

도로교통소음에 대한 근접소음 측정법(CPX)과 통과소음 측정법(SPB)의 상관관계

유인균

한국건설기술연구원 인프라안전연구본부

Correlation between Proximity Noise Measurement Method (CPX) and Roadside Measurement Method (SPB) for Road Traffic Noise

In-Kyoon Yoo

Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 국내의 도로교통 소음측정방법은 도로변에서 최대의 교통량이 통행할 것으로 추정되는 시간대에 도로교통 전체 소음을 측정하는 방법(SPB)을 채택하고 있다. 반면 저소음포장의 효과를 측정하기 위하여 타이어 주위에 마이크를 설치하여 타이어/노면의 소음을 직접 측정하는 방법(CPX)도 있다. 측정이 용이한 근접소음 측정결과가 도로 전체의 소음에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 없다. 본 연구에서는 측정이 용이한 CPX법으로 측정된 소음을 이용하여 측정이 매우 까다로운 SPB의 결과를 추정하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 연구방법으로는 한국도로공사에서 실시한 대규모 소음 측정시험결과를 이용하고, 이 시험구간에 대해 실시한 근접소음에 대한 데이터를 활용한다. 한국도로공사에서 실시한 시험결과는 저소음포장이 10.4dB의 소음저감 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 그리고 CPX측정에서는 저소음포장의 소음저감 효과는 평균 10.7dB이었고 이것은 SPB측정법에서 측정된 10.4dB의 소음저감 효과와 유사하며, 측정 위치에 상관없이 소음저감 효과가 나타난다고 보고되고 있다. 본 연구에서는 위치에 상관없이 소음저감 효과가 동일한 이유, 소음 감소량이 유사한 이유, 마이크로폰의 위치에 따른 소음의 변화와 CPX와 SPB 측정치와의 관계를 소음의 합성과 거리감쇠 개념을 이용하여 증명하고 도로교통 소음예측 프로그램에 도로포장의 CPX측정결과를 변수로 포함하는 것이 소음예측의 신뢰성 향상에 매우 중요함을 증명하였다. 도로교통소음에는 도로포장의 종류와 상태가 큰 영향을 미침에도 불구하고 소음의 예측에 도로포장에 대한 영향은 하나의 상수로 표현되고 있다. 도로포장의 종류와 상태를 반영하는 소음의 측정과 예측이 필요하다.

Abstract Korea estimates the traffic noise by measuring the total traffic noise when the traffic passes (SPB; Statistical Pass-By). Another method (CPX; Close Proximity) directly measures the tire/road noise by installing a microphone near the tire. The CPX method is not a formal test method in Korea. There has been little research between CPX and SPB. This study proposes a method for estimating SPB, using the CPX, which is easy to measure. This study used the results of a large-scale test conducted by Korea Expressway Corporation (KEC) and a research paper on CPX in this section. The results by the KEC showed that the low noise pavement has a noise reduction of 10.4dB. In CPX research, the noise reduction was 10.7dB and was similar to 10.4dB in SPB. This study shows why the noise reduction is the same regardless of the position, the reason that the amount of noise reduction is similar, the difference of the noise according to the position of the microphone using the concept of noise summation and distance reduction. This study shows that including the CPX as a variable in the traffic noise prediction program is very important to improve noise prediction reliability.

Keywords : Low-noise Pavement, Road Traffic Noise, SPB, CPX, Correlation

*Corresponding Author : In-Kyoon Yoo(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: ikyoo@kict.re.kr

Received September 29, 2020

Revised November 20, 2020

Accepted December 4, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

도로의 대부분인 아스팔트포장은 이제 평탄한 노면의 제공이라는 기본기능을 넘어서 다양한 기능을 제공하는 기능성포장으로 진화해 가고 있다. 아스팔트 혼합물속에 20%정도의 공극을 형성해서 우천시 교통사고를 획기적으로 줄이는 배수성포장을 넘어서 교통소음을 크게 저감시키는 저소음포장의 기능도 구현하고 있다. 최근에는 일반 아스팔트포장에 비해 9-10dB의 교통소음을 줄이는 저소음포장에 개발되고 있다[1-3]. 이들 저소음포장의 성능을 평가하려면 도로상에서 발생하는 교통소음을 측정해야한다.

도로교통 소음을 측정하는 방법에는 두 가지가 있다. 하나는 도로변에서 통과하는 모든 차량이 발생시키는 소음을 측정하는 방법(SPB : Statistical Pass-By)[4]과 자동차에 규격에 맞는 타이어를 장착하고 일정 속도로 주행하면서 타이어 주변에서 측정하는 방법(CPX : Close Proximity)[5]이 있다. CPX방법은 타이어/노면의 마찰 소음을 주로 측정하는 방법으로 측정이 간편하여 저소음포장의 효과를 평가하려는 도로포장분야에서 측정하는 방법이다. 반면 SPB방법은 도로변에서 측정하기 때문에 실질적인 도로교통 전체 소음을 측정하는 방법이며 소음진동 전문가들이 측정하는 방법이다. 국내에서는 도로변에서 측정하는 SPB방법 하나만을 환경부에서 규정[6]하고 있고 CPX방법은 ISO규격을 사용하고 있는 실정이다.

