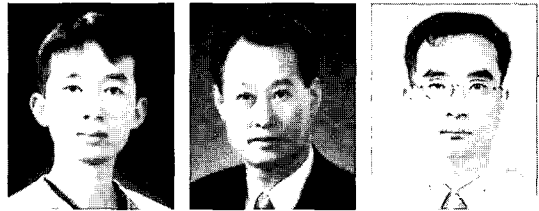


# 종방향 타이닝 및 랜덤 타이닝을 활용한 콘크리트 포장의 소음저감



류 성 우 | 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정

최 태 희 | 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정

조 윤 호 | 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수

## 1. 서론

국가 산업의 급속한 성장으로 인적·물적 교류가 활발해지자 이를 뒷받침하기 위한 도로의 신규 및 확장사업이 지속적으로 진행되고 있다. 전국의 자동차 등록대수는 2003년에 1,400만대를 넘어섰다(통계청, 2004). 이와 함께 차량의 대형화·고속화에 따라 도로 이용자 및 도로 주변의 주민들에 대한 교통소음은 점차 악화되고 있다. 도로 교통소음은 주행 중에 있는 운전자에게 지속적인 소음의 노출로 인해 피로를 가중시키며 도로 주변에 존재하는 생물체에게는 스트레스에 따른 불쾌감 및 불면증 등 각종 정신적, 육체적 질환의 원인이 되기도 한다. 전국 9개 도시 43개 지역의 4,315 명을 대상으로 소음인식도에 관한 여론을 조사한 결과, 그림 1과 같이 시급히 개선해야 할 소음원으로 교통소음을 선정하였다(통계청, 2001~2002).

이와 같이 심각한 교통소음을 저감하기 위한 대안 대책으로 도로 관리 부서에서는 방음벽, 방음뚝 등을 설치하였지만 관련 예산의 증액은 물론 주변 환경의 미관에도 좋지 않은 영향을 미치고 있다. 또한 이러한 방법은 소음을 간접적으로 차단하는 방법에

그쳐, 근본적인 소음 문제를 해결하지 못한다. 따라서 국외에서는 도로 포장 재료개발에 대한 연구를 통해 이를 해결하려하고 있다.

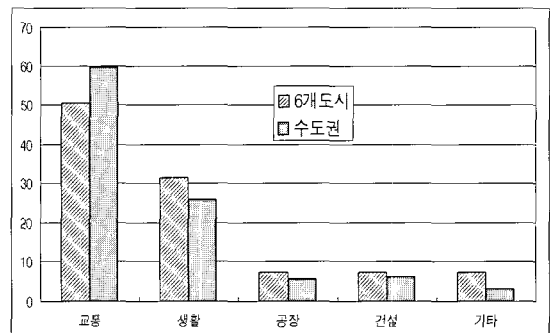


그림 1. 가장 시급히 개선해야 할 소음/진동  
(조사기관: 소비자문제를 연구하는 시민의 모임, 한국 갤럽)

일반적으로 도로 포장용 재료는 크게 콘크리트 포장과 아스팔트 포장으로 나뉜다. 콘크리트 포장은 아스팔트 포장과 비교했을 때, 유지관리가 용이하고 설계 수명이 길기 때문에 널리 쓰이고 있다. 문헌조사에 따르면, 2001년 8월에 경부선, 중부선, 영동선, 남해선, 호남선, 구마선, 동해선의 포장 형식에 대한 구성비를 조사한 결과 콘크리트가 46% 정도임을 알 수 있다(한국도로공사, 2001). 콘크리트는 내

구성과 마찰 저항성의 측면에서 아스팔트에 비해 우수하지만, 소음이 비교적 많이 발생하는 문제가 있다. 국내외에서는 콘크리트 포장의 소음 문제를 해결하기 위해서 다양한 표면처리 공법을 적용하고 있으며 이들 중 오래전부터 종방향/횡방향 타이닝 공법이 하나의 대안으로 고려되고 있다.

## 2. 타이닝 종류

신설포장에 적용되는 타이닝은 방향에 따라 크게 횡방향 타이닝과 종방향 타이닝으로 구분된다.

### 2.1. 횡방향 타이닝

횡방향 타이닝은 80km/h 이상의 속도로 차량이 주행하는 신설 콘크리트 포장 구간의 표면처리 방법으로 주로 사용된다. 높은 미끄럼 저항성과 내구성이 특징이며, 타이어와 포장 표면사이에서의 배수로 역할을 수행하여 수막현상을 줄일 수 있다. 수명은 30년 이상으로 높은 수준의 미끄럼 저항성을 제공하지만 포장면과 타이어 사이에서 white 현상이 발생하여 소음을 크게 한다. 1970년대 중반 이후 횡방향 타이닝 방법이 널리 퍼지면서 미끄럼 저항값과 소음에 관한 연구가 폭넓게 이루어져 왔다. 횡방향 타이닝에 의해 발생하는 소음은 타이닝 깊이, 폭, 간격과 관계가 깊은 것으로 밝혀졌다.

### 2.2. 종방향 타이닝

종방향 타이닝은 횡방향 타이닝만큼 많이 사용되지는 않지만 곡선부 도로에서 미끄러져 이탈되는 것을 방지함으로써 높은 미끄럼 저항값을 제공하며 횡방향 타이닝보다 소음이 적은 장점도 있다. 종방향 타이닝은 포장표면에서 배수 시간이 길기 때문에 낮은 미끄럼 저항값을 나타낸다. 이러한 표면 배수에 관한 문제는 특히 강수량이 많은 곳에서 중단 구배

가 거의 없을 경우에 나타나는데 이는 경사도를 일부(2~2.5%) 증가시킴으로써 해결할 수 있다.

