



콘크리트 포장 표면처리 방법에 따른 소음 감소 방안 연구

Noise Reduction of Concrete Pavement by Texture Design

문준범* 박진희** 권순민*** 한승현**** 조윤호*****
Mun, Jun-Beom Park, Jin-Whoy Kwon, Soon-Min Han, Seung Hwan Cho, Yoon-Ho

Abstract

This study tries to compare the noise difference by various surface treatments and to propose appropriate tinning methods. As literature reviews, longitudinally tined pavement is effective to reduce noise made between tire and pavement surface. Various surface treatments were applied to some sections of test road. In case of car, about 2~3dB(A) was reduced in the section of uniform space 18mm longitudinal tinning. The peak frequency point for truck case happened between 200 and 600 Hz. The maximum noise of car was measured at about 1000Hz. Therefore, it is proved that surface treatment methods can have a large affect on noise generation. With a result that friction test, the transverse tined pavement showed better frictional characteristics than the longitudinally tined pavement, but as a whole it came out satisfactory result. Results from this study are of early age, so it is required to check the performance continuously.

Keywords : longitudinal tinning, noise, frequency analysis, surface treatment, surface friction

요 지

본 연구는 다양한 표면처리 공법에 따른 소음도를 비교·분석하여 소음 감소효과에 적합한 타이닝 방법을 제안하였다. 기존 문헌조사 결과 종방향 타이닝이 소음감소 효과에 우수한 결과를 보인다는 것을 바탕으로 국내 시험도로 일부구간에 표면처리 방법을 적용하였다. 승용차의 경우 일정간격 18mm 종방향 타이닝이 다른 비교구간보

* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사
** 중앙대학교 토목공학과 석사과정
*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 콘크리트포장연구실 연구원
**** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 콘크리트포장연구실 공학박사
***** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수, 공학박사



다 약 2~3dB(A) 소음 감소효과가 있다. 덤프트럭으로 외부소음을 측정하여 주파수 분석한 결과 200~600Hz 사이에서 peak frequency point가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한, 승용차의 경우 1000Hz부근에서 소음 발생이 가장 큰 것으로 나타났다. 차량 내부 소음 측정결과 표면처리 방법에 따라 소음 정도가 큰 폭으로 변화하지 않았으나, 차량 외부에서는 크게 변화하였다. 따라서 표면처리 방법은 소음도에 중요한 영향을 미치는 인자로 볼 수 있다. 표면처리에 따른 미끄럼 저항값 측정결과 종방향 타이닝이 횡방향 타이닝에 비해 낮게 나타났지만 전체적으로 양호한 결과를 보였다. 본 실험 결과는 시공 초기의 값이므로 공용 이후의 지속적인 조사가 필요하다.

핵심용어 : 종방향 타이닝, 소음, 주파수분석, 표면처리, 미끄럼 저항

1. 서론

콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 강도 및 내구성이 우수하고 유지관리가 용이하며 설계 수명이 길다는 장점이 있다. 그러나 차량 주행시 소음이 비교적 많이 발생하여 운전자에게 불쾌감을 유발하고 인접 주민들의 민원을 야기시키기 때문에 대부분 접근성보다 이동성이 강조되는 고속국도에 적용되고 있다.

일반적으로 도로에서 발생하는 소음은 자동차 엔진 소음과 도로의 포장면과 타이어 사이에서 발생하는 소음으로 구분된다. 표면처리 방법에 따른 소음에 대한 연구는 이미 외국에서 30여년 전부터 진행해오고 있다. 또한 도로 주변에 주거지를 형성하고 있는 지역적 특성으로 인하여 포장/타이어의 소음을 줄이기 위한 다양한 표면처리 공법을 개발하여 도로 포장에 적용하고 있다.

국내에서 표면처리 방법에 따른 소음 감소에 대한 연구는 미비한 실정이다. 국내에서는 골재노출포장, 타이닝 방향에 따른 소음 감소 등에 대해 관심을 가지고, 미국 연방 도로국(Federal Highway Administration : FHWA), 유럽의 상설 국제 도로 회의의 협회(Permanent International Association of Road Congress : PIARC) 등에서 진행되는 연구결과를 검토하는 단계에 있다.

본 연구에서는 도로에서 발생하는 소음의 기본적인 메커니즘을 고찰해보고 다양한 표면 처리 구간에

서의 주행 소음 측정을 통해 표면 처리별 발생 소음도를 비교하였으며 이에 따른 주파수를 분석하였다. 또한 표면 처리 구간별로 미끄럼 저항값을 측정하여 각 구간에 대한 안전성을 고려하였다.

2. 소음 발생 메커니즘

도로 포장에서 발생하는 소음을 줄이기 위한 가장 기본적인 단계는 소음의 원인이 되는 인자들을 규명하는 것이다. 그림 1에서는 도로교통 소음에서 각 소음원들이 저속 및 고속 주행시 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. 주행 중 발생하는 소음은 차량 속도가 증가할수록 기계적인 소음보다는 타이어/포장 소음이 전체 소음에서 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다. Sandberg의 연구결과를 보면 차량의 속도가 80km/h 이상 증가하면 타이어와 포장

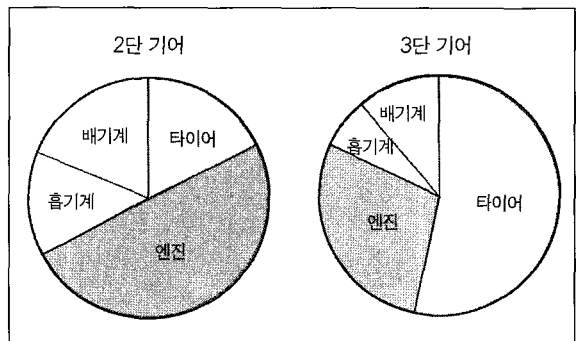


그림 1. 가속주행시험에 의해 측정된 자동차 소음 기여도 (K. Hieronimus, 1991)

사이에서 발생하는 소음이 지배적인 것으로 나타났다.(Sandberg, 1998)

그림 2는 속도에 따른 기계적 소음과 타이어/포장 간 소음의 관계를 나타내고 있다. 실외 소음에서는 저속일 경우 엔진에 의한 소음이 전체 소음에 큰 영향을 주다가 점차 속도가 증가하면서 타이어/포장 소음이 점차 비중이 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 고속국도에 주로 사용되고 있는 콘크리트 포장의 주된 소음은 타이어/포장 소음이라고 볼 수 있다.

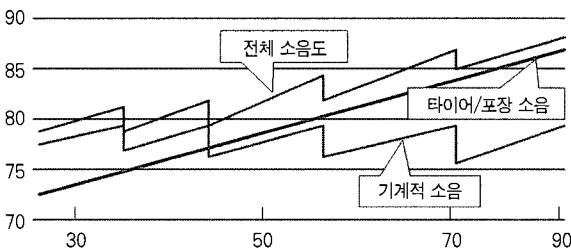


그림 2. 속도에 따른 기계적 소음과 타이어/포장 소음 관계 (Sandberg, 2002)

타이어/포장 소음은 200Hz~3kHz에 주로 분포되어 있어 인간에게 민감하게 작용한다. 주행 중 발생하는 타이어/포장 소음은 크게 타이어 진동에 의한 소음, 공기 역학적인 소음, 타이어와 표면과의 충격에 의한 소음 등 세 가지로 구분된다.

