

## 아스팔트 포장의 노면조직 특성 분석

### Analysis of Texture Characteristics of Asphalt Pavements

홍성재 Hong, Seong Jae | 정회원 · 강릉원주대학교 방재연구소 전임연구원 · 공학박사 (E-mail : zkdwl@nate.com)  
이승우 Lee, Seung Woo | 정회원 · 강릉원주대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** Pavement textures can be categorized into four according to wavelength: microtexture, macrotexture, megatexture (roads), and roughness. Pavement surface texture influences a number of aspects of tire-pavement interaction such as wet-weather friction, tire-pavement noise, splash, spray, tire-wear, and rolling resistance. In particular, macrotexture is the pavement surface characteristic that considerably impacts tire-pavement noise. In general, it can be demonstrated that tire-pavement noise increases with the increase of texture depth and wavelength. Recently, mean profile depth (MPD) and wavelength have been used to evaluate tire-pavement noise. This study aimed to identify the relationship between mean profile depth and average wavelength for asphalt pavement based on the information obtained on a number of asphalt pavement sections.

**METHODS :** Profile data were collected from a number of expressway sections in Korea. In addition, mean profile depth and average wavelength were calculated by using this profile data. Statistical analysis was performed to determine the correlation between mean profile depth and average wavelength.

**RESULTS :** This study demonstrates a linear relationship between mean profile depth and average wavelength for asphalt concrete pavement.

**CONCLUSIONS :** The strong relationship between mean profile depth and average wavelength of asphalt pavement was determined in this study.

#### Keywords

mean profile depth (MPD), average wavelength, macrotexture, surface characteristic

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor  
Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National  
University, 7, Jukheon-gil, Gangneung City, Gangwon Province,  
25457, Korea  
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.641.1391  
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 Jan. 25, 2016 Revised Nov. 02, 2016 Accepted Mar. 28, 2017

#### 1. 서론

현재 도로 공용성능이 저하되는 원인 및 경향을 모니터링을 통하여 파악하고 있으며, 포장 공용성을 예측하기 위하여 포장노면의 파손, 평탄성 등 다양한 요소들이 사용되고 있다. 산업발전에 따라 도로 주변의 소음 문제는 도로 이용자 및 인접 거주민에게 피로감 및 불안감

등 심리적인 영향을 미치고 있다. 일반적으로 노면조직 특성은 아스팔트 포장 및 콘크리트 포장의 타이어-노면 소음과 미끄럼 저항성 등 도로 기능적 측면에 밀접한 관련이 있다. Fig. 1과 같이 일반적으로 노면조직 특성은 Microtexture(파장: 0.0~0.5mm, 진폭: 0.0~0.02mm), Macrotexture(파장: 0.5~5mm, 진폭: 0.2~1mm),

Megatexture(파장 : 5~50mm, 진폭: 1~50mm), Roughness 범위에 따라 정의되며, 도로노면에서 노면 조직의 특성에 따라 미끄럼저항성, 타이어-노면소음, Splash와 Spray, 타이어 마모, 구름저항, 승차감 등 도로의 기능성에 영향을 준다(Rasmussen et al., 2007).

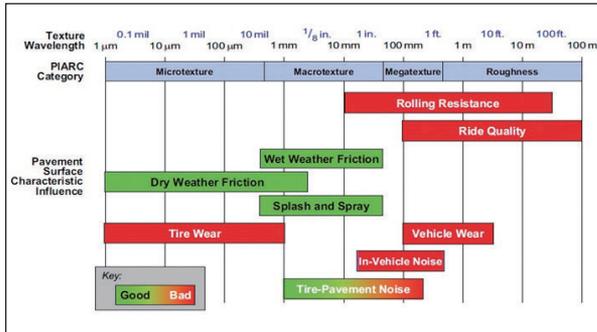


Fig. 1 Pavement Surface Characteristic Classifications and Their Impact on Pavement Performance Measures (Rasmussen et al., 2007)

