



도로포장면과 타이어간의 소음 재현장비의 개발

Development of Tire/Pavement Noise Simulator

김영규* 이승우** 유태석***
 Kim, Young Kyu Lee, Seung Woo Yoo, Tae Seok

Abstract

Recently various low-noise-pavement methods have been developed. Since tire/pavement noise is the major source of traffic noise at high speed condition, the core-technology of low-noise pavement is to produce the road surface texture that can reduce tire/pavement noise. The difficulties in the development of the low-noise pavements are high costs and time to construct test roads, since vehicles have to travel on the test roads to evaluate the noise from a particular condition of pavement surface. Tire/Pavement Noise Simulator were developed to overcome those difficulties and the reliability of developed Tire/Pavement Noise Simulator are investigated based on the simulating and measuring the noise of tire - tined concrete pavement and tire - non tined concrete pavement.

Keywords : *traffic noise, tire/pavement noise, tire/pavement noise simulator, surface texturing method, low-noise pavement*

요 지

최근 들어 타이어/노면 소음을 저감하기 위한 다양한 포장공법들에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 저소음 포장공법들을 개발하고자 하는 이유는 도로소음이 고속주행일 경우 도로노면과 타이어에서 발생하는 소음이 지배적이기 때문이다. 대부분의 저소음 포장공법의 핵심연구는 타이어/노면 소음이 노면의 미세조직 및 거시조직의 특성에 영향을 받는다는 점을 고려하여 표층 골재의 입도, 혹은 인위적인 노면조직에 대한 소음을 작게 발생하게 하는 것이다. 이러한 연구에서 어려운 점은 특정한 노면조직 혹은 포장공법에서의 타이어/노면 소음을 평가하기 위해 도로를 건설하고 차량을 주행시켜야 하기 때문에 비용과 시간의 제약을 받는다는 점이다. 따라서 이러한 난점을 극복하고, 다양한 노면조직에서의 소음을 저비용, 단시간에 평가하기 위하여 본 연구에서는 타이어/노면 소음재현장비를 개발하였고, 무타이닝 및 횡방향타이닝 포장에 대하여 타이어/노면 소음을 재현 및 측정을 통하여 개발한 장비의 신뢰성을 검증하였다.

핵심용어 : 교통소음, 타이어/노면 소음, 타이어/노면 소음재현장비, 노면처리공법, 저소음 포장

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정
 ** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사
 *** 정회원 · 도로교통기술원 포장연구그룹 전임연구원 · 공학박사

1. 서론

도로의 연장과 교통량 증가 및 차량의 대형화, 고속화로 인하여 도로 이용자 및 도로 주변의 주민들에 대한 교통소음은 점차 악화되고 있고 개개인의 소득수준 향상에 따른 생활의 질적 향상을 추구하기 시작하면서 환경소음의 문제가 대두되고 있다. 유럽의 경우 주민의 20~60% 가량이 불쾌할 정도의 소음공해에 시달리고 있으며 이 중 90%를 교통소음이 차지하고 있다. 미국의 경우도 피닉스, 디트로이트, 보스턴 등에서 교통소음으로 인한 민원이 발생하여 주요 도로 주변에는 방음벽의 설치가 의례화 되었다(Bernhard and McDaniel, 2004). 국내의 경우 전국 6개 주요도시의 주민들을 대상으로 소음인식도에 대한 여론조사 결과, 그림 1과 같이 가장 시급히 개선해야 할 소음원 중 교통소음이 가장 높게 나타났다(통계청, 2001~2002). 도로 교통소음은 주행 중에 있는 운전자에게 지속적인 소음의 노출로 인한 피로를 가중시켜 교통사고 발생의 원인을 제공하며 도로 주변에 거주하는 주민들에게는 스트레스, 불쾌감 및 불면증 등의 원인이 되기도 한다.

이와 같이 교통소음으로 인한 각종 피해가 발생하고 교통소음에 대한 관심이 날로 증가함에 따라 교통소음 저감을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 교통소음을 평가하기 위한 방법도 다양해지고 있다.

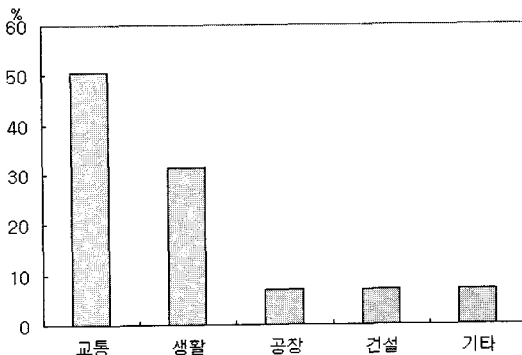


그림 1. 가장 시급히 개선해야 할 소음(통계청, 2001~2002)

일반적으로 교통소음의 측정방법은 길어깨측정법, 근접소음측정법 및 실험실내에서의 소음측정법 등이 있다. 그러나 이러한 측정법을 통한 교통소음(특히, 타이어/노면 소음)의 평가는 도로가 건설된 후에만 가능하다.

따라서 본 연구에서는 도로의 건설 없이 다양한 노면처리공법을 적용할 수 있는 타이어/노면 소음재현장비를 설계·제작하였으며 장비의 성능 확인을 위하여 무타이닝, 횡방향 타이닝 콘크리트 시편을 제작한 후, 소음 측정 및 소음도 비교분석을 수행하였다. 타이어/노면 소음재현장비의 개발로 인해 저소음 노면처리공법 개발 및 소음도 평가의 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 교통소음 이론

2.1 소음이론

삶의 쾌적한 생활환경을 해치는 소리, 또는 인간이 원하지 않는 소리, 인간 각자의 심신상태 및 환경조건에 따라 임의의 소리, 즉 자동차 소리 등 모든 소리가 주관적인 판단에 의해 소음이 될 수 있다. 소음은 세기(intensity 혹은 sound pressure, dB)와 주파수(frequency, Hz)로 표시하는데 공학적으로 소음을 제어할 경우 인간의 가청영역인 200Hz~10000Hz 사이의 소음을 제어하는 것이 중요하다.

