



# 도로 소음특성 평가를 위한 HEART CPX Trailer 개발 및 현장 적용성 검증 연구

## A Study on the Evaluation of Road Noise Characteristics Using the Tire/pavement Noise Measuring Trailer

김 인 태\*      오 승 환\*\*      한 승 환\*\*\*      조 윤 호\*\*\*\*

Kim, In Tae      Oh, Seung Hwan      Han, Seung Hwan      Cho, Yoon Ho

### Abstract

This study develops the tire/pavement noise measuring trailer that can minimize the effect of various environmental noise and evaluate road noise characteristics without regard to time and spots. As literature reviews, it is examined into road noise characteristics and case studies of various CPX Trailer, and made a development plan of device. Based on these, HEART CPX Trailer is developed and conduct experiments for verification of the semi-anechoic chamber suitability, precision and field application of device. In the result of the experiment for verification of semi-anechoic chamber suitability, we can make sure that it is suitable and reliable among frequency bands. In the test of repetition measurement, we can verify excellent measurement accuracy among speeds and microphone's locations. In case of field tests using HEART CPX Trailer, it is founded that the result is similar to CPB test result carried out by Chung-Ang university in 2003. It can be concluded caused that the effect of environmental noise in and around the road including mechanical noise of a tow car was excluded. This paper confirmed and suggested that HEART CPX Trailer is suitable for evaluation of real road noise characteristics.

**Keywords :** tire/road noise, CPB, CPX trailer, texture, frequency analysis

### 요 지

본 연구에서는 도로 소음 측정시 다양한 형태로 존재하는 환경소음의 영향을 최소화하고 시간과 장소의 구애 없이 공용 중인 도로 상에서도 측정 및 평가를 가능토록 하기 위해 타이어/포장 소음 측정용 Trailer 장비를 제작 개발하였다. 기존 문헌조사를 바탕으로 도로소음의 특성을 파악하고 국외의 다양한 CPX Trailer 관련 연구사례를 살펴보았으며, 장비의 설계 및 제작 원리를 정립하였다. 이를 바탕으로 HEART CPX Trailer 소음 측정 장비를 제작하였으며, 반무향실 제작에 관한 적합성, 장비의 측정 정밀도 및 현장 적용성 등의 검증을 위해 다양한 시험을 수행하였다.

HEART CPX Trailer 장비의 반무향실 제작에 대한 적합성 시험에서는 각 주파수 대역별에 따른 적합성 및 신뢰도를 확인할 수 있었으며, 도로 소음특성 평가용 장비로서 적합하다고 판단된다. 반복측정 시험에서는 각 속도별 및 마이크로폰의 위치별로 우수한 측정 정밀도를 확인할 수 있었다. 공용 중인 상태에서 수행한 도로소음 측정 결과는 2003년 중앙대학교에서 교통 개방 전에 동일구간에 대해 수행하였던 CPB 측정 결과와 유사한 경향을 보였다. 이는 견인차량의 기계소음을 비롯한 공용 중인 도로 주변의 환경소음으로부터 영향을 거의 받지 않기 때문이라 판단되며, 본 장비를 활용한다면 공용 중에도 객관적인 소음 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 타이어/포장 소음, CPB, CPX 트레일러, 텍스처, 주파수 분석

\* 정회원 · 중앙대학교 에너지환경연구소 연구원 · 공학박사

\*\* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사

\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 책임연구원 · 공학박사

\*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수



## 1. 서론

국가 산업구조가 고도화되고 성장함에 따라 유통 활동의 영역이 넓어지고 수송 수요가 증가하고 있어, 이를 뒷받침하기 위한 도로의 신규 및 확장사업이 지속적으로 진행되고 있다. 전국의 자동차 등록대수는 2003년, 현재 1,400만대를 넘어섰다(통계청, 2004). 이와 함께 차량의 대형화·고속화됨에 따라 도로 이용자 및 도로 주변의 주민들에 대한 교통 소음은 점차 악화되고 있다. 특히 자동차 보유대수는 증가하나 도로 점유율이 낮기 때문에 도로교통소음이 해마다 증가하고 있는 현실이다. 소음 공해에 대한 체감도 조사 결과, 그림 1의 우측과 같이 전체 응답자 중 60.5%가 주변 소음이 점차 심해지고 있는 것으로 답했다(중앙대학교, 2005). 또한 국민들의 소득 수준이 향상되면서 일상생활 주변에서 소음·진동으로 인한 민원 및 소송이 증가하고 있다. 여론조사 결과 그림 1의 왼쪽과 같이 시급히 개선되어야 할 소음으로 도로교통소음을 선정하였다(통계청, 2001·2002).

이러한 도로교통소음에 대한 대책 마련을 위해 국내·외에서 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 기존의 방음벽, 방음뚝 등의 설치를 통한 비경제적, 환경 파괴적, 간접적인 소음 대책 방안을 탈피하고자 하고 있다. 실제로 다양한 연구결과에 따르면 소음을 적게 발생시키는 포장 표면 및 재료 등을 개발·시공함으

로써 근본적인 저소음 효과를 얻을 수 있다는 사실이 보고되고 있다. 그러나 현재 국내의 현실은 다양하게 시도 및 적용되고 있는 저소음 포장에 대해 소음특성을 평가하고 그에 따른 유지관리를 수행하는 방법을 표준화되어 확립된 것이 거의 없는 실정이다. 따라서 국내 여건에 부합되는 장비를 구축하고, 그에 따른 도로 소음 측정법의 개발 및 효과적인 활용방안에 대한 다각적 모색은 의미 있는 것이다.

본 연구를 통해 도로소음 이외의 다양한 환경에서 저소음 도로 포장의 공용 전·후의 소음 특성을 객관적이고 정확하게 측정할 수 있는 장비를 개발, 검증 및 현장 적용성을 검토하고자 한다.

## 2. 도로 소음 측정 방법 및 CPX 에 대한 고찰

소음 측정 방법을 표준화하는 방법이 다양하게 제안되었는데 이중 일반적으로 쓰이고 있는 것은 표 1과 같이 분류할 수 있다(Hanson, 2004). 본 연구에서 개발한 CPX Trailer 를 이용하여 소음을 평가하는 방법은 CPX 측정법으로 위에서 살펴본 바와 같이 두 종류가 있다.

ISO standard 11819-2 draft에 의한 방법은 마이크로폰을 차량 타이어에 근접하여 설치하고 타이어와 포장면에서 발생하는 소음을 측정하는 방식이다. ISO에서는 CPX(Close proximity method :

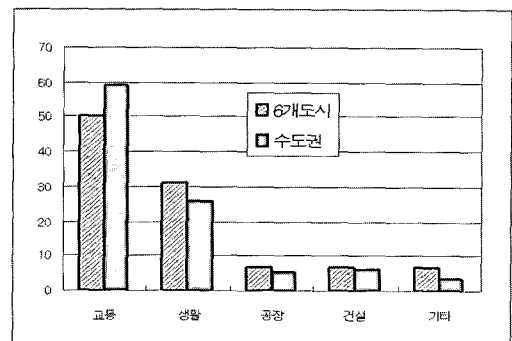
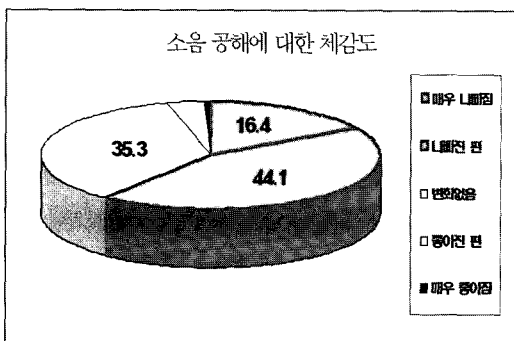


그림 1. 소음 공해에 대한 체감도 및 가장 시급히 개선해야 할 소음/진동  
(좌 : 통계청, 1997 / 우 : 조사기관: 소비자문제를 연구하는 시민의 모임, 한국 께립)



근접 소음 측정) 측정법에 쓰이는 트레일러 장비를 제시하고 있으며 타이어와 포장에서 발생하는 소음에 대해서 트레일러에 마이크로폰을 장착하여 엔진 등의 기타 소음의 영향을 최소화할 수 있는 방법이다. ISO에서 제시한 마이크로폰의 위치는 타이어의 중양을 기준으로 20cm(8inch) 떨어진 거리에서 지면과의 높이는 10cm(4inch)로 앞뒤에 설치하게 되어있다. 그림 2에서는 마이크로폰의 위치에 대한 조건을 설명하고 있다.