박대욱(2012) 연구에서는 경량 프로파일러를 이용한 프로파일을 측정하여 Macrotexture 크기를 산정하였다. 아스팔트 포장의 밀입도, 배수성, SMA 등에서 측정하여 포장에 사용된 골재에 의한 Macrotexture 크기를 분석하였으며, Macrotexture를 이용하여 재료분리가 일어난 지역을 탐지하는 방안을 제시하였다. Li 등(2014)의 연구에는 Macrotexture를 측정하는 방법으로 MPD(Mean Profile Depth)를 이용하여 아스팔트 포장에서 노면조직 깊이와 타이어-노면소음 주파수 분석결과 MPD값이 4mm 이하의 경우 1600Hz 이상에 영향을 주고 8mm 이상의 경우 2000Hz 이하에 영향을 주는 것으로 나타났다. Hanson 등(2004)의 연구에서는 미국의 Nevada, Arizona, Texas 등의 도로에서 표면이 다른 HMA(Hot Mix Asphalt)에서 MPD와 타이어-노면소음 분석 결과 높은 상관관계를 나타내지 못하였다. 그 이유는 타이어-노면소음과 노면조직깊이를 동위치에서 측정하지 않았고, 제한적인 데이터로 분석하였기 때문으로 사료된다. 이승우(2013) 연구에서는 노면조직 특성인 아스팔트 포장 구간에서 발생하는 타이어-노면소음을 실시간으로 평가하기 위한 방안으로 주행 중 노면조직 특성정보가 획득가능한 PLP(Portable Laser Profile)를 통하여 측정된 MPD를 이용하여 타이어-노면소음의 상관관계식을 도출하였다. MPD와 타이어-노면소음의 분석결과 MPD가 증가할수록 타이어-노면소음이 증가하는 상관관계를 도출하였다. 그러나 홍성재(2015) 연구에서는 동일한 MPD에서 타이어-노면소음에 대한 크기가 상이한 경우가 많아 MPD만으

로 타이어-노면소음을 신뢰성 있게 예측하기에는 한계가 있다고 지적하였고, 타이어-노면소음에 영향을 주는 노면조직 평균파장주기를 이용하여 타이어-노면소음의 상관관계식을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 아스팔트 포장에서 타이어-노면소음, 미끄럼저항, 재료분리 등에 영향을 미치는 노면조직깊이와 노면조직 평균파장주기에 대한 특성을 분석하기 위하여 동해고속도로(북강릉 IC~남강릉IC) 및 일반국도 35호선(성산~왕산)에서 프로파일 데이터를 구축하였고, 프로파일 데이터를 이용하여 노면조직깊이인 MPD와 노면조직 평균파장주기의 데이터를 산정하였다. 또한 이를 활용한 노면조직깊이와 노면조직 평균파장주기를 이용하여 노면조직 특성을 분석하였다.

## 2. 노면조직깊이 및 평균파장주기 정의

노면조직깊이의 경우 PLP를 이용하여 MPD를 측정하였다. PLP의 경우 Fig. 2와 같이 1mm 간격으로 측정된 100개의 데이터 중 첫 번째로 높은 값(peak level 1st)과 두 번째로 높은 값(peak level 2nd)의 값을 평균하여 100mm에서의 프로파일 평균값과 두 개의 높은 값을 평균값의 차로 산정하였다. 또한 PLP는 MPD 데이터 수집 시 Macrotexture 영역을 제외한 나머지 영역의 노면조직 정보는 MPD로 산정되지 않는 특징이 있다. PLP를 이용한 MPD 데이터 측정방법의 경우 방출되는 Laser를 이용하여 데이터를 수집하였다.

$$MPD = \frac{(Peak\ Level\ 1st) + (Peak\ Level\ 2nd)}{2} - Average\ Level \quad (1)$$

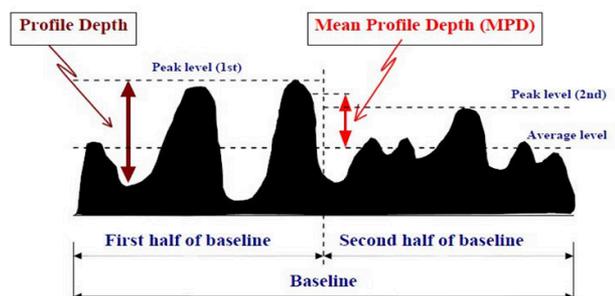


Fig. 2 Definition of MPD (Gerardo W. Flintsch, 2003)