소음도 소리의 일종이기 때문에, 공기의 진동을 통하여 전달되는 파동이 귀에 있는 고막을 자극하는 방식으로 인간은 소음을 느끼게 된다. 이러한 파동은 공기 압력의 불규칙한 변화에 기인하는데 일반적으로 인간이 느낄 수 있는 가장 작은 공기압력은 0.00002N/m²이다.

인간이 느끼는 소리에 대한 감각은 이 수치를 기반으로 해서 로그 척도로 올라가기 때문에 음압 수준 역시 로그를 이용해서 표현한다. 이렇게 해서 만들어



진 음압 수준 단위가 바로 데시벨(dB)이다. 또한, 인간의 청각구조의 특성상 주파수가 1,000Hz 정도인 음을 가장 큰 소리로 느끼고 100Hz 정도인 저음을 가장 작은 소리로 듣게 된다. 인간이 음을 듣는 데는 이러한 특징이 있기 때문에, 인간이 불편함을 느끼는 소음을 측정할 때 단순히 dB 단위를 사용해서는 정확히 그 크기를 반영할 수 없다. 따라서 소음을 측정할 때는 인간이 주로 들을 수 있는 주파수 특성을 보완한 단위인 dB(A)를 사용한다. 일반적으로 50dB(A) 정도를 전후로 해서 그 이상의 음이 발생하면 소음으로 간주한다. 하지만 낮과 밤의 차이, 주거지역과 상업지역 같은 지역 차이에 의해 소음 기준은 달라지며 개인의 심리 상태에 따라서도 달라질 수 있다.

2.2 교통소음의 발생이론 및 주요 영향인자

자동차의 도로주행 시 발생하는 교통소음은 크게 자동차의 기계적인 소음과 타이어와 노면에서 발생하는 소음으로 나눌 수 있다. 타이어/노면 소음(tire/pavement noise)의 경우는 타이어가 주행 시 타이어 트레드(tread)에 순간적으로 갇힌 공기가 노면에 접지 시 압축을 받으면서 외부로 방출될 때 발생하는 일종의 공기과열음(air-pumping sound)으로서 자동차에 의해 발생하는 전체 소음의 약 30%를 차지할 정도로 크며 특히 인간에게 불편감을 주는 고주파대의 소음으로 알려져 있다.

Sandberg의 연구결과에 의하면 주행 중 발생하는 소음은 차량속도가 증가할 수록 기계적인 소음보다 타이어/노면 소음이 큰 비중을 차지하며 차량속도가 80km/h 이상이면 타이어/노면 소음이 지배적인 것으로 나타났다(Sandberg, 1998). 따라서 차량이 고속주행을 하는 고속도로의 주된 소음은 타이어/노면 소음이라고 볼 수 있다. 그림 2는 자동차의 저속 및 고속주행 시 주요 소음원의 변화를 나타내었다.

타이어/노면 소음은 200Hz~3kHz에 주로 분포

되어 있어 인간에게 민감하게 작용한다. 주행 중 발생하는 타이어/노면 소음은 크게 타이어 진동에 의한 소음, 공기 역학적인 소음, 타이어와 노면과의 충격에 의한 소음 등 세 가지로 구분할 수 있으며 그림 3에 나타냈다.

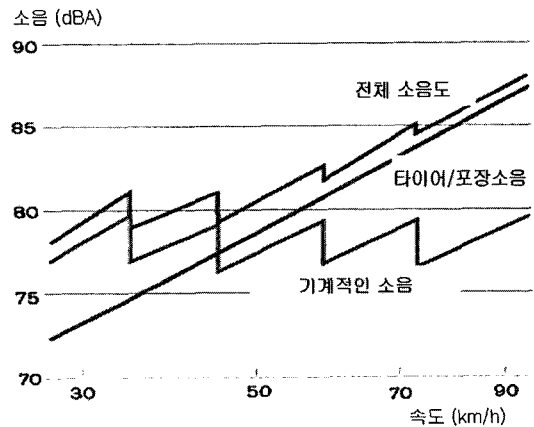


그림 2. 속도에 따른 기계적 소음과 타이어/노면 소음 관계 (Sandberg, 2002)

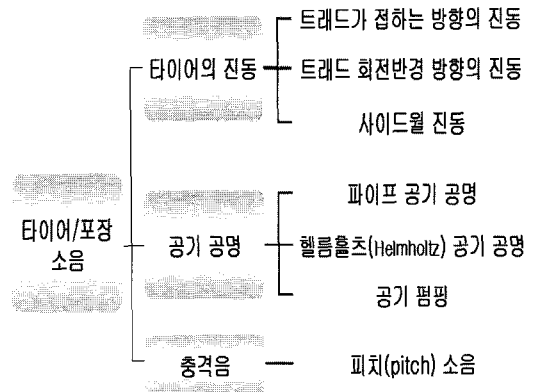


그림 3. 타이어/노면 소음의 종류(김병삼·홍동표, 1994)

3. 타이어/노면 소음 측정방법

타이어/노면 소음을 측정하는 방법은 그 용도와 목적에 따라 다양한 방법이 적용되고 있다(Sandberg, 1997).

