

저소음을 위한 골재노출 콘크리트 포장 개발 연구

A Study on the Development Exposed Aggregate Concrete Pavement for Low-Noise

이 승 우* · 김 남 철** · 유 동 조**

Lee, Seung Woo · Kim, Nam Choul · Yu, Dong Jo

1. 서 론

도로의 연장과 교통량 증가 및 차량의 대형화, 고속화로 인하여 교통 소음은 점차 악화되고 있으며 환경 소음의 문제로 대두되고 있다. 도로 교통 소음은 주행 중에 있는 운전자에게 지속적인 소음의 노출로 인해 피로를 가중시켜 사고 발생의 가능성이 있으며 도로 주변에 거주하는 주민들에게는 스트레스, 불쾌감 및 불면증 등의 원인이 되기도 한다.

콘크리트 포장의 소음과 미끄럼 저항성 확보를 위한 표면처리방법은 포장의 표면에 적절한 조직(Texture)을 만들어 소음을 최소한으로 줄이고 경제적으로 차량의 미끄러짐을 방지하여 주행의 안전성을 확보하는 방법이다. 근래에 들어 쾌적한 도로 주행성 확보 및 도로 주변지 생활자에 대한 소음공해 방지 측면에서 저소음포장의 중요성이 인식되어 왔고 국내외에서 다양한 콘크리트 포장 노면조직에 대한 연구가 진행되어 왔으며 표면처리 방법에 따라 미끄럼저항과 소음발생에 큰 차이가 난다고 보고하고 있다. 현재 국내에서 주로 사용하고 있는 표면 처리의 대표적인 방법인 횡방향 타이닝은 미끄럼 저항성은 뛰어나지만 소음이 크다는 단점이 있다. 이에 반해 미국, 유럽 등지에서 이미 오래 전부터 사용되어지고 있는 골재노출공법은 뛰어난 미끄럼 저항성과 소음이 작다는 장점을 가지고 있다. 하지만 골재노출공법은 국내에서 체계적인 연구가 수행되지 못하고 있다. 본 연구에서는 골재노출공법의 배합기준 및 노출방법을 개발하는 한편 기존의 횡방향 타이닝(Tining)과 골재노출공법의 소음 특성을 비교하였다.

2. 콘크리트 포장의 표면조직특성

2.1 마찰소음원리

우리의 쾌적한 생활환경을 해치는 소리, 또는 인간이 원하지 않는 소리 즉 인간 각자의 심신의 상태나 환경조건에 따른 임의의 소리들이 주관적인 판단에 의해 소음으로 정의된다. 소음은 세기(Intensity 혹은 Sound Pressure, dB)와 진동빈도(Frequency, Hz)로 표시하는데 공학적으로 소음을 제어할 경우 인간의 가청 영역인 200Hz ~ 10000Hz사이의 소음을 제어하는 것이 중요하다. 일반적으로 어떤 소음을 평가할 때 dB(A)의 단위를 사용한다. 데시벨은 기본적으로 수치가 크게 나오므로 좀더 간단하게 표현하기 위해 결과수치에 로그를 취한 값이다. 차량 주행시 발생하는 소음의 발생요인은 차량자체의 기계적인 요소 및 바퀴와 포장면에서의 접촉에 의한 요소가 있다. 본 연구에서는 포장면과 바퀴의 접촉에 의해 발생하는 소음만을 다루고자 한다. 콘크리트 표면처리는 바퀴와 포장면에서의 접촉에 의하여 소음을 발생시키는 데 중요한 요인으로 작용하고 있다. 미시결의 변화가 소음에 미치는 영향은 적은 반면, 거시결 처리한 콘크리트 포장에서는 거시결 처리를 하지 않은 포장면보다 부가적으로 소음이 발생한다. 이러한 부가적인 소음 중 특정주파수대에서 Noise Peak가 일어나는 경우가 있다. 이를 Whine이라 하는데 Whine이 발생하면 승차자는 단절된 형식의 소

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정



음으로 심리적 불안감과 불쾌감을 느낀다. 따라서 저소음 콘크리트 표면처리공법은 이러한 Whine의 발생을 최소화하여야 한다.

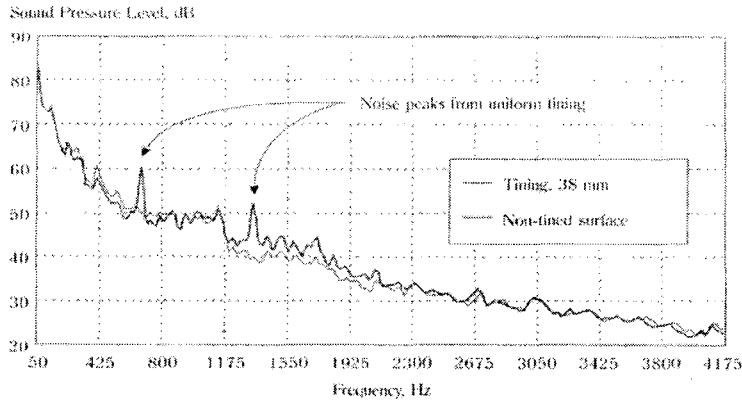


그림 1. Whine 현상 (David A. Kuemmel 등, 2000)