홍성재(2015) 연구에서 제시한 노면조직의 평균파장주기를 측정하는 방법은 Fig. 3과 같다. 하나의 타이어-노면소음에서 다양한 노면조직 파장주기가 발생하

고, 또한 파장주기가 분산되어 있기 때문에 획일적으로 표현하여 계산하기에는 한계가 발생한다. 노면조직 파장주기를 보다 편리하게 분석하기 위해서 프로파일을 산정하는 방법의 경우에는 100mm를 기준하여 평균값 이상의 변곡점의 개수로 나누어 정의하였다. 본 연구에서는 이러한 노면조직 평균파장주기를 편리하게 구하기 위해서 Average Wavelength로 정의하여 사용하였으며, 프로파일 데이터 측정거리에서 평균값보다 높은 변곡점을 최댓값 하나로 보고 측정거리 안에 있는 변곡점의 개수로 정의하였다.

$$\text{Average Wavelength} = 100 / \text{number of inflection points above average level} \quad (2)$$

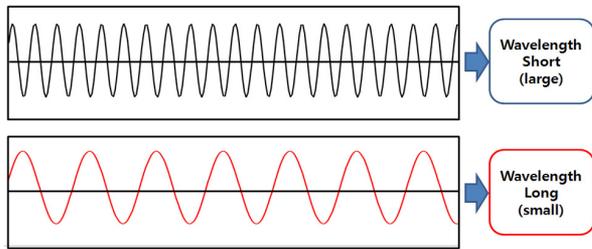


Fig. 3 Definition of Wavelength

### 3. 프로파일 데이터를 이용한 노면조직깊이 및 노면조직 평균파장주기 데이터

프로파일을 산정하는 방법의 경우에는 Fig. 4와 같이 실험차량에 탑재된 PLP에서 방출하는 레이저가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 컴퓨터에 전송하게 된다. 실험차량에 탑재된 센서를 통하여 속도와 거리에 따라 레이저의 속도가 변화하면서 1mm 간격으로 일정하게 프로파일 데이터를 측정하게 된다. 프로파일 데이터는 소프트웨어를 통하여 도로면에서 측정되는 MPD, 평탄성 등을 변환하여 산출할 수 있다. 또한 프로파일 데

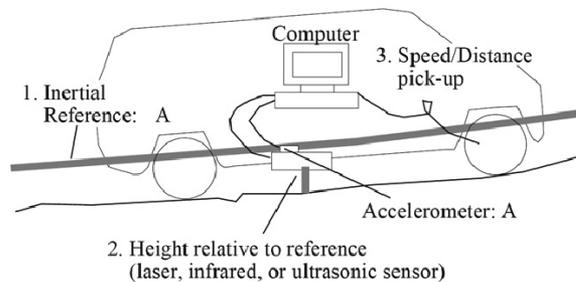


Fig. 4 Road Roughness Profiling Device (Budras, 2001)

이터를 이용하여 노면조직 평균파장주기를 산정하였다.

노면조직 프로파일 데이터는 Fig. 5와 같이 3가지 과정을 통해 MPD 데이터가 산정된다. 먼저 PLP에서 방출되는 레이저가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 수집된 노면조직 정보를 main software에 전송한다. 수집된 노면조직 데이터는 100mm 간격으로 MPD로 나누어 산정하며, 100mm마다 산정된 MPD 1개의 데이터를 편리하게 확인할 수 있도록 프로그램을 통해 MPD 데이터베이스를 구축한다. 노면조직 평균파장주기를 지수화한 Average Wavelength 경우에 측정된 프로파일 데이터를 이용하여 평균값 이상의 높은 변곡점이 연속적으로 발생하게 되면 하나의 변곡점을 제외하도록 계산하였다. 이러한 Average Wavelength를 계산하기 위하여 Eq. (2)를 이용하여 계산하여 데이터를 수집하였다.