### 2.3. 타이닝 간격 및 깊이

#### 2.3.1. 타이닝 간격

13mm의 일정한 간격의 횡방향 타이닝은 white 현상을 일으키는 반면 랜덤한 타이닝 간격은 소음을 감소시키는 것으로 나타났다(Hoerner, 2002). 10mm~76mm 사이에서 되풀이되는 랜덤한 횡방향 타이닝 간격은 특별하게 제작된 시공장비를 사용하면 가능할 것이다. Hoerner 등은 기상의 영향을 받지 않는 적정 간격으로 10mm~51mm가 합리적이라고 하였다.

#### 2.2.2. 타이닝 깊이와 폭

좁고 깊은 타이닝 홈은 넓고 얇게 한 것보다 측정된 소음값이 작게 나타난다. 소음을 줄이기 위해 실제 타이닝 너비는  $3\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 이고 타이닝 깊이는 3~6mm 사이가 되도록 한다.

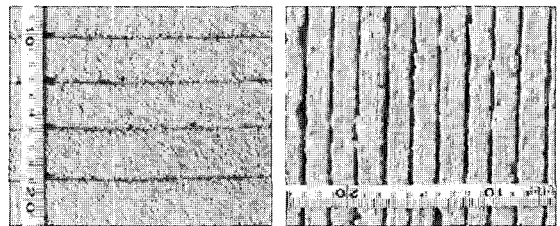


그림 2. 횡방향 타이닝 및 종방향 타이닝

## 3. 랜덤 타이닝의 소음 저감 메커니즘

소음 발생의 원인 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 공기 펌핑과 피치 소음이다. 공기 펌핑은 타이어 트래드 홈과 포장면 사이에 갇힌 공기가 밖으로 빠져나가지 못하고 압축 및 팽창으로 인하여 발생한다. 따라서 포장 표면 처리에 따라 공기가 빠져나갈 수 있는 홈의 적절한 간격과 깊이에 대한 고려

가 필요하다. 피치 소음은 반복적인 충격으로 인해 발생하는 것으로 트래드 패턴과 도로 표면과의 충격이 주기적으로 발생하게 되면 그림 3과 같이 일정한 주기를 형성하게 되고 순음(pure tone)에 가까운 음을 만들게 된다. 순음은 일반적으로 인간의 귀에 불쾌하게 작용하는 것으로 알려져 있기 때문에 특정한 주파수의 소음이 크게 발생하는 것을 피하기 위해서 기계적인 주파수 변조(mechanical frequency modulation) 이론을 이용하여 포장 표면의 타이닝에 대한 배열을 설계하는 것이 중요하다. 즉, 표면 조직의 형태(간격, 폭, 깊이) 설계와 타이어에 대한 트래드 패턴의 배열을 통해 충격음으로부터 형성되는 피크(peak)를 여러 개로 분산시켜서 그림 3의 오른쪽 그림과 같이 피치 소음으로 인한 소음을 줄일 수 있게 된다.

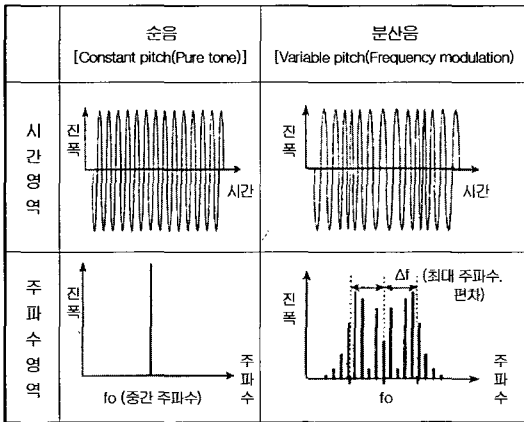


그림 3. 패턴 소음에 대한 주파수 변조

킬 수 있는 다양한 콘크리트 포장의 표면에 대해 실험을 진행하였다. 주행 차량 실외 소음 측정법(pass-by method)과 근접 소음 측정법(close proximity method)으로 승용차의 실내외 소음을 측정된 결과 골재 노출 공법과 종방향 그루빙 공법, 임의간격 종방향 타이닝에서 소음 저감 효과를 볼 수 있었다. 횡방향 타이닝 처리에서는 일정한 주파수 주기를 형성하게 되고 whine음을 발생시킬 수 있다고 결론 내었다(문한영, 2004). 중앙대학교는 중부 내륙 시험도로에서 포장 표면에 따른 소음 감소의 기초 연구를 진행하였다. 다양한 표면처리 공법에 따른 소음값 및 주파수 분석, 통계분석 결과를 바탕으로 국내 콘크리트 표면처리 방법을 통해 소음을 줄일 수 있음을 확인하였다(중앙대학교, 2002).

한국타이어 소음연구팀은 콘크리트 포장에서 다양한 조건에 대한 차량 소음의 변화를 연구하였다. 실외 및 실내 소음에 대한 주파수 분석 결과 공통적으로 1000Hz 근처에서 피크를 기록했으며 실내 소음과 실외 소음에 대한 주파수는 비슷한 형태를 띠었다. 또한 그림 4와 같이 콘크리트 포장 표면의 거친 정도에 따라 실내 소음을 측정된 결과 콘크리트 표면이 거칠수록 실내 소음이 높게 측정되었다. 주파수 분석에서도 표면별로 912Hz~1249Hz의 범위에서 가장 높은 소음이 발생했다(이상주, 2004).

