

# 아스팔트 노면조직의 파장길이가 타이어-노면소음에 미치는 영향

## The Effect of Texture Wavelength on the Tire-Pavement Noise in Asphalt Concrete Pavement

홍 성 재	Hong, Seong Jae	정회원 · 강릉원주대학교 공과대학 박사과정 (E-mail : zkdlwl@nate.com)
박 성 욱	Park, Sung Wook	강릉원주대학교 공과대학 전자공학과 부교수 (E-mail : swpark@gwnu.ac.kr)
이 승 우	Lee, Seung Woo	정회원 · 강릉원주대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** Recently, attempts have been made to evaluate tire-pavement noise based on a measure of Mean Profile Depth (MPD). However, equivalent values of MPD appear to correspond to different levels of tire-pavement noise, which indicates that other factors such as texture wavelength need to be included to improve the accuracy of noise prediction. A single index to represent texture wavelength is proposed in this study. A consistent relationship between tire-pavement noise and texture wavelength on asphalt concrete pavement is observed.

**METHODS :** Profile data and tire-pavement noise data were collected from a number of expressway sections in Korea. In addition, texture wavelength was defined by a Peak Number (PN), which was calculated using profile data. Statistical analysis was performed to find the relationship between the PN and tire-pavement noise.

**RESULTS :** As a result of this study, a linear relationship between PN and tire-pavement noise is observed on asphalt concrete pavement.

**CONCLUSIONS :** Tire-pavement noise on asphalt concrete pavement can be predicted from PN information.

### Keywords

MPD(Mean Profile Depth), tire-pavement noise, PN(Peak Number), texture wavelength

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor  
Department of Civil Engineering, Gangneung Wonju National University, 7, Jukheon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do, 210-702, Korea  
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.646.1391  
E-mail : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Jul. 29, 2014 Revised Aug. 8, 2014 Accepted Jan. 2, 2015

## 1. 서론

최근 지속적인 경제발전과 더불어 사회기반시설인 도로의 확장으로 차량이용 증가 및 주변 도로의 소음문제가 부각되고 있다. 이러한 도로 주변의 소음문제는 도로 이용자 및 인접 거주민에게 피로감 및 불안감 등 심리적인 영향을 미치며, 이로 인해 많은 민원 사례가 발생하고 있다. 현재의 도로관리시스템에서는 도로의 유지관리를 평가하기 위한 방법으로 포장의 파손형태, 파손량

및 평탄성에 대한 모니터링만 적용하고 있다. 도로소음에 대한 직접적인 평가는 현재까지 포장관리 시스템에 체계적으로 반영되고 있지 않다.

타이어-노면소음을 손쉽게 평가하기 위해서 Hanson 등(2004)의 연구에서는 미국의 Nevada, Arizona, Texas 등의 도로에서 표면이 다른 HMA(Hot Mix Asphalt)에서 MPD(Mean Texture Depth)와 타이어-노면소음을 측정하였고, MPD와 타

이어-노면소음의 상관관계분석을 실시하였다. 분석결과 MPD가 증가할수록 타이어-노면소음이 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 상관관계가  $R^2=0.08$ 로 신뢰성이 없다고 판단하였다. 반면에 Poulit 등(2006)의 연구에서는 Quebec's에서 콘크리트 포장의 노면을 측정하기 위해서 ARAN 장비를 이용하여 MPD를 측정하였고, 동시에 타이어-노면을 측정하였다. 측정된 MPD와 타이어-노면소음에 대한 상관관계 분석결과 신뢰성 높은 상관관계를 나타냈으며, MPD가 증가할수록 타이어-노면소음이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 국내에서는 이승우 등(2013)의 연구에서는 MPD를 PLP(Portable Laser Profiler)를 이용하여 획득하고, 이를 이용하여 타이어-노면소음의 상관관계식을 도출하였다. 분석결과 MPD와 타이어-노면소음의 분석결과 MPD가 증가할수록 타이어-노면소음이 증가하는 상관관계를 도출하였다. 그러나 연구결과 동일한 MPD에서도 타이어-노면소음에 대한 크기가 상이한 경우가 많아서, MPD만으로 타이어-노면소음을 신뢰성 있게 예측하기에는 한계가 있다고 지적하였다.