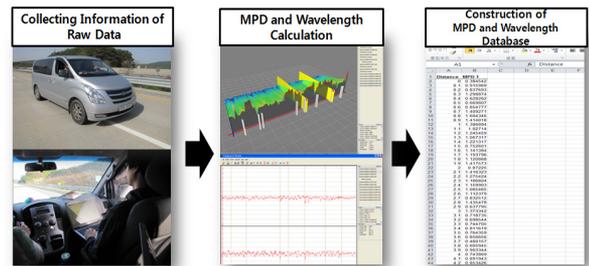


Fig. 5 Procedure for MPD and Average Wavelength Calculation

동일구간에서 노면프로파일 데이터 측정위치는 횡패스 구간을 선정하였으며, Table 1과 같이 MPD와 Average Wavelength의 데이터는 동해고속도로(북강릉 IC~남강릉IC)구간에서 242개, 국도 35호선에서 350개로, 총 592개를 수집하였다.

Table 1. Test Section for Collection of MPD and Average Wavelength

Road routes	Location	Construction	No. of MPD, wavelength	Pavement type
DongHae Expressway	S. Gangneung IC ~N. Gangneung IC	2008	242	DGA
National Highway 35 Line	SungSan ~ WangSan	2010	350	SMA

### 4. 노면조직깊이와 평균파장주기 분석

아스팔트 포장의 밀입도와 SMA를 분석하였으며,

Table 2는 MPD와 Average Wavelength 데이터의 샘플이다. 이러한 아스팔트 포장의 밀입도와 SMA의 경우 노면조직 평균파장주기가 다르게 측정되었다. 밀입도의 경우에는 노면조직 평균파장주기가 3.64~4.09mm까지 분포되어 있으며, SMA의 경우에는 노면조직 평균파장주기가 3.80~4.24mm에 분포되어 있다. 밀입도의 경우에는 노면조직 깊이가 0.69~1.50mm까지 분포되어 있으며, SMA의 경우에는 노면조직 깊이가 1.26~2.17mm

에 분포되어 있다.

Fig. 6과 같이 노면조직 특성인 MPD와 Average Wavelength에 대한 상관관계 분석을 실시하였다. 노면조직깊이와 노면조직 평균파장주기 분석결과 노면조직깊이인 MPD가 증가할수록 Average Wavelength도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 노면조직깊이가 1mm 증가하면 평균파장주기의 경우 0.37이 증가하고, R<sup>2</sup>값이 0.87로 신뢰도 높은 상관관계를 도출하였다. 아

Table 2. Example of MPD and Average Wavelength Results

DGA(National Highway 35 Line)				SMA(DongHae Expressway)			
MPD (mm)	MPD (mm)	Wavelength (mm)	Wavelength (mm)	MPD (mm)	MPD (mm)	Wavelength (mm)	Wavelength (mm)
1.12	1.11	3.74	3.87	1.38	2.11	4.01	4.16
1.02	1.11	3.73	3.79	1.42	1.96	3.98	4.19
1.03	1.15	3.79	3.82	1.58	1.91	4.01	4.11
1.01	1.18	3.79	3.77	1.65	2.00	4.05	4.14
1.02	1.12	3.82	3.76	1.62	1.95	4.02	4.17
1.20	1.21	3.79	3.85	1.69	1.87	4.01	4.07
1.15	1.11	3.77	3.83	1.74	1.82	4.01	4.15
1.16	1.08	3.79	3.85	1.70	1.95	4.07	4.17
1.25	1.09	3.83	3.86	1.70	1.95	3.99	4.10
1.23	0.98	3.77	3.87	1.72	1.98	4.00	4.08
1.30	1.03	3.80	3.85	1.69	1.87	3.99	4.08
1.31	0.96	3.81	3.89	1.74	1.89	3.99	4.08
1.28	1.07	3.84	3.85	1.69	1.97	3.96	4.10
1.30	1.04	3.83	3.86	1.75	1.98	3.97	4.12
1.44	1.30	3.83	3.89	1.71	1.95	4.00	4.14
1.33	1.14	3.82	3.95	1.74	1.84	4.00	4.11
1.30	1.12	3.83	3.88	1.64	1.94	3.97	4.13
1.42	1.18	3.84	3.97	1.75	1.96	4.00	4.12
1.37	1.21	3.84	3.91	1.63	1.88	3.98	4.16
1.33	1.24	3.82	3.90	1.65	1.95	3.95	4.12
1.50	1.21	3.84	3.95	1.67	1.81	3.98	4.13
1.40	1.24	3.82	3.87	1.72	1.90	3.99	4.14
1.31	1.31	3.88	3.96	1.75	1.99	3.99	4.16
1.18	1.23	3.83	3.86	1.69	1.92	3.99	4.17
1.18	1.19	3.78	3.84	1.70	1.78	3.98	4.16
1.19	1.19	3.82	3.85	1.68	1.95	3.98	4.15
1.22	1.24	3.83	3.88	1.62	1.87	4.02	4.14
1.08	1.19	3.76	3.80	1.67	1.91	3.96	4.15
1.42	1.16	3.75	3.99	1.61	1.90	4.06	4.16
1.40	1.20	3.79	4.09	1.65	1.94	4.06	4.21
1.05	1.23	3.78	3.95	1.63	1.93	4.09	4.15
1.17	1.23	3.80	3.91	1.72	1.91	4.15	4.14
1.16	1.25	3.79	3.92	1.74	1.86	4.19	4.12
1.16	1.35	3.81	3.92	1.58	1.98	3.92	4.03