Dr. Paul Donavon은 도로 소음 측정을 위해 일반적으로 행하는 음압(sound pressure)을 측정하는 것이 아닌, 음의 세기(sound intensity)를 측정하는 CPX법을 개발하였다. 음의 세기는 음원(타이어/노면 사이의 접촉면)에서 발생하는 음향에너지(acoustic energy)의 흐름을 표현하는 것으로서, 음압을 측정하는 심플한 마이크로폰들이나 소음측정기와는 달리 탐침기(sound intensity probe)를 통해 측정하게 된다. 음의 세기 측정 방법의 경우 측정하고자 하는 음원에서 발생하는 음만을 정확하게 잡아내며, 다른 음으로부터의 상호작용을 제거하기 때문에 별도의 음향실(acoustic chamber)처리가 필요없다.

이와 같은 방법으로 도로 포장의 소음 특성을 정량화할 수 있는 CPX Trailer를 유럽에서는 대부분의 국가에서는 자체 개발하여 보유하고 있다. 또한 미국에서도 뉴저지, 아리조나 등에서 CPX Trailer를 이용한 소음 연구가 진행 중에 있다(Atlanta, 2004). 그림 3은 네델란드와 스웨덴에서 개발된 CPX Trailer의 모습이다.

이와 같이 각국에서 CPX Trailer를 제작하여 포장의 소음을 측정하는 것은 pass-by 소음 측정법과는 달리 긴 구간에 대한 소음을 측정할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 해당 구간의 날씨 또는 환경적인 영향을 거의 받지 않고 도로 소음을 측정할 수 있으며 주기적인 소음 측정을 통해 포장 표면에 대한 노화 정도 혹은 배수성 포장일 경우의 공극 막힘 정도 등을 파악하는 자료로 활용될 수 있다. 또한 SPB 측

표 1. 소음 측정 방법

구분	특징	종류
Far-field measurements	도로변에 다소 거리를 두고 설치한 마이크로폰으로 측정	통계적(statistical) pass-by 소음 측정법(SPB)
		제어된(controlled) pass-by 소음 측정법(CPB)
Near-field measurements	타이어/포장의 접촉면에 근접하여 위치한 마이크로폰에 의해 측정	ISO standard 11819-2 초안(draft)
		Donavon가 제안한 측정법
기타		흡음률 측정법
		실내 소음 측정법

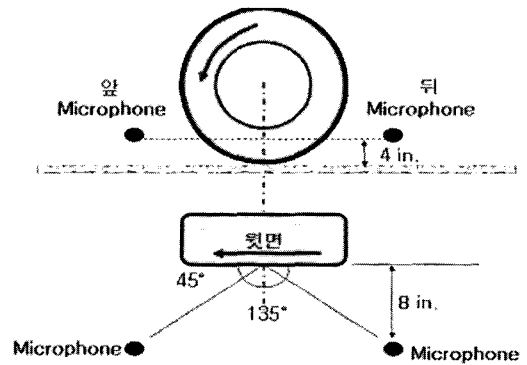


그림 2. 근접 소음 측정법 마이크로폰 위치(ISO)

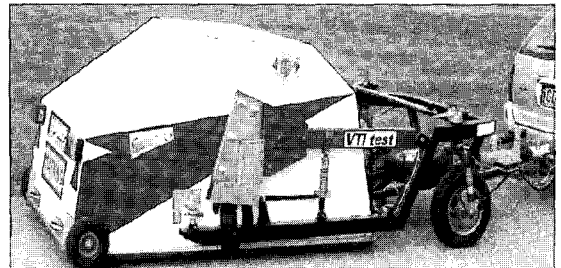
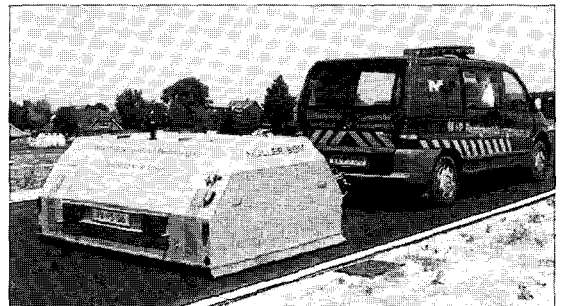


그림 3. 국외에서 개발된 CPX Trailer (상: 네델란드/하:스웨덴)



정에 비해 빠르고, 실용적이며, 경제적이며 간편하게 측정할 수는 다양한 장점이 있기 때문이다.

### 3. HEART 근접소음측정(CPX) Trailer 장비의 개발

#### 3.1 HEART CPX Trailer 장비의 개발

기존의 외국 장비의 장·단점을 분석하고 이를 개선하여 보다 합리적으로 국내 여건에 적용될 수 있도록 HEART CPX Trailer 장비를 개발하였다. 그림 4는 HEART CPX Trailer의 제원, 구조 및 원리를 나타내고 있으며, 그림 5는 완성된 모습을 보여 주고 있다.

#### 3.2 HEART CPX Trailer 장비의 특징

HEART CPX Trailer 장비의 특징은 다음과 같다.

1) 국외의 기존 CPX Trailer의 장비는 유압장치에 의한 실제 차량 모사 형태로 유압시스템 자체에서 발생하는 압소음에 대한 처리가 필요하며 비용이 많이 들고 고정밀도의 운영기술이 요구된다. 또한, Trailer 자중을 통해 가압하는 방식은 다양한 조건에서의 연구 수행이 불가능하였다. 그러나 HEART CPX Trailer 장비는 측정용 바퀴의 실제 차량바퀴 모사를 위해 차중에 따라 유연하게 대처할 수 있도록 추의 탈·부착을 통해 하중조절이 가능하도록 제작함으로써 이를 보완하였다.

2) 기존의 국외 장비는 마이크로폰의 설치를 위한 지지대 제작 시, ISO standard 11819-2 규정에 따른 위치를 준수하도록 고정식으로 제작되어 있어, 마이크로폰의 설치 위치에 따른 소음에 대한 영향 분석이 불가능한 것들이 대부분이었다. 그러나 HEART CPX Trailer 장비는 마이크로폰 설치용 지지대 내에서 마이크로폰의 위치 및 각도 등을 자유롭게 이동·고정할 수 있도록 고려함으로써 측정용 타이어로부

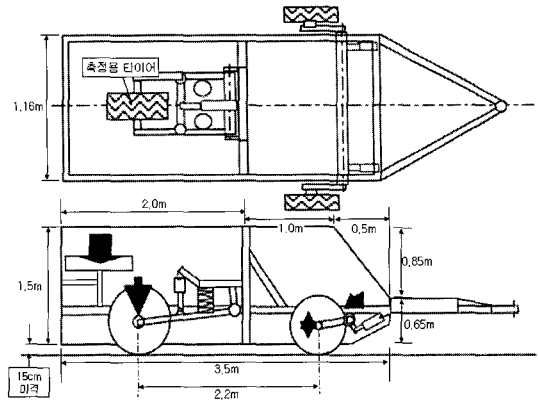


그림 4. HEART CPX Trailer의 설계도

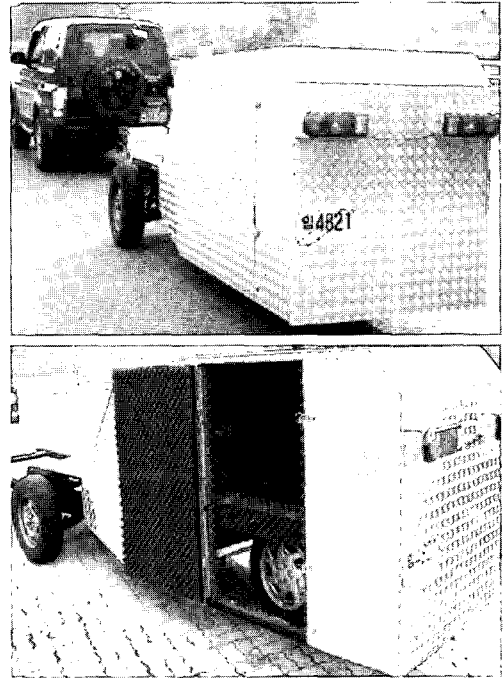


그림 5. HEART CPX Trailer 및 견인차량

터 다양한 위치에서의 근접소음(CPX) 측정이 가능하도록 하였으며, 마이크로폰 탈·부착부의 소음 및 진동을 최소화하였다.