Rasmussen 등(2007)의 연구에서는 Fig. 1과 같이 노면조직인 Marcotexture의 파장주기가 길어질수록 타이어-노면소음이 증가하고, 반대로 노면조직의 파장주기가 짧아질수록 타이어-노면소음이 감소할 것이라고 예측하였다. 그러나 타이어-노면소음에 영향을 미치는 노면조직 파장길이에 대한 정량적인 연구가 미흡하다. 타이어-노면소음을 체계적으로 관리하기 위해서는 노면조직 파장길이에 대한 고찰이 필요할 것으로 판단된다.

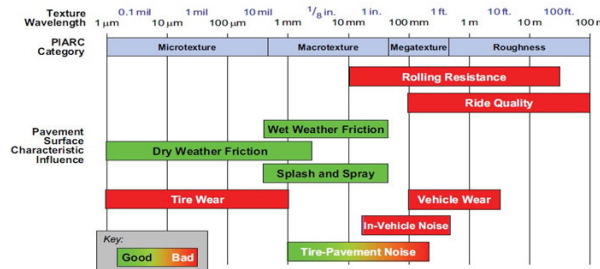


Fig. 1 Pavement Surface Characteristic Classifications and Their Impact on Pavement Performance Measures (Rasmussen et al, 2007)

아스팔트 포장의 한 구간에서는 다양한 노면조직 파장주기가 존재한다. 하나의 구간에서 발생하는 노면조직 파장길이가 다양하게 존재하게 되며, 이를 확일적으로 표현하기 위해 노면조직 파장길이에 대한 지수화 방

안을 제시하였다. 지수화된 노면조직 파장길이와 타이어-노면소음을 평가하기 위해서 동해고속도로(북강릉 IC~남강릉IC) 및 일반국도 35호선(성산~왕산)에서 프로파일 데이터 및 타이어-노면소음 데이터를 구축하였다. 프로파일 데이터를 이용하여 노면조직 파장길이의 데이터를 산정하였고, 이를 활용하여 노면조직 파장길이와 타이어-노면소음에 대한 상관관계 분석을 실시하였다.

## 2. 노면조직 파장길이의 지수화방안

한 구간의 타이어-노면소음에서 다양한 노면조직 파장길이가 발생하고, 또한 파장길이가 분산되어 있기 때문에 확일적으로 표현하여 계산하기에는 한계가 발생한다. 노면조직 파장길이를 보다 편리하게 분석하기 위해서 100mm를 기준하였다. 노면조직 파장길이가 평균값 이상의 변곡점 개수로 표현하여 Fig. 2와 같이 정의하였다. Fig. 2와 같이 노면조직 파장길이가 짧을수록 변곡점의 개수는 많아지고, 반대로 파장길이가 길어질수록 변곡점의 개수는 줄어든다. 이러한 노면조직 파장길이를 편리하게 구하기 위해서 PN(Peak Number)로 정의하여 사용하였으며, PN는 Eq. (1)과 같이 프로파일 데이터 측정거리에서 평균값보다 높은 변곡점을 최댓값 하나로 보고 측정거리 안에 있는 변곡점의 개수로 지수화하였다. Fig. 1에서 제시된 노면조직 파장주기가 길수록 타이어-노면소음이 증가되고, 파장거리가 짧을수록 소음이 감소한다는 예측결과와 같이 PN가 크면 동일한 구간에서 변곡점이 많게 되어 소음이 감소하고, 반대로 변곡점이 작으면 소음이 증가하게 될 것으로 판단된다.