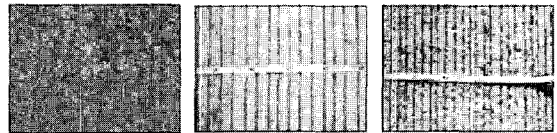


그림 4. 소음 측정 실험 구간의 콘크리트 포장 종류 (이상주, 2004)

## 4. 타이닝 공법의 소음 저감 사례 조사

### 4.1. 국내 적용 사례조사

국내 콘크리트 포장에 횡방향 타이닝은 오래전부터 적용되어 왔으며 이는 미끄럼 저항성을 증진시키기 위한 것이 주목표였다.

한양대학교는 문한영 교수팀은 교통소음을 저감시

### 4.2. 국외 적용 사례조사

미국의 경우 초벌마무리, 평탄마무리는 국내의 경우와 큰 차이가 없지만 거친면 마무리의 경우에는 다소 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. 가장 일반적인 경우는 버랩 끌기 이후에 2~3mm의 폭을 갖고, 3

~5mm의 깊이를 갖는 타이닝을 설치하는 것으로 보고되고 있다(Massachusetts, 1995). 테네시주의 경우에는 이런 타이닝의 간격을 8~25mm 또는 13~25mm로 임의간격으로 배치하는 것을 시방기준에 명시하고 있으며, 사우스다코다주, 미시시피주 등과 같은 곳에서는 5mm 깊이의 타이닝을 25mm의 등간격으로 설치하는 것을 원칙으로 하고 있다(South Dakota, Tennessee, 1997).

위스콘신 도로국에서는 2000년 콘크리트 포장위에 다양한 표면처리 공법을 비교한 문헌조사 결과를 발표했다. 이를 근거로 미국의 타 주 및 호주의 횡방향 타이닝 관련 연구 경향을 살펴보았다(Wisconsin, 2000).

미 콜로라도주에서는 9가지 종류의 포장 표면을 시험 시공하였으며 모든 구간에 종방향 아스트로 마대 끌기를 실시한 후, 타이닝을 적용하여 시공시, 공용 1년 후의 소음도를 평가하였다. 표면처리에 따른 소음 측정 결과 종방향 인조잔디 마대끌기/종방향 타이닝과 종방향 마대끌기/무타이닝 표면 구간에서 우수한 소음 저감 효과를 나타냈다. 임의간격 횡방향 타이닝과 균일한 간격의 횡방향 타이닝 단면을 비교해보면 오히려 임의간격에서 소음이 많이 발생하고 있다. 또한 타이닝 간격이 좁을 수록 소음이 적게 발생했다. 종방향 타이닝으로 시공된 표면이 횡방향 타이닝 구간에 비해 약 2~3dB(A) 정도 소음 저감 효과를 보이고 있다. 실험결과 평균적으로 횡방향 그루빙 포장이 소음 저감에는 더 효과가 있는 것으로 나타났다. 표 1은 콜로라도 시험 구간에서의 소음 측정 결과를 보인 것이다(Wisconsin, 2000).

노스다코타(North Dakota)에서도 다양한 타이닝 종류에 대한 소음도를 평가하였다. 차량 실외 소음도 측정 결과 횡방향 사각(skew) 타이닝과 임의간격 횡방향 타이닝에서 가장 적은 소음이 발생된 것으로 나타났다. 실험 조건은 다르지만 앞서 콜로라도의 경우 임의간격 횡방향에 대한 소음도가 가장 좋지 못했던 점과 상반되는 결과이다.

미네소타주에서는 콘크리트 포장에 적용된 6가지

의 표면 조직과 3종류의 아스팔트 포장을 비교하는 연구 결과가 발표되었다. 실험 요소는 26mm~78mm의 다양한 횡방향 타이닝, 인조 잔디 끌기, 아스팔트 포장이다. 실험 결과 아스팔트 포장구간에서 가장 낮은 소음이 측정되었고, 인조 잔디 끌기와 26mm 횡방향 타이닝 순으로 낮은 소음도를 나타냈다. 차량 속도가 80km/hr에 미치지 않을 경우 타이어와 포장간의 소음은 전체 발생 소음에서 많은 영향을 주지 않는 것으로 결론지었다. 밀입도 아스팔트 포장과 비교하여 콘크리트 포장의 횡방향 타이닝의 경

표 1. 콜로라도 시험 구간(I-70 Deertrail)  
(Wisconsin, 2000)

구 분	105km/hr 주행시 측정 소음(dB(A))					
	차량실내		차로중심에서 7.5m		Wheel Well (바퀴후미)	
	1994	1995	1994	1995	1994	1995
버렙 마대끌기 /횡방향 타이닝 (균일한 25mm)	68	67	89	87	104	107
횡방향 인조잔디 마대 끌기/무 타이닝	67	66	87	83	102	104
종방향 인조잔디 마대 끌기/횡방향 타이닝 (무작위)	68	68	90	88	103	106
종방향 인조잔디 마대 끌기/횡방향 타이닝 (균일한 13mm)	68	68	87	86	102	105
종방향 인조잔디 마대 끌기/횡방향 그루빙 (무작위)	66	67	88	86	103	106
종방향 인조잔디 마대 끌기/횡방향 타이닝 (균일한 25mm)	67	67	87	86	102	105
종방향 인조잔디 마대 끌기/종방향 그루빙 (균일한 19mm)	66	66	85	82	99	103
종방향 인조잔디 마대 끌기/무 타이닝	66	65	84	82	99	101
종방향 인조잔디 마대 끌기/종방향 타이닝 (균일한 19mm)	68	67	88	84	101	104

우 비가 오는 동안에는 물이 튀어서 발생하는 소음이 적게 발생했다. 하지만 실내와 실외의 소음차이는 크게 효과가 없는 것으로 나타났다.