타이어의 진동에 의해 발생하는 소음은 기본적으로 자동차가 주행하면서 타이어 트레드가 도로 표면에 접하고 떨어지는 과정이 반복되면서 발생한다. 타이어 소음 발생원은 타이어 트레드가 접하는 방향에 대한 진동(Tread Tangential Vibration), 회전반경 방향에 대한 진동(Tread Radial Vibration), 그리고 타이어 옆면이 전체적으로 진동하게 되는 사이드월 진동(Side Wall Vibration)으로 구분된다.(Wayson, 1998)

공기 공명에 의한 소음은 주행중인 타이어와 공기와의 상호 작용으로 발생한다. 공기 공명은 타이어가 주행하면서 진동과 충격에 의해 발생하는데, 크게 파이프 공명(pipe resonance)과 헬름홀츠 공명

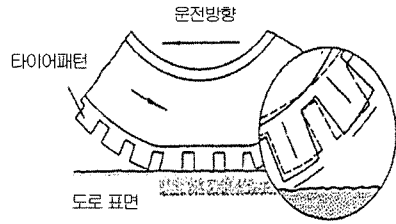


그림 3. 타이어의 진동에 의한 소음 발생(김병삼, 1994)

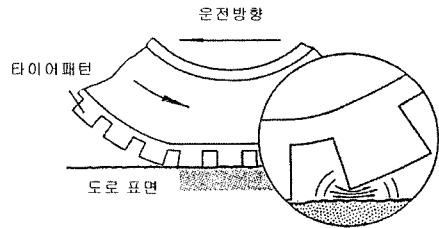


그림 4. 공기 공명에 의한 소음 발생(김병삼, 1994)

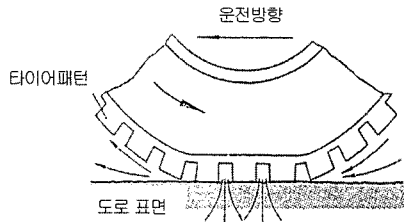


그림 5. 공기 펌핑에 의한 소음 발생(김병삼, 1994)

(Helmholtz resonance)으로 구분된다. 파이프 공명에 의한 소음은 접지면에서 발생하는 트레드 블록의 진동과 충격에 의해 그루브 내의 공기가 공명을 일으키며 발생하는 소음의 형태이다. 헬름홀츠 공명은 주행중에 있는 타이어의 트레드 홈 속에서 공기가 충격과 진동 등의 영향으로 압축과 팽창을 반복하면서 뒤쪽의 홈이 열리는 순간 외부 공기와 공명을 일으키며 소음이 발생하게 된다. 마지막으로 공기 펌핑에 의한 소음이 있다. 차량이 고속으로 주행할 때, 타이어 트레드의 그루브 혹은 도로 표면의 홈 속으로 공기가 압축되면서 갇힌 후 홈이 열릴 때 급격히 외부로 방출되면서 소음을 유발하는 현상이다.(Wayson, 1998)



타이어의 충격에 의한 소음은 원주 방향으로 배열된 타이어의 트래드 패턴홈들이 도로 표면과 충돌하면서 발생하게 되는 충격음으로써 이 때 발생하는 소음은 타이어의 재료물성, 트래드 패턴의 모양, 노면의 형상(profile) 및 지반구조 등에 의해 결정된다. 그림 3~그림 5는 소음원에 대한 소음 발생 형태를 나타내고 있다.(김병삼, 1994)

3. 포장 표면처리를 통한 소음 저감 사례

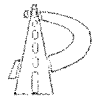
1987년 미네소타에서는 Albert Lea 부근 I-90과 Willmar 부근 TH 12에서 각각 실험 구간을 설치하고, 1994년 소음 측정을 실시하였다. 실험 요소는 26mm~78mm의 다양한 횡방향 타이닝, 아스트로터프 마대 깔기, 아스팔트 포장이다. 실험 결과 가장 소음도가 낮은 표면처리는 아스팔트 구간이고, 다음으로 종방향 아스트로터프 마대 깔기, 26mm횡방향 타이닝 순으로 밝혀졌다. 그리고 차량 속도가 80km/hr에 도달하기 전까지는 타이어/포장의 관계가 소음에 영향을 미치지 않는다는 것으로 결론지었다.(Wisconsin, 2000)

1994년 콜로라도 교통국에서는 덴버 동부지역 부근 I-70 시험구간에 각각 3가지의 일정간격 횡방향 타이닝(13mm, 19mm, 26mm), 횡방향 아스트로터프 마대 깔기, 종방향 아스트로터프 마대 깔기, 임의 간격 횡방향 타이닝 임의간격 횡방향 saw cut(16mm-22mm-19mm), 19mm 종방향 saw cut, 그리고 종방향 아스트로터프 마대깔기 시행 후 일정간격 26mm 횡방향 타이닝 등 총 9가지 종류의 표면형태를 시험 시공하였다. 또한 모든 구간에 종방향 아스트로터프 마대깔기를 실시한 후 타이닝을 적용하였다. 실험은 교통개방 이전과 교통개방 후 1년이 지난 1995년에 각각 실시되었다. 임의간격 횡방향 saw cut과 16mm-22mm-19mm 횡방향 타이닝을 비교한 결과 saw cut에서 차량 내외부 소음 차이가 약 15dB(A) 정도 발생하였는데 saw cut의 타이닝 깊이와 폭이

너무 넓기 때문이었다. 소음이 낮은 표면처리 방법은 종방향 아스트로터프 마대깔기를 한 종방향 타이닝으로 나타났고, 종방향 타이닝보다 saw cut 표면처리 방법에서 4dB(A)정도 높은 소음이 측정되었다.(Wisconsin, 2000)

노스다코타(North Dakota)에서는 I-94에서 9가지 표면처리 방법을 적용하였다. 9가지 방법은 각각 횡방향 타이닝(13mm, 19mm, 52mm, 78mm, 104mm), 26mm 횡방향 사각 타이닝, 19mm 종방향 타이닝, 26mm control, 임의간격 횡방향 타이닝(26mm-52mm-78mm-104mm)이다. 차량 내부, 외부에서 소음도를 측정하였고, 4대의 차량을 이용하였다. 데이터 분석 결과 사각 타이닝과 26, 52, 78, 104mm간격으로 변화할 준 횡방향 타이닝이 가장 적은 타이어/포장 소음을 발생시킨다는 것을 입증하였다. 또한, 내부소음의 경우 횡방향, 종방향, 사각 타이닝의 차이점을 찾지 못하였다. 타이닝 간격이 넓은 구간보다 타이닝 간격이 좁은 13mm 구간에서 소음도가 다소 낮은 것을 볼 수 있다.(Wayson, 1998)