$$PN(\text{Peak Number}) = \text{number of inflection points above average level} \quad (1)$$

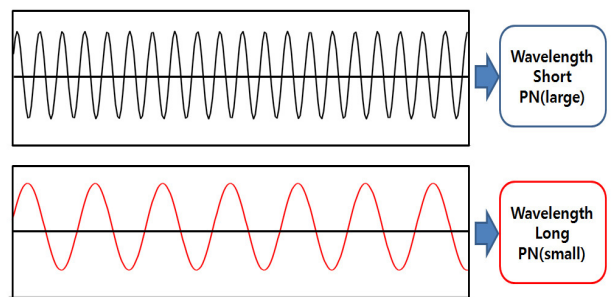


Fig. 2 Definition of PN (Peak Number)

### 3. 프로파일 및 타이어-노면소음 데이터 수집

#### 3.1. 노면조직의 프로파일 및 타이어-노면소음 산정방법

프로파일을 산정하는 방법의 경우에는 Fig. 3과 같이 실험차량에 탑재된 PLP에서 방출하는 레이저가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 컴퓨터로 전송하게 된다. 실험차량에 탑재된 센서를 통하여 속도와 거리에 따라서 레이저에 속도가 변화하면서 1mm 간격으로 정밀하게 프로파일 데이터로 산정된다. 프로파일 데이터는 소프트웨어를 통하여 도로노면에서 측정되는 MPD, 평탄성 등을 변환하여 산출할 수 있다. 또한 프로파일 데이터를 이용하여 노면조직 파장길이에 대한 지수화방안을 제시하였다.

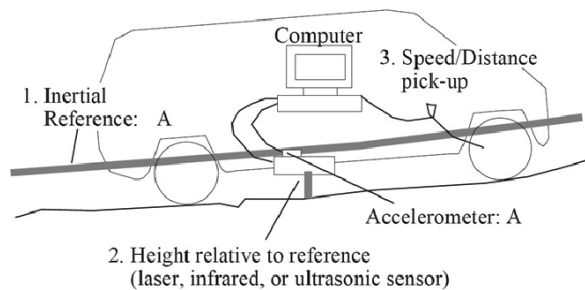
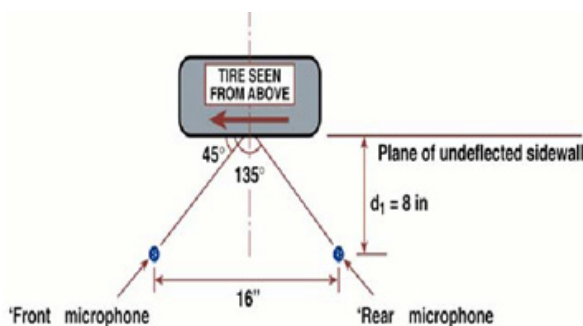


Fig. 3 Road Roughness Profiling Device (Budras, 2001)

주행차량의 타이어에 근접해서 소음을 측정하는 방법으로 ISO 11819-1(1997) 규정에서 제시한 트레일러장비를 사용하는 방법을 택하였다. Hanson 등 (2004)에서는 근접소음 측정방법(Close Proximity : CPX)을 차량주행속도로 인한 타이어-노면소음의 변화를 최소화하기 위한 위치를 제시하였다. Fig. 4(a)는 근접소음 측정방법으로 소음을 측정하는 장비와 구성도를 나타냈다. Leewen 등(2007)의 경우 Fig. 4(b)와 같이 트레일러 내에 마이크로폰을 설치하여 차량에서 발생하는 엔진, 배기 등의 소음을 최소화하여 타이어-노면 사이에 측정하는 방법을 제시하였다.