2.2 소음 저감을 위한 기본 연구

독일의 연구에 따르면 골재노출콘크리트표면의 내부소음과 외부소음의 차이는 1dB(A) 이하였으며, 횡방향타이닝과의 차이는 최고 3dB(A)라고 보고했다. 호주에서는 횡방향타이닝이 아스팔트 콘크리트와 비교했을 때 차량이 이동하면서 최고 3.5dB(A)이 높았다. 여러나라의 콘크리트포장에서의 소음과 표면조직에 관계되는 연구의 주요 결론은 횡방향타이닝은 가장 큰 소음을 나타내며, 랜덤한 타이닝은 타이어와 포장면사이에서의 소음을 줄이고 전체적인 소음수준도 낮춘다. 콘크리트포장에서의 골재노출표면의 조직깊이와 타이닝 깊이는 소음에 중요하다고 보여진다.

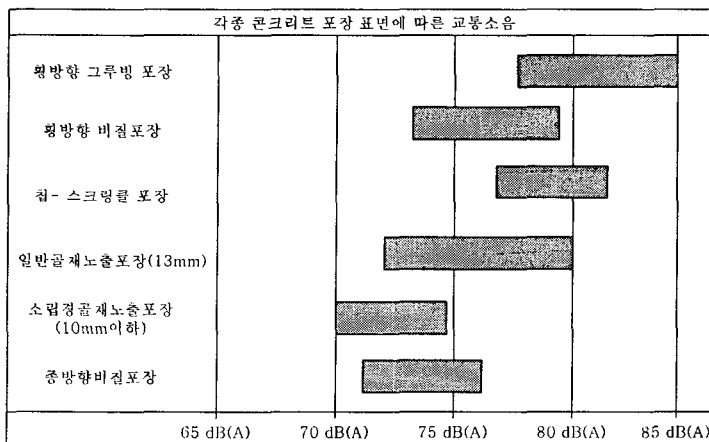


그림 2. 각종 표면처리 소음 측정 시험결과 (서영기술단, 2000)



그림 2는 각 포장표면 조직의 주행 시 발생하는 소음을 측정하여 비교한 자료이다. 횡방향 조직의 경우 78dB(A) ~ 85dB(A)로 소음이 가장 크게 측정되었으며, 잔골재 노출 포장은 70dB(A) ~ 74dB(A)로 소음이 가장 작게 발생하는 것으로 측정되었다. 한편, 종방향 비결로 표면조직을 처리한 포장은 72dB(A) ~ 76dB(A)로 측정되어 소음이 낮게 발생하는 것으로 나타났으나 미끄럼 저항이 다른 표면조직 방법에 비하여 낮기 때문에 안전이 중요시되는 포장에서는 실제 적용을 재검토해야 한다. 측정 결과를 분석하면 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 동일한 방향의 같은 조직이라 하더라도 조직을 내는 방법에 따라 소음도가 달라지며 골재노출 공법의 경우 노출 골재의 크기에 따라 소음도에 차이가 발생한다는 것을 본 소음 측정 결과로부터 알 수 있어서 조직을 발생시키는 방법에 대하여도 고려를 해야한다.

3. 콘크리트 포장의 표면처리

3.1 골재 노출공법

골재노출 공법은 새로운 콘크리트 포장에 사용할 수 있는 방법이다. 현재까지 콘크리트 포장의 주행소음을 줄이는데 가장 큰 장점을 가지고 있는 공법으로 평가되고 있다. 그러나 골재 노출 공법은 기술적으로 쉬운 공법이 아니다. 그 이유는 소음과 미끄럼 저항을 동시에 얻어야 하기 때문에 소음과 미끄럼 저항에 가장 우수한 표면 조직 형태인 중간조직을 표면에 형성시키기 위해서는 콘크리트의 제조방법, 시공순서, 시공장비 사용 등 여러 가지 공사 시방을 철저히 따라야 하기 때문이다.

골재노출공법은 다른 표면처리공법에 비해 소음 저감효과가 우수하다. 특히 횡방향타이닝과의 소음측정값 비교 시 5dB(A)정도의 저감효과를 보이며 골재의 사이즈가 소입경일수록 소음의 저감효과가 크고 미끄럼저항은 커진다고 보고되고 있다. 또한 골재노출공법으로 인한 포장표면은 횡방향타이닝과 같은 일정한 간격이 아니라 골재가 random한 패턴으로 White 현상을 최소화할 수 있는 공법이다.