FHWA에서 표면처리 방법에 관한 관심이 증대됨에 따라 위스콘신주에서는 1994년~1997년까지 2단계로 나뉘어서 진행하였다. 1단계 연구는 1994년 트럭전용 도로구간인 Stanley지역부터 Owen까지 16개 콘크리트 구간에 적용하였고, 2단계연구는 Chippewa Fall과 Wausau 사이의 주간선도로(I-29), 약 24km를 선정하여 종방향, 횡방향 사각타이닝, 골재노출, 아스팔트포장 등에서 실험을 진행하였다. 소음측정 방법은 유럽에서 많이 사용하는 길어깨 측정방법을 사용하였고, 시험 차량은 승용차와 트럭으로 분류하여 96km/hr, 104km/hr, 112km/hr의 속도에서 진행하였다. 횡방향 타이닝을 변수로 하여 측정한 결과 간격 18mm에서 가장 낮은 소음값을 보였다. 1000Hz 이상의 주파수에서 타이닝 깊이에 대한 효과를 분석하면 일정간격 25mm 횡방향 타이닝 3mm 깊이는 1.5mm 깊이보다 약 2dB(A)정도 높게 측정되었다.(Wisconsin, 2000) 또한, 1996년 Hibb는 콘크리트 포장에서 80km/hr이상의 속도에서는 차량의



기계적인 소음이 지배하는 것이 아니라 콘크리트 포장면과 타이어의 관계라는 것을 입증하였듯이 (Hibb, 1996) 포장면에서 발생하는 높은음의 소음은 횡방향 임의간격 타이닝으로서 제거할 수 있는 것을 확인하였다. 양질의 콘크리트 품질과 시공성을 바탕으로 임의간격, 즉 10mm~40mm(단, 25mm를 초과하는 간격이 50% 이하)에서 작은 소음이 발생한다. 또한, 소음 발생을 줄이기 위해 종방향 타이닝을 적용하는 연구결과에서 일정간격 20mm 종방향 타이닝이 우수한 소음감소효과를 나타내고 있다.

뉴저지의 연구에서는 1993년 11월 NJDOT에서 몬트빌(Montville) I-287구간 33km를 선정하고, STAMINA라는 소음 예측 프로그램을 이용하여 3가지 타입의 포장표면에서 실험을 진행하였다. 측정방법은 2개의 마이크로폰을 이용하여 일정시간에 한 장소에서 측정하였고, 속도는 96km/hr~112km/hr이다. 단면 설계 요인은 밀입도 아스팔트 2구간, 횡방향 그루빙 포틀랜드 시멘트(25mm간격, 3mm깊이) 6개구간, 종방향 그루빙(재시공 전에는 횡방향 그루빙을 적용한 구간) 1개구간이다. 초기 조사결과 횡방향 그루빙이 소음이 큰 것으로 나타났고, 종방향 그루빙과 아스팔트 포장에서 소음감소 효과를 나타내었다. 1994년 재측정 결과 포장면 소음의 원인은 타이어와 횡방향 그루빙 사이에서 발생하는 것을 알 수 있었고, 포장면 소음은 텍스처와 포장재료 특성에 따라 다르게 나타난다는 것을 입증하였다. 소음은 포장 표면보다 타이어와 도로에서 발생하는 영향이 더 크고, 표면의 특성에 따라 약 10dB(A)의 차이가 발생하였으며, 표면 처리 방법에 따라 1~5dB(A)의 차이를 나타내었다. 측정결과 승용차의 경우 아스팔트 포장이 타이닝을 적용한 콘크리트 포장보다 6.7dB(A) 낮게 측정되었고, 트럭의 경우 4.9dB(A) 낮게 측정되었다. (Dominick Billera, 1997)

오스트리아의 경우 1992년~1994년까지 시드니와 뉴캐슬을 연결하는 고속도로(F3)구간에 각각 마대끝기만 실시한 구간, 3년 공용 후 13mm 횡방향 타이닝, 개립도 아스팔트 포장, 타이닝의 폭과 깊이를

달리하는 등으로 구분하여 시공하였다. 승용차와 트럭으로 구분하여 50km/hr, 65km/hr, 80km/hr의 속도로 3회 반복 측정하였다. 소음 측정결과 아스팔트 구간을 제외하고 깊이가 깊지 않은 횡방향 조직에서 가는 마대끝기(타이닝 폭 2~3mm)로 시공한 포장표면이 소음이 가장 적게 나왔다. (Wisconsin, 2000)

위에서 보인 미 각주의 소음에 대한 결과를 위스콘신주에서 비교 분석하여 발표한 내용을 보면, 종방향 타이닝에서 소음이 감소되는 경향을 보이는 반면 횡방향 타이닝에서 소음이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 각 주별로 비교한 결과 종방향 타이닝의 간격은 18mm가 가장 우수한 소음 감소 효과가 나타났다. 또한 타이닝의 불규칙한 간격이 소음 저감에 효과적이라고 나타났다.

4. 시험시공 및 소음 측정

4.1 시험시공

도로공사에서는 최근 중부 내륙 고속 국도에 시험 도로를 건설하였다. 본 연구에서는 표면별 소음도를 측정 및 비교하기 위해 시험도로구간에 다양한 표면 처리 공법을 적용하였다. 현재 국내에서 보편적으로 시공되고 있는 일정간격(25~30mm) 횡방향 타이닝을 비교구간으로 선정하고 표면 처리에는 18mm 종방향 타이닝, 26mm 종방향 타이닝, 인조 잔디 떼 깔기, 임의간격 횡방향 타이닝 등을 시공하였다. 그림 6~그림 9는 시험도로에 시공된 표면 처리 공법을 나타내고 있다.

4.2 소음 측정

소음 측정은 내부소음과 외부소음으로 나누어 측정하였다. 내부소음은 주행중인 차 안에서 속도와 rpm이 일정하게 유지되었을 때 측정하였으며 외부



그림 6. 18mm 종방향 타이닝

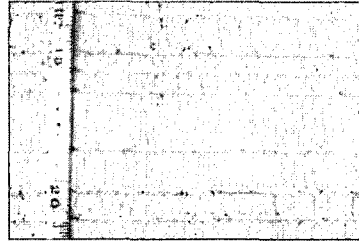


그림 7. 임의간격 횡방향 타이닝

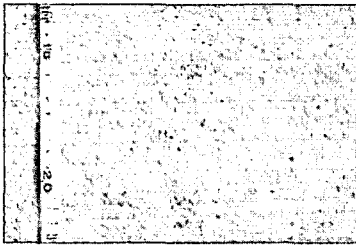


그림 8. 인조잔디 띠 깔기

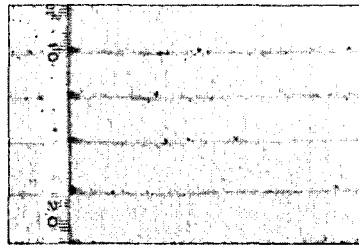


그림 9. 일정간격 횡방향 타이닝(25mm)

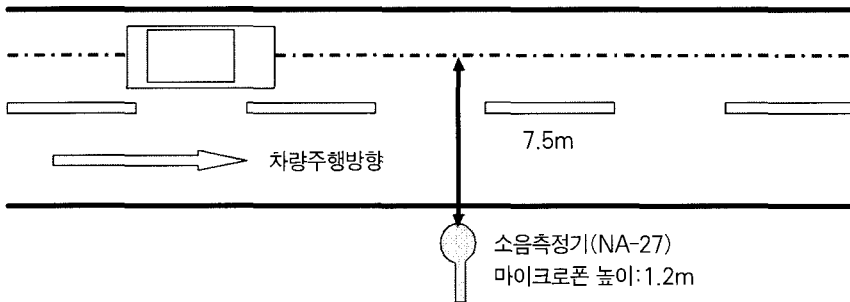


그림 10. 소음 측정 위치

소음은 그림 10과 같이 길어깨 측정방법을 이용하여 차량이 소음기를 통과하는 시점에서 소음값을 기록하였다.