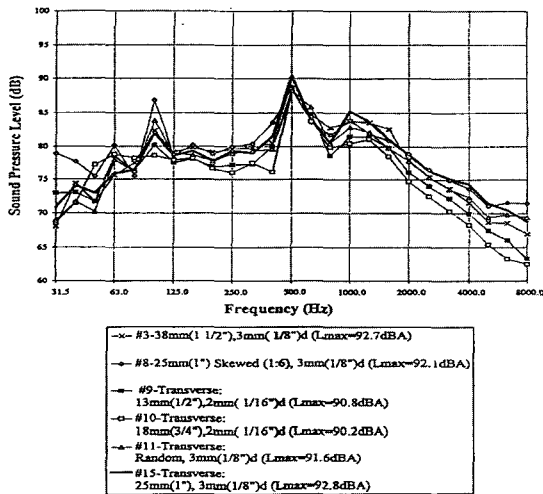
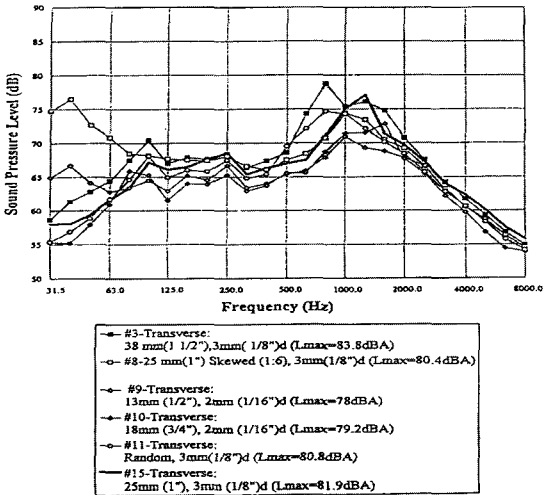


그림 5. 실외소음 비교

(상:승용차, 하:트럭 -96km/hr) (NCHRP Synthesis 268)

위스콘신주에서는 저소음 포장의 시험시공을 통해 활발한 연구를 수행하였다. 소음측정 방법은 유럽에서 많이 사용하는 길어깨 측정방법을 사용하였고, 시험 차량은 승용차와 트럭으로 분류하여 96km/hr, 104km/hr, 112km/hr의 속도에서 진행하였다. 그림

5의 상부 그래프는 위스콘신에서 승용차 주행시 여러 횡방향 타이닝에 따른 주파수 스펙트럼의 변화를 보여주고 있다. 지배적인 주파수는 횡단면 타이닝에 대한 소음이 정점(peak)에 의해 생긴다. 지배적인 주파수는 차량 속도와 타이닝 간격에 따라 변한다. 횡방향 타이닝의 변수로 측정한 결과 13mm 및 18mm 횡방향 타이닝 간격이 가장 낮은 소음도를 보였다. 그림 5의 하부 그래프에서는 트럭을 이용하여 측정한 결과로 소음 발생원인이 되는 주파수 분포는 500Hz에서 집중되어 발생하는 것을 알 수 있었다. 소음 발생원인을 제공하는 주파수 대역을 보면 중심 주파수가 트럭에서는 500Hz 부근, 승용차에서는 1000Hz 부근에서 발생된다고 볼 수 있다. 또한 콘크리트 포장에서 80km/hr 이상의 속도에서는 타이어/포장 소음이 지배적이란 것을 입증하였고 포장면에서 발생하는 높은 소음은 임의간격 타이닝으로 제거할 수 있다고 하였으며 현장 적용시 많은 주의가 필요하다고 지적하였다. 양질의 콘크리트 품질과 시공성을 바탕으로 임의간격, 즉 10mm~40mm(단, 25mm를 초과하는 간격이 50% 이하)에서 소음 발생이 낮음을 확인하였다.

호주의 Samuel은 1992년~1994년에 걸쳐 시드니와 뉴캐슬을 연결하는 고속도로(F3)구간에 7가지 표면조직을 선정하여 시공하였다. 그는 차종을 승용차와 트럭으로 구분하여 50km/hr, 65km/hr, 80km/hr의 속도로 3회 반복 측정하였다. 소음 측정 결과 개립도 아스팔트 포장구간을 제외하고 깊이가 얇은 횡방향 조직에서 가는 헤시안 마대끝기(타이닝 폭 2~3mm)로 시공한 포장 표면이 가장 소음이 적은 것으로 나타났다. 승용차의 경우에는 거친 헤시안 마대끝기 포장 표면에서 소음이 가장 크게 나타났다. 본 실험에서는 마찰력 시험을 측방향 마찰 계수(Sideway Force Coefficient)로 계산하였는데, 측정 결과 조직이 가는 헤시안 마대 끝기 표면에서 가장 낮은 마찰력을 나타냈다. 그리고 이 포장의 소음은 65km/hr 및 80km/hr의 속도에서 깊이가 얇은 횡방향에 가는 헤시안 마대 끝기 표면에 비해 소음

도 크게 발생하였다. 따라서 이 연구 결과를 바탕으로 속도가 빠른 고속도로에서는 조적이 거친 헤시안 마대 끌기를 권장하고 있다.