(a) Principle of CPX Method (Hanson et al, 2004)



(b) CPX-Trailer (Leewen et al, 2007)

Fig. 4 Measurement of Tire-Pavement Noise using CPX

본 연구에서도 Hanson 등(2004)에서 제시된 차량주행속도로 인한 타이어-노면소음을 최소화할 수 있는 위치에 선정하여 개발하였다. 또한 차량에서 발생하는 엔진, 배기 등의 소음을 최소화하기 위해서 차량 뒷바퀴에 Fig. 5와 같은 장비를 개발하였고, 타이어-노면소음을 정확하게 평가하기 위하여 타이어-노면소음 측정장비에 2개의 마이크로폰을 적용하였다.



Fig. 5 Equipment of Tire-Pavement Noise

#### 3.2. 노면조직의 프로파일 데이터와 타이어-노면소음 데이터의 수집

노면조직의 프로파일과 타이어-노면소음의 데이터를 수집하기 위해서 동해고속도로 및 일반국도 35호선의 아스팔트 구간을 선정하였다. 선정된 구간에서 측정장비인 PLP를 이용한 프로파일을 측정하고, 동시에 개발된 타이어-노면소음 측정장비를 이용하여 타이어-노면



소음을 측정하였다. 타이어-노면소음 측정 시 주변 암소음으로 부터의 영향을 최소화 시키고 실험자의 안전을 위해 2차로 우측 휠패스 구간에서 실시하였다.

타이어-노면소음 데이터 측정은 Fig. 6과 같은 과정을 통해 획득하였다. 실험 시 주행속도는 80km/h로 일정하게 유지시킨 후 타이어와 노면사이에서 발생하는 소음을 측정하여 메인 소프트웨어에 전송하였다. 소프트웨어는 마이크로폰 2개를 통하여 1/10초 간격으로 타이어-노면소음 데이터를 산정한다. 2개의 타이어-노면소음 데이터를 평균하여 하나로 만든 후 데이터를 구축하였다. 타이어-노면소음은 노면조직 파장길이와 상관관계 분석을 위하여 프로파일을 측정한 구간에서 동시에 측정하였다.



Fig. 6 Procedure for Tire-Pavement Noise Calculation

노면조직 파장주기의 데이터 구축은 Fig. 7과 같은 과정을 통해 획득된다. 실험차량을 80km/h로 일정하게 유지시킨 후 PLP에서 방출되는 레이저가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 수집된 프로파일 데이터를 메인 소프트웨어에 전송한다. PN과 타이어-노면소음에 대한 상관관계 분석을 위해 동시에 측정하였다. 노면조직 파장길이인 PN를 적용하기 위하여 프로파일 데이터를 이용하여 측정된 Eq. (1)으로 계산하여 PN 데이터를 구축하였다.

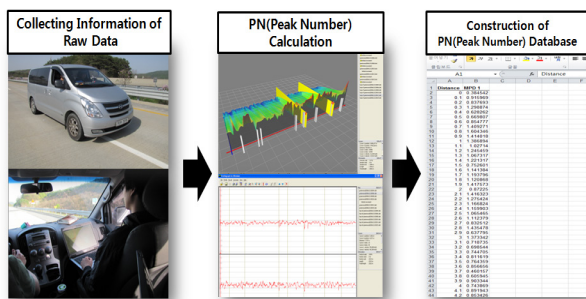


Fig. 7 Procedure for PN Calculation

실험차량이 주행하면서 동일한 시간동안 측정되는 노

면조직 파장길이 및 타이어-노면소음 데이터의 PN는 서로 다르기 때문에 이들을 일정한 규칙으로 정렬하여야 상관관계를 분석할 수 있다. 본 연구에서는 노면조직 파장길이와 타이어-노면 소음의 상관관계를 1초 단위로 계산하였다.