저소음포장을 개발하는 포장업계에서는 CPX방법으로 평가된 소음저감 효과를 주장하지만 소음진동전문가들은 검증되지 않았단가 소음저감 효과가 위치에 따라 달라질 수 있다는 의견을 내면서 저소음포장이 도로의 소음저감 대책으로 채택되는 것을 부정적인 의견을 제시하고 있다. 이와 같은 상황에서 한국도로공사에서는 환경부로부터 저소음포장으로 신기술을 인정받은 제품에 대하여 실제도로에 포설하고 시공 전후의 소음을 평가하여 저소음포장의 성능을 평가하는 대규모 실험을 시행하였다. 대규모 실증실험은 실제 고속도로 상에서 실시되었고 한국소음진동학회에서 시행하였다. 실증실험이 실시된 동일한 구간에 대해서 CPX로 소음을 측정한 내용이 소음진동 국제학회에 보고되었다.

한국에서 실시된 저소음포장의 소음저감 효과에 대한 대규모 실증실험에 비교 실험결과는 매우 보수적인 관점에서만 평가되었다. 한국소음진동학회의 입장에서는 단순히 측정된 자료만을 이용하여 전반적으로 10.4dB의 소음저감 효과가 인정된다고만 보고하고 있다. CPX방법

으로 소음을 측정한 논문에서는 ISO에서 권장하는 측방 마이크로폰 보다는 후방 마이크로폰이 SPB의 소음차이와 더 상관성이 있다는 내용과 소음저감 크기가 위치에 상관없이 동일하다고 보고하고 있다.

기존포장과 저소음포장을 달리하면서 다양한 위치에서 장기간 소음을 측정하고 동일한 구간에서 CPX방법으로 소음저감 효과를 측정한 실증실험은 세계적으로도 찾아보기 쉽지 않다. 이 대규모 실증실험결과를 잘 활용하면 소음진동 전문가와 도로전문가가 서로 소통할 수 있는 다양한 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 실증실험결과를 바탕으로 CPX와 SPB 측정방법과 결과를 비교해보고 소음의 합성과 거리감쇠에 대한 원리를 적용하여 CPX의 결과가 SPB의 결과의 상관성에 대해서 탐색해 보고자 한다.

2. 관련 연구

국내에서 저소음포장의 효과분석에 대한 연구는 저소음포장과 일반포장에 대해서 CPX방법과 SPB방법으로 소음을 측정하고 각각 어느 정도의 소음저감 효과가 있는 것으로 나타났다고 보고하고 있다[1,2,3]. 저소음포장의 소음저감 효과분석에 대한 연구에서 Kim 등[7]은 고속도로에 적용되어 7년 이상 공용중인 저소음포장에 대해 주변의 일반 도로와 비교하기 위한 시험을 실시하였으며, 그 결과 SPB측정법에서 평균 6.2dB의 저감 효과가 나타났으며 CPX측정법에서는 120km/h의 속도에서 4.2dB 저감되는 것으로 보고하였다.

Yoo 등[1,2]은 복층저소음포장의 교통 소음저감 효과를 평가하기 위해 일반 아스팔트포장과 복층저소음포장에 대해서 SPB방법으로 측정한 결과 복층저소음포장이 일반포장에 비해 평균 9.4dB의 소음을 저감시키는 것으로 보고하였다. 주행속도는 70-80km/h가 대부분이었으며 동일한 구간에서 CPX방법으로 소음을 측정한 결과 주행속도 50km에서 8.33dB, 60km에서 9.45dB, 70km에서 10.55dB, 80km에서 11.23dB 저감되는 것으로 발표하였다. CPX측정법에서 ISO에서는 마이크를 측방에 두는 것을 원칙으로 하고 후방 마이크를 선택사항으로 하고 있다. 두 종류의 도로포장에 대한 소음도 차이가 측정방법이 서로 다른 SPB방법과 CPX방법에서 어느 정도 유사하게 나온 연구사례로 볼 수 있다.

Kim 등[3]은 2019년 마드리드에서 개최된 Inter-noise 국제학회에 발표한 논문에서 저소음포장의 소음저감량은

도로변과 수음점의 거리에 상관없이 동일하다는 실험결과를 발표하였다. 또한 CPX측정법에서 마이크의 위치를 측방에 두었을 때의 소음 저감량보다 후방에 두었을 때 SPB방법에서 측정된 소음도 차이와 유사하다고 발표하였다. 이 실험은 한국의 고속도로에서 다양한 거리와 높이의 11개 수음점에 마이크를 설치하고 저소음포장이 시공되기 전의 상태에서 CPX, SPB측정법으로 측정하고 저소음포장이 시공된 이후에 유사한 교통조건에서 비교 분석 되었다. SPB측정에서 얻은 11개 수음점에서의 소음도 차이는 모두 10dB에서 크게 벗어나지 않는 결과를 보여준다. CPX측정법에서의 소음도 차이는 80km/h와 100km/h에서 평균 10.7dB를 보였다고 발표하였다. 여기서도 CPX측정법에서 타이어 후방에서 측정된 소음도 차이는 SPB에서의 소음도 차이와 유사하며 SPB의 소음도 차이는 거리와 높이에 상관없이 모두 동일하다는 결론을 내렸다.