표 2. 호주 도로(F3) 소음 측정 결과(dB(A))  
(Wisconsin, 2000)

표면 번호	조적이 가는 헤시안 마대 끌기					
	50km/hr		65km/hr		80km/hr	
	승용차	트럭	승용차	트럭	승용차	트럭
2	72.7	88.6	77.2	90.0	80.1	92.4
8	73.4	89.6	76.2	88.8	79.6	91.4
7	-	-	-	-	-	-
9	75.2	86.6	78.1	89.2	80.7	90.5
1	-	-	-	-	-	-
6	76.9	86.2	78.4	88.1	82.0	90.9
5	74.7	88.2	77.8	88.4	80.5	90.5
3	75.0	89.7	77.7	90.2	80.4	91.2
4	73.2	87.4	73.9	87.1	77.1	88.7

표면 번호	조적이 거친 헤시안 마대 끌기					
	50km/hr		65km/hr		80km/hr	
	승용차	트럭	승용차	트럭	승용차	트럭
2	73.5	88.4	77.3	89.9	80.0	92.3
8	-	-	-	-	-	-
7	73.0	89.3	75.7	89.3	79.0	89.9
9	75.1	86.2	78.2	88.4	80.0	89.9
1	74.6	87.3	77.6	89.5	81.1	90.4
6	76.2	86.4	77.6	87.6	81.0	90.9
5	-	-	-	-	-	-
3	74.8	89.2	77.2	89.5	79.3	90.8
4	73.0	86.7	73.5	86.2	75.9	88.4

일본의 경우에는 국내와 마찬가지로 2~4mm 깊이의 타이닝이 설치되는 것이 일반적이며 표면에 있는 골재를 노출시켜 표면의 골재 점유율을 증가시키는 골재노출 공법도 사용되고 있다. 그리고 요금소 광장부와 같이 감속지시와 마찰저항 증진의 목적으로 그루빙이 실시되고 있다(일본토목학회, 1995).

## 5. 중부고속도로 내 시험도로 구간

### 5.1. 표면처리 종류 및 소음 측정법

표면처리 공법에 따른 소음 측정과 그에 따른 주파수 분석을 하기 위하여 중부 내륙 고속 국도에 위치한 시험 도로를 실험 구간으로 지정하고 차량 주행 소음 측정 실험을 실시하였다. 시험도로에는 그림 6에 보인 바와 같이 일부 구간에서 표면처리에 대한 실험을 진행하였다. 본 실험의 목적은 교통 소음 측정 방법을 정립하고 포장 표면처리별 상대적인 소음도를 평가하기 위하여 수행되었다.

실외 소음은 차량 주행 차로의 중앙에서부터 7.5m 떨어진 곳에 소음기를 설치하고 높이는 1.2m로 하여 ISO의 실외 소음 측정 기준에 준하여 실험을 수행하였다. 실내 소음은 주행시 차량 속도와 엔진의 rpm을 일정하게 유지하면서 지정된 위치를 통과하는 시점에서 측정하였다.

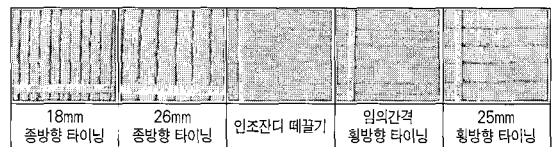


그림 6. 단면 계획(중앙대학교, 2002)

### 5.2. 승용차/트럭 소음 측정

콘크리트 포장의 표면처리 5가지와 아스팔트 포장의 한 구간을 지정하여 총 6가지 표면처리에 대해서 60km/hr, 80km/hr, 100km/hr의 속도로 승용차와 덤프 트럭에 대해서 각각 3번씩 실내 소음과 실외 소음을 측정하였다. 표 3은 승용차와 트럭에 대해서 실내 및 실외 소음의 측정 결과를 나타내고 있다.