3) 기존의 장비는 견인차량의 종류에 따른 높이 등의 변화에 능동적으로 대처하지 못함으로써 장비 운용에 한계가 있었다. 그러나 본 장비는 견인차와 Trailer 간의 연결을 위한 어댑터를 제작, 견인차량



의 차종 및 높이 변화 등에 유연하게 대처할 수 있도록 제작하였다.

4) 기존의 CPX Trailer를 이용한 연구에서는 장비 자체에 대한 검증이 없이 CPX 측정결과와 기존 방식의 측정결과를 단순 비교하는 것이 대부분이었다. 이에 HEART CPX Trailer 장비는 반무향실 처리에 대한 적합성을 검증하기 위해, KS A ISO 3745 규정에 입각하여 Trailer의 반무향실 검증 시험을 수행하였다. 이를 통해, 기존의 타 장비보다 보다 신뢰성 높은 CPX Trailer 장비를 이용한 소음 측정을 가능하도록 하였다.

### 3.3 HEART CPX Trailer 장비 검증 시험

HEART CPX Trailer 장비의 경우 실제 도로 상에서의 주행 안전성 등의 문제로 일반 고정식 반무향실과 달리 하부의 반사면(도로 표면)과 일정거리(약 15cm)의 이격이 불가피하다. 따라서 실측 음압레벨과 역제곱 법칙에 기초한 특정 주파수별 음압레벨의 편차가 허용 편차 범위 내에 대한 존재하는지를 검증

표 2. 이론적 역제곱 법칙에 대한 측정 음압레벨의 최대 허용 편차

시험실의 종류	1/3 옥타브 대역 주파수(Hz)	허용 편차
무향실	≤ 630	±1.5
	800 ~ 5000	±1.0
	≥ 6300	±1.5
반무향실	≤ 630	±2.5
	800 ~ 5000	±2.0
	≥ 6300	±3.0

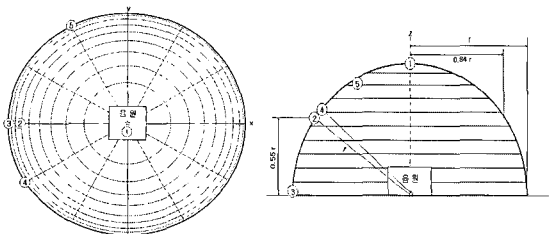


그림 6. HEART CPX Trailer 장비 반무향실에서의 적용한 마이크로폰 5점 배치

하기 위한 시험을 하였다. 표 2는 검증 시험의 ISO 허용 기준을 나타낸 것이다.

본 시험에서는 HEART CPX Trailer 소음 측정 장비의 반무향실 설계 및 제작에 대한 적합성을 판단하고자 하였으며, 시험법은 'KS A ISO 3745' 규격을 준수하였다.

다음은 본 연구에서 수행한 검증시험 내용을 나타낸 것이다.

1) 음원에서 발생시키는 소음(순음)은 타이어/노면 소음 특성을 고려하였으며, 1/1 옥타브밴드의 중심 주파수들 중 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 8000Hz의 8개의 중심주파수를 선택하여 실험하였다. 특히 '타이어/노면' 소음에 지배적인 중심주파수 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz에서의 적합성을 살펴보았다.

2) 도로교통 소음의 원인 중, 타이어/포장 소음과 같이 광대역 음원에 대해서 KS A ISO 3745 규정이 권장하는 위치 중 반무향실의 좌우 대칭 구조를 감안하여 5개의 방향에 대해 고정 마이크로폰을 배치하였으며 그 위치를 그림 6에 나타내었다. 이때, 마이크로폰의 수음 특성에는 아무런 가중치를 주지 않았다.(HEART CPX 반무향실은 반경(r) 100cm로 제작되었다.)

3) 제작한 Trailer의 반무향실의 크기가 작은 관계로 역제곱 법칙에 의한 편차를 산출하기 위해 각 마이크로폰 위치의 방향마다 거리를 25cm, 50cm, 100cm로 변화시키면서 1/1 옥타브밴드의 중심주파수별 소음도를 측정하였으며, 이를 추정식에 의해 산출된 값을 이용하여 편차를 구하였다.

HEART CPX Trailer 장비의 신뢰성을 확보하기 위해 ISO 규정에 따라 수행한 반무향실 검증시험 결과는 표 3과 같고 이를 분석하여 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

1) 5가지 측정 방향에서 1/1옥타브 대역에서의 8가지 중심주파수에 대한 분석 결과, 62.5%가 허용 편차 이내에서 만족하였다. 그러나 도로 소음특성에 지배적인 영향을 미치는 중심주파수 250Hz,



표 3. 억제급 법칙에 대한 1/1옥타브 중심주파수별 측정 음압레벨의 편차

(a) ①번 방향 (천정 방향)

중심 주파수 (Hz)	실측 음압레벨 (dB)			이론 추정값 (dB)			편 차			
	25cm	50cm	100cm	25cm	50cm	100cm	25cm	50cm	100cm	평균
63	104	104	106	108.7	109.2	110	-4.7	-5.2	-4.0	-4.6
125	114	109	112	115.1	114.8	114.0	-1.1	-5.8	-2.0	-3.0
250	116	111	109	114.5	112.5	106.6	1.5	-1.5	2.4	0.8
500	118	115	111	117.1	115.2	109.4	0.9	-0.2	1.6	0.8
1000	118	115	110	116.7	114.5	106.8	1.3	0.5	3.2	1.7
2000	116	115	112	117.1	116.1	113.7	-1.1	-1.1	-1.7	-1.3
4000	104	106	101	106.7	105.9	103.9	-2.7	0.1	-2.9	-1.8
8000	88	81.5	80.7	85.9	83.9	77.3	2.1	-2.4	3.4	1.0

(b) ③번 방향 (전방 0cm 높이 방향)

중심 주파수 (Hz)	실측 음압레벨 (dB)			이론 추정값 (dB)			편 차			
	25cm	50cm	100cm	25cm	50cm	100cm	25cm	50cm	100cm	평균
63	102	103	106	108.3	109.1	110.5	-6.3	-6.1	-4.5	-5.6
125	114	111	112	115.6	115.2	114.3	-1.6	-4.2	-2.3	-2.7
250	115	109	108	113.2	111.3	105.3	1.8	-2.3	2.7	0.7
500	117	112	109	115.0	112.7	104.8	2.0	-0.7	4.2	1.8
1000	115	111	107	113.3	111.1	103.3	1.7	-0.1	3.7	1.8
2000	109	105	100	106.9	104.3	93.9	2.1	0.7	6.1	3.0
4000	95.8	92.1	88.7	94.6	92.7	86.6	1.2	-0.6	2.1	0.9
8000	81.5	78.1	73.7	80.1	78.0	70.7	1.4	0.1	3.0	1.5

(c) ④번 방향 (30° 대각선 방향)

중심 주파수 (Hz)	실측 음압레벨 (dB)			이론 추정값 (dB)			편 차			
	25cm	50cm	100cm	25cm	50cm	100cm	25cm	50cm	100cm	평균
63	104	103	109	110.5	111.6	113.5	-6.5	-8.6	-4.5	6.5
125	115	109	102	111.5	108.1	73.2	3.5	0.9	30.8	11.7
250	117	114	108	115.3	112.7	102.7	1.7	1.3	5.3	2.8
500	118	115	111	117.1	115.2	109.4	0.9	-0.2	1.6	0.8
1000	117	114	110	116.1	114.2	108.4	0.9	-0.2	1.6	0.8
2000	109	104	101	107.0	104.7	96.8	2.0	-0.7	4.2	1.8
4000	99.8	94.9	89.2	96.8	93.6	73.5	3.0	1.3	15.7	6.7
8000	84.9	78.2	75.4	81.8	78.9	65.1	3.1	-0.7	10.3	4.2



500Hz, 1000Hz, 2000Hz에 대한 편차는 85%가 허용 편차 이내에서 만족하였다. 전체 중심주파수 대역에서 허용 편차 범위 이내에 들지 못한 것은 바닥면과 약 15cm의 이격거리가 있는 HEART CPX Trailer 장비의 반무향실에서 발생할 수 있는 오차라 해석되며, 측정 오차를 함께 고려할 때 도로 소음특성 평가용 장비로 적합하다고 판단된다.