Kim 등[3]의 연구결과에 대해 평가한 논문을 Sandburg 등[8]이 2020년 서울에서 개최된 Inter-Noise 국제학회에서 발표하였다. 이 논문에서 한국의 SPB측정법은 ISO에서 규정되어 있는 측정법과 다르고 음향의 반사조건을 고려하지 않았기 때문에 소음저감 효과가 가중되어 외국보다 크게 나올 수 있다고 설명하고 있다. 그리고 후방에서 측정하는 CPX측정 소음저감이 측방에서 측정하는 소음저감보다 다공성포장에서 더 커질 수 있다고 하였다. Kim 등[3]의 연구결과는 특수 요인에 의한 결과로 설명하고 있다.

외국에서 SPB방법과 CPX방법의 상관성을 얻으려는 연구는 많이 진행되어 왔다. SPB 실험방법이 매우 까다롭기 때문에 상대적으로 측정이 용이한 CPX결과로부터 SPB결과를 추정하기 위한 연구이다. ISO SPB방법이 우리와 다르게 CPX방법에서 ISO에서는 측방에서의 측정을 의무화하기 때문에 우리의 결과와 유사한 사례를 찾기는 어렵다. 따라서 국내의 조건으로 측정된 실험결과에 대해 이를 설명할 수 있는 논리를 우리가 연구할 필요가 있다.

3. 대규모 실증실험

3.1 실증실험 개요

저소음포장의 소음저감 효과를 평가하기 위한 대규모 실증실험은 한국도로공사에서 한국소음진동학회에 의뢰해서 환경부 신기술인 복층저소음포장의 소음저감 효과

를 평가하기 위해서 실시되었다[9]. 실험구간은 서울외곽순환 고속도로 송파IC와 서하남IC 사이의 700m 구간으로 SMA로 포장되어 있는 기존 상태에서 2주간 측정하고 저소음포장으로 대체하고 2주간 소음을 측정하여 분석하였다. 측정구간의 기존 포장과 저소음포장 시공현황은 Fig. 1에 보여주고 있고 소음측정을 위한 폴대의 설치를 Fig. 2에 보여주고 있다.



Fig. 1. Before(left) and After(right) Applying Low Noise Pavement on the Test Section



Fig. 2. Picture of Noise Meter Installation

3.2 측정 위치와 방법

소음측정기는 모두 11개의 위치에 설치하였으며 측정 위치는 Table 1에 보여주고 있고, Fig. 3과 Fig. 4는 소음측정기 위치의 측면도와 평면도를 보여주고 있다.

또한 Fig. 5는 CPX로 소음을 측정하고 있는 트레일러를 보여주고 있으며 Fig. 6은 CPX 트레일러 속에 장착된 마이크로폰을 보여주고 있다. CPX측정은 기존포장과 저소음포장에 대해서 그리고 80km/h와 100km/h의 주행속도에서 시행되었다.