표 1. 타이어/노면 소음 계측 방법과 적용 분야

종 류	계측 방법	적용 분야	관련 규격/문서
Coast-by (CB)	<ul style="list-style-type: none"> • 노면에 마이크로폰 설치 • 엔진 정지 상태로 차량 활공 • 차량속도는 변동됨 • 최대 소음도 및 회귀분석을 이용하여 승용차는 80km/h, 대형차는 70km/h에서의 소음도 계산 	<ul style="list-style-type: none"> • 타이어일반/상세시험 • 노면 상세시험 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO/CD 13325
Controlled Pass-by (CPB)	<ul style="list-style-type: none"> • 소형 및 대형 2대의 차량에 각각 2개의 타이어 장착 • 엔진 부하상태로 노면 설치 마이크로폰 통과 • 최대소음도 계측 및 해당 속도의 평균 소음도 계산 	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 상세시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑스 규격 S 31 119 • 독일 규격 GestrO '92
Statistical Pass-by (SPB)	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 설치 마이크로폰으로 일반 주행중인 차량 소음 계측(타 차량 영향 없을 것) • 차종, 속도, 최대 소음도 계측 • 승용차는 100대 이상, 대형차는 80대 이상 계측 	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 종류별 시험 • 차량 음향파워 레벨 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 11819-1
Close Proximity (CPX)	<ul style="list-style-type: none"> • 트레일러 타이어 근방에 마이크로폰 설치 • 시험도로 주행 시 평균 소음도 계측 	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 상세시험 • 타이어 상세시험 • 노면공사 시험 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO/CD 11819-2
Laboratory Drum (DR)	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 모사 표면을 갖는 드럼 상에서 타이어 회전 • 드럼 근접장에서 평균 소음도 계측 	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 일반시험 • 타이어 상세시험 	<ul style="list-style-type: none"> • ECE/WP29/ GRB Doc. R.100
Inside the Vehicle (Inside)	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 주행 시 내부 평균 소음도 계측 • 정속, 최대 가속, 아이들 조건에서 시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 실내소음 일반시험 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 5128
Sound Absorption in Situ (Tube method)	<ul style="list-style-type: none"> • 소음원으로부터 노면에 시험신호 송신 후 수신 소음도를 튜브로 계측 • 흡음률 계산 	<ul style="list-style-type: none"> • 노면 흡음률 시험 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 13472-1

3.1 현장 측정 방법

3.1.1 길어깨 소음 측정법(Pass-by 측정법)



그림 4. 길어깨 소음 측정법

길어깨 소음 측정법은 그림 4와 같이 도로 길어깨부에 마이크로폰을 설치하고 차량이 주행 시 소음을 측정하는 방법이다. 길어깨 소음 측정법은 SPB (Statistical Pass-by) 측정법과 CPB (Controlled Pass-by) 측정법으로 나눌 수 있으며 기본적인 측정 방법은 유사하다.

SPB 측정법은 주행차로의 중앙을 기준으로 25ft(7.5m) 떨어진 지점에 노면을 기준으로 4ft(1.2m) 높이에 마이크로폰을 설치하여 주행차량의 소음을 측정하는 방법으로 180대의 주행차량(승용차 100대, dual-axle multi-axle 트럭 80대)의 속도와 소음특성을 조사하여 SPBI (Statistical Pass-by Index)를 산정하는 방식이다.



CPB측정법은 소음측정할 구간을 정하여 80km/h의 속도로 이동하는 차량의 타이어/노면 소음을 측정하는 방법으로, 소음측정 시 차량은 마이크로폰의 전후 10m위치에서 시동을 끄고 기어를 중립으로 유지하여 기계소음의 발생을 최대한 억제한다. 마이크로폰의 위치는 주행차로의 중앙을 기준으로 25ft(7.5m)떨어진 지점에 노면을 기준으로 높이 5ft(1.5m)에 설치한다. 측정 장소는 도로표면이 깨끗하고 건조해야하며 반경 50m이내에 측정에 장애가 되는 요소가 없어야 한다.

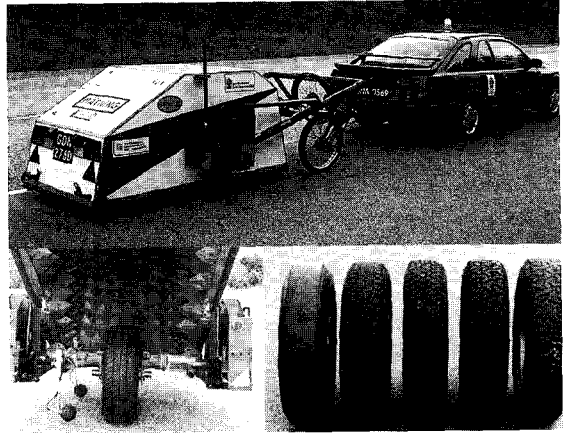


그림 5. CPX 소음측정용 트레일러(Sandberg, 1998)

3.1.2 근접 소음 측정법(Close Proximity Method : CPX)

주행차량의 타이어에 근접해서 소음을 측정하는 방법으로 ISO규정에서는 트레일러장비를 사용한 측정법을 제시하고 있다. 트레일러 내에 마이크로폰을 설치하여 차량에서 발생하는 엔진, 배기 등의 소음을 최소화하여 타이어/노면의 소음을 측정하는 방법이다.

주행 차량에서 발생하는 소음은 저속일 경우, 엔진 등의 기계적인 소음이 전체 소음에서 큰 비중을 차지하며, 고속으로 주행할 수록 타이어/노면에서 발생하는 소음의 비중이 증가하게 된다. 따라서 근접 소음 측정법은 포장면에 따른 소음 발생정도를 평가할 경우, 낮은 속도와 높은 속도를 모두 비교할 수 있는 수단으로 판단된다. 하지만 날씨와 온도의 영향을 받으며 노면 소음 계측 시 생성되는 심각한 측정오류인 트레일러내의 와류소음이 발생한다. 또한 길어깨 소음 측정법과 마찬가지로 측정을 원하는 노면조각이 도로상에 존재하지 않거나 측정이 어려울 경우엔 시험공이 이루어져야 한다.

그림 5와 그림 6은 CPX 소음측정방법을 나타낸 것이다. 각각의 마이크로폰은 전방을 기준으로 135°와 180°의 위치로 설치하도록 되어 있다. 워싱턴주에서의 근접 측정 실험은 90°와 135°의 위치를 제시했으나 측정된 결과값에서는 큰 차이가 나타나지 않는다(McNerney, 1998).