#### 5.2.1. 승용차의 실내외 소음 분석

그림 7은 승용차에 대한 실내외 소음값을 비교한 그래프이다. 승용차의 실외 소음 측정 결과를 보면

표 3. 표면에 따른 속도 및 차종별 소음 측정 결과

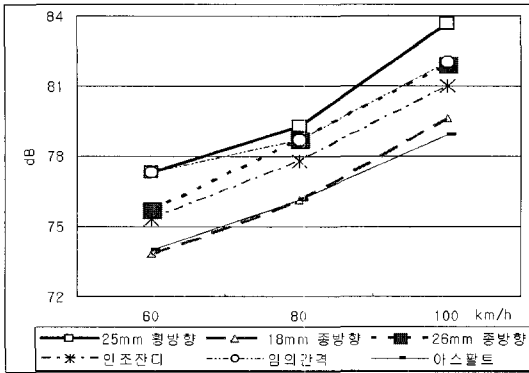
표면처리 방법	소음 측정값(dBA)											
	승용차						트럭					
	실내 소음			실외 소음			실내 소음			실외 소음		
	60km/h	80km/h	100km/h	60km/h	80km/h	100km/h	60km/h	80km/h	100km/h	60km/h	80km/h	100km/h
일정간격 18mm 종방향	65.5	65.0	69.3	73.7	75.9	79.8	72.2	74.2	79.9	85.6	90.2	91.2
	63.6	67.8	69.0	73.4	76.0	79.5	73.6	73.5	80.9	84.0	91.1	94.0
	63.9	67.6	67.7	74.3	76.5	79.4	71.5	74.8	77.1	85.1	89.4	92.0
평균	64.3	65.0	68.7	73.8	76.1	79.6	72.4	74.2	79.3	84.9	90.2	82.4
일정간격 26mm 종방향	64.4	67.5	69.4	75.1	79.4	81.8	71.8	74.5	77.6	86.1	89.6	93.8
	65.4	67.6	69.5	75.6	78.3	81.6	72.3	72.1	81.3	84.9	89.7	92.5
	65.6	68.1	68.2	76.5	78.3	82.2	72.2	74.2	77.4	85.5	91.6	93.7
평균	65.1	67.7	69.0	75.7	78.7	81.9	72.1	73.6	78.8	85.5	90.3	93.3
인조잔디 떼 깔기	65.5	68.2	69.4	74.5	78.2	82.6	72.3	74.1	78.0	83.8	89.8	94.3
	65.1	66.2	68.8	75.9	77.2	80.1	71.7	73.7	81.0	84.7	92.0	95.0
	64.3	68.4	68.5	75.5	77.9	80.2	70.2	74.3	77.4	84.2	90.8	93.3
평균	65.0	67.6	68.9	75.3	77.8	81.0	71.4	74.0	78.8	84.2	90.9	94.2
*임의간격 횡방향	66.3	68.2	69.2	75.5	79.6	81.6	71.1	74.1	78.6	84.4	90.5	92.5
	64.2	67.8	69.1	78.2	78.2	82.5	72.8	72.8	80.1	84.3	88.6	92.1
	65.7	68.4	69.1	78.0	78.3	81.9	71.2	73.6	78.2	84.5	89.5	93.6
평균	65.4	68.1	69.1	77.2	78.7	82.0	71.7	73.5	79.0	84.4	89.5	92.7
일반구간 (일정간격 25mm 횡방향)	64.2	68.3	68.4	76.9	80.3	83.3	72.6	73.9	79.5	85.0	89.1	92.1
	64.1	68.2	68.6	77.2	78.4	84.8	72.9	73.7	80.6	84.7	89.8	91.6
	63.9	68.0	69.5	77.9	79.1	83.1	72.8	73.8	78.6	85.6	88.4	91.7
평균	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	62.4	63.7	67.5	75.6	76.3	79.1	73.2	73.5	78.7	82.1	87.0	91.1
	64.0	63.7	66.9	73.1	74.9	79.0	73.0	73.9	78.0	81.4	89.7	92.8
	63.7	63.8	66.9	73.3	77.0	78.6	72.4	73.2	79.2	81.6	91.6	92.7
평균	63.4	63.7	67.1	74.0	76.1	78.9	72.9	73.5	78.6	81.7	89.4	92.2

\*본 공법은 최적값이 아닌 임의로 준 것임.

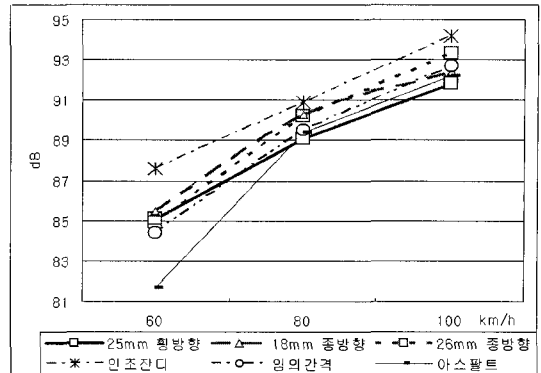
콘크리트 포장의 표면처리 구간 중에서 18mm 종방향 타이닝 구간이 가장 낮은 소음도를 나타냈다. 26mm 종방향 타이닝의 경우 횡방향 타이닝 구간에 비해서는 소음이 낮게 측정되었으나 인조 잔디 떼 깔기 구간과는 뚜렷한 차이점이 없었다. 임의간격 횡방향 타이닝 구간에서는 속도가 증가할수록 일정간격 횡방향 타이닝 구간보다 소음값이 낮게 측정되었다. 아스팔트 포장 구간에서 가장 우수한 소음 저감

효과가 나타났다. 60km/h, 80km/h의 속도에서는 18mm 종방향 타이닝 구간과 비슷한 소음도를 보였지만 100km/h의 속도로 주행했을 때는 아스팔트 포장 구간에서 낮은 소음이 측정되었다. 전체적으로 속도가 증가할수록 각 표면별 소음도의 경향이 점차 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

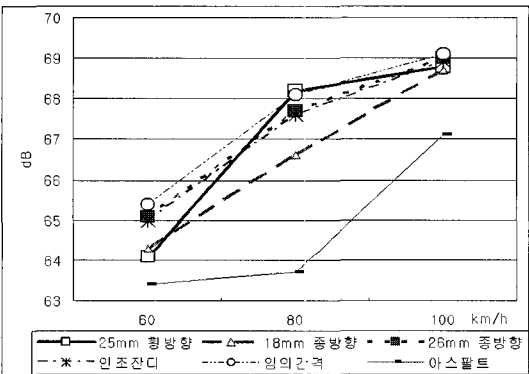
승용차의 실내 소음의 경우 실외 소음과는 달리 표면 처리별로 뚜렷한 경향은 보이지 않았다. 그러나