시공사례

오스트리아 시멘트협회 연구소의 연구 결과는 입자가 작은(8~10mm)골재를 표면에 사용하여 소음 발생을 줄이고 있다고 보고되고 있다. 이 공법은 유럽의 각 국은 물론, 미국, 호주, 일본에서도 시험 시공을 실시하여 좋은 효과를 거두고 있는 것으로 보고되었다. 특히 벨기에에서는 콘크리트 포장의 95%를 골재 노출포장으로 시공하고 있는데 그림 3은 벨기에와 프랑스의 골재노출포장 시공실적이다. 이처럼 골재노출포장이 매년 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

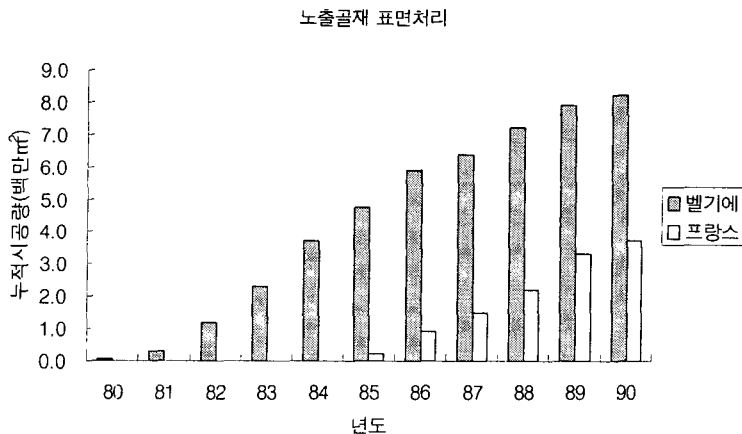


그림 3. 벨기에와 프랑스의 년도별 골재노출 포장 시공 실적(PIARC, 1990)



호주에서 골재노출 콘크리트 표면의 첫 번째 시험 구간이 1993~1994년에 건설되었다. 이 부분은 습식 빗질로 표면 골재의 노출을 조절할 수 있도록 표면세트 지연제를 사용하여 건설하였다. 14mm골재층이 이용되었다. 통과법을 이용하여 차량 내부와 외부에서 소음을 측정하였다. 내부에서 소음은 가장 조용한 표면으로 간주되는 개립도 아스팔트와 비슷하였다. 그러나 외부 통과 측정결과 노출골재 표면의 소음이 타이닝 처리된 표면을 웃도는 경우도 측정되어졌다. 이러한 결과의 원인은 골재입경이 14mm로 큰 골재를 사용하였기 때문인 것으로 생각되었다. 이렇게 큰 골재가 트럭의 경우에는 조용하지만, 승용차의 경우에는 유럽에서 실시된 시험결과와 같이 골재가 작은 9mm가 보다 바람직한 결과를 산출한다는 결론이 도출되었다.

영국에서 수행한 연구는 밀입도 아스팔트와 붓질, 붓질/횡방향 타이닝, 골재노출 콘크리트 포장률 비교하였다. 세 가지 콘크리트 표면에 250 mm 두께로 적용되어 지속적으로 콘크리트 포장률 보강하였다. 콘크리트 표면의 타이닝 간격은 랜덤하게 하였으며 간격에 대한 세부사항은 제시되지 않았다. 골재노출은 쇄석골재를 포함한 AE콘크리트를 이용하였다. 통계적 주행 측정법을 이용하여 다양한 표면을 평가하였다. 골재 노출 표면은 밀입도 아스팔트와 비교해도 소음 레벨이 낮았으며 빗질된 표면의 소음이 가장 높게 측정되었다.

이 후에 영국에서 수행된 연구도 과거의 결과를 되풀이하였다. 주행 측정이 실시되었으며 그 결과는 골재노출 콘크리트의 소음 레벨이 아스팔트보다 가벼운 차량의 경우에는 2.2dB(A)까지, 무거운 차량의 경우에는 1.1dB(A)까지 낮은 것으로 나타났다. 측정위치는 차량 바퀴 자국에서 7.5m 떨어진 곳에서의 차량 속도는 90km/h이었다. 골재노출 상층은 두께가 40 mm인 공기유압 콘크리트 혼합물이었다. 조골재 크기는 10mm이었으며, 조직의 깊이는 1.5 mm였다. 골재노출 도로표면은 상당한 주의를 기울여서 시공되었으며, 32개월 후에도 소음레벨은 거의 변하지 않아 내구성 역시 확인되었다. 영국의 연구에서 주파수 스펙트럼도 조사되었다. 연구팀은 “골재노출 표면이 보다 우수한 소음 품질 특성을 제공하는 것으로 생각된다.”고 결론지었다. 수집된 스펙트럼들은 대부분의 주파수에서 감소된 수준을 보여주고 있다. 노출골재 표면과 비교할 때 타이닝 표면에서 수집된 스펙트럼이 1.6 kHz 이상의 상당히 높은 소음 레벨을 나타내고 있다는 결론이 주목을 끌었다.

3.2 타이닝 콘크리트

횡방향 타이닝은 콘크리트 포장의 표면처리 방법 중 높은 마찰력과 내구성이 증가된 경제적인 방법으로 가장 널리 사용해 온 방법이다. 포장 수명은 30년 이상으로 높은 수준의 미끄럼저항성을 제공하지만 포장면과 타이어사이에서 소음으로 인한 Whine현상이 발생한다. 1970년대 중반 횡방향타이닝 방법이 퍼지면서 미끄럼저항값과 소음에 영향을 주는 특별한 타이닝 특성에 관하여 도로포장 엔지니어들의 많은 연구가 이루어져왔으며 횡방향 타이닝에 의해 발생하는 소음은 타이닝 깊이, 너비, 간격과 관계가 깊은 것으로 밝혀졌다.