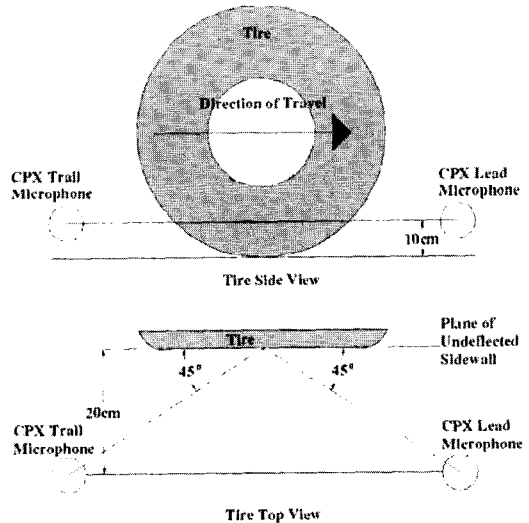
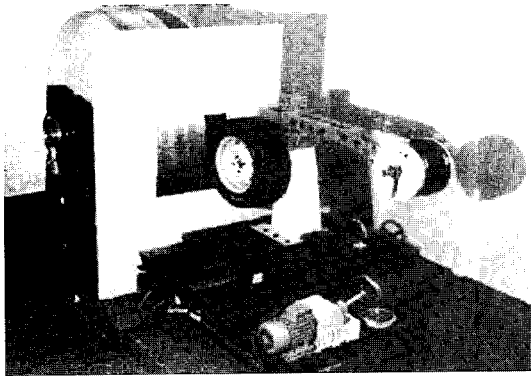


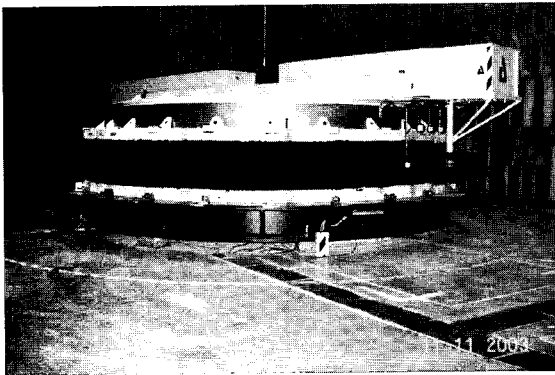
그림 6. 마이크로폰의 위치

3.2 실내 타이어/노면 소음 측정법

실내 소음측정장비는 실제 타이어/노면 소음의 원리를 적용하여 실험실에서 재현하는 방식으로 소음을 비교평가하기 위해 사용되며 보통 지름 1.5~2.5m의 원통형으로 시편이 제작되어 타이어와 맞물려 회전하면서 타이어/노면 소음을 발생시킨다. 속도는 일반 차량의 주행속도와 유사한 속도까지 낼 수 있다.



(a) 타이어/노면 소음과 미끄럼저항 측정이 가능한 장비(2000, Sandberg)



(b) 타이어/노면 실험장비(TPTA)

그림 7. 실험실 타이어/노면 소음재현장비

대부분의 타이어/노면 소음재현장비의 시편부는 원통형으로 되어 있다. 이는 아스팔트포장과 같은 노면조직은 시편제작이 가능하지만 콘크리트포장 노면과 같이 표면처리가 이루어져야 하는 시편을 제작하는데 어려움이 있으며 골재노출포장과 같이 표면에 지연제 및 양생제를 살포해야 하는 노면의 시편제작은 더욱 어려울 것으로 판단된다.

4. 타이어/노면 소음재현장비의 개발

4.1 타이어/노면 소음재현장비의 제작 목적 및 개요

타이어/노면 소음을 측정하는 다양한 방법 중 실제

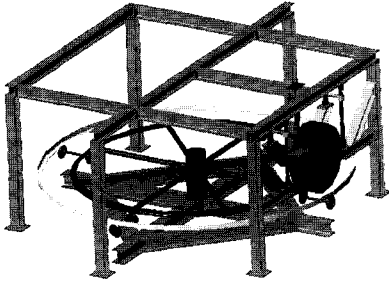
도로에서 소음을 측정하는 방법은 주변에 영향을 미치는 교통소음을 가장 유사하게 측정할 수 있지만 타이어와 노면조직에 따른 소음 정도를 측정하기에는 차량의 엔진소음, 흡/배기소음 및 환경소음 등이 포함되기 때문에 어려움이 있다. 또한, CPX 소음측정 방법은 엔진 및 흡/배기 소음은 줄일 수 있지만 트레일러 내 와류소음 등의 측정오류가 발생할 수 있고 측정하고자 하는 노면조직이 형성된 도로가 없을 경우 측정이 불가능하다는 문제점이 있다. 따라서 타이어/노면 소음재현장비의 제작을 통하여 실험실에서 시편을 제작한 후 소음을 측정할 경우 실제 타이어/노면 소음을 재현할 수 있고 시공되지 않은 노면조직에 대한 소음 평가가 가능하여 다양한 저소음 표면처리공법 개발 및 도입의 기초자료로 활용할 수 있다. 또한 타이어의 종류 및 회전속도, 축하중 및 접지압의 변화를 조절할 수 있도록 하여 실제 주행차량의 다양한 종류와 차량속도를 모사할 수 있다.

4.2 타이어/노면 소음재현장비 제작

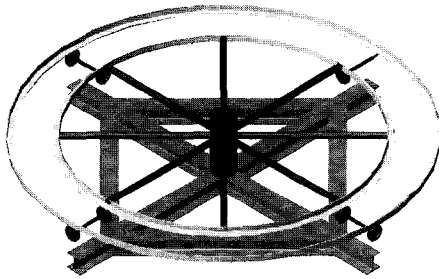
문헌조사 결과, 실내 타이어/노면 소음재현장비는 대부분 원통형이며 타이어와 원통형 물드가 맞물려 돌아가는 구조를 갖추고 있어 장비를 소형으로 제작할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 원통형으로 제작할 경우, 콘크리트 포장의 시편제작 및 다양한 노면처리공법을 모사하기 어렵다. 따라서 시편제작이 용이하고 다양한 노면을 적용할 수 있는 원형판 구조로 제작하였다.