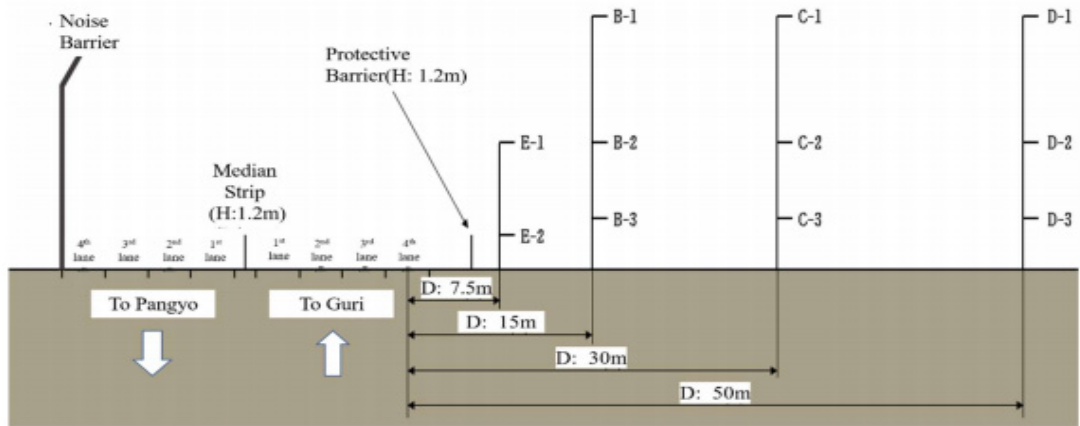


Fig. 3. Side View of Distance and Height of Measuring Points

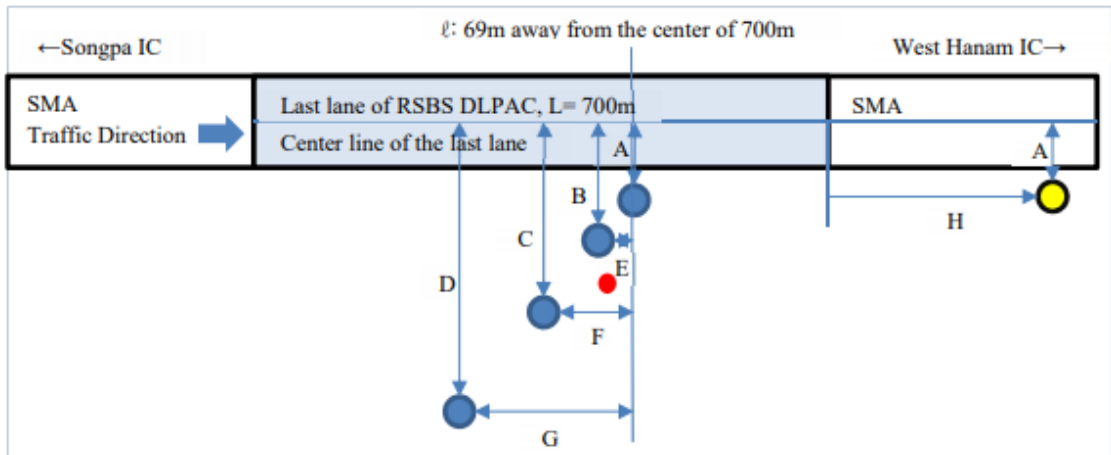


Fig. 4. Plane View of Noise Measuring Points.

Blue dots are as follow.

- A : 7.5m away from the center line
- B : 15m away from the center line
- C : 30m away from the center line
- D : 50m away from the center line
- E : 2.7m away from the center line
- F : 8m away from the center line
- G : 15m away from the center line
- H : 350m away from the center line

Table 1. Distance and Height of Measuring Point

Location	Distance(m)	Height(m)
E-1	7.5	7.5
E-2	7.5	1.5
B-1	15	15
B-2	15	7.5
B-3	15	3.0
C-1	30	15
C-2	30	7.5
C-3	30	3.0
D-1	50	15
D-2	50	7.5
D-3	50	3.0



Fig. 5. Picture of CPX Trailer



Fig. 6. Picture of Microphone in CPX Trailer

3.3 측정 결과

소음측정은 저소음포장의 시공 전후 소음저감 효과를 비교분석하기 위해 일반도로 2개 지점, 저소음포장 도로 주변 11개 지점에서 각 2주 동안 24시간 연속 측정되었다. 기존도로와 저소음포장에서 측정한 소음도를 평가하기 위하여 다음 3가지 방법을 사용하였다고 보고하고 있다.

- (1) 측정기간 내에 유효한 데이터 전부를 통계학적인 방법으로 비교평가
- (2) 교통조건(교통량, 대형차 혼입비율, 주행속도)이 유사한 날을 선정하여 비교평가
- (3) 일반도로 측정지점인 A-1의 소음도가 유사한 날을 선정하여 비교평가

분석결과 세 가지 방법에서 모두 유사하게 평가되었다. 첫 번째 통계적 분석방법에서는 평균 10.1dB 및 10.6dB의 차이를 보였고 유사한 교통조건에서는 10.0dB 및 10.2dB의 차이를 보였으며 기준점기반 분석 방법에서는 10.0dB 및 10.2dB의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. Table 3은 교통조건이 유사한 것으로 선정된 날의 교통조건과 기상조건을 보여주고 있다. Table 3은 Table 2에 선정된 날에 측정된 소음데이터를 보여주고 있다. 그리고 Table 4는 주행속도 100km/h 수준에서 유사한 교통조건을 고려하여 선정된 날에 측정된 소음 데이터를 보여주고 있다.

Table 5는 기존포장과 저소음포장 구간에 대해서 CPX 방법으로 측정된 데이터를 보여주고 있으며 측방측정방법과 후방측정방법으로 측정된 소음 데이터를 동시에 보여주고 있다.

Table 2. Two Different days of Similar Traffic Condition

Date		2018-08-11	2018-10-23
Car	Vehicles	6397	6449
	Ratio(%)	87.32	87.85
Truck	Vehicles	929	892
	Ratio(%)	12.68	12.15
Total(Vehicles)		7326	7341
Avg. Humidity(%)		66	81
Avg. Temperature(°C)		28.5	9.9
Running Speed(km/h)		85.0	87.2
Day of the Week		Wednesday	Tuesday

Table 3. The noise level and the difference before and after applying low-noise pavement

Location	E-1	B-2	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3	Avg.
Before	84.0	82.2	80.3	79.1	75.4	76.9	75.4	73.0	-
After	74.4	71.6	70.4	68.8	65.6	67.5	65.2	63.2	-
Difference	9.6	10.6	9.9	10.3	9.8	9.4	10.2	9.8	10.0

Table 4. The noise level and the difference before and after applying low-noise pavement

Location	E-1	B-2	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3	Avg.
Before	82.5	80.9	77.8	77.8	73.9	75.4	74.0	71.3	-
After	72.3	69.6	68.4	67.2	64.2	65.6	63.6	61.4	-
Difference	10.2	11.3	9.4	10.6	9.7	9.8	10.4	9.9	10.2

Table 5. The noise level by speed and by the location of the microphone

[In dB(A)]	80km/h			100km/h			Avg. Noise Reduction
	Low-Noise Pavement	SMA Pavement	Noise Reduction	Low-Noise Pavement	SMA Pavement	Noise Reduction	
Side Microphone	93.0	100.3	7.3	95.2	103.4	8.2	7.8
Rear Microphone	88.9	99.3	10.4	91.8	102.8	11.0	10.7