- 타이닝 간격

13mm의 일정한 간격의 횡방향 타이닝은 Whine 현상을 일으키며 랜덤한 타이닝간격은 소음을 감소시키는 것으로 알려지고 있다. 기상의 영향이나 그밖에 최적의 타이닝 처리에 문제가 있을 경우 되풀이되는 랜덤한 횡방향 타이닝 간격은 sand patch test로 평균조직깊이가 각각 0.5~0.8mm 이상이 되어야하기 때문에 10mm~51mm가 추천된다.

- 타이닝 깊이 및 폭

쑤고 깊은 글루빙은 넓게한 것보다 측정된 소음값이 작게 나타난다. 소음을 줄이기 위해 실제 타이닝 너비는 $3\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 이고 타이닝 깊이는 3~6mm사이가 되도록 한다.

3.3 배합기준 및 노출기법연구

소음을 저감하면서도 장단기 미끄럼저항을 확보할 수 있는 골재노출콘크리트의 배합 기준 및 노출기법 개발을 위하여 제작된 시편의 노출도 및 평균조직깊이(MTD)를 측정하여 최적 배합 기준 및 노출 방안을 제시하고자 한다. 골재노출콘크리트 시편을 제작하고 골재 Size, 응결지연제의 종류와 농도, 노출시기를 조정해 가며 다양한 최적 기준으로 제작된 골재노출 콘크리트 시편과 국내에서 사용되는 콘크리트포장의 표면처리



방법 중 하나인 횡방향 타이닝시편을 제작하여 표면조직 특성 차이도 고찰하였다.

(1) 시편제작 배합설계 개발

골재노출 시편 제작을 위한 시멘트는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 잔골재와 굵은 골재는 일반 도로 포장에(한국도로공사 중앙고속도로 시공예) 쓰이는 골재 9mm, 19mm를 사용했다. 타이닝 시편은 우리나라에서 일반적으로 시공하고 있는 횡방향 타이닝 공법(굵은골재 최대치수 25mm)과 동일하게 제작하여 골재노출시편과 비교하였다.

가. 설계 배합

설계 배합은 적은 슬럼프를 갖는 도로 포장의 콘크리트 배합이어야 하므로 물 시멘트 비를 45%로 고정시키고 기존 콘크리트 포장의 시멘트 수량보다 많은 양의 시멘트를 사용함으로써(350 kg/m³) 포장체의 밀도가 커져 포장 슬래브의 내구성 및 강도 또한 향상되도록 하였다. 단 골재노출시편제작 시 잔골재율은 골재 노출에 유리한 저 잔골재율 36%, 41%, 45%로 변환시켰다. 각 배합은 조골재 크기마다 9mm, 19mm의 두 가지 경우를 두었다.

나. 현장 배합

굵은 골재는 표건 상태를 유지하고 잔골재의 표면수율이 2.3%, 0.65%, 1.3% 이므로 물량과 잔골재를 보정하여 현장배합을 하였다. 표 1은 골재노출시편의 9mm, 19mm골재를 표면수율 1.3%로 20ℓ 현장 배합한 결과이다.

실험 배합은 감도 0.1Kg의 전자저울로 재료를 개량하여 팬형 강제식 믹서기에 1분(잔골재+굵은 골재+시멘트), 3분(잔골재+굵은골재+시멘트+물) 혼합했다.

표 1. 현장 배합표

굵은골재 최대치수	S/a (%)	단위중량 (kg/m ³)				공기량 (%)
		W	S	S	G	
9mm, 19mm	41	3	8	14	21	2

다. 배합 결과

슬럼프는 두 번의 평균값이고 7일 강도와 28일 강도는 10×20원기둥의 세 개의 공시체의 평균값이다. 슬럼프와 원형 공시체의 다짐은 25회 3층 다짐으로 하였다. 슬럼프 몰드의 3층 다짐 후 콘크리트를 몰드 표면까지 채우고 다짐봉을 눌러 상부를 평평하게 성형하여 슬럼프를 측정하였고, 원형 공시체는 한층 다짐 후 마다 고무망치로 몰드를 두드려 봉사국을 제거하였다.

표 2. 타이닝시편(25mm골재) 배합 결과

굵은골재 최대치수	구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	타설 온도	7일강도 (kg/cm ²)	28일강도 (kg/cm ²)
25mm	No.1	3	1	26	260	399
	No.2	4	1	26	297	382