〈실외 소음〉

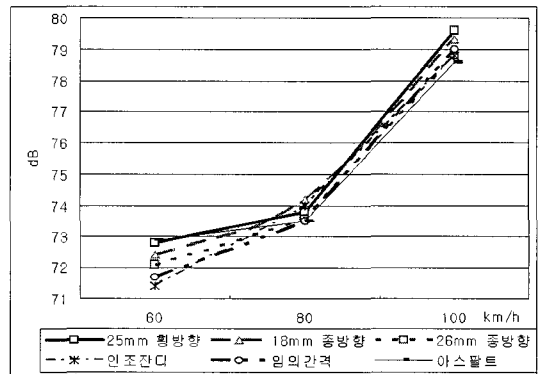


〈실외 소음〉



〈실내 소음〉

그림 7. 승용차의 소음도 분석



〈실내 소음〉

그림 8. 트럭의 소음도 분석

18mm 종방향 타이닝 구간에서는 다른 구간에 비해 낮은 소음이 측정되었다. 콘크리트 포장과 아스팔트 포장을 비교해보면 아스팔트 포장이 소음이 적음을 알 수 있었다. 아스팔트 포장과 25mm 횡방향 타이닝 구간의 경우 최고 4.5dB(A)까지 소음도 차이를 보였다.

### 5.2.2. 덤프 트럭의 실내외 소음 분석

그림 8은 덤프 트럭의 실내외 소음 측정 결과를 나타내고 있다. 덤프 트럭의 실외 소음 측정 결과를 보면 60km/h에서 아스팔트 포장이 콘크리트 포장 구간에 비하여 약 3dB(A)이상 소음이 적게 측정되었다. 하지만 속도가 증가할수록 승용차와는 달리 아스팔트 포장의 소음 저감 효과가 줄어들고 있다. 콘크리트 포장 표면에 대해서는 타이닝의 간격과 방향에 대해서 큰 차이를 볼 수 없었다. 그러나 인조잔

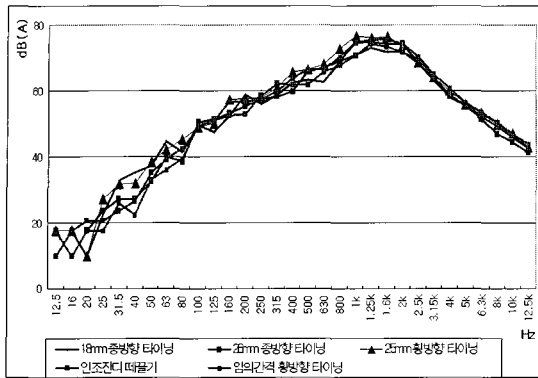
디 떼끌기 구간의 경우 다른 표면처리 구간에 비해 약 2~3dB(A) 정도 높게 측정되었다.

덤프 트럭의 실내 소음은 그림에서와 같이 속도별 소음도의 차이가 약 1dB(A) 내외로 나타나고 있다. 아스팔트 포장과 콘크리트 포장을 비교했을 경우 역시 비슷한 결과를 볼 수 있다. 덤프 트럭의 경우 기계적인 소음이 전체적인 소음에 많은 영향을 준 것으로 나타났다.

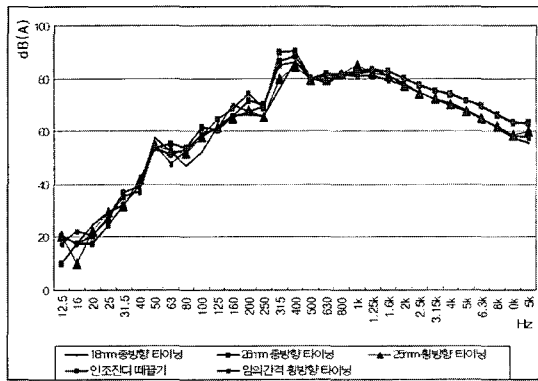
### 5.2.3. 주파수 분석

그림 9는 각각 승용차와 트럭이 100km/h 속도로 주행했을 때의 실외 소음 결과에 대한 주파수 분석을 나타낸 그래프이다. 승용차의 경우 표면처리 구간별로 소음도의 차이가 있지만 전체적으로 1kHz이상의 고주파수 영역에서 피크치를 나타내고 있다.





〈승용차〉



〈트럭〉

그림 9. 실외 소음 주파수 분석

문헌 조사 결과 타이어/포장에서 발생하는 소음에 대한 주파수 영역이 1kHz 이상의 고주파수 영역에 분포하는 것으로 나타났으며 이를 바탕으로 승용차의 실외 소음은 타이어/포장 소음이 전체 소음도에 큰 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다.

트럭의 실외 소음 분석 결과를 보면 200~600Hz의 저주파수 영역에서 피크치를 나타내고 있다. 승용차와는 달리 저주파수 영역에서 지배적인 소음이 발생했다. 주행 속도가 증가하면서 타이어/포장에서 발생하는 소음의 주파수 범위인 1kHz 부근에서 점차 증가하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 100km/h에서도 주된 소음이 저주파수 범위에서 발생하고 있는 것으로 보아 기계적인 소음이 전체 소음값에 큰 영향을 주는 것으로 보인다.

승용차와 트럭의 실내 소음에 대한 주파수 분석 결과 저주파수 대역에서 주된 소음이 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 실내 소음의 경우 타이어에서 발생하는 소음의 영향이 적으며 엔진 소음이나 차체의 진동 등의 소음이 더 크게 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 승용차와 트럭 모두 200Hz~500Hz 부근에서 피크치를 나타내었다. 트럭의 경우 실외와 실내 소음에 대한 주파수의 형태가 비슷한 것으로 나타났다.