본 타이어/노면 소음재현장비는 유압모터로 타이어를 회전시키고 회전하는 타이어가 원형판의 시편을 회전시키도록 하는 구조로 설계되었다. 다양한 노면조직을 재현할 수 있는 원형판의 지름은 4.62m, 바닥에서 원형판까지의 높이는 0.75m, 장비의 전체높이는 2.7m이다. 원형판은 시편의 이동과 교체가 용이하면서 시편과 시편사이의 불연속면을 최소화하기 위해 6등분하였다. 시편의 자중 및 타이어의 축하중에 의한 원형판의 처짐을 방지하기

위해 회전판 하부에 보조 바퀴를 설치하였으며 기동에 수동 크레인을 설치하여 시편 및 타이어 교체가 용이하게 하였다.



(a) 장비의 개념도



(b) 원형판 개념도

그림 8. 타이어/노면 소음재현장비 개념도

타이어/노면 소음재현장비의 제작 초기모습을 그림 9에 나타냈으며 원형판과 타이어를 지지하는 단순한 구조로 이루어져 있다. 하지만 시험가동 결과, 과도한 흔들림과 진동이 발생하여 안전성 확보가 이루어지지 않았으며 많은 기계소음이 발생하였다. 이를 보완하기 위하여 장비와 바닥면 사이에 진동저감



그림 9. 제작 초기

패드를 설치하고 원형판 주위에 프레임 구조를 설치하여 타이어 구동축과 원형판의 진동에 의한 기계소음을 저감하였으며 안전성을 확보하였다.

위와 같은 설계 및 제작 초기 문제점을 보완하여 타이어/노면 소음재현장비의 현재 모습을 그림 10에 나타내었다.

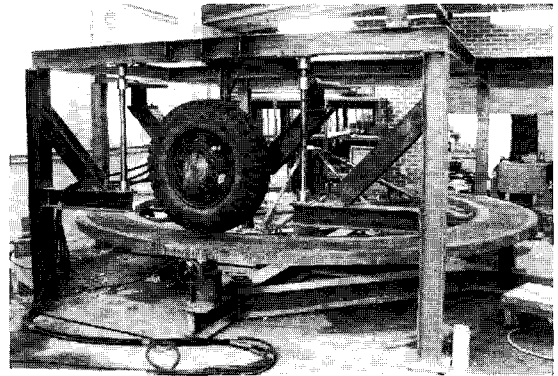


그림 10. 현재

장비의 전체적인 구동은 유압으로 이루어지며 소음을 최소화하기 위해 저압 3상유도 전동기와 가변 유압분배기를 사용하여 유압을 공급하며 저소음 유압모터를 통하여 타이어를 회전시킨다. 가변유압분배기를 작동시키는 저압 3상유도 전동기의 출력은 7.5kW(10HP)로 분당회전수는 1,760회이며 가변 유압분배기는 최대 60m/min의 속도로 유압 오일을 공급한다. 그림 11에서 보여주는 것과 같이 2개의 수동 레버를 사용하여 유압을 변화시켜 축하중을 다양하게 제어할 수 있으며, 주행속도는 최대 80km/h 까지 적용이 가능하다.

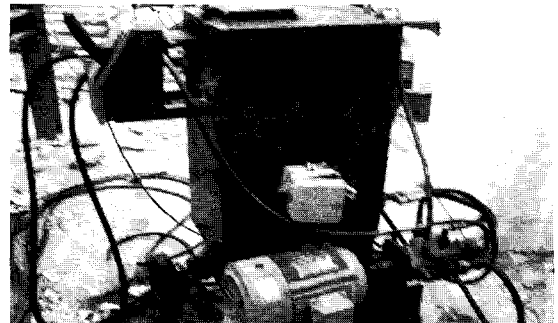


그림 11. 유압 구동 장비

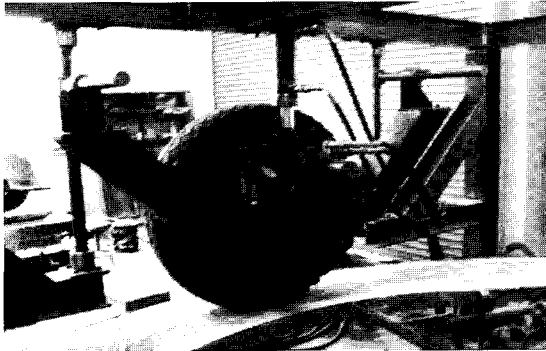



그림 12. 타이어 축 및 유압모터

타이어를 회전시키기 위하여 저소음 유압모터를 사용하였으며 제원은 다음과 같다.

표 2. 저소음 유압모터의 제원

Model	Displacement	Rated Speed	Max. Speed	Rated Output Torque
	cm ³ /rev	rpm	rpm	N-m (kgf-m)
	230	240	320	285 (29.0)
Max. Output Torque	Rated Pressure	Max. Pressure	Allowable Back Pressure	Weight
N-m (kgf-m)	MPa (kgf/cm ²)	MPa (kgf/cm ²)	MPa (kgf/cm ²)	kg
402 (41.0)	9.8 (100)	14.0 (137)	10.2 (105)	6.3

타이어를 회전시키기 위해 저소음 유압모터를 사용한 이유는 전동기를 사용하였을 경우 많은 기계소음이 발생하여 타이어/노면 소음측정 시 정확한 데이터를 얻지 못하기 때문이다. 또한, 그림 12에 나타난 것과 같이 유압으로 작동되는 실린더를 설치하여 축하중을 제어하였으며 타이어축의 고정을 위하여 양옆으로 지지대를 설치하였다.