그림 4. 횡방향 타이닝 시편제작

(2) 노출기법연구

콘크리트 타설 후 지연제를 살포하고 골재를 노출시키는데 골재를 노출시키기까지는 노출시기가 적정해야 한다. 지연제의 성능에 비해서 노출 시기가 늦으면 노출도가 떨어지게 되고 반면에 노출시기가 너무 빠르면 미쳐 골재를 잡고있는 시멘트가 굳기도 전에 골재가 떨어지는 상황이 발생하기 때문이다. 그러므로 지연제 성능에 따른 노출시기는 매우 중요한 사항인 것이다. 모형 실험을 통하여 지연제의 종류, 살포시기, 살포량, 모르타르 제거시기에 대해 알 수 있었으며, 처음엔 플라스틱 빗자루로 노출을 시켜 보았지만 모르타르가 잘 벗겨지지 않았다. 지연제의 지연성능이 떨어지기보다는 모르타르를 제거하기에는 플라스틱 빗질보다는 스틸 브러쉬가 효과적이었다. 그러나 이 스틸 브러쉬도 한 방향으로만 움직이니 자국만 남고 효율적이지 못했고, 위아래 좌우 네방향으로 또는 회전하면서 움직이니 모르타르 제거가 훨씬 효율적이었다. 하지만 너무 과도한 힘을 가하면 골재가 떨어지는 현상이 생겨 흠이 파이므로 주의해야 한다. 브러쉬 작업을 이용한 골재 노출 방법에 모르타르 제거와 와이어 브러싱 작업을 가장 조속하게 할 수 있는 시간은 콘크리트 타설 후 24시간이 경과하여야 한다.

표 3. 최적 노출방법

최적 노출 방법	기준	사유
응결지연제 종류	Pozzolith	시공성이 양호
지연제 살포량	400g/m ²	평균조직 깊이 0.9mm이상 골재 노출도 2,500m ² 에서 60개 이상확보
지연제 농도	(지연제 : 물) 1 : 2	
골재노출시기	콘크리트 타설 후 24시간	
지연제 살포시기	콘크리트 타설 후 즉시	
골재노출기	steel brush 사용	
양생	비닐 양생	

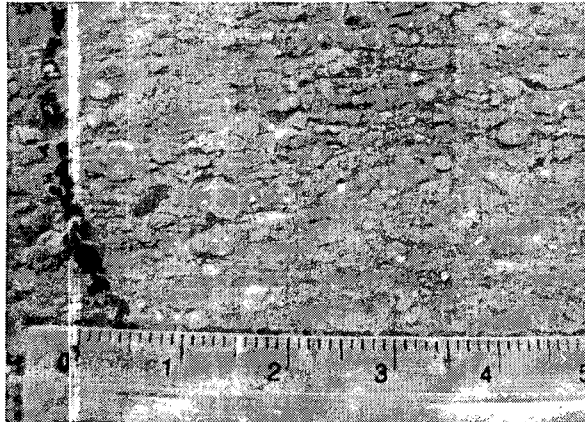


그림 5. 9mm 골재노출 콘크리트 시편 제작

4. 표면조직 특성별 소음분석

9, 19mm 골재노출시편과 횡방향 타이닝 시편에 대하여 소음 측정 및 내구성을 비교하였다. 주행 중 발생하는 타이어/포장은 타이어 진동에 의한 소음, 공기 역학적인 소음, 타이어와 포장표면과의 충격에 의한 소음으로 구분할 수 있다. 하지만 본 실험에서는 포장면과 타이어의 접촉에 의해 발생하는 외부소음만을 다루었다. 또한 소음이 발생하기 위해서는 타이어에 속도와 압력이 필요하지만 시편으로 실험하기에는 마땅한 방법이 없는 실정이고 시험도로를 만들어 실험을 하는 것은 많은 비용과 시간이 드는 작업이다. 이런 이유로 휠 트랙킹 장비에 철륵과 고무타이어 두 가지 종류의 타이어를 사용하여 시편별로 소음을 측정하여 상대적으로 비교해보았다.

4.1 소음 측정 장비

차륜과 타이어의 소음을 측정하기 위하여 휠트랙킹 장비를 이용하였으며 주행 차륜은 지름 200mm, 폭 50mm 크기의 고무바퀴와 철륵을 사용하였다. 바퀴의 이동에 있어 60kgf의 윤하중으로 하중을 고정시켜 시험을 시행하였다. 차륜 하중이 일정하더라도 접지압에 따라 안정도에 차이가 있을 수 있으므로 일정기간을 두고 동일 하중에 따른 접지압을 시험하여 늘 일정한 접지압을 유지하도록 한다.

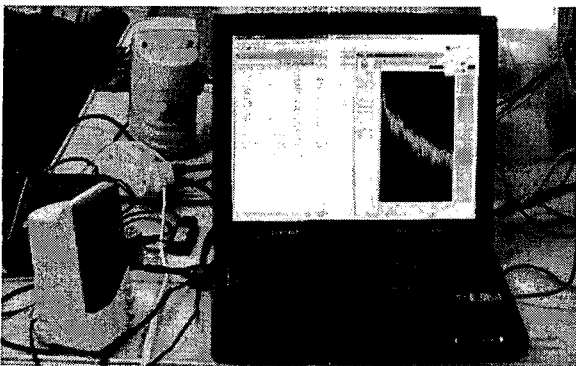


그림 6. 바퀴이동시 소음측정사진

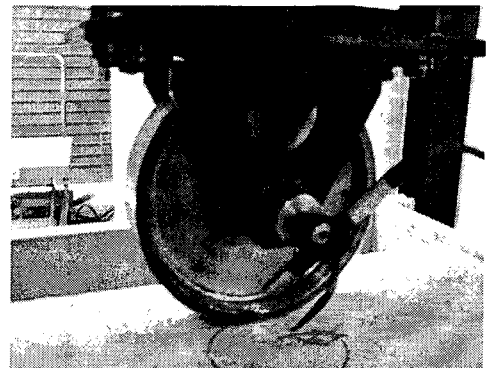


그림 7. 철륵에서의 소음측정



실험에 사용된 소음측정장비 하모니(Harmonie)는 실시간 소음 측정 분석기로 환경소음 측정 및 일반적인 소음진동 분석, 자동차와 같은 회전체의 진동소음을 측정하여 분석할 수 있는 장비이다.