## 6. 맺음말

국내외에서 오래전부터 콘크리트 포장의 소음 저감을 위한 공법으로 횡방향 및 종방향 타이닝에 대한 적용성 연구를 수행하여왔다. 이에 대한 문헌 조사를 통해 타이닝 공법의 소음 저감 메커니즘을 알아보고 관련 시공장비에 대하여 검토하였다. 또한 기존의 국내외의 타이닝 시공 사례조사를 통해 소음 저감 공법으로서의 가능성을 확인하였다. 시험도로에서 시공된 타이닝을 포함한 다양한 표면처리 공법의 소음 측정 및 분석을 통해 획일적인 25mm 횡방향 타이닝 적용보다는 더 많은 연구를 통해 최적의 타이닝 간격 및 깊이 등을 제시할 필요가 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 강대준, 정일록, 장성기, 서충열, 박준철, "타이어 소음 현황과 특성", 한국소음 진동공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp.711~718, 2001
2. 문준범, 박진희, 권순민, 한승환, 조운호, "콘크리트 포장 표면처리 방법에 따른 소음 감소 방안 연구", 한국도로학회 논문집 제6권 제4호, p.17~26, 2004. 12
3. 박권재, "콘크리트 거친면 마무리 처리에 따른 공용성 평가", 중앙대학교, 2002. 12
4. 이상주, "Tire 소음 저감 방안" 한국타이어 중앙연구소, 도로소음 저감방안 세미나, 2004. 11.12.

5. "포장공학", 일본토목학회 포장공학 편집위원회, 1995
6. 통계청, 수도권 2001년, 6개 도시 2002년 조사 자료
7. 통계청, <http://www.nso.go.kr/>
8. 한양대학교, "소음 및 배기가스 저감 환경 친화 콘크리트의 개발 연구 연차보고서", 한국건설기술연구원, 2004
9. 환경부, "소음·진동환경개선 중·장기 계획 (2002~2010)", 2001. 12
10. 환경부/중앙대학교, 2004, "장수명 저소음 포장 노면 개발 연구 1차년도 보고서"
11. 환경부/중앙대학교, 2005, "장수명 저소음 포장 노면 개발 연구 2차년도 보고서"
12. 한국도로공사, <http://www.freeway.co.kr/>
13. Roger L. Wayson, "Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise", NCHRP Synthesis of Highway Practice 268, 1998
14. Standard Specifications for Highways and Bridges, Part D Rigid Pavement, South Dakota Highway Department, 1997.
15. Standard Specifications for Highways and Bridges, Massachusetts Highway Department, 1995.
16. Todd E. Hoerner, Kurt D. Smith, Roger M Larson, Mark E. Swanlund, Current Practice of PCC Pavement Texturing, Transportation Research Record 2003 Annual Meeting, 2002.11
17. Wisconsin Department of Transportation, "Noise and Texture on PCC Pavements", 2000.

## 회 원 가 입 안 내

본 학회는 건설교통부장관의 설립허가(1999. 5. 29)를 받은 사단법인 한국도로학회입니다. 본 학회는 다음 사업내용으로 건실한 학회운영을 하고 있습니다. 여러분의 기술적 자질향상을 위해서 널리 회원을 모집하오니, 본 사업취지에 찬동하시는 개인이나 단체는 입회하시어 본 학회의 발전에 협조하여 주시기 바랍니다.

### 사업내용

- 도로공학에 관한 국내외 기술교류와 공동연구
- 도로공학에 관한 조사연구와 성과의 보급
- 도로공학에 관한 자문, 평가 및 교육
- 도로공학에 관한 시방과 기준의 연구
- 학회지·논문집 및 도서의 간행
- 학술발표회, 세미나의 개최
- 현장견학, 시찰 등의 실시
- 기타 학회의 목적에 필요한 사업

### 회원의 종류

- 정 회 원 : 도로 및 포장공학과 관련된 학문의 학식 또는 경험이 있는 자
- 학생회원 : 도로 및 포장공학과 관련이 있는 학과의 대학, 전문대학에 재학중인 학생
- 특별회원 : 본 학회의 목적사업에 찬동하는 단체
- 참여회원 : 학회 회장을 역임한 자
- 명예회원 : 대의원회에서 추대한 자

### 회 비

- 입 회 비 : 20,000원(정회원에 한함)
- 연 회 비 : ① 정 회 원 : 30,000원 / (중신회비 400,000원)  
 ② 학생회원 : 15,000원(대학 및 전문대학생에 한함)  
 ③ 특별회원 : 특급 : 100만원 이상, 1급 : 50만원 이상  
 2급 : 30만원 이상, 도서관회원 : 10만원

### 입회신청

회원이 되고자 하는 개인이나 단체는 소정의 입회원서와 입회비 및 연회비를 납부하시기 바라며, 자세한 사항은 학회사무국에 문의하시기 바랍니다.

**회비납부**(가입회원명으로 입금)      한미은행 : 102-53510-243 (사)한국도로학회

사무국 : 우)121-706 서울시 마포구 공덕동 456 르네상스타워 1410호

전화 : 02-3727-1992~3      전송 : 02-3272-1994

E-mail : [kospe@hanmail.net](mailto:kospe@hanmail.net)      <http://www.ksre.or.kr>

사단법인 **한국도로학회**