2) 음원에서부터 위쪽 방향과 전방 55cm 방향에서는 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz에서 모두 만족하였으나, 전방 0cm 높이 방향과 60° 대각선 방향에서는 2000Hz에서 각각 +1.0과 -0.5 허용 범위를 벗어났다. 또한, 30° 대각선 방향에서는 250Hz에서 +0.3 초과하였다. 여기서 2000Hz는 '타이어/노면' 소음의 원인 중 공기 공명에 의한 소음에 대해, 250Hz는 타이어 진동에 의한 소음에 대해 영향을 미친다.

3) 본 검증 시험을 통해, HEART CPX Trailer 장비의 각 주파수 대역별에 따른 적합성 및 신뢰도를 확인할 수 있었다.

4) 전반적으로 65Hz와 125Hz의 저주파수 영역에서 허용 편차 범위를 벗어나는 결과를 보인 것에 대해서는 향후 장비의 반무향실에 대한 일부 개선이 필요하다.

#### 4. 현장 시험 및 결과 분석

현장에서의 HEART CPX Trailer 를 이용하여 소음을 측정하는 섹션으로 '중부 내륙 고속도로'에 위치한 '시험도로'를 시험 구간으로 선정하였다. 본 시험은 도로 소음 측정법으로서의 CPX 측정법에 대해 기존의 CPB 소음 측정법과 비교·분석을 수행함으로써 그 타당성 및 현장 적용성을 검증하기 위한 목적으로 진행되었다. 표 4는 시험도로 구간의 표면 처리 형식 및 CPX Trailer 검증 시험 구간을 나타낸다. 본 시험에 앞서, HEART CPX Trailer 장비의 측정 정확도에 대한 검증을 위해 특정 구간에 대한 반복측

정 시험을 수행하였다. 본 시험에서는 HEART CPX Trailer 측정 장비를 이용하여 각 표면 처리 구간별로 하중 및 속도 변화에 따른 소음 분석을 실시하였다. 또한 HEART CPX 측정용 타이어와 동일한 타이어를 장착한 승용차(SM 5)를 이용하여 표면 처리 구간별로 동일 조건으로 CPB 방식에 의한 실

표 4. 시험도로 단면별 표면처리

단면 번호	슬래브 번호	소음 및 미끄럼 저항 측정 위치	표면처리
J9	A01 ~ A14		25mm 횡방향 타이닝
J8	B01 ~ B14		
CRCP(C1, C2, C3)	번호 구분 없음		
J6	C01 ~ C15		
J7	D01 ~ D16		
J5	E01 ~ E24	E3 ~ E4	
J5-1	F01 ~ F13		
J5-2	G01 ~ G19		
J5-3	H01 ~ H12		
J5-4	I01 ~ I26		
J3	J01 ~ J03		18mm 종방향 타이닝
J3	J04 ~ J18	J14 ~ J15	
J4	L01 ~ L14		26mm 종방향 타이닝
J4	L15 ~ L16		
J2	K01 ~ K20		임의간격 횡방향타이닝
J1	M01 ~ M17	M12 ~ M13	
J10	M18 ~ M23		
J11	N01 ~ N19		
J12	O01 ~ O17		
J15	P01 ~ P23		
J14	Q01 ~ Q02		
J15	R01 ~ R21	R05 ~ R06 (예비 시험) R08 ~ R09 (본 시험)	
J14	Q01 ~ Q02		
J13	S01 ~ S14		
J4-0	T01 ~ T14		25mm 횡방향 타이닝
J5-0	U01 ~ U21		
J6-0	V01 ~ V16		
		아스팔트	아스팔트 포장



외소음을 분석함으로써 그 결과를 CPX 측정 결과와 비교·평가하였다.

#### 4.1 장비 정밀도 검증을 위한 반복 측정 시험

본 연구에서는 제작한 HEART CPX Trailer 소음 측정 장비의 정밀도 검증을 위해 '시험도로'에 위치한 임의간격 횡방향 타이닝 구간을 선정하여 특정 슬래브(R05~R06)에 대해 반복 측정 시험 및 결과 분석을 수행하였다. 반복 소음 측정 시험은 각각의 속도에 대해 30회씩 수행하였으며, 측정용 바퀴에 재하되는 하중은 420kgf로 하였다. 그림 7은 CPX Trailer에 장착된 마이크로폰의 위치를 나타낸다.

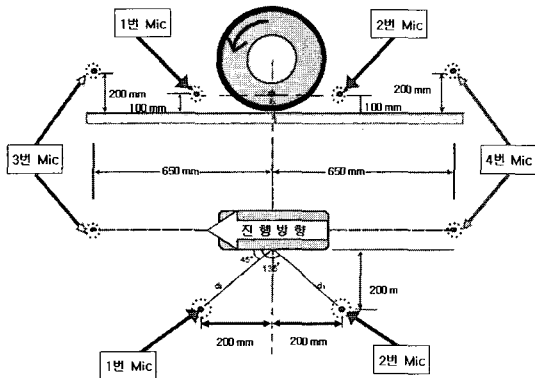


그림 7. CPX Trailer 장비를 이용한 소음 측정 장면

HEART CPX Trailer 장비를 통한 측정값들이 어떠한 분포를 나타낼지에 대한 정보가 없었기 때문에 '중심극한정리(Central Limit Theorem:CLT)'를 적용하였다. 즉, CLT에 의하면, 실제 분포에 대한 확신이 없거나 정규분포가 아닌 경우라 할지라도 측

정한 결과값(표본)들의 크기가 충분히 큰 대표본이라면 측정값들의 분포는 정규분포를 가정해도 무방하다는 것이다. 표 5는 수행한 반복측정 시험 결과들에 대한 유형별 통계량(statistic)들을 정리한 것이며, 여기서 통계량은 표본, 즉 측정결과 값들로부터 얻는 특성값들을 의미한다.

시험 결과에서 알 수 있듯이 R05~R06 구간에서의 주행속도 40km/h, 60km/h, 80km/h에 따른 HEART CPX Trailer의 소음 측정값 평균의 점추정값은 각각 89.14dB(A), 96.87dB(A), 101.6dB(A)을 나타내었다. 또한 측정값 분포의 퍼짐성을 결정하는 분산값의 경우, 전체적으로 속도에 관계없이 우수한 측정 정밀도를 보였다. 특이할 사항으로는 저속인 40km/h와 60km/h에서는 비슷한 정밀도를 나타내었던 것과는 달리 고속인 80km/h의 경우에는 평균값을 중심으로 그 편차가 현저히 줄어들음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 주행속도에 관계없이 도로소음 측정을 수행함에 있어 HEART CPX Trailer의 정밀도가 우수함을 나타내는 것이며, 특히 저속보다는 고속주행에서 그 정밀도가 향상된다는 사실을 확인할 수 있었다.