4.2 소음 측정 분석

철륵 사용시 각 시편에서의 소음의 세기는 횡방향 타이닝 시편이 75.4 dB(A)이며, 19mm골재노출시편이 73.7 dB(A), 9mm 골재노출시편이 71.2dB(A), 종방향타이닝 70dB(A)로 횡방향 타이닝과 비교시 19mm골재노출 시편은 약 2 dB(A)정도가 차이이며, 9mm 골재노출시편은 4 dB(A)이상 차이가 난다. dB은 선형이 아닌 로그(log)의 형태로 증가하며 이것이 의미하는 바는 근원강도의 두 배 증가는 3 dB의 증가가 발생한다는 것이므로 횡방향 타이닝 시편과 19mm골재노출 시편의 2 dB(A)차이는 작은 차이라고는 볼 수 없다. 보통 실내에서 보통 건강한 사람의 귀는 약 3 dB(A)의 소리의 압력정도 변화에 해당하는 소리의 세기의 변화를 결정할 수 있으며, 실내가 아닌 외부에서는 소리의 세기 변화를 인지하는데는 보통 3 dB(A)보다 더 커야하며 5 dB(A)의 변화가 일반적이다. 제작된 19mm와 9mm 골재노출시편에서는 19mm골재를 사용했을 때 보다 9mm의 소입경 골재를 사용한 경우가 저소음 효과가 확실히 나타남을 알 수 있다.

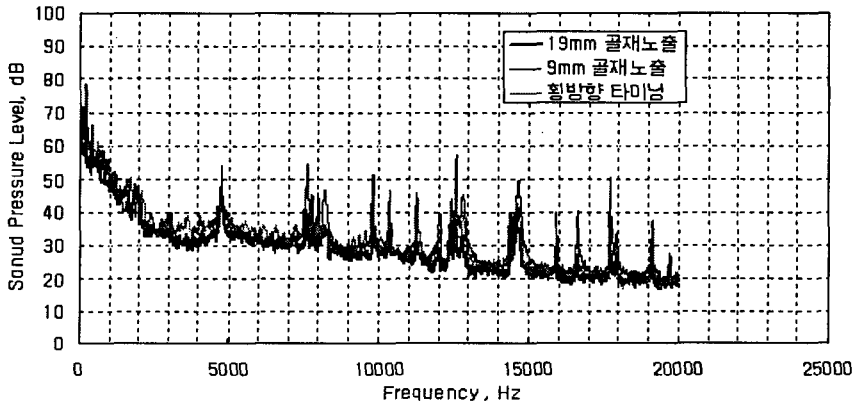


그림 8. 철륵에서의 시편별 소음측정 결과

고무바퀴 사용 시 각 시편에서의 소음의 세기는 횡방향타이닝 시편이 71.2 dB(A)이며 19mm 골재노출시편이 71.7 dB(A), 9mm 골재노출시편이 70.8 dB(A)로 별 차이가 없었다. 이는 본 실내 마모측진실험장비(Wheel Tracking Tester)는 실제도로와 달리 1km/h의 낮은 속도로 저속주행을 하기 때문에 실제도로에서와 같은 소음을 측정하기에 고무타이어는 표면상태에 따라 비교가 어렵다. 상대적으로 표면처리방법에 따라 비교가 가능한 철륵을 사용하여 소음을 측정하였다.

5. 표면조적 특성별 장단기 미끄럼저항 평가

5.1 목적

콘크리트 포장은 공용연수 경과에 따라 노후화가 진행되고 이로 인해 타이어와 포장 접지면에서 작용하는 미끄럼저항성이 감소하여 우천시에 교통사고의 원인이 되므로 안전성, 경제성, 유지보수에 대한 연구가 계속되고 있다.

포장단면이 두꺼워서 장기간의 구조적 수명을 확보할 수 있더라도 노면의 마모가 심하여 미끄럼저항성을 상실하게 되면 다이아몬드 그루빙 등 대대적인 보강작업이 필요하므로 구조적으로 장기적인 수명을 확보한 장점이 반감되게 된다. 미끄럼저항성은 표면마모에 의해서 영향을 받고, 표면마모에 영향을 주는 인자들은 타이닝의 깊이 간격 뿐 아니라 사용골재의 Gradation, 형상 및 압중에 영향을 받는다. 현재의 기술로는 정형



화된 설계기술이 개발되어 있지 않기 때문에 표면조직의 내구성에 영향을 미치는 인자들을 고려한 마모측진 실험을 수행하고 마모측진 결과와 미끄럼저항값의 변화율을 고려하여 연간 미끄럼저항값의 변화를 예측한다.

5.2 방법

여러 표면처리 방법 중 횡방향 타이닝 시편과 골재노출콘크리트 시편이 마모측진 시험을 위하여 제작되었다.