5. 타이어/노면 소음재현장비를 이용한 소음 측정

5.1 시편제작

개발된 소음재현장비의 성능평가를 위해 비교적 소음크기의 차이가 많이 알려져 있는 무타이닝, 횡방향 타이닝 콘크리트시편을 제작한 후 타이어/노면 소음재현장비를 이용하여 소음을 측정하였다. 원형판의 크기는 외경 2.31m, 내경 1.75m 및 높이 0.07m인 도넛츠 모양이며 넓이는 7.29m², 부피는 0.5103m³이다. 무타이닝 콘크리트 시편은 타이어/노면 소음재현장비의 일부인 원형판에 직접 타설을 하였으며 횡방향타이닝 시편은 미리 제작된 6개의 몰드에 타설하였다. 6개의 몰드는 원형판의 크기를 6등분 한 것과 동일하며 양생 후 탈형하여 수동크레인을 사용해 타이어/노면 소음재현장비에 장착하였다.

무타이닝 및 횡방향타이닝 콘크리트시편은 시멘트 비중 3.15인 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 굵은골재 최대치수 32mm, 비중 2.62인 쇄석 골재를 사용하였다. 잔골재는 비중이 2.57인 모래를



그림 14. 원형시편(직접 타설)

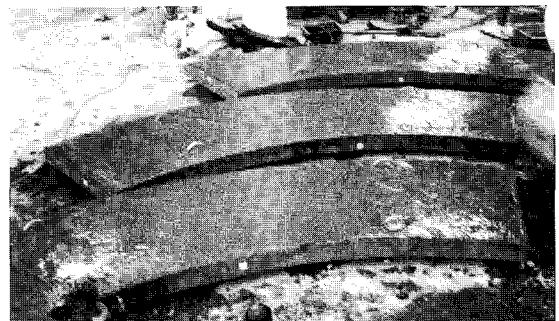


그림 15. 원형 시편(몰드 타설)

사용하였다. 배합결과 공기량 4.5%, 슬럼프 1cm로 한국도로공사 포장용 시멘트 콘크리트의 배합기준에 만족하였다.

표 3. 배합표

물·시멘트비 W/C(%)	잔골재율 S/a(%)	단위량(kg/m³)				
		W	C	S	G	AE제
45	42	144	320	766	1063	C×0.25%

그림 16은 무타이닝 콘크리트시편을 나타내며 표면처리 없이 비닐양생을 실시하였다.

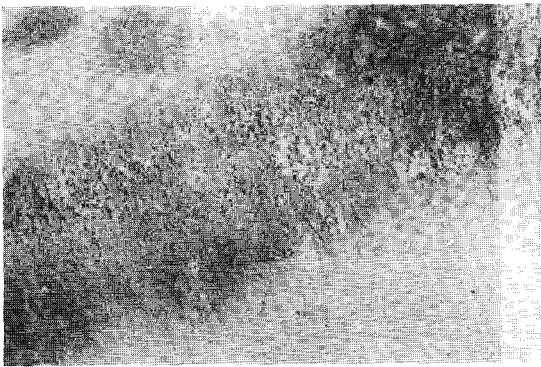


그림 16. 무타이닝 콘크리트시편

횡방향타이닝 콘크리트시편은 우리나라에서 일반적으로 시공하고 있는 방법과 동일하게 타이닝 간격 25mm, 홈 깊이 3mm로 제작하였다. 하지만, 소음에 영향을 주는 타이닝 간격 및 홈 깊이가 양호하지 못해 추가적인 그라인딩 작업을 실시하였다.

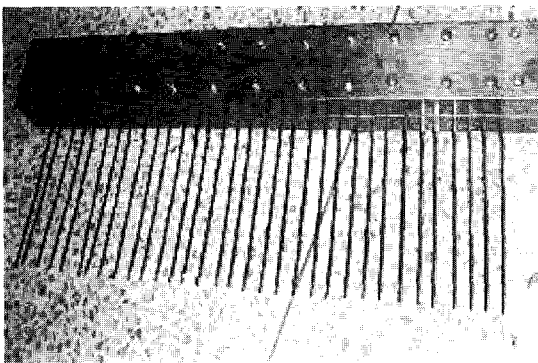


그림 17. 타이닝 장비




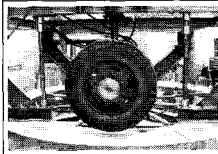
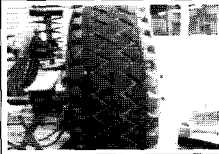
그림 18. 횡방향타이닝 콘크리트시편

5.2 타이어/노면 소음재현장비를 이용한 소음측정

소음측정 시 사용된 타이어의 제원은 표 4에 나타났다. 타이어 공기압을 30psi로 하여 650kgf의 축하중을 주었으며 접지면적 47.4in²을 나타내었다.

표 4. 타이어 제원 및 축하중

제조사/모델명/규격	Max. Load/Max. Press	타이어 접지면적
HANKOOK 트럭용 타이어 9.00-20	Single 5670lbs at 110psi cold Dual 4970lbs at 100psi cold	

타이어 형상	타이어 트레드 형상
	

소음측정은 길어깨 소음측정법과 근접 소음측정법을 병행 하였다. 주위 암소음(전동기, 유압 분배기 및 유압모터 등의 기계소음)을 줄이기 위하여 sheet 형식의 25mm 폴리에스테르 압축 흡음체를 사용하여 반무향실 형식의 박스를 제작한 후 내부에 마이크로 폰을 설치하였다.

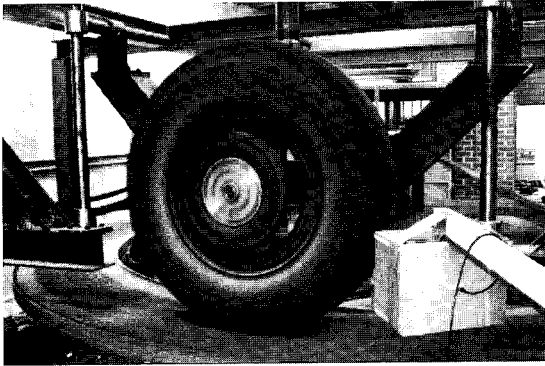


그림 19. 마이크를 사용한 소음측정

또한, 2차적인 암소음을 줄이기 위해 유압 구동 장비를 실외로 옮겨 외부에서 장비를 운전할 수 있도록 하였으며 이 외에 장비 작동 시 일정하게 발생하는 암소음은 시간대 분석을 통하여 제거하였다.