Fig. 8과 같이 실험차량이 80km/h로 1초 동안 이동 거리는 약 22m이다. 타이어-노면소음의 경우 1초에 10개의 데이터가 측정된다. 측정된 10개의 데이터의 평균값을 구하여 1초 동안의 소음 대푯값으로 사용하였다. 반면에 프로파일 데이터의 경우에는 1mm당 하나의 데이터를 확인할 수 있으며, 1초 동안 22m 주행한다. PN는 22m에서 100mm마다 하나씩 생성하여 220개의 데이터를 확인할 수 있다. PN의 데이터를 타이어-노면소음과 일정하게 규칙적으로 정렬하여야 하기 때문에 1초 동안 이동한 22m로 220개의 PN값을 동일한 구간의 평균값을 대푯값으로 사용하였다. Table 1과 같이 PN 및 타이어-노면소음 데이터를 동해고속도로(북강릉 IC~남강릉IC)구간에서 244개, 일반국도 35호선에서 353개로 총 597개의 데이터 세트를 수집하였다. 이렇게 수집된 PN과 타이어-노면소음을 동일한 측정구간에서 구축한 대푯값 데이터를 이용하여 상관관계분석을 실시하였다.

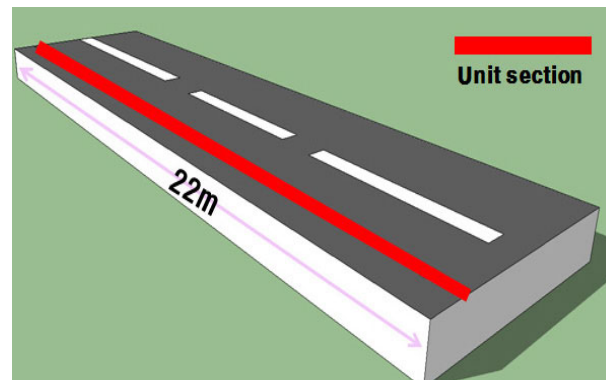


Fig. 8 Data Alignment Section of PN and Tire-Pavement Noise

Table 1. Test Section for Collection of Profile and Tire-Pavement Noise

Road routes	Location	Construction	No. of Peak number, Tire-pavement noise
DongHae Expressway	S. Gangnengung IC ~ N, Gangnengung IC	2001	244
National Highway 35 Line	SungSan ~ WangSan	2010	353

#### 4. 노면조직 파장길이와 타이어-노면소음 분석 상관관계

노면조직 파장길이를 지수화한 PN과 타이어-노면소음 분석의 경우 Fig. 9와 같이 PN가 증가할수록 소음이 감소하는 경향이 나타났으며, 결정계수는 0.58, 유의확률은 0으로 산정되었다. 노면조직의 파장거리가 길수록 타이어-노면소음이 증가되는 현상을 표현한 PN는 Fig. 9와 같이 파장의 거리가 클수록 소음이 좋지 않은 영향을 미치게 되고 반대로 파장의 거리가 짧으면 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다. Eq. (2)과 같이 PN의 값이 1이 증가될수록 타이어-노면소음은  $-1.197\text{dB}(a)$ 가 감소한다. 이는 아스팔트 구간에서 PN과 타이어-노면소음은 통계학적으로 분명한 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

$$\begin{aligned} \text{Estimated Noise, dB}(A) &= -1.197PN + 130.5 \\ R^2 &= 0.58, P\text{-value} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\text{Estimated Noise, dB}(A)$  = 추정 타이어-노면소음,  $PN$  = Peak Number