차량은 승용차와 15ton 덤프트럭을 이용하였으며 속도는 60km/h, 80km/h, 100km/h로 나누어 각각의 속도에 대해 3회씩 측정하여 평균값을 산정하였다. 소음 측정용 장비는 1/3 옥타브 분석이 가능한 RION사에서 제작한 NA-27 소음기를 사용하였다.

콘크리트 포장에서 발생하는 소음도와와의 비교를 목적으로 아스팔트 구간을 임의로 선정하여 같은 조

건으로 소음도를 측정하였다.

5. 소음 및 미끄럼 저항값 측정 결과 분석

본 연구에서는 시험 도로에서의 소음 측정값을 토대로 표면처리별 소음 순위를 결정하였고 차량 속도에 따른 소음실측값, 실내·외에서 발생하는 소음값을 비교 및 분석하였다. 또한 주파수 분석을 실시하여 소음 발생에 원인이 되는 중심 주파수대역을 조사하였다.



5.1 공법 및 속도별 비교

승용차의 외부 소음 측정 결과를 보면 콘크리트 표면 처리 구간 중에서 18mm 종방향 타이닝 구간에서 소음 저감 효과가 뚜렷한 것으로 나타났다. 26mm 종방향 타이닝 구간의 경우 비교구간인 일정간격 횡방향 타이닝 구간보다는 소음이 낮게 측정되었으나 인조 잔디 떼끼기 구간과는 큰 차이를 보이지 않았다. 속도가 증가할수록 임의간격 횡방향 타이닝 구간에서 일정간격 횡방향 구간보다 소음값이 낮게 측정되었다. 가장 낮은 소음이 측정된 구간은 아스팔트 구간이다. 60km/h, 80km/h의 속도에서는 18mm 종방향 타이닝 구간과 비슷한 소음도를 나타냈지만 100km/h의 속도로 주행했을 경우 아스팔트 구간에서 낮은 소음이 측정되었다.

승용차의 내부 소음의 경우 18mm 종방향 타이닝에서 다른 구간에 비해 낮은 소음이 측정되었지만 그 밖의 구간에서는 외부 소음과는 달리 표면처리별로 뚜렷한 경향은 찾기 힘들었다. 아스팔트와의 비교에

서는 약 3~4dB(A) 정도 콘크리트 포장에서 소음이 많이 발생하였다.

덤프트럭의 외부 소음에서는 승용차와는 달리 속도가 증가할수록 아스팔트에서의 소음 저감 효과는 줄어들었다. 또한 콘크리트 표면은 타이닝의 간격과 방향에 대해서 소음도의 차이를 볼 수 없었다. 또한 덤프트럭의 내부 소음도 표면별로 큰 차이를 보이지 않았다. 덤프 트럭의 경우 기계적인 소음이 전체 소음에 많은 영향을 준 것으로 판단된다. 표 1은 표면 처리 구간에서 측정한 공법별 평균 소음 측정값을 보여준다.

타이어와 포장간의 소음에 지배적인 영향을 미치는 80km/h 이상의 결과값을 보면 승용차의 경우 18mm 종방향 타이닝에서 가장 소음 저감 효과가 우수하였다. 종방향 타이닝과 횡방향 타이닝을 비교해보면 종방향에서 소음이 적게 발생한 것을 알 수 있다. 그러나 26mm 종방향의 소음 측정 결과를 보면 18mm 종방향 타이닝보다 효과가 떨어지는데 이는 간격이 넓어질수록 타이어와 노면간의 접촉 면적이

표 1. 공법별 평균 소음 측정값

표면 처리 방법	소음 측정값(dB(A))(평균)											
	승용차						트럭					
	차량 내부			차량 외부			차량 내부			차량 외부		
	60 km/hr	80 km/hr	100 km/hr	60 km/hr	80 km/hr	100 km/hr	60 km/hr	80 km/hr	100 km/hr	60 km/hr	80 km/hr	100 km/hr
18mm 종방향	64.3	66.6	68.7	73.8	76.1	79.6	72.4	74.2	79.3	85.5	90.3	92.4
26mm 종방향	65.1	67.7	69.0	75.7	78.7	81.9	72.1	73.6	78.8	84.9	90.2	93.3
인조잔디 떼끼기	65.0	67.6	68.9	75.3	77.8	81.0	71.4	74.0	78.8	87.6	90.9	94.2
임의간격 횡방향	65.4	68.1	69.1	77.2	78.7	82.0	71.7	73.5	79.0	84.4	89.5	92.7
비교구간 (25mm 횡방향)	64.1	68.2	68.8	77.3	79.3	83.7	72.8	73.8	79.6	85.1	89.1	91.8
아스팔트 구간	63.4	63.7	67.1	74.0	76.1	78.9	72.9	73.5	78.6	81.7	89.4	92.2