소음측정은 먼저 타이어와 시편이 접하지 않은 상태에서 장비를 가동시켜 타이어의 회전에 의한 암소음을 측정하였으며 그 후에 무타이닝, 횡방향타이닝 콘크리트시편을 타이어에 접촉시켜 20km/h, 40km/h에서 각각 15초간 소음을 측정하였다.

5.3 소음분석

본 연구에서 적용하는 소음은 타이어/노면 소음으로서 유럽 연합 공통 소음예측방법 HARMONOISE (Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental NOISE)에서 적용하는 소음평가 물리량으로 나타내었다.

HARMONOISE는 기존의 방법과는 달리 차량 소음을 발생매커니즘이 다른 타이어-노면 소음과 추진 소음으로 구분하여 25~10,000Hz의 1/3-옥타브 밴드에 대한 A-가중치 등가 소음도를 계산한다.

먼저 측정된 타이어/노면 소음에서 25~10,000Hz를 제외한 모든 주파수를 필터링하였다. 필터링 후 A-가중치 등가 소음도로 나타내었다. A-가중치 등가 소음도는 장비 가동 시 일정간격으로 타이어/노면

소음 외의 암소음을 포함하고 있어 시간대 분석을 통해 제외한 후 타이어/노면 소음을 나타냈다.

5.3.1 암소음에 의한 실험 유효 분석

타이어/노면 소음재현장비의 암소음 측정을 10초 동안 진행하였고 그림 20과 같이 A-가중치 등가 소음도(Leq, dB(A))로 분석한 결과 46dB(A)로 나타났다.

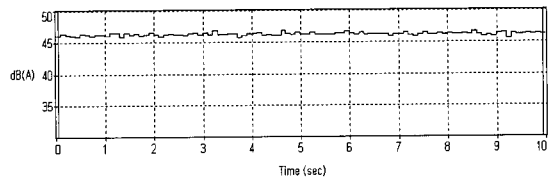


그림 20. 암소음의 A-가중치 등가 소음도: 46dB(A)

ISO 11819-1에 의하면 길어깨 소음측정법의 경우 단독 주행차량 소음측정 시 암소음이 측정소음과 비교하여 최소 6dB 이상 작아야 한다. 표 5는 시간대 분석을 한 결과값으로 모두 암소음과 6dB(A) 이상 차이가 나므로 유효한 실험임을 알 수 있다.

표 5. A-가중치 등가 소음도

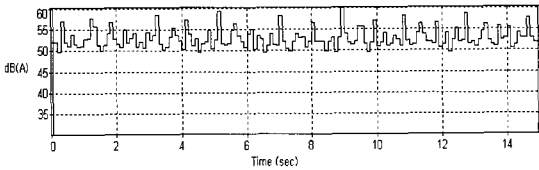
	암소음, dB(A)	20km/h, dB(A)	40km/h, dB(A)
무타이닝	46	53	56
횡방향타이닝		57	59

5.3.2 표면처리공법 및 속도별 소음분석

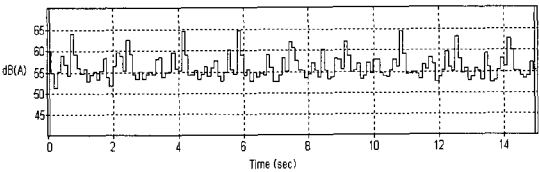
표면처리공법을 적용한 시편에 대한 소음분석은 HARMONOISE에 의거하여 1~20,000Hz의 주파수 범위 중 25~10,000Hz의 주파수 범위를 제외하고 모든 영역을 필터링하였다. 그림 21은 각 시편의 필터링 후의 속도에 따른 소음 크기이다.

속도별 평균 소음 크기를 보면 타이어/노면 소음이 커지는 것을 알 수 있지만 타이어/노면 소음 외의 소음을 포함하고 있어 정확한 데이터라 볼 수 없다. 보다 정확한 소음 크기를 알아보기 위해 타이어/노면 소음 외의 암소음의 시간대 분석을 실시하여 제거하

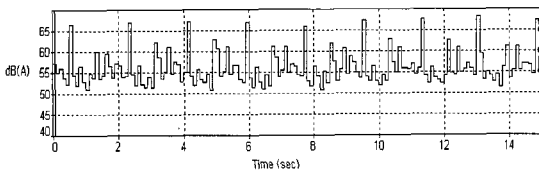
였다. 시간대 분석은 일정하게 큰 값을 나타내는 부분을 타이어/노면 소음이 아닌 장비에 의한 소음으로 판단하여 큰 값을 나타내는 시간대를 제외하였다. 표 6에 나머지 구간의 시간대 소음에 대해 평균을 내어 표면처리 시편별로 나타내었다.



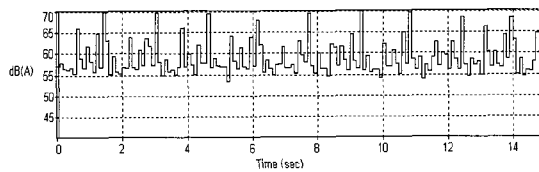
(a) 무타이닝 콘크리트시편 20km/h, 평균소음 : 53dB(A)



(b) 무타이닝 콘크리트시편 40km/h, 평균소음 : 56dB(A)



(c) 횡방향타이닝 콘크리트시편 20km/h, 평균소음 : 57dB(A)



(d) 횡방향타이닝 콘크리트시편 40km/h, 평균소음 : 59dB(A)

그림 21. 필터링 후 속도에 따른 소음 크기

표 6. 필터링 후 속도에 따른 소음 크기

	20km/h, dB(A)	40km/h, dB(A)
무타이닝	53	56
횡방향 타이닝	57	59

각 시편의 필터링 후 결과값을 분석한 결과, 무타이닝 콘크리트 원형시편의 경우 20km/h의 주행속도 차이에 의해 3dB(A)의 소음차이가 발생하였으

며, 횡방향타이닝 콘크리트 원형시편의 경우 20km/h의 주행속도 차이에 의해 2dB(A)의 소음 차이를 나타내었다. 또한, 무타이닝, 횡방향타이닝 콘크리트 시편의 노면처리공법의 변화에 따른 소음 차이를 비교해본 결과 20km/h의 주행속도일 경우 4dB(A)의 소음차이가 발생하며, 40km/h의 주행속도일 경우 3dB(A)의 소음차이를 나타내었다.