4. 실증실험의 결과분석

4.1 저소음포장의 소음저감 효과

4.1.1 소음원의 합성

소음의 합성에는 로그함수가 적용되기 때문에 일반적으로 생각하는 합성과는 차이가 있다. 즉, 두 개의 동일한 소음체가 소음을 발생할 경우, 이들 두 소음을 합성하면 소음의 크기에 상관없이 하나의 소음에 3dB을 추가하기만 하면 된다. 동일한 소음 네 개를 식 (1)을 이용하여 합성하면 소음의 크기에 상관없이 하나의 소음에 6dB을 추가하는 의미가 된다. 즉, 식 (2)에서 \log_6 이 0.60206이므로 6dB만 추가하면 된다[10].

$$SPL = 10 \times \log(10^{SPL_1/10} + 10^{SPL_2/10}) \quad (1)$$

동일한 소음인 경우

$$\begin{aligned} SPL &= 10 \times (x/10 + \log n) \\ &= x + 10 \times \log n \end{aligned} \quad (2)$$

자동차 소음의 경우, 네 대의 차량에서 동일한 소음이 발생한다고 가정하면 하나의 차량에서 측정된 소음도에 6dB을 추가하기만 하면 된다.

그리고 한 대의 차량에서 소음이 10dB 줄어드는 경우, 소음의 크기에 상관없이 그리고 차량 대수만 동일하다면 전체 소음도는 10dB 줄어드는 것을 의미한다. 자동차 한 대에서 소음이 줄어들면, 즉 소음원에서 소음이 줄어들면, 차량의 대수에 상관없이 소음원에서 줄어든 소음만큼 전체 소음도 감소하게 된다.

4.1.2 소음 저감효과의 검증

도로와 철도와 같이 소음원이 다수 연속하여 이어지는 경우를 선음원이라고 하며 음파는 그 선음원을 축으로 원통형으로 펼쳐진다. 선음원의 경우는 거리에 반비례하여 감쇠한다. Fig. 7에서 반경 r_0 와 r 인 점의 음압레벨을 각각 SPL_0 와 SPL 이라고 하면 선음원의 길이 l 이 r 에 비해 아주 큰 경우의 음압레벨은 아래 식(3)과 식(4)로 표현된다[10].

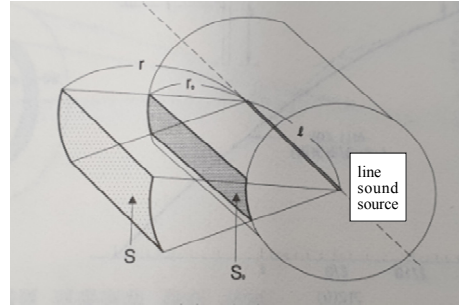


Fig. 7. Sound Propagation of Line Sound Source[7]

$$\begin{aligned} SPL_0 &= PWL - 10 \log_{10} 2\pi r_0 \\ &= PWL - 10 \log_{10} r_0 - 8 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} SPL &= PWL - 10 \log_{10} 2\pi r \\ &= PWL - 10 \log_{10} r - 8 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, PWL 은 단위 길이당 음향파워레벨(dB)을 말한다.

따라서 선음원의 거리감쇠를 구하기 위하여 $SPL - SPL_0$ 을 구해보면 다음 식(5)와 같이 된다.

$$SPL - SPL_0 = -10 \log(r/r_0) \quad (5)$$

도로에서 자동차로 인한 소음이 발생하는 경우 도로포장의 특성변화로 인한 소음의 저감은 소음에 대한 거리감쇠 개념에서 소음의 저감량은 거리만이 관계된다. 거리가 두 배로 소음원로부터 멀어지면 소음의 크기에 상관없이 3dB이 감소하는 것이다.

도로에서 발생한 교통소음에서 단순히 도로포장의 변화로 인해 소음원에서 소음이 줄어드는 경우, 소음에 대한 합성과 거리감쇠 개념으로부터 해당 소음이 영향을 미치는 모든 위치에서 저감효과가 동일하게 된다.

Table 3과 Table 4에서 측정된 소음도 차이에 대해 통계적으로 요약하여 보여주는 것이 Table 6이다. Table 6에서 표준편차는 주행속도 80km/h 대에서 측정된 소음도 차이에서 0.4dB, 100km/h의 고속주행에서 측정된 소음도 차이에서 0.6dB을 보여주고 있다. 표준편차를 평균으로 나눈 변동계수를 구해보면 각각 4%와 6%를 얻을 수 있다. 평균 5%의 변동계수이면 소음측정에서 측정오차 등을 고려할 때 소음이 영향을 미치는 모든 위치에서 동일하다는 것이 검증되었다고 말할 수 있다.

Table 6. Summary of Statistics for the difference of Noise Level

Statistics	Table 3	Table 4
Mean	9.95	10.1625
Std. Error	0.138873	0.21292
Median	9.85	10.05
Mode	9.8	#N/A
Std. Deviation	0.392792	0.602228
Variance	0.154286	0.362679
Kurtosis	-0.50772	0.625455
Skewness	0.367738	0.838099
Range	1.2	1.9
Minimum	9.4	9.4
Maximum	10.6	11.3
Sum	79.6	81.3
Count	8	8

도로공사에서 실시한 실증연구에서는 저소음포장의 효과가 얼마나 나는지 그리고 그 효과가 공간적으로 변화가 있는지 검증하기 위해 다양한 위치에서 소음을 측정하였지만 10.4dB정도의 소음저감 효과가 있다고만 기술하고 있다. 저소음포장의 소음저감 효과는 공간과 기상 조건에 관련 없이 일정하게 발현된다는 것이 증명되었다.