시편의 사이즈는 600mm×300mm×200mm크기로 제작하였으며 횡방향 타이닝 시편 경우 타이닝 간격 25mm, 3mm정도의 깊이로 표면을 처리했고, 골재노출 콘크리트 시편의 경우 콘크리트 타설 후 물과 응결지연제의 비율을 2 : 1로하여 살포한 후 24시간 경과 후 스틸 브러쉬를 사용하여 표면의 골재가 노출되도록 제작하였다.

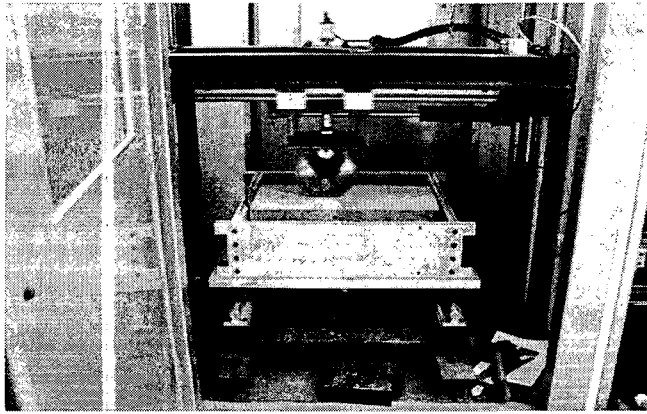


그림 9. 휠트래킹 장비를 이용한 마모실험

마모시험은 시편을 시험기에 고정하여 시험물의 주행방향은 차량의 주행방향과 일치시키고 주행횟수는 횡방향 타이닝과 19mm골재노출시편 모두 Wheel Pass는 동일한 지점에서 계속 실험을 하여 누적된 바퀴의 이동수가 10만회가 되도록 통일시켜 횡방향 타이닝 시편과 19mm골재노출시편을 비교하였다.

포장 표면조직의 상태를 알아보기 위한 측정방법으로서 노면 미끄럼 저항은 교통 개방 초기 포장 품질 관리에 문제가 없는 경우 미끄럼 저항치는 설계 단계에서 적용된 최소값보다 높은 상태를 유지한다. 그러나 포장은 공용기간이 경과하면서 교통하중이나 대기환경에 의하여 포장표면에서 미끄럼 저항성을 유지하던 표면조직이 손실되어 미끄럼 저항값이 낮아진다.

표면조직 내구성 평가를 위한 미끄럼저항값의 측정은 BPT(British Pendulum Tester)를 사용하며 이 장비는 전자식 방법으로 에너지 보존의 법칙을 이용한 것으로, 실내에서도 현장에서도 손쉽게 노면의 상대적인 미끄럼저항을 측정할 수 있다. 측정은 고무를 붙인 진자를 소정의 높이에서 흔들어 떨어뜨리고, 진자가 노면을 접촉하고 흔들려 올라가는 높이를 측정하는 방법이다. 이 장치에서 측정된 값은 이제까지 많은 실험 시험과 조합한 결과, 약 50km/h(30mph)의 속도일 때 승용차 타이어의 미끄럼 특성과 거의 일치한다.

미끄럼 저항값은 ASTM E-867에 의해 정의되며 ASTM E-274에 따른 미끄럼저항시험장비로 측정된 값들이다. 수학적으로 표시하면

$$SN = 100 \times \frac{F}{W}$$



여기서 F = 접촉된 타이어와 포장노면사이에서의 수평으로 당기는 힘
 W = 시험 바퀴의 수직하중

으로 나타나며 SN_{40} 의 값은 차량이 40mph(64km/h)의 속도로 이동할 때의 미끄럼 저항값을 나타낸 것이다.

5.3 마모속진실험을 이용한 미끄럼 저항 측정

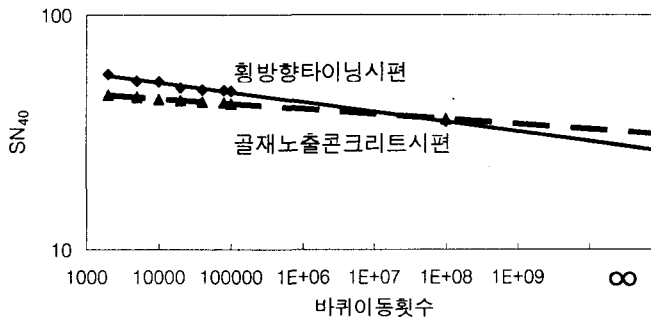


그림 10. 마모속진실험을 이용한 시편의 미끄럼 저항 값

미끄럼저항 측정은 BPT(British Portable Tester) 장비를 이용하여 측정하였다. 이는 실험실에서 도로표면의 마찰계수를 측정할 수 있도록 만들어진 장치이며 도로 표면과 고무 슬라이더 사이에서의 미끄럼저항을 측정한다. 그림 10에서 보듯이 SN_{40} - 바퀴통과수의 관계는 log-log 스케일에서 선형이다. 습윤한 상태에서 횡방향타이닝시편에서의 미끄럼저항값은 초기에 큰 미끄럼저항값을 나타내지만 횡방향타이닝시편은 마모율에 따른 미끄럼저항감소가 빠르게 나타난다. 골재노출표면처리시편은 미끄럼저항값의 감소가 상대적으로 작다. 이는 횡방향타이닝은 시멘트페이스트가 마모되는 것에 비해 골재노출표면처리시편은 노출된 골재가 직접 타이어와의 접촉에 의해 마모되므로 내구성이 우수하다고 판단된다.