#### 4.2 현장 도로소음 측정 시험

1) 단독차량(승용차) controlled pass-by 소음 측정 결과

대상 구간별 단독차량 pass-by법에 따른 실외소음은 차량 주행 차로의 중앙으로부터 7.5m 떨어진 곳에 소음기를 설치하고 높이는 1.2m로 하여 ISO의

표 5. 각 속도별 측정값으로부터 얻은 통계량

통계량	40km/h					60km/h					80km/h				
	1번 Mic.	2번 Mic.	3번 Mic.	4번 Mic.	구간 평균	1번 Mic.	2번 Mic.	3번 Mic.	4번 Mic.	구간 평균	1번 Mic.	2번 Mic.	3번 Mic.	4번 Mic.	구간 평균
평균	89.75	88.62	90.06	88.13	89.14	97.34	96.18	97.94	96.04	96.87	101.7	100.7	102.7	101.2	101.6
분산	1.71	1.46	1.57	1.92	1.61	1.71	1.68	1.33	2.32	1.70	0.78	0.83	0.57	1.11	0.72
표준편차	1.31	1.21	1.25	1.39	1.27	1.31	1.30	1.15	1.52	1.30	0.88	0.91	0.76	1.06	0.85





실외 소음 측정 기준에 준하여 시험을 수행하였으며, 중부내륙 고속국도 본선으로부터는 약 16m 이격되어 설치되었다. 콘크리트 표면 처리별 4개 구간과 아스팔트 1개 구간을 지정하여 총 5가지 구간에 대해서 40km/h, 60km/h, 80km/h의 속도로 승용차에 대해서 엔진 가동 및 정지에 대해 각각 2회씩 실외소음을 측정하였으며, 시험용 차량으로는 'SM 5'를 선정하였으며 타이어 종류는 205/65HR15 이다.

표 6은 승용차에 대해서 CPB 측정법(단독차량)을 통해 표면 처리 구간별 속도 변화 및 엔진 운행 여부에 따른 실외소음 평균값을 나타낸 것이다.

표 6. 표면에 따른 속도별 단독차량 CPB 소음 측정 결과

표면처리 방 법	소음 측정값(dBA)					
	승용차 실외 소음					
	40km/h		60km/h		80km/h	
	엔진운행	엔진운행	엔진운행	엔진운행	엔진운행	엔진운행
일정간격	74.00	74.90	75.20	75.10	80.30	78.80
18mm 종방향	76.20	69.10	77.60	74.80	79.60	78.90
평 균	75.24	72.90	76.56	74.95	79.96	78.85
일정간격	74.30	78.70	78.60	80.10	81.00	78.40
26mm 종방향	75.90	76.50	79.10	79.30	82.50	79.10
평 균	75.17	77.74	78.86	79.72	81.81	78.76
일정간격	72.40	73.30	80.80	77.10	82.40	82.80
25mm 횡방향	73.90	74.40	80.50	77.60	81.80	84.60
평 균	73.21	73.88	80.65	77.36	82.11	83.79
임의간격	75.00	79.40	79.70	76.20	80.70	80.60
횡방향	74.30	80.10	80.90	76.80	82.10	82.50
평 균	74.66	79.76	80.34	76.51	81.46	81.65
아스팔트	72.00	73.30	74.90	74.90	77.00	78.40
구간	73.50	72.80	73.80	75.20	78.20	79.70
평 균	72.81	73.06	74.38	75.05	77.64	79.10

## 2) CPX Trailer 장비를 이용한 소음 측정 및 결과 분석

HEART CPX Trailer 장비를 이용한 측정에서는 CPB 측정 방법과의 비교를 목적으로 동일한 측정용 타이어 및 하중조건을 적용하였으며, 속도 변화에 따

른 변화를 측정하였다. 또한, 타이어 하중에 따른 도로 소음의 영향을 분석하기 위해 100kgf의 추가하중을 가한 상태에서도 시험하였다.

- 승용차와 동일 하중 조건인 경우
  - : 단독차량 CPB 소음 측정과 동일한 조건으로(속도별, 구간별) 승용차 하중 하(420kgf)에서 소음을 측정하였다.
- 하중 조건을 변화시킨 경우
  - : CPX Trailer 소음 측정용 타이어에 재하 하중의 크기를 100kgf 증가(520kgf)시켜 단독차량 CPB 소음 측정과 동일한 조건으로(속도별, 구간별) 소음 변화를 측정하였다.

실험 조건을 바탕으로 HEART CPX 장비를 이용한 각 조건별 도로 소음의 측정 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

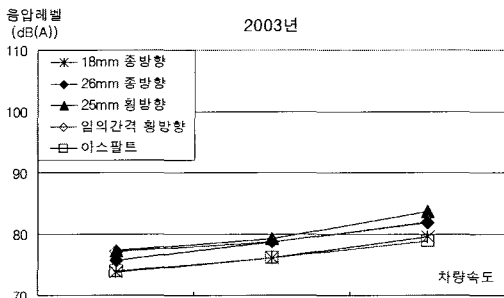
a) 본 연구에서 수행한 CPB 방법에 의한 도로소음 측정 결과는 교통 개방 전(2년 전) 중앙대학교에서 수행하였던 결과와는 달리 주변 교통 및 환경소음의 영향으로 표면 처리 공법별 일정한 경향을 보이지 않았다. 그림 8은 교통개방 전과 후의 차이에 따른 CPB 방법에 의한 소음 측정 결과를 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 교통개방 상태에서의 CPB 측정법은 결과에 대한 신뢰도가 매우 떨어짐을 확인할 수 있었다.

b) CPB 측정법과 동일한 조건(바퀴하중, 속도, 표면처리공법 등)하에서 수행한 HEART CPX Trailer에 의한 도로소음 측정 결과는 그림 9에서와 같이 교통개방 전에 수행하였던 CPB 측정 결과와 유사한 경향을 보였으며 측정 속도가 증가함에 따라 음압레벨도 증가하였다. 이는 견인차량의 기계소음을 비롯한 공용 중인 도로 주변의 환경소음으로부터 영향을 거의 받지 않음을 확인할 수 있는 예라 판단된다. 따라서 HEART CPX Trailer 장비를 활용한다면 공용 중에도 객관적인 소음 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

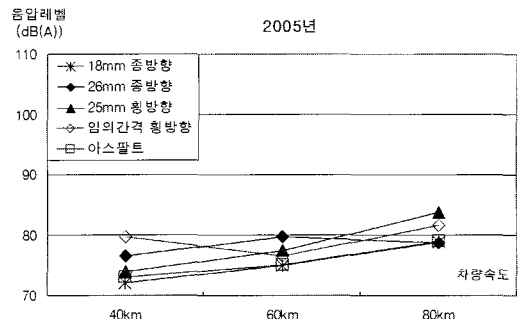


c) HEART CPX Trailer 장비를 적용한 도로 소음 측정의 경우, 다른 조건이 동일한 상태에서 측정용 타이어에 재하되는 하중을 달리 적용하였을 때의 결과를 그림 10~그림 11에 나타내었다. 그림에서

보듯이 견인차량의 엔진의 작동 여부에 관계없이 재하되는 바퀴하중이 증가할수록 발생하는 도로 소음의 음압레벨도 증가하였다. 그러나 동일 바퀴하중 하에서 엔진 정지시의 음압레벨이 엔진 가동시의 음압

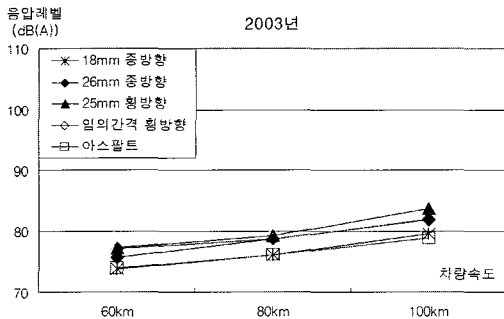


(a) 교통 개방 전

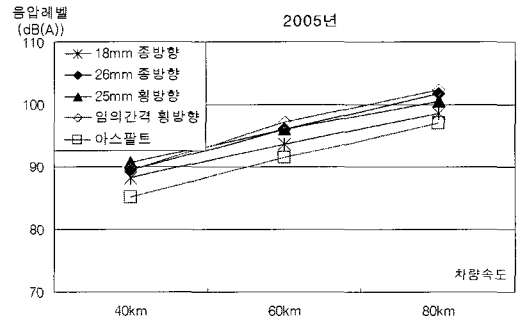


(b) 교통 개방 후

그림 8. 표면처리별 CPB 측정법에 따른 소음 측정 결과

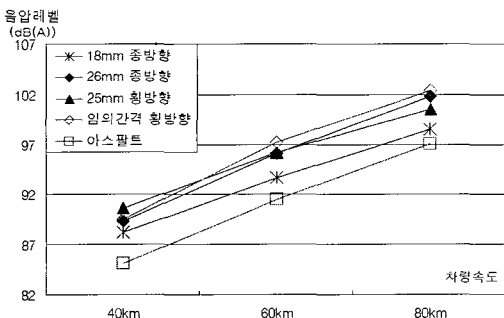


(a) CPB 측정법(교통 개방 전)