4.2 소음도 차이

자동차가 주행하면서 유발시키는 소음은 타이어소음, 엔진소음, 그리고 공기저항소음으로 구분한다. 이들의 상관관계를 살펴보면 Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 속도가 15km/h 이하로 낮을 경우에는 엔진소음이 지배적인 소음이 되고 이를 초과하면서 타이어소음이 지배적인 소음이 되며 100km/h가 넘는 초고속이 되면 공기저항 소음이 크게 영향을 미치게 된다[11,12]. 자동차 기술의 발전으로 엔진소음과 공기저항에 의한 소음이 최적화 되면서[13] 타이어 소음이 보다 지배적인 소음으로 자리를 차지하게 되었다[14]. 우리나라에서 자동차 제한속도를 100-110km/h로 제한하고 있는 상황을 고려할 때, 자동차의 주요 소음원은 타이어/노면의 소음이라고 할 수 있다.

따라서 자동차의 소음이 타이어 노면의 소음만 고려한다면 한 타이어에서 소음이 10dB 줄어드는 경우, 전체 소음에서도 다만 10dB 감소하게 된다. 하지만 엔진소음이 관여하는 경우 엔진소음은 줄어들지 않으므로 소음의 감소폭은 약간 줄어들 수밖에 없다. Fig. 5에서 차량의 속도가 100km/h인 경우 타이어 소음이 80dB 정도이고

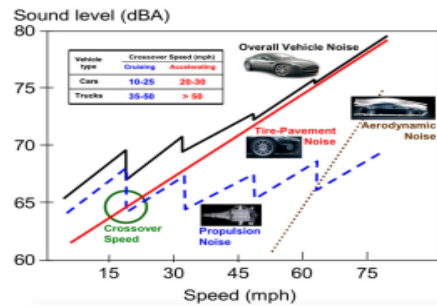


Fig. 7. Vehicle Noise Components versus Speed[11]

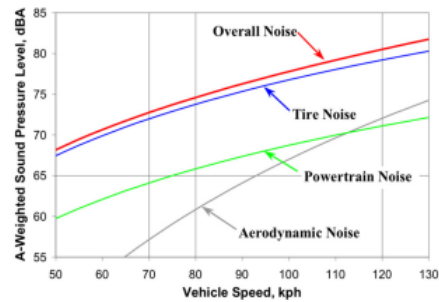


Fig. 8. Contribution of Various Sub-source of Highway Traffic Noise[12]

엔진소음이 70dB정도로 평가된다. 이 경우 80dB과 70dB을 합성하면 80.4dB로 산정되며 10dB 차이가 나는 소음을 합성하면 큰 소음에 0.4dB를 추가하면 된다.

만약 CPX측정에서 100dB의 소음이 측정되고 엔진 소음이 90dB인 경우에 전체 소음은 네 개의 타이어 소음을 합성하면 106dB이 되고 엔진소음 90dB을 합성하면 106.1dB이 산정된다. 16dB정도 소음의 차이가 나는 두 소음을 합성하는 경우 큰 소음에 크게 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다. 그리고 저소음포장으로 인해서 CPX 소음이 90dB로 감소한 경우, 타이어 소음은 96dB이 되고 엔진소음 90dB을 합성하면 97.0dB이 산정된다. 즉, CPX 소음이 100dB에서 90dB로 10dB 줄어드는 경우 전체소음은 106.1dB에서 97.0dB로 9.1dB 저감되는 것으로 산정된다. 다시 말하면 타이어 소음인 CPX에서 10dB 차이가 나는 경우, 전체 자동차 소음의 차이는 엔진소음의 간섭 때문에 9dB로 1dB 정도 적은 량의 소음이 저감되는 것으로 계산된다.

실증실험에서는 CPX에서의 측정값에서 10.7dB의 차이를 보였고 SPB에서 10.0dB정도로 측정되었다. 이것은 측정오차를 감안할 때 적절한 것으로 판단되며, SPB에서의 소음도 차이는 CPX에서의 소음도 차이보다 1dB 적

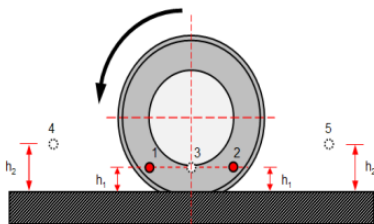
다고 판단하면 적정할 것으로 판단된다.

4.1.4 CPX에서 측정위치 사이의 차이

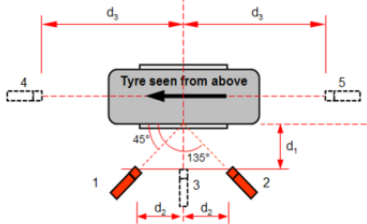
CPX의 측정방법은 ISO에 규정되어 있으며 ISO에서는 측방측정방법을 의무화하고 후방측정방법은 선택사항으로 하고 있으나 국내에서는 일본의 영향을 받아 후방측정방법으로 측정하고 있다. 실증실험에서 실시된 CPX 측정결과 후방측정방법으로 측정한 소음도 차이가 SPB로 측정한 소음도 차이와 상관성이 높다고 보고하고 있으며 이에 대한 검토논문에서는 한국에서의 특수한 여러 가지 요인에 의해 상관성이 있게 보일 수도 있지만 ISO에서 의무화하고 있는 측방측정방법이 더 유효하다고 주장하고 있다.