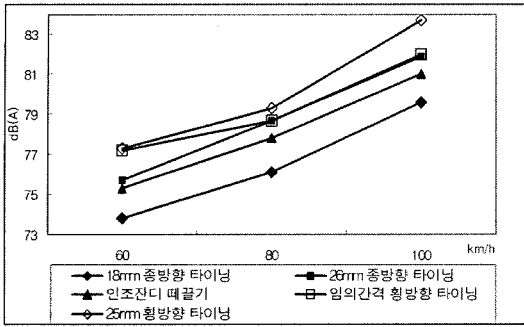


그림 11. 승용차 외부 소음 비교

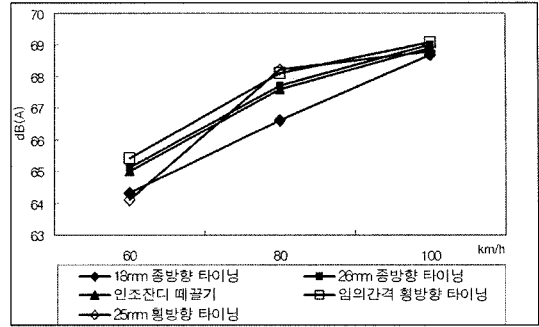


그림 12. 승용차 내부 소음 비교

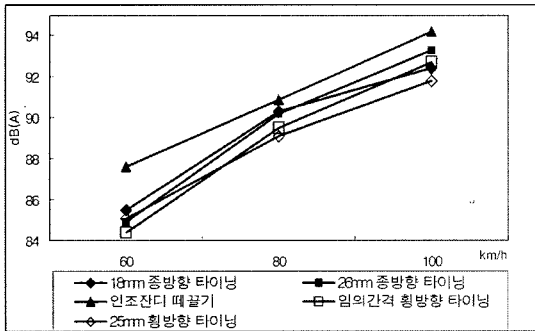


그림 13. 트럭 외부 소음 비교

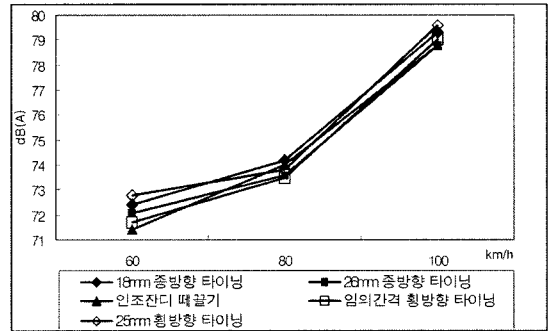


그림 14. 트럭 내부 소음 비교

많아지기 때문인 것으로 판단된다.

임의간격 횡방향 타이닝 구간에서는 승용차의 경우 일정간격 횡방향 타이닝에 비해 소음이 적게 발생하였다. 그러나 소음도의 차이가 크지 않기 때문에 임의간격에 대한 소음 저감 효과를 얻기 위해서는 합리적인 타이닝 간격을 결정할 수 있는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

전체적으로 측정값을 비교해 보았을 때, 그림 6과 같은 18mm 종방향 타이닝의 방법이 가장 좋은 결과를 얻었다. 그림 7에서 보인 임의간격 횡방향 타이닝을 적용했을 경우에 일정간격보다 낮은 소음 측정치가 나왔으며, 인조잔디 떼 끌기와 비교적 간격이 넓은 종방향 타이닝 구간에서는 소음 저감 효과가 떨어졌다.

속도변화에 따른 소음 발생정도를 차종별로 비교

한 결과 타이닝 간격과 속도에 비례하여 증가한다는 것을 알 수 있다. 승용차와 트럭의 내부소음 측정결과 초기 60km/hr에서는 소음발생 정도가 불규칙하게 분포하지만, 속도가 증가할수록 확실히 구별됨을 볼 수 있다. 저속으로 주행시 소음 발생이 불규칙한 이유는 차량의 기계적인 소음을 배제할 수 없었기 때문이라고 판단된다. 그림 11과 그림 12는 각각 승용차의 외부 및 내부 소음을 속도 변화에 따라 구분한 그림이고 그림 13과 그림 14는 트럭의 외부 및 내부 소음을 나타내고 있다. 트럭의 경우 표면 처리 구간에 따라 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 주행중에 발생하는 타이어/포장 소음보다는 엔진 등에서 발생하는 기계적인 소음이 전체 소음에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.



5.2 주파수 분석

차량이 도로를 80km/hr 이상으로 주행시 차량의 기계적인 소음보다 포장면과 타이어에서 발생하는 소음이 지배적이라는 연구결과가 있으나, 트럭의 경우 차량 엔진 자체에서 발생하는 기계적인 소음 때문에 낮은 파장의 주파수를 발생시킨다. 일반적인 주파수 분포는 승용차의 경우 1000Hz, 트럭의 경우 500Hz내외이다. 따라서 기계적 소음이 큰 트럭의 경우 낮은 주파수대역에서 소음이 발생하고 승용차

의 경우에는 기계적인 소음보다 포장면에서 발생하는 소음이 지배적이기 때문에 높은 주파수대역에서 발생하는 것이다.

그림 15와 그림 16은 각각 승용차와 트럭이 100km/h의 속도로 주행했을 경우의 외부 소음 결과에 대한 주파수 분석을 나타낸 그래프이다. 승용차의 경우 표면 처리 구간별로 소음도는 다르지만 주파수 분석 결과 공통적으로 1000Hz 이상의 고주파수 영역에서 피크치를 나타내고 있다. 타이어/포장에서 발생하는 소음의 주파수 영역인 1000Hz부근에서 전체 소

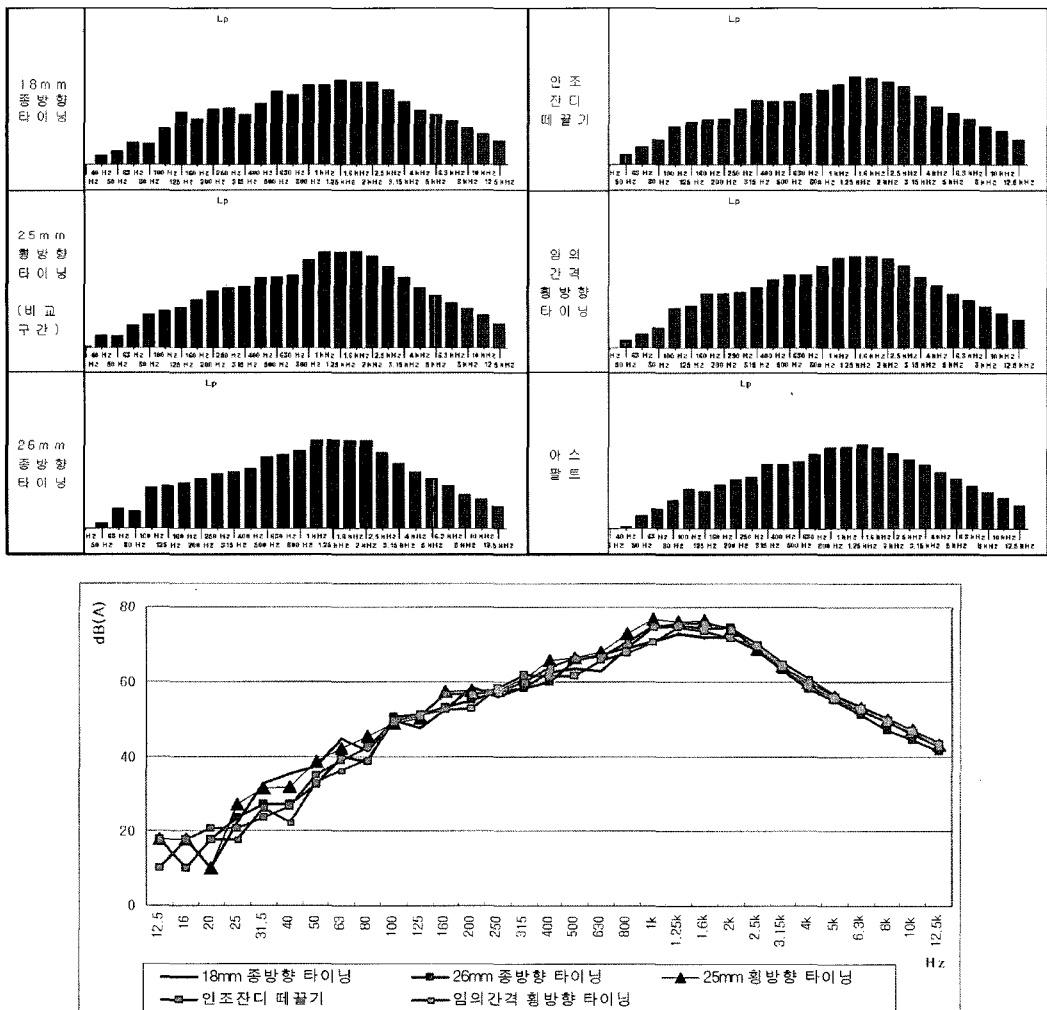


그림 15. 승용차의 외부 소음 주파수 분석(100km)