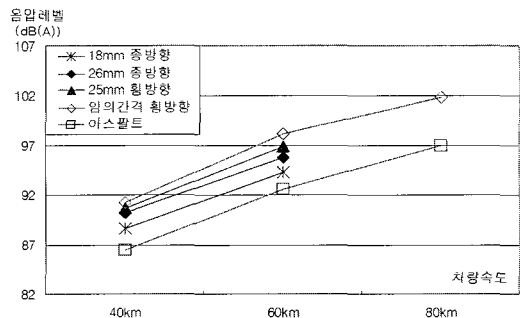


(b) HEART CPX Trailer(교통 개방 후)

그림 9. 표면처리별 CPB 및 CPX 측정법에 따른 소음 측정 결과

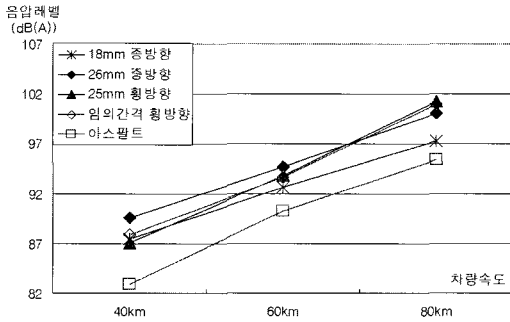


(a) 420kg 재하

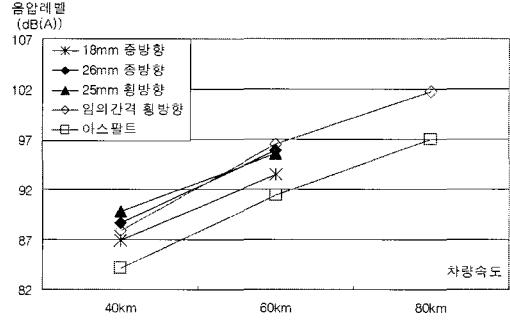


(b) 520kg 재하

그림 10. 표면처리별 바퀴하중에 따른 소음 측정 결과(엔진 가동 시)

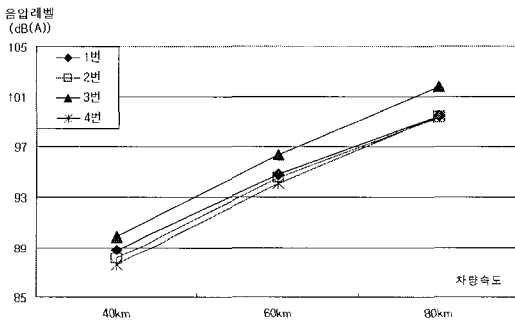


(a) 420kgf 재하

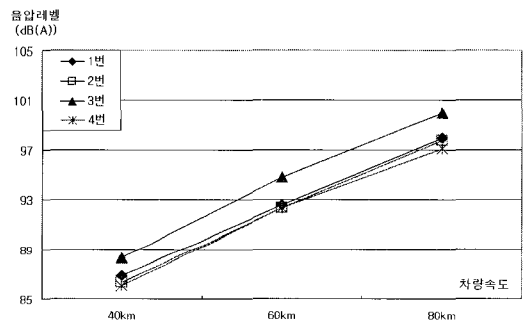


(b) 520kgf 재하

그림 11. 표면처리별 바뀌하중에 따른 소음 측정 결과(엔진 정지 시)

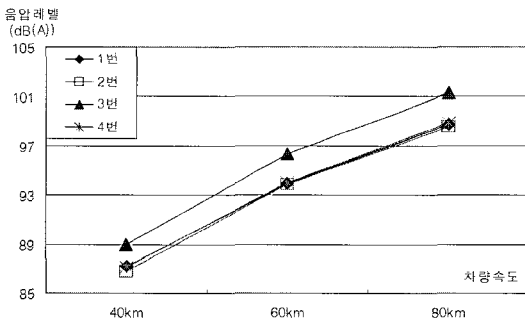


(a) 엔진 가동 시

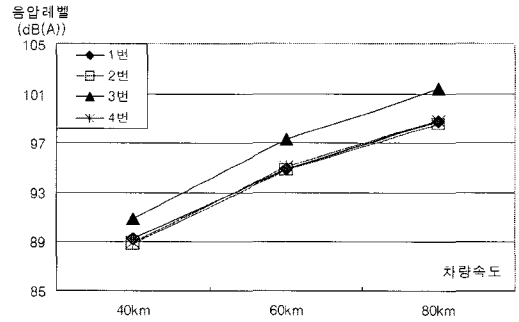


(b) 엔진 정지 시

그림 12. 마이크로폰 위치에 따른 소음 측정 결과(420kgf)



(a) 엔진 가동 시



(b) 엔진 정지 시

그림 13. 마이크로폰 위치에 따른 소음 측정 결과(520kgf)

레벨보다 2~3%(엔진 가동 시 기준) 작게 측정되는 것으로 보아 소음측정 시 견인차량의 엔진소음이 완전히 배제되지는 않음을 확인할 수 있었다.

d) 공용 전 또는 공용 후에 관계없이 HEART

CPX Trailer 장비를 적용한 소음 측정법은 포장 표면 특성별, 하중별, 차량속도별에 따라 일정한 경향을 보였으며, 이러한 결과는 각 조건마다 불규칙한 경향을 보였던 교통개방 중에 수행한 CPB 측정과는



매우 상이한 것이었다. 따라서 도로 소음특성을 평가 하는데 있어 HEART CPX Trailer 장비를 이용하는 방법이 현재 통용되고 있는 CPB 측정법에 비해 적절하다고 판단된다.

e) HEART CPX Trailer 장비를 적용한 도로 소음 측정에서 각 위치별 마이크로폰의 측정값을 비교해 본 결과를 그림 12~그림 13에 나타냈다. 3번 마이크로폰(optional, 타이어 전방)의 경우 엔진가동 여부 및 타이어 하중에 관계없이 타 마이크로폰들에 비해 큰 음압레벨이 측정되었다. 평균적으로는 3번, 4번(optional, 타이어 후방), 1번(mandatory, 타이어 측면 전방 45°, 2번(mandatory, 타이어 측면 후방 45°) 마이크로폰의 순으로 측정되었다. 이러한 결과는 측정용 타이어가 노면에 접촉하면서 발생하는 '타이어/노면' 소음은 접촉 순간의 타이어 전면에서 발생하는 충격음으로부터의 영향이 노면에서 떨어져 나갈 때의 발생 음보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 측면에서의 소음보다 측정용 타이어 전·후면에서 측정되는 음압레벨이 더욱 큰 수치를 나타냈다.