그러나 소음원부터 측방측정 위치와 후방측정 위치까지의 거리를 구하고 소음의 거리감쇠를 고려하면 두 위치에서의 소음도 차이를 검증할 수 있다.

Fig. 9와 Table 7에 따르면 소음원으로부터 후방측정 마이크론의 위치(5)까지의 거리는 높이가 0.20m이고 거리가 0.65m이므로 직선거리는 0.68m가 되고 소음원으로부터 측방측정 마이크론의 위치(2)까지의 거리는 높이가 0.1m이고 거리가 0.2m 정사각형의 대각선 길이이므로 직선거리는 0.3m가 되며 0.68m와 0.3m의 거리 비율은 2.267배가 되며 상용로그를 취하면 0.3554가 되고 10을 곱하면 3.554dB의 거리감쇄를 얻게 된다.



(a) Microphone position when looking directly at the tire



(b) Microphone position when the tire is viewed from above

Fig. 9. Microphone Installation Location

Table 7. Distance of the microphone from the tire and the road surface(Unit: m)

Microphone	h1	h2	d1	d2	d3
1 and 2	0.10		0.20	0.20	
3	0.10		0.20	0.00	
4 and 5		0.20			0.65

실증실험구간에서 CPX방법으로 저소음포장에 대해서 측정한 후방측정값과 측방측정값의 차이가 80km/h에서 4.1dB, 100km/h에서 3.4dB 차이가 발생하고 있다. 따라서 측방측정방법과 후방측정방법의 차이는 소음의 거리감쇠로 설명될 수 있다.

4.3 CPX와 SPB의 관계

측정이 간편한 CPX측정치로부터 SPB의 소음값을 추정하고자 하는 것이 도로 및 소음전문가들의 숙원이다. 그러나 CPX는 하나의 타이어에서 발생하는 소음만을 측정하므로 도로 전체에서 발생하는 소음을 추정하기는 어렵다고 생각해 왔다. 그러나 앞에서도 살펴본 바와 같이 도로교통 소음의 주도적인 소음이 타어노면 소음임을 감안하면 가능성이 없는 것은 아니다.

본 시도에서는 CPX로 측정된 소음값과 가장 가까이에서 측정된 SPB 소음값을 비교하고 거리감쇄를 고려했을 때 어느 정도 차이가 나는지 검토해보기로 한다. 우선 CPX에서 측방측정방법으로 측정된 마이크론의 위치까지의 거리는 0.3m가 되고, 가장 가까운 SPB 소음측정기는 7.5m의 거리에 7.5m의 높이에 설치되어 있다. 따라서 소음원으로부터 소음 측정기까지의 직선거리는 10.61m가 되어 0.3m에 비해 35.36배의 거리에 위치하게 된다. 35.36에 상용로그를 취하면 1.55가 되며 10을 곱하면 15.5dB의 거리감쇄가 일어나게 된다. CPX의 측방측정에서 80km/h의 속도에서 저소음포장의 소음은 93.0dB이며 이를 측정점 E1까지 거리감쇄하여 15.5dB을 감하면 77.5dB이 되고 실측 SPB 데이터는 74.4dB이다. 즉, SPB실측 데이터가 CPX 측정 데이터로부터 거리감쇄를 시행한 소음보다 3dB 적게 추정되고 있다. 이러한 차이는 교통량이나 속도 그리고 중차량의 비율 등 교통요소와 온도와 습도 등 환경요소에 의해서 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

4.4 교통소음 예측프로그램

Yun 등[15]의 연구에 따르면 환경부에서 소음지도 작성 시 용하도록 권고하고 있는 5가지 도로 교통소음 예측모델에 대하여 비교연구를 수행한 결과, 평균 오차가 2dB(A) 이내로 나온 RSL90이 우리나라의 도로에 적용하기에 적합하다고 보고하였다. 외국에서 개발되고 환경부에 사용을 추천하는 모델들은 모두 도로포장의 조건을 상수로 고려하고 있다. 즉, 보통 아스팔트포장과 콘크리트포장만 구분하는 입력조건 뿐이다.

그러나 본 연구에서도 살펴보았듯이 저소음포장과 기존포장 사이에 10dB이상의 차이가 발생하고 있으며 동일한 아스팔트포장에 대해서도 공용연수에 따라 6dB 이상의 차이가 나기도 한다. 이러한 노면에 의한 소음도 차이를 반영하지 못하고 도로 교통소음을 예측한다는 것은 불확실성이 매우 크다고 할 수 있다. 도로포장에 대한 CPX측정결과는 도로포장의 소음특성을 대표하고 있으며 도로포장의 소음이 타이어 노면소음이 주도하기 때문에 도로변 측정값인 SPB 측정치와의 관계도 매우 크다. 따라서 CPX로 측정된 소음값을 직접 변수로 사용하던가 노면의 상태에 따라 CPX값을 추정할 수 있는 관계식을 만들어 좀 더 세밀한 분류가 이루어진다면 도로 교통소음 예측모델의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

저소음포장의 소음저감 효과를 공식적으로 검증하기 위해 한국도로공사에서는 한국소음진동공학회에 의뢰하여 실제 고속도로 상에서 실증실험을 시행하였다. 본 연구에서는 한국도로공사의 대규모 실증실험과 동일구간에 시행된 CPX방법으로 측정된 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 저소음포장의 나타난 소음저감 효과는 해당 소음이 영향을 미치는 모든 위치에서 동일한 효과를 나타낸다. 이것은 소음의 합성개념과 거리감쇠 개념으로 설명되며 측정결과의 통계분석으로 검증하였다.