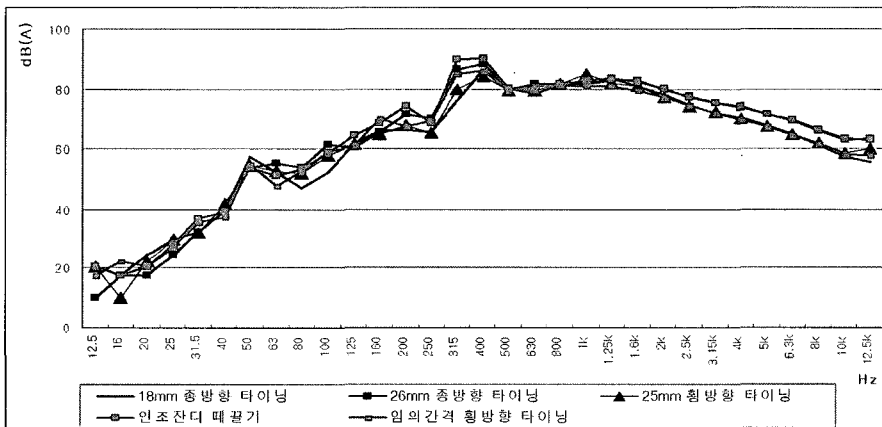
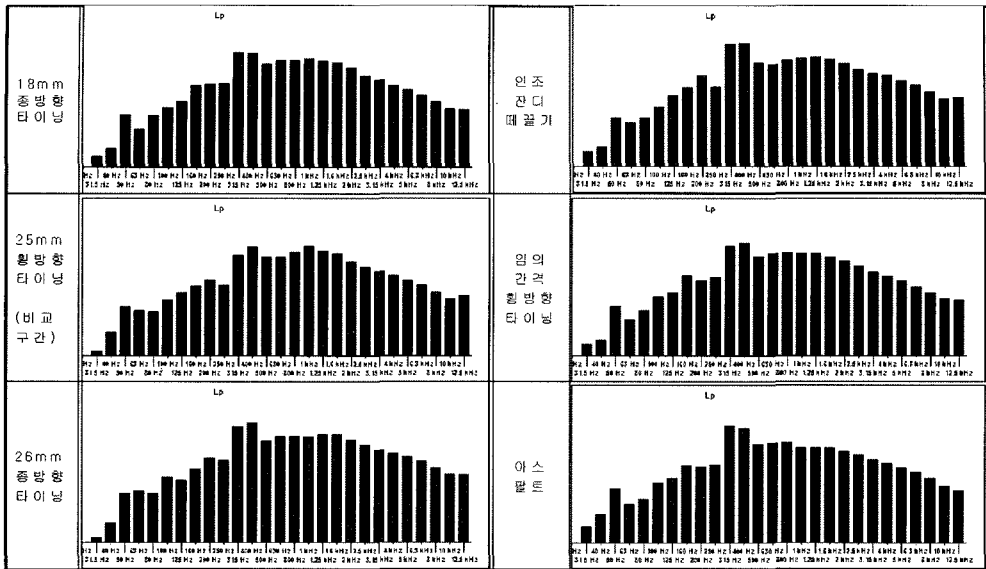


그림 16. 트럭의 외부 소음 주파수 분석(100km)

음도에 큰 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다. 가장 소음이 적게 발생한 18mm 종방향 타이닝의 주파수 분포 형태를 보면 다른 구간에 비하여 1000Hz 부근에서 낮은 소음도를 나타내고 있으며 전체적인 주파수 대역에서 고르게 음이 분산되어 있음을 볼 수 있다.

트럭의 외부 소음 분석 결과를 보면 200~600Hz 정도의 저주파수 범위에서 피크치를 나타내고 있으며 속도가 증가하면서 타이어에서 발생하는 소음의 주파수 범위인 1000Hz 부근에서 점차 증가하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 25mm 횡방향 타이닝 구간은

1000Hz 부근에서 다른 구간에 비하여 높은 소음도를 기록했다. 그러나 전체적으로 낮은 주파수 대역에서 주된 소음이 발생하고 있다. 이는 트럭의 경우 타이어/포장에서 발생하는 소음보다 기계적인 소음이 전체 소음에 큰 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

차량의 내부소음에 대한 주파수 분석결과 외부소음과는 다른 형태를 보였다. 그림 17은 승용차가 100km/h로 주행할 때 내부 소음에 대한 주파수 분포를 나타내고 있다. 이를 살펴보면, 전체적으로 고른 주파수 배열을 볼 수 있다. 1000Hz 부근에서 피

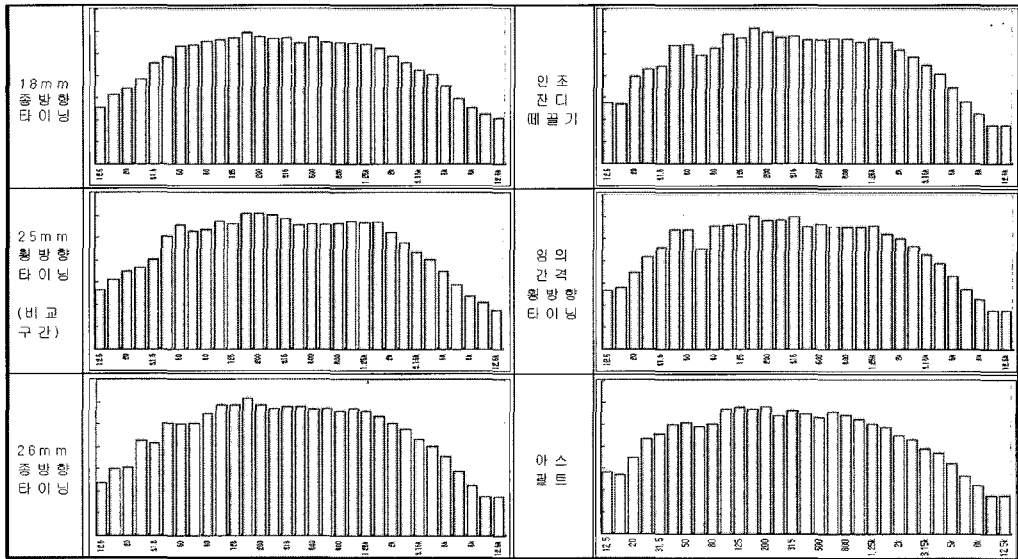


그림 17. 승용차의 내부 소음 주파수 분석(100km)