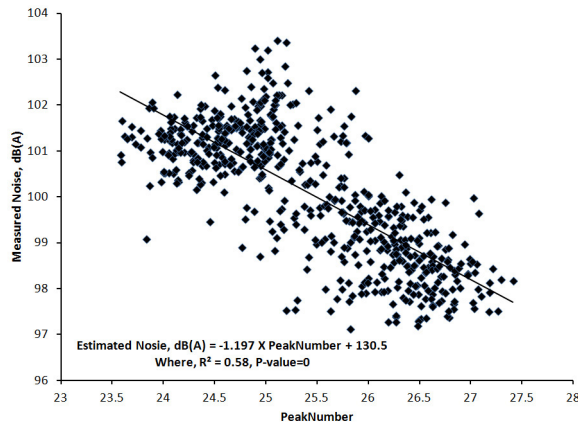


Fig. 9 Correlation of PN and Tire-Pavement Noise

#### 5. 결론

본 연구에서는 아스팔트 포장의 노면조직 파장길이와 타이어-노면소음의 상관관계를 분석하였다. 동해고속도로 및 일반국도 35호선의 아스팔트 구간에서 PLP를 이용한 노면조직의 프로파일 측정 및 타이어-노면소음 측정을 수행하였다. 노면조직 파장길이를 쉽게 평가하기 위해서 프로파일 데이터를 이용하여 지수화한 PN

을 제시하였다. PN 및 타이어-노면소음 데이터를 동해고속도로(북강릉 IC~남강릉IC)구간에서 244개, 일반국도 35호선에서 353개로 총 597개의 데이터를 수집하였고, 이를 통하여 노면조직 파장길이와 타이어-노면소음의 상관관계 분석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

노면조직 파장길이와 타이어-노면소음의 선형적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 노면조직 파장길이 길수록 소음이 좋지 않은 영향을 미치게 되고 반대로 파장길이 짧을수록 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 노면조직 파장길이는 타이어-노면소음에 직접적으로 영향을 주는 인자라고 판단된다.

이승우 등(2013)에서는 타이어-노면소음과 노면조직 깊이를 이용하여 타이어-노면소음을 산정하였다. 연구결과 신뢰성 있는 상관관계를 나타내고 있으나, 동일한 노면조직 깊이에서도 타이어-노면소음에 대한 크기가 상이한 경우가 많아서, 노면조직 깊이만으로는 타이어-노면소음을 신뢰성 있게 예측하기에는 한계가 있다고 지적하였다. 본 연구에서 제시된 노면조직 파장길이와 기존의 연구에서 제시된 노면조직 깊이를 이용하여 타이어-노면소음 상관관계 분석을 한다면, 보다 신뢰성 높은 타이어-노면소음 분석결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 이를 활용하여 타이어-노면소음을 포장관리 시스템에서 보다 효율적으로 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 강릉원주대학교 방재연구소의 지원을 받았습니 다. 이에 감사드립니다.

#### BIBLIOGRAPHY

- American Society for Testing and Materials. (2001). "Standards Designations E-965", In Annual Book of ASTM Standards Volume 04.03.
- Budras, J. (2001). "A Synopsis on the Current Equipment Used for Measuring Pavement Smoothness", Federal Highway Administration.
- Flintsch, G. W., de LeÛn, E., McGhee, K. K., Al-Qadi, I. L. (2003). "Pavement Surface Macrotecture Measurement and Application", Presented at 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Hanson, D. I., Jame, R. NeSmith, C. (2004). "Tire/Pavment Noise Study", NCAT Reprot 04-02, National Center for Asphalt Technology.
- Hong, S. J., Hyun T. J., Kim H. B., Lee S. W. (2013). "Estimation of Tire-Pavement Noise for Asphalt Pavement by using Mean

- Profile Depth”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol 33, No4, pp1631-1638.
- Leeuwen, H., Kok, A. and Reubsat, J. (2007). “The Uncertainty of Acoustical Measurements on Road Surfaces using the CPX-Method”, INTER-NOISE 2007, Istanbul, Turkey.
- Pouliot N., Carter A., Langlois P. (2006). “Close-Proximity of Tire-Pavement Noise on the Ministry of Transportation of Quebec’s Road Network”, Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
- Rasmussen, R. O., Bernhard, R. J. (2007) The Little Book of Quieter Pavements. FHWA-IF-08-004, Federal Highway Administration.
- ISO 11819-1. (1997). “Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise. Part 1 The Statistical Pass-by Method”, International Organization for Standardization.