둘째, SPB에서의 소음도 차이는 CPX에서의 소음도 차이에서 1dB씩감하는 것이 적정하다. 즉, 측정이 용이한 CPX측정에서 소음도 차이가 10dB 나면 SPB에서는 9dB의 소음도 차이가 발생한다고 추정하는 것이 가능하다.

셋째, CPX의 측정방법에서 ISO에서는 측방측정방법을 의무화하고 있고 후방측정방법과 한국에서 적용하고

있는 후방측정방법은 소음의 거리감쇠를 고려하면 동일한 소음이라는 것을 수식으로 증명하였다.

넷째, 저소음포장에서 CPX로 측정된 소음값과 제일 근접한 SPB 측정값에 대해서 소음의 거리감쇠를 고려한 결과, CPX의 소음값이 3dB 큰 것을 확인했다. 이것은 SPB소음의 예측에서 CPX 데이터를 이용하면 신뢰성을 높일 수 있다는 점을 암시한다.

다섯째, 환경부에서 소음지도 제작을 위해 권장하고 있는 도로 교통소음 예측식에 노면의 소음특성을 나타내는 CPX값을 예측변수로 사용하면 도로 교통소음예측식의 신뢰성을 획기적으로 높일 수 있다.

본 연구가 도로 교통소음과 저소음포장에 관련된 여러 가지 문제의 해결을 위한 기반을 제공할 것으로 생각한다.

References

- [1] I. K. Yoo, S. H. Lee, and D. S. Han, Analysis of Noise Reduction of Double Layered Low Noise Pavement with Close Proximity Method -National Route No.42 Yongin Section-, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 22, No. 2, pp.15-22, 2020 (in Korean)
DOI : <https://doi.org/10.7855/IJHE.2020.22.2.015>
- [2] I. K. Yoo, S. H. Lee, and D. S. Han, Noise Reduction Effects of Double-layered Low-noise Pavement at Roadsides -National Route No.42 Yongin Section-, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 22, No. 4, pp.1-7, 2020 (in Korean)
DOI : <https://doi.org/10.7855/IJHE.2020.22.4.001>
- [3] B. C. Kim, G. W. Chae, H. J. Kim, Comparison of Noise Reduction Performance Evaluation Methods for Low-Noise Pavement in Korea- Part II, *Proceedings of Inter-Noise 2019*, Madrid, Spain, Jun. 2019
- [4] ISO 11819-1:2017, Acoustic Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise- part 1: Statistical Pass-By Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017
- [5] ISO 11819-2:2017, Acoustic Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise- part 2: Close-Proximity Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017
- [6] Korea Ministry of Environment, Measurement method of Exterior Noise Emitted by Road Vehicle for Management Standards, ES03304, 1c, Korea Ministry of Environment, Apr. 2018 (in Korean)
- [7] C. H. Kim, C. K. Ok, J. H. Kim, T. S. Chang, and D. S. Kim, Noise Reduction Analysis of Low-noise Pavements, *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 2013 Spring Conference Proceedings, pp.715-716, 2013. (in Korean)

- [8] U. Sandburg, H. J. Kim, Evaluation of Noise Reduction of Korean Low-Noise Pavements-Part 2: Issues regarding the application of the CPX method, Proceedings of Inter-Noise 2020, Seoul, Korea, Aug. 2020
- [9] Korea Expressway Corporation, Final Report of Measurement and Analysis Noise for the Double Layered Low-Noise Pavement , Korea Expressway Corporation, Korea, pp. 1-55 (in Korean)
- [10] J. S. Kim, Noise and Vibration, Sejinsa, 2013, pp17-33 (in Korean)
- [11] R. O. Rasmussen, R. J. Bernhard, U. Sandberg, E. P. Mun, The Little Book of Quieter Pavements, Report No. FHWA-IF-08-004, 2007. pp.11
- [12] R. J. Bernhard, R. L. Wayson, J. E. Haddock, N. Neithalath, A. E. Aassar, J. Olek, T. K. Pellinen, W. J. Weiss, An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement, 2005. pp.3
- [13] H. Dechipre, M. Hartmann., R. Ewert, J. W. Delfs, Assessment of numerical methods for computation of automotive rain gutter wind noise. 16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Vol. 1, 2010, p. 835-847. DOI: 10.2514/6.2010-3755
- [14] U. Sandberg, Noise emissions of road vehicles effect of regulations: Final Report 01-1. Noise News International, Vol. 9, Issue 3, 2001, pp. 147-203.
- [15] H. S. Yun, S. C. Yoon, I. S. Park, and S. K. Park, A Study on Application of Noise Prediction Models According to General Road and Expressway, *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 2012 Autumn Conference Proceedings, pp.161-166, 2012. (in Korean)

유 인 균(In-Kyoon Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 10월 : 도로 및 공항 기술사, 한국산업인력공단

• 1987년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원

<관심분야>

도로공학, 교통소음