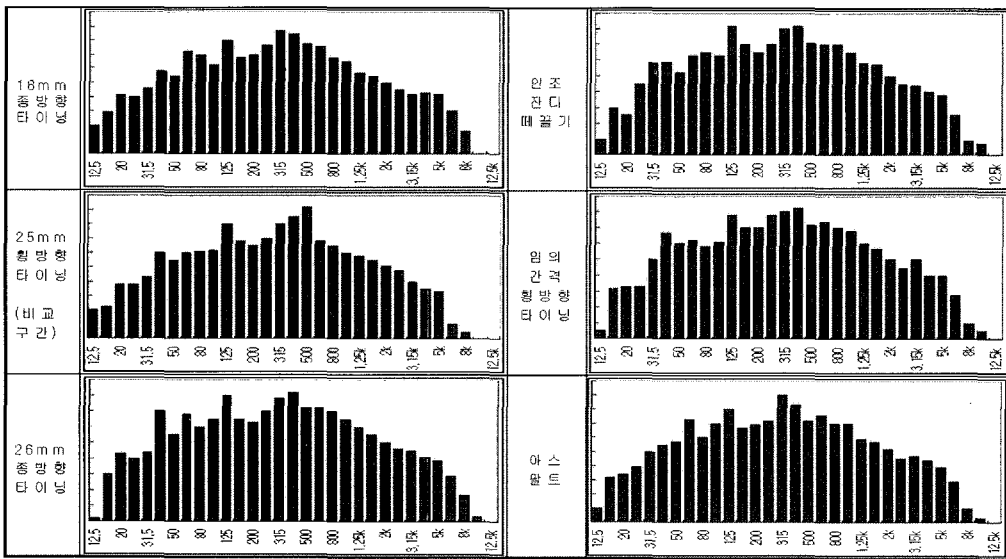


그림 18. 트럭의 내부 소음 주파수 분석(100km)

크를 보이던 외부소음과는 달리 저주파수 대역에서도 높은 소음이 발생하고 있고 이는 기계적인 소음이 전체 소음에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

트럭의 경우에도 승용차와 비슷한 경향을 보이고 있다. 트럭은 엔진 등의 기계적 소음이 주로 발생하는 500Hz 부근에서 피크치를 나타내고 있다. 그러

나 그림 18과 같이 고속으로 달리는 경우, 1000Hz 대의 고주파수 부근에서도 높은 소음이 발생한 것을 볼 수 있다. 트럭은 외부와 내부의 주파수 형태가 비슷한 것으로 나타났고 이는 타이어와 포장간의 소음 보다 엔진음과 같은 기계적 소음에 영향을 많이 받은 결과라고 판단된다.



5.3 미끄럼 저항 측정

안전성에 관련한 구간별 미끄럼 저항성을 비교하기 위해 시험 도로에 대하여 미끄럼 저항 시험을 실시하였다. 본 미끄럼 저항 측정에 사용된 시험기는 한국 도로 공사에서 개발한 미끄럼 저항 측정 장비와 일본에서 개발된 동적 마찰 측정기로 각 표면 구간에 대해 실시하였다. 그림 19와 그림 20은 각각 미끄럼 저항 측정 장비와 동적 마찰 측정기를 나타내고 있다.

미끄럼 저항 측정 장비는 각각 40km/h와 65km/h로 정속 주행하면서 일정한 양의 물을 살수하여 강우 현상을 재현하면서 5초간 측정하였고 장비 바퀴의 브레이크를 작동시켜 살수된 포장 표면을 미끄러지는 상태에서 미끄럼 저항값을 측정하였다. 동적 마찰 측정기는 시험 단면의 측정 지점에 물을 뿌린 후 측정 속도를 40, 65, 80km/h로 나누어 마찰 계수를 산정하였다.

표 2에서는 미끄럼 측정 장비를 이용한 콘크리트 포장 표면에 대한 미끄럼 저항값 측정 결과를 나타내고 있다. 측정 속도 40km/h에서의 측정 결과 인조 잔디 폐결기에서 미끄럼 저항 값이 가장 높았다. 임의간격 횡방향 타이닝과 25mm 횡방향 타이닝에서 SN59~67의 값을 기록했으며, 종방향 타이닝 구간의 경우 비교적 낮은 미끄럼 저항값을 보였다.

측정 속도가 65km/h인 경우 인조잔디 폐결기와 횡방향 타이닝 구간에서 SN57~58의 비슷한 수치를 보였고 종방향 타이닝 구간에서는 이보다 낮은 SN52~53의 값이 측정되었다.

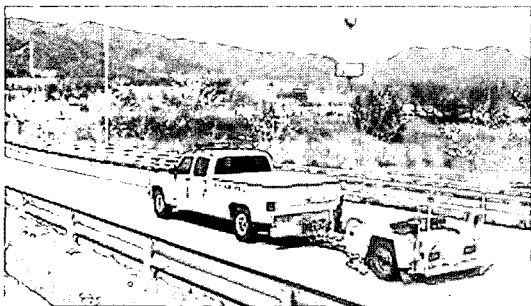


그림 19. 미끄럼 저항 측정 장비

동적 마찰 측정기를 이용하여 구한 결과는 표 3과 같다. 각각의 속도에 따른 결과를 보면 인조 잔디 폐결기 구간에서 가장 높은 값을 보였다. 18mm 종방향 구간에서 비교적 낮은 수치를 기록했지만 전체적으로 비슷한 마찰 계수값이 측정되었다.

미끄럼 측정 장비와 동적 마찰 측정기에 대한 실험 결과 종방향 타이닝 구간은 횡방향 타이닝 구간에 비해 낮은 미끄럼 저항값을 보였다. 또한 타이닝이 시공되지 않은 인조 잔디 폐결기 구간에서 높은 미끄럼 저항성을 나타냈다. 측정 결과들은 타이닝 방향별로 차이가 있지만 전반적으로 높은 미끄럼 상태를 나타냈다. 그러나 본 측정 구간은 교통 개방이 이루어지지 않은 신설 포장 조건이었으며 측정된 값들은 시공 초기 단계 값이므로 교통 개방 이후의 지속적인 측정이 필요할 것이다.