따라서 실내 타이어/노면 소음재현장비를 이용하여 소음재현 및 측정을 실시한 결과, 주행속도와 노면처리공법이 소음에 영향을 미치는 것을 확인하였으며 타이어/노면 소음을 재현하는데 성공적인 것으로 판명되었다.

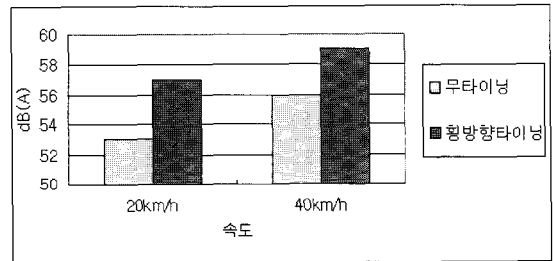
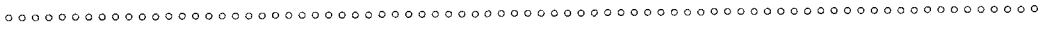


그림 22. 속도에 따른 소음측정 결과

6. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 길어깨 소음측정법, 근접 소음측정법, 실험실내에서의 소음측정법 등 기존의 다양한 교통소음측정법을 비교 검토하여 교통소음측정법의 문제점을 제시하였으며 이를 보완하여 실내 타이어/노면 소음재현장비를 설계 및 제작하였다. 또한, 주행속도의 변화와 노면처리공법에 따른 소음특성을 비교, 분석하기 위하여 무타이닝, 횡방향타이닝 콘크리트시편을 제작하여 소음측정실험을 수행하였다. 연구결과 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 타이어/노면 소음재현장비의 압소음에 의한 실험 유효분석을 하였으며 무타이닝, 횡방향타이닝 콘크리트시편의 소음이 압소음과 6dB(A) 이상 차이



가 발생하여 유효한 실험이었음을 알 수 있었다.

(2) 무타이닝 및 횡방향타이닝의 표면처리공법을 적용한 시편에 대한 필터링 후의 속도에 따른 소음 크기의 변화는 무타이닝 콘크리트 원형시편이 20km/h, 40km/h로 회전할 경우 3dB(A), 횡방향 타이닝 콘크리트 원형시편이 20km/h, 40km/h로 회전할 경우 2dB(A)의 소음 차이를 나타내었다. 또한, 무타이닝, 횡방향타이닝 콘크리트시편의 속도에 따른 소음 차이를 비교해본 결과 20km/h의 속도일 경우 4dB(A), 40km/h의 속도일 경우 3dB(A)의 차이를 보였다.

(3) 타이어/노면 소음재현장비를 통한 소음측정 결과 타이어에 의한 원형판의 속도와 콘크리트시편의 표면처리에 의한 소음 레벨의 변화를 알 수 있었다. 이는 실제 도로에서의 차량주행 시 운전자에게 미치는 소음의 변화는 자동차의 속도 및 도로의 표면처리공법이 주요한 영향 인자임을 확인하였다.

이와 같은 결과를 토대로, 본 연구를 통해 제작된 타이어/노면 소음재현장비는 다양한 표면처리공법 및 차량의 속도에 따른 소음변화를 실험실내에서 재현할 수 있으며 각각의 표면처리공법에 따른 소음도 비교를 통하여 저소음 공법개발의 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 '장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발'의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

김병삼, 홍동표, "타이어와 소음", 한국소음진동공학회지, 제 4권 4호, pp.404~412, (1994)
 이승우, "저소음 콘크리트포장 연구개발 과제, 연구보고서", 포스코건설, (2003)

유동조, "타이어/노면 소음재현장비의 개발", 강릉대학교 석사학위논문, (2005)
 조운호, "장수명 저소음 포장노면 개발연구 1차년도 보고서", 연구보고서, 중앙대학교 도로 및 교통연구실, (2003)
 조대승, "고속도로 포장노면과 타이어간의 마찰음 분석 및 평가 기법 연구(I)", 연구보고서, 부산대학교, (2005)
 ISO 11819-1, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 1. The Statistical Pass-by Method", ISO, 1997
 ISO/CD 11819-2, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 2. The Close Proximity Method", ISO, 2000
 Domenick, Billera., Bela, Schmidt. and Wayne, Miller., "Stop the Whine! Narrow Band Noise Level Measures of Three Highway Pavements", *Transportation Research Board 76th Annual Meeting*, (1997)
 Hermann, Sommer, "Upgrading the Roads of Austria for the Needs of the Growing European Union", *Bripave Seminar*, pp.117~121, (2003)
 Hibbs, B.O. and Larson, R.M., "Tire Pavement Noise and Safety Performance", *FHWA, Final Report*, FHWA A-SA-96-068, (1996)
 Kuemmel, David A., Sontag, Ronald C., Crovetti, James A., Becker, Yosef. and Jeackel, John R., "Noise and texture on PCC pavements", *Marquette University*, (2000)
 Sandberg. and Jerzy, A. Ejsmont., "Texturing of cement concrete pavements to reduce traffic noise", *Institute of Noise Control Engineering*, pp.231~243, (19948)

접 수 일 : 2007. 4. 30
 심 사 일 : 2007. 5. 2
 심사완료일 : 2007. 6. 27