### 3) CPX Trailer 장비 암소음(background noise) 측정 및 결과 분석

CPX Trailer를 이용하여 측정용 타이어와 포장 표면의 접합부에서 발생하는 소음을 측정할 때 실제

환경소음의 영향을 받는지, 즉 HEART CPX 장비를 활용한 도로 소음 측정의 신뢰성 여부를 알아보기 위해서 HEART CPX 장비의 암소음 측정을 통해 실제 도로 주행시의 측정 음압과 비교하였다. 또한, Trailer 내의 측정용 타이어와 노면 간의 접합부에서 발생하는 고유 음압레벨을 측정하기 위해서는 암소음에 대한 보정이 필요하다. 각 마이크로폰 위치 및 각 주파수 대역에서의 암소음 레벨  $L'_{pi}$ 가 실제 도로를 주행하면서 발생하는 측정음압 레벨  $L'_{pi}$ 보다도 15dB부터 10dB의 범위로 낮은 경우에는 암소음의 영향에 대해  $L'_{pi}$ 의 값을 보정한다. 암소음 보정값  $K_1$ 은 다음의 식으로 구한다. (KS A ISO 3745)

$$K_1 = 100lg(1 - 10^{-0.1\Delta L}) \quad \text{식 1}$$

여기서,  $\Delta L : L'_{pi} - L''_{pi}$

이때 암소음 레벨이 실제 주행시 측정음압레벨보다 15dB 이하 낮은 경우에는 보정하지 않는다. 암소음과 도로주행 시 측정음압의 각 측정점 및 각 주파수 대역에서의 음압레벨과의 차이가 10dB 이내인 경우에는 이 측정으로부터 얻어진 값의 정밀도는 저하된다.

표 7은 HEART CPX 장비의 암소음 레벨을 3회 측정한 결과를 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 전체 음압레벨(sum)이 가장 크게 나온 3번째 측정

표 7. 마이크로폰 위치별 암소음 측정 결과

암소음 측정값 ( $L'_{pi}$ : dB(A))																
주파수 (Hz)	1번 Mic.				2번 Mic				3번 Mic				4번 Mic			
	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균
63	27.4	27.7	<b>33.2</b>	29.4	27.6	30.8	<b>31.6</b>	30.0	27.7	26.7	<b>31.4</b>	28.6	30.2	34.7	<b>32.3</b>	32.4
125	37.6	43.6	<b>46.1</b>	42.4	38.3	44.7	<b>47.2</b>	43.4	38.4	42.2	<b>45.3</b>	42.0	39.4	44.3	<b>47.9</b>	43.9
250	38.2	41.7	<b>47.6</b>	42.5	37.5	39.8	<b>49.9</b>	42.4	37.3	40.3	<b>47.1</b>	41.6	36.8	37.0	<b>44.9</b>	39.6
500	39.5	45.8	<b>52.3</b>	45.9	40.1	44.6	<b>52.2</b>	45.6	42.0	45.4	<b>52.1</b>	46.5	40.7	43.6	<b>50.1</b>	44.8
1000	58.6	54.3	<b>58.1</b>	57.0	55.3	54.7	<b>56.7</b>	55.6	62.5	56.4	<b>59.3</b>	59.4	61.2	53.5	<b>57.3</b>	57.3
2000	47.7	49.5	<b>51.3</b>	49.5	46.8	49.0	<b>52.1</b>	34.3	50.8	50.1	<b>52.1</b>	51.0	47.4	48.7	<b>51.3</b>	49.1
4000	35.1	37.0	<b>38.4</b>	36.9	35.1	37.0	<b>38.8</b>	37.0	35.5	37.1	<b>38.4</b>	37.0	33.8	36.2	<b>38.2</b>	36.1
8000	32.2	32.5	<b>32.1</b>	32.3	31.6	32.2	<b>32.2</b>	32.0	31.8	32.0	<b>32.2</b>	32.0	31.3	31.9	<b>32.1</b>	31.8
Sum	61.9	60.4	<b>65.9</b>	62.7	59.5	60.2	<b>65.2</b>	61.6	65.0	61.4	<b>66.2</b>	64.2	61.2	60.1	<b>64.8</b>	62.0



표 8. 마이크로폰 위치별 최소 주행소음 측정값 및  $\Delta L$  값

주파수	아스팔트 구간 40km 등속주행 소음 측정값 ( $L'_{pi}$ : dB(A))				$\Delta L : L'_{pi} - L''_{pi}$			
	1번 Mic.	2번 Mic	3번 Mic	4번 Mic	1번 Mic.	2번 Mic	3번 Mic	4번 Mic
63Hz	42.0	42.7	44.9	42.3	8.8	11.1	13.5	10.0
125Hz	55.6	55.5	57.0	56.0	9.5	8.3	11.7	8.1
250Hz	66.6	60.7	64.5	66.4	19.0	10.8	17.4	21.5
500Hz	71.3	67.5	69.6	67.9	19.0	15.3	17.5	17.8
1000Hz	75.4	75.1	76.1	71.7	17.3	18.4	13.6	10.5
2000Hz	70.1	68.5	74.2	70.1	18.8	16.4	22.1	18.8
4000Hz	61.5	63.3	62.9	62.8	23.1	24.5	24.5	24.6
8000Hz	50.0	53.1	49.8	50.8	17.9	20.9	17.6	18.7
Sum	82.8	83.0	84.8	81.6	16.9	17.8	18.6	16.8

에서 각 중심주파수별 압소음 레벨도 대부분 가장 크다는 것을 확인할 수 있다. 이를 실제 도로주행 시 측정 음압과 비교해 보기 위해, 표 8에서는 가장 작은 음압레벨이 측정되었던 아스팔트 구간(하중 : 420kgf, 속도 : 40km, 등속주행) 주행 시의 측정값과  $\Delta L$  값을 나타내었다.

그 결과를 정리하면 다음과 같다.

a) 도로 소음의 관심 주파수 대역의 전체 음압레벨 관점에서 볼 때, HEART CPX 장비의 주행 시 발생하는 도로 소음 측정 음압레벨과 압소음 측정 음압레벨의 차이가 모두 15dB 이상이었으며, 이는 본 장비를 통해 측정되는 도로 소음의 고유 음압레벨에 대한 보정이 필요 없음을 의미한다. 즉, HEART CPX를 활용한 도로 소음 측정에 대한 신뢰성을 확인할 수 있었다.

b) 도로 소음 측정시, 주파수 분석을 실시할 경우에는 2번 마이크로폰의 250Hz와 3번 및 4번 마이크로폰의 1000Hz에서 압소음 측정값과의 비교를 통해 이에 대한 보정이 필요함을 알 수 있었다.

c) 전체적으로 고주파수 대역에 비해 저주파수 대역에서는 압소음에 대한 보정이 필요한 것으로 나타났다.

d) 기존의 CPB 방법을 통한 포장 표면 처리에 따

른 소음 저감 효과에 대한 평가는 CPX Trailer를 이용한 측정방법으로 대체해야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구는 도로 소음 측정시 다양한 형태로 존재하는 환경소음의 영향을 최소화하고 시간과 장소의 구애없이 공용 중인 도로 상에서도 측정 및 평가를 가능토록 하기 위한 방법으로 CPX Trailer 장비를 제작 개발하였다. 객관적이고 정확한 도로소음 측정을 위해 도로소음의 특성을 파악하기 위해 개발한 HEART CPX Trailer 장비를 검증 및 현장 적용성 연구 결과는 다음과 같다.

1) HEART CPX Trailer 장비의 반무향실 제작에 대한 적합성 시험에서는 5가지 측정 방향에서 1/1옥타브 대역에서의 8가지 중심주파수에 대한 분석 결과, 전체의 62.5%가 허용 편차 이내에서 만족하였다. 그러나 도로 소음특성에 지배적인 영향을 미치는 중심주파수 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz에 대한 편차는 85%가 허용 편차 이내에서 만족하였다. 전체 중심주파수 대역에서 허용 편차 범



위 이내에 다 만족하지 못한 것은 바닥면과 약 15cm의 이격거리가 있는 HEART CPX Trailer 장비의 반무향실 구조에서 발생할 수 있는 오차라 해석되며, 측정 오차를 함께 고려할 때 도로 소음특성 평가용 장비로 적합하다고 판단된다. 또한 각 방향별로 65Hz와 125Hz의 저주파수 영역에서 허용 편차 범위를 벗어나는 결과를 보인 것에 대해서는 향후 장비의 반무향실에 대한 개선을 통해 해결해야 할 과제라고 판단된다. 본 검증 시험을 통해, HEART CPX Trailer 장비의 각 주파수 대역별에 따른 적합성 및 신뢰도를 확인할 수 있었으며, 도로 소음 및 포장 표면에 대한 평가를 목적으로 하는 장비로서 적합하다고 판단된다. 또한, HEART CPX Trailer 소음 측정 장비의 정밀도 검증을 위해 실시한 반복측정 시험에서 각 속도별 및 마이크론의 위치별로 우수한 측정 정밀도를 확인할 수 있었다.