6. 결 론

본 연구는 다양한 표면처리 공법에 따른 소음도를 비교·분석하여 소음 감소효과에 적합한 시공법을 제안하는데 역점을 두고 수행하였다. 기존 문헌조사 결과 종방향 타이닝이 소음감소 효과에 우수한 결과를 보인다는 것을 바탕으로 국내 시험도로 일부구간에 표면처리 방법을 적용하였다. 또한 각 구간에 대한 미끄럼 저항값을 측정하여 표면 처리 구간에 대한 안전성을 고려하였다. 적용된 표면처리 공법에 대한 소음 측정 분석 및 미끄럼 저항값에 대한 결과는 다

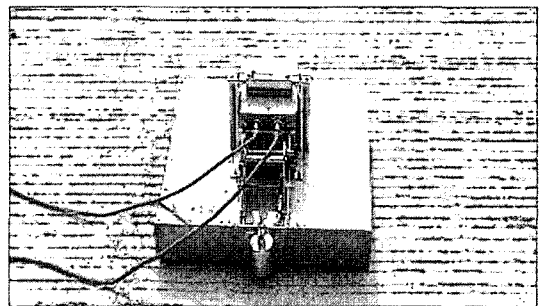


그림 20. 동적 마찰 측정기

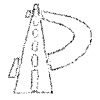
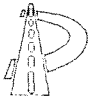


표 2. 측정 속도에 따른 표면처리별 미끄럼 저항값(미끄럼 저항 측정 장비)

측정 속도 (km/h)	표면처리		측정 값				평균 SN
	규격	측정위치	1차	2차	3차	4차	
40	18mm 종방향	종 1-1	58	57	56	-	57
		종 1-2	63	65	58	-	62
	26mm 종방향	종 2-1	55	55	57	-	56
		종 2-2	62	65	57	-	61
	인조 잔디 떼끌기	횡 1-1	73	73	70	-	72
		횡 1-2	72	72	74	-	73
	임의 간격 횡방향	횡 2-1	66	67	68	-	67
		횡 2-2	60	58	59	-	59
25mm 횡방향		67	66	65	60	65	
65	18mm 종방향	종 1-1	53	53	54	-	53
		종 1-2	-	-	-	-	-
	26mm 종방향	종 2-1	44	59	-	-	52
		종 2-2	-	-	-	-	-
	인조 잔디 떼끌기	횡 1-1	55	58	58	-	57
		횡 1-2	-	-	-	-	-
	임의 간격 횡방향	횡 2-1	57	58	59	-	58
		횡 2-2	-	-	-	-	-
25mm 횡방향		60	58	57	-	58	

표 3. 표면 처리별 마찰 계수(동적 마찰측정기)

측정 속도 (km/h)	표면처리		측정 값			평균 f
	규격	구분	1차	2차	3차	
40	18mm 종방향	종방향 1	0.70	0.70	0.59	0.66
	26mm 종방향	종방향 2	0.74	0.74	0.78	0.75
	인조 잔디 떼끌기	횡방향 1	0.83	0.83	0.79	0.81
	임의 간격 횡방향	횡방향 2	0.72	0.70	0.69	0.70
	25mm 횡방향	일반	0.75	0.74	0.69	0.73
65	18mm 종방향	종방향 1	0.61	0.57	0.47	0.55
	26mm 종방향	종방향 2	0.62	0.67	0.67	0.65
	인조 잔디 떼끌기	횡방향 1	0.78	0.78	0.76	0.77
	임의 간격 횡방향	횡방향 2	0.68	0.68	0.67	0.68
	25mm 횡방향	일반	0.68	0.67	0.65	0.67
80	18mm 종방향	종방향 1	0.38	0.43	0.45	0.42
	26mm 종방향	종방향 2	0.46	0.56	0.60	0.54
	인조 잔디 떼끌기	횡방향 1	0.61	0.63	0.65	0.63
	임의 간격 횡방향	횡방향 2	0.47	0.51	0.51	0.50
	25mm 횡방향	일반	0.45	0.48	0.52	0.48



음과 같다.

1. 전체 소음도를 비교한 결과 일정간격 18mm 종방향 타이닝이 다른 비교구간보다 약 23dB(A)의 소음 감소 효과가 있는 것으로 판단된다. 아스팔트 포장은 콘크리트 포장에 비해 우수한 소음 감소 효과를 보였지만 차량의 고속 주행시 또는 중차량에 대해서는 큰 차이를 보이지 않았다.
2. 임의간격 횡방향 타이닝의 경우 25mm 횡방향 타이닝 구간에 비해서 다소 낮은 소음이 측정되었지만 종방향 타이닝 공법과 비교했을 때는 효과가 미비한 편이었다. 따라서 소음 저감에 효과적인 임의간격을 결정하는 연구가 필요하다.
3. 차량 내부 소음 측정결과 표면처리 방법에 따라 소음 정도가 큰 폭으로 변화하지 않은 것으로 나타났다. 하지만 아스팔트 포장은 콘크리트 포장에 비해 소음 저감 효과가 뚜렷하게 나타났다. 따라서 콘크리트의 표면 처리에 의해서 내부소음을 줄일 수 있는 연구가 지속되어야 할 것이다.
4. 18mm 종방향 타이닝과 26mm 종방향 타이닝을 비교한 결과 18mm에서 소음 저감 효과가 우수한 것으로 나타났다. 종방향 타이닝 공법의 경우 합리적인 타이닝 간격을 도출하는 연구가 뒤따라야 할 것이다.
5. 주파수 분석을 실시한 결과 승용차와 트럭의 외부 소음은 각각 1000Hz와 500Hz에서 주된 소음이 일어나는 것으로 나타났다. 그러나 내부소음의 경우에는 타이어와 포장간의 소음보다는 기계적인 소음이 큰 영향을 주는 것으로 생각된다.
6. 각 표면 처리 구간에 대한 미끄럼 저항값 측정 결과 종방향 타이닝 구간이 횡방향 타이닝 구간과 인조잔디 떼끼기 구간에 비해 낮았다. 동적 마찰 측정기로 측정한 결과 역시 종방향 타이닝 구간이 마찰 계수가 타 구간에 비해 낮게 측정되었다. 그러나 두 측정값 모두 큰 차이를 보이지 않았으며 전 구간에 걸쳐 대체로 높은 수치를 기록했다. 이는 시공 초기에 측정된 값으로 공용 이후에 지속적인 측정이 필요할 것이다.

참고문헌

1. 김장호, 장부규, 소음 진동 제어 공학, 지구 문화사, 1. 1996
2. 소음 예측기법 및 방음시설 설계기준 2001년 연구보고서, 한국도로공사, 2001
3. 김병삼, 홍동표, 타이어와 소음, 한국소음진동공학회 지 제4권 제4호, 1994
4. Ulf Sandberg, Jerzy A. Ejsmont, *Texturing of Cement Concrete Pavement to Reduce traffic Noise Emission*, TRB, 1998
5. K. Hieronimus, G. Hellener, *Reduction of car sound emission by means of systematic development work*, Unikeller conference 91, 1991
6. Roger L. Wayson, *Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise*, NCHRP Synthesis 268, 1998
7. Wisconsin Department of Transportation, *Noise and Texture on PCC Pavements* June, 2000
8. Utah Department of Transportation, *Road Pavement Grinding Noise Study*, November, 2000
9. ACPA Special Report, *Concrete Pavement Surface Texture*
10. Report on *Tire Noise Along Interstate Route I-95 In The Town of Harrison*, New York, New York State Thruway Authority, May, 2001
11. Dominick Billera, Bela Schmidt, Wayne Miller, *Stop the Whine! Narrow Band Level Measurements of Three Highway Pavements*, January.1997
12. Hibbs, B.O, and R.M. Larson, *Tire Pavement Noise and Safety Performance*, FHWA Final Report, FHWA-SA-96-068, May, 1996

<접수 : 2004. 9. 10>