설대, 광폭 보도
	연도 대책	완충 건축물
수음점 대책	연도 대책	토지이용의 적정화, 연도 건물의 방음화
	도로구조 대책	투광형 차음벽, 식수대의 심리효과

관리상의 애로점이 향후 연구와 장비개발을 통해 해소되면 본격적 실용화를 이룰 수 있을 것으로 전망된다. 배수성포장은 우수(雨水)의 물튀김과 물보라 감소능력이 탁월하여 안전운전에 매우 유리할 뿐만 아니라 소음의 감소효과도 높은 고기능성 포장으로 현장조사를 통해 소음 감소효과가 일정부분 확인되었다.

SMA포장은 '90년대 말에 시공되기 시작하여 탁월한 소성변형 방지효과가 확인된 포장으로 소음 감소효과도 현장조사 결과 확인되었으며 기타 소음감소와 관련하여 효과가 있는 포장은 CRM포장과 PMA포장 등이 있다.

3.3 소음대책기술의 체계

도로 교통 소음대책기술은 <표 3>과 같이 분류·정리할 수 있다.

위의 표에서 발생원 대책 중 도로(포장)대책, 전파경로 대책 중에서 도로(포장) 대책의 경우가 도로포장에서 접근가능 방법이다.

4. 현장조사 및 결과

4.1 아스팔트 포장구간

소음감소효과를 확인하기 위하여 고속국도 일부 구간에 설치한 그루빙구간에 대하여 소음측정을 실시하였다. [그림 2]는 현장 조사구간의 전경과 포장표면의 종방향 그루빙과 배수 홈을

보여 주고 있다.

본 구간의 그루빙은 2001년 시공되었으며, 현장조사는 총 2회가 실시되었으며 첫 번째 조사 결과는 그루빙구간에서 일반구간보다 1.0dB 높은 것으로 나타났으며 이와 달리 2차 현장조사에서는 일반 구간의 소음이 1.2dB 높은것으로 조사되었다. 첫 번째 조사결과에서 그루빙구간의 소음이 크게 나타난 것은 해당지점의 교통량 조건과 기타 환경조건에 의한 영향이 있을 것으로 보이지만, 그루빙이 시공된 곡선구간을 주행하는 차량의 궤적이 그루빙이 시공된 표면의 곡률보다 작거나 크기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

4.2 콘크리트 포장구간

콘크리트포장구간 그루빙 조사는 영동선구간으로 편도 3차로에 기존 횡방향 타이닝이 시공된 상태에서 종방향 그루빙을 시공한 구간을 선정하였다. 시공 전·후의 소음 측정 결과, 시공

후의 소음도가 시공 전보다 0.85dB(A) 낮게 나타났다. 그러나 분석 데이터중에서 일정시간대의 소음도가 더 증가된 것은 실험상의 다른 요인에 기인한 것으로 판단되며 이런 현상은 실제 소음을 측정하는 과정에서 측정자가 조절하지 못하는 요인에 의한 것인 경우가 매우 많다.

5. 결론

최근까지도 그루빙 시설을 차량의 미끄럼 방지 목적으로만 볼 뿐, 소음감소효과는 부가적인 효과로만 보고 있었다. 그러나 최근의 주행 쾌적성과 관련하여 그루빙의 소음효과 감소의 우수성이 국외의 논문을 통해 제기되면서 이에 대한 연구의 필요성이 국내에서도 대두되었다. 이에 본 과업에서는 실제 아스팔트 포장 및 콘크리트 포장에서의 현장실험을 통해 소음을 측정하여 비교함으로써 그루빙시설의 소음감소효과에 대해 객관적인 분석을 시도하였다. 본 연구에서 나



[그림 1] 그루빙 시공 사례

타난 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 아스팔트포장구간 1차조사 결과 일반구간의 소음도가 그루빙 구간보다 작게 나타났다. 이는 해당지점의 교통량조건과 기타 환경조건에 의한 영향이 있을 것으로 보이지만, 그루빙 시공된 곡선구간을 주행하는 차량의 주행궤적이 그루빙 시공된 표면 홈들을 횡단하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

둘째, 아스팔트 포장의 2차 소음조사에서는 곡선구간을 지나서 직선구간에서 조사되었는데, 1차 조사와는 달리 소음감소의 추세를 보이는 것으로 나타났다.

셋째, 콘크리트 포장구간의 그루빙시공 전·후의 소음 측정 결과, 시공 후의 소음도가 시공 전보다 낮게 나타났으나, 이 결과는 교통량 변화나 측정 오차로 인해 발생할 수 있을 정도의 적은 차이로 볼 수도 있다. 그러나 분석 데이터중에서 소음도 차이가 최대 -1.65 dB로 나타난 것을 고려할 때, 콘크리트 포장에서의 그루빙 시설은 소음감소 효과가 있다고 판단 할 수 있다.

아스팔트포장구간과 콘크리트포장구간의 소음조사에서 콘크리트 포장 직선구간의 경우 그루빙시공의 소음감소효과를 어느 정도 기대할 수 있었다. 그리고 곡선구간에서는 소음이 더 발생할 수 있다는 사실에 주의를 기울일 필요가 있다.

추후의 정밀한 소음조사를 위해서는 측정위치에 대한 세심한 주의, 장비에 대한 정확한 캘리

브레이션과 계측환경(차량, 온도, 바람, 기타소음)에 대한 정밀한 조사가 선행되는 것이 바람직하다. 또한, 정밀한 소음특성 도출을 위해서는 측정 및 장비와 관련하여 노면소음측정차량 이용 또는 단독 주행 차의 파워레벨 조사 등의 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. 이와 함께 소음측정자료 샘플수를 일정 통계처리가 가능한 범위 이상으로 하여 통계적 처리값을 제시하여줌으로서 그 분석결과에 대한 신뢰성을 확보해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Paul L. Burge, et al, "A comparison of Transverse Tined and Longitudinal Diamond Ground Pavement Texturing for Newly Constructed Concrete Pavement", Transportation Research Record-Journal of the Transportation Research Board 1792, November 2001.
2. "Report on Tire Noise Along Interstate Route I-95, In The Town of Harrison, New York", New York State Thruway Authority, May 2001.
3. D. A. Kuemmel, et al, "Noise and Texture on PCC Pavements: Results of a Multi-State Study", Wisconsin DOT, June 2000.
4. Domenick Billera et al, "Stop the Whine! Narrow Band Noise Level Measurements of Three Highway

Pavements", 76th Annual Meeting, January 1997.

5. G. Descornet et al, "Noise-Reduction Concrete Pavements", Fifth International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, vol. 2, April 1993.

6. G. Descornet, F. Fuchs, "Concrete Paving Texture", International Workshop on Noise reducing Concrete Surfaces, February 1992.

7. 舗装, Vol.35, No.8, 2000.
8. 排水性舗装の騒音低減?果の改善に関する研究, 交通工学 Vol.30, No.5, 1995.