2) 본 연구에서 수행한 CPB 방법에 의한 도로소음 측정 결과는 주변 교통 및 환경소음의 영향으로 표면 처리 공법별 일정한 경향을 보이지 않았다. 반면 CPB 측정법과 동일한 조건(바퀴하중, 속도, 표면 처리공법 등)하에서 수행한 HEART CPX Trailer에 의한 도로소음 측정 결과는 2003년 중앙대학교에서 교통개방 전에 동일구간에 대해 수행하였던 CPB 측정 결과와 유사한 경향을 보였으며 측정 속도가 증가함에 따라 음압레벨도 증가하였다. 이는 견인차량의 기계소음을 비롯한 공용 중인 도로 주변의 환경소음으로부터 영향을 거의 받지 않음을 확인할 수 있는 예라 판단된다. 따라서 HEART CPX Trailer 장비를 활용한다면 공용 중에도 객관적인 소음 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

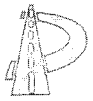
3) HEART CPX Trailer 장비를 적용한 도로 소음 측정의 경우 다른 조건이 동일한 상태에서 측정용 타이어에 재하되는 하중을 달리 적용해 본 결과, 견인차량의 엔진의 작동 여부에 관계없이 재하되는 바퀴하중이 증가할수록 발생하는 도로 소음의 음압레벨도 증가함을 확인할 수 있었다. 그러나 동일 바퀴하중 하에서 엔진 정지시의 음압레벨이 엔진 가동시

의 음압레벨보다 2~3% (엔진가동시 기준) 적은 것으로 보아, 소음측정시 견인차량의 엔진소음이 완전히 배제되지는 않는 것으로 판단된다.

4) HEART CPX Trailer 장비를 적용한 도로 소음 측정에서 각 위치별 마이크론의 측정값을 비교해 본 결과, 3번 마이크론(optional, 타이어 전방)의 경우 엔진가동 여부 및 타이어 하중에 관계없이 타 마이크론들에 비해 큰 음압레벨이 측정되었다. 평균적으로는 3번, 4번(optional, 타이어 후방), 1번(mandatory, 타이어 측면 전방 45°, 2번(mandatory, 타이어 측면 후방 45° 마이크론의 순으로 측정되었다. 이러한 결과는 측정용 타이어가 노면에 접촉하면서 발생하는 '타이어/노면' 소음은 접촉 순간의 타이어 전면에서 발생하는 충격음으로부터의 영향이 노면에서 떨어져 나갈 때의 발생 음보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 측면에서의 소음보다 측정용 타이어 전·후면에서 측정되는 음압레벨이 더욱 큰 수치를 나타냈다.

5) 공용 전 또는 공용 후에 관계없이 HEART CPX Trailer 장비를 적용한 소음 측정법은 포장 표면 특성별, 하중별, 차량속도별에 따라 일정한 경향을 보였으며, 이러한 결과는 각 조건마다 불규칙한 경향을 보였던 교통개방 중에 수행한 CPB 측정과는 매우 상이한 것이었다. 따라서 도로 소음특성을 평가하는데 있어 HEART CPX Trailer 장비를 이용하는 방법이 현재 통용되고 있는 CPB 측정법에 비해 적절하다고 판단된다.

6) 도로 소음의 관심 주파수 대역의 전체 음압레벨 관점에서 볼 때, HEART CPX 장비의 주행 시 발생하는 도로 소음 측정 음압레벨과 암소음 측정 음압레벨의 차이가 모두 15dB 이상이었으며, 이는 본 장비를 통해 측정되는 도로 소음의 고유 음압레벨에 대한 보정이 필요 없음을 의미한다. 즉, HEART CPX를 활용한 도로 소음 측정에 대한 신뢰성을 확인할 수 있었다. 전체적으로는 고주파수 대역에 비해 저주파수 대역에서는 암소음에 대한 보정이 필요한 것으로 나타났으며, 이는 3장에서 전술하였던 반무향실 제



작 적합성과도 일맥상통하였다.

본 연구에서는 주변 환경의 영향을 최소화하고, 현장에서 소음 측정을 용이하게 하도록 하기 위해 HEART CPX Trailer 장비를 제작 및 개발하였으며, 이에 대한 현장 적용성을 검증하였다. CPX Trailer를 이용하여 실제 교통이 개방된 타 구간을 선정하여 교통소음 측정값과의 비교 분석도 가능할 것으로 판단된다. 또한, 공용 중인 동일한 표면 처리 공법이 적용된 도로에 대해 주행하는 과정에서 발생하는 소음을 일정 시간 주기별로 측정함으로써 시간대에 따른 소음특성의 비교 연구도 가능할 것이다. 향후 보다 효과적인 장비 활용을 위해서는 타이어의 형상 및 종류, 마이크로폰의 위치 등에 따른 추가적인 연구가 필요하며 타이어와 포장 표면에서의 소음 발생 정도의 평가에 대한 연구도 함께 수행해야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 환경부, “소음/진동 환경개선 중장기 계획”, 2000
2. 강대준, 정일록, 장성기, 서충열, 박준철, “타이어 소음 현황과 특성”, 한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, p.711~718, 2001
3. 김병삼, 홍동표, “타이어와 소음”, 한국소음진동공학회지 제4권 제4호, p.404~412, 1994
4. 통계청, 수도권 2001년, 6개 도시 2002년 조사 자료
5. 통계청, <http://www.nso.go.kr>
6. 중앙대학교, “장수명 저소음 포장 노면 개발 연구 연차보고서”, 한국환경기술진흥원, 2005. 3
7. “음향-음압법에 의한 소음원의 음향 파워 레벨 측정 방법 - 무향실 및 반무향실에서의 정밀 측정 방법”, KS A ISO 3745, 2002. 8
8. 중앙대학교, “장수명 저소음 포장 노면 개발 연구 연차보고서”, 한국환경기술진흥원, 2004. 3
9. 이승우, 김남철, “콘크리트포장 노면마모에 따른 미끄럼저항 변화 예측”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 2003
10. “노면의 미끄럼 저항성 시험 방법(BPT)”, KS F 2375, 2001.4
11. S M Phillips, “Classification of low noise road

- surfacing”, *International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, TRL(Transport Research Laboratory), 2001. 8
12. Robert J. Bernhard “Basics of Noise Generation for Pavement Engineers”, *TRB*, 2005
13. “Acoustics-Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles and their tyres”, *ISO Basic template Version 3.0*, 1997.2
14. Ulf Sandberg, Jerzy A. Ejsmont, “Texturing of Cement Concrete Pavement to Reduce Traffic Noise Emission”, *TRB*, 1998
15. K. Hieronimus, G. Hellener, “Reduction of car sound emission by means of systematic development work”, *Unikeller conference 91*, p.15/1~15/38, 1991
16. Douglas I. Hanson, Robert S. James, “Colorado DOT tire/pavement noise study”, *CDOT Research*, 2004. 4
17. *Wisconsin Department of Transportation “Noise and Texture on PCC Pavements”*, June. 2000
18. “ISO / TC43 / SC1 / WG42”, *ISO 362 Working Draft*, 2001. 2
19. Michael T. McNerney, B. J. Landsberger, Tracy Turen and Albert Pandelides, “Comparative Field Measurements of Tire Pavement Noise of Selected Texas Pavements”, University of Austin, 1998
20. M. Garai, M. Berengier, P. Guidorzi, Ph. L’Hermite, “Procedure for Measuring The Sound Absorption of Road Surfaces In Situ”, *Euro Noise ’98 conference*, 1998. 10
21. J. Affenzeller, A. Rust, “Noise Technology Status Report”, AVL List GmbH, Austria, 2003. 11
22. Larry Scofield, “SR202 PCCP Whisper Grinding Test Sections”, Arizona DOT, 2003. 10

접 수 일: 2006. 5. 23  
 심사 일: 2006. 6. 14  
 심사완료일: 2006. 8. 21