6. 결 과

본 연구의 목적은 도로의 안전과 관련하여 포장의 표면에 적절한 조직을 만들어 특히 도로 표면이 젖은 상태에서 경제적으로 차량의 미끄러짐을 방지하여 주행의 안전성을 확보하면서 동시에 소음의 발생을 줄일 수 있는 저소음 표면처리 공법인 골재노출공법기술을 국내에 적용할 수 있도록 개발하는 것이다.

먼저 19mm골재를 사용하여 최적 배합 조건을 결정하여 골재노출시편을 제작하였으며 시공 용이성을 위하여 노출시간을 지연제 살포 후 24시간이 가능하도록 지연제 종류 및 살포농도 살포량을 결정하였다.

19mm골재노출시편, 9mm골재노출시편을 횡 방향 타이닝시편과 소음측정 및 미끄럼저항성평가를 위한 실내 실험을 통하여 비교해 볼 때 소음측정값은 철륵을 사용하였을 경우 19mm골재노출시편이 2dB(A)정도 낮게 측정되고 9mm골재노출시편은 4dB(A)이상 낮게 측정되었고, 미끄럼 저항에 있어서도 초기에는 횡 방향 타이닝이 우수하지만 골재노출시편이 내구성이 뛰어나 장기적인 측면에서 좋은 결과를 나타내었다.

철륵을 부착한 휠트래킹 소음측정방법은 타이어와 포장 사이에 여러 소음영향인자 중 타이어와 포장과의 충격에 의해 발생하는 소음만을 모사한 실험이다. 신뢰성이 다소 떨어지는 방법이지만 현재 시편을 이용한 소음측정방법에 대해 국내에 적합한 방법이 없는 관계로 수행해보았다. 다행히 표면처리방법에 따른 차이를 볼 수 있었다. 향후 국내외에 존재하는 막대한 자본이 드는 장비가 아닌 간편하게 시편을 이용한 신뢰성 있는 실험 방법이 연구, 개발되어야 할 것이다. 골재노출실험에 있어서는 보다 다양한 골재에 따른 골재노출실험이 이루어져야 한다.



참고문헌

1. 노관섭 외, "도로의 횡방향 마찰계수와 곡선반경에 관한 연구", 1997.12
2. 한국도로공사 도로연구소, "도로 선형별 미끄럼 저항 특성 연구(Ⅰ) 보고서", 2001
3. 한국도로공사, "포장의 미끄럼저항 특성 연구(Ⅱ)", 1991
4. 한국도로공사, "시멘트 콘크리트 포장의 거친면마무리 개선방안 검토", 2003.6
5. 한국도로학회지, "건식그루빙을 사용한 공항 활주로의 마찰 및 수막현상 특성 평가", 2001.9
6. 이승우, 김남철 "콘크리트포장 노면마모에 따른 미끄럼저항 변화 예측", 강릉대학교 도로 및 지반연구실, 한국도로학회 2003 학술발표회 논문집
7. 조윤희, "중부고속도로 파손상태 조사보고서", 중앙대학교 도로 및 교통연구실, 1999.10
8. 한국도로학회지 제 2권 1호, "포장 미끄럼 저항 장비 측정 개발 연구"
9. (주)서영기술단 부설기술연구소, "콘크리트 포장 표면처리 공법 조사보고서"
10. ALEXANDROS G. KOKKALIS 외, "Fractal Evaluation of Pavement Skid Resistance", 1997.6.21
11. David A. Kuemmel 외 (2000.6), "NOISE AND TEXTURE ON PCC PAVEMENTS"
12. David Cronney 외(1991), "The Design and Performance of Road Pavements"
13. FHWA-IF-02-020, "Pavement Texturing and Tire-Pavement Noise", 2002.3
14. Hironari Abe 외, "Measurement of pavement Macotexture using the CTMeter", 2000.1
15. JOHN E.GRADY 외, "Groove-Depth Requirements for Tine-Textured Pavements", 1981
16. T.Paul Teng, P.E., "ASSESSMENT OF LTPP FRICTION DATA", 1999. 3
17. Paul L.Burge' 외, "A Comparison of Transverse Tined and Longitudinal Diamond Ground Pavement Texturing for Newly Constructed Concrete Pavement", 2001.11
18. 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
19. G DESCORNET, F. FUCHS, "Concrete Paving Texture", 1992.2
20. Roger L. Wayson, Ph.D., P.E., "Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise", 1998
21. Thillainath Chelliah, "developing a Design Policy to Improve Pavement Surface Characteristics", Transportation TRB paper, 2002.11
22. Gerardo W. Flintsch, "Pavement Surface Macrottexture Measurement and Application", Virginia Tech Transportation Institute, 2003.9
23. O.K. PANAGOULI, "Skid Resistance and Fractal Structure of Pavement Surface", 1997.3