스팔트 포장의 노면조직깊이와 평균파장주기는 통계학적으로 분명한 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

$$\begin{aligned} \text{Average Wavelength} &= 0.37\text{MPD} + 3.4, \\ R^2 &= 0.87, P\text{-value} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

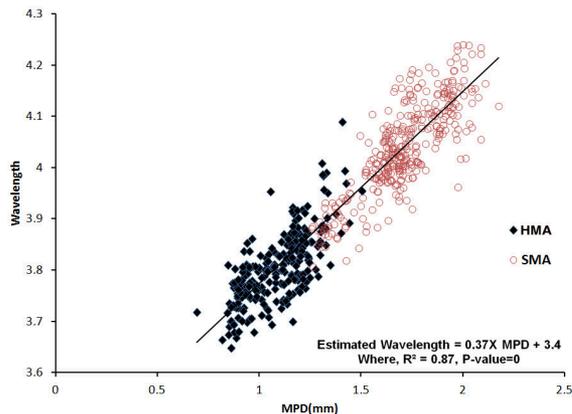


Fig. 6 Correlation of MPD and Average Wavelength

따라서, Fig. 7과 같이 아스팔트 포장의 노면조직 깊이와 노면조직 평균파장주기는 동일한 패턴으로 측정되기 때문에 골재입도에 따라 영향을 받을 것으로 판단된다. 골재입도의 변화에 따라 노면조직깊이와 노면조직 평균파장주기가 동시에 영향을 받기 때문에 노면조직 깊이와 평균파장주기가 높은 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있다. 아스팔트 포장에서 노면조직깊이와 노면조직 평균파장주기는 골재입도에 대한 영향이 더 클 것으로 판단되며, 골재입도가 변화하면 타이어-노면소음, 미끄럼저항 등에 대한 영향이 변화할 것으로 판단된다.

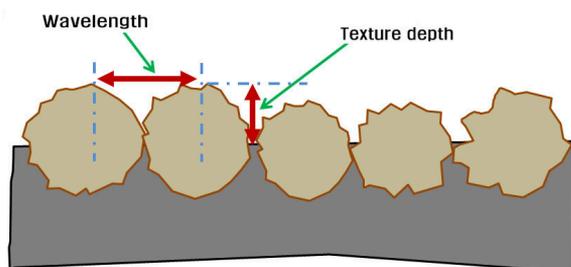


Fig 7. Relationship of Texture Depth and Average Wavelength on Asphalt

## 5. 결론

본 연구에서는 아스팔트 포장에서 타이어-노면소음,

미끄럼저항, 재료분리 등에 영향을 미치는 노면조직 깊이와 평균파장주기에 대해 분석하기 위하여 SMA 구간인 동해고속도로와 밀입도 구간인 일반국도 35호선에서 PLP를 이용한 노면조직 프로파일 데이터를 수집하였다. 프로파일 데이터를 이용하여 노면조직깊이와 평균파장주기 데이터를 동해고속도로(북강릉 IC~남강릉 IC) 구간에서 244개, 일반국도 35호선에서 353개로 총 597개의 데이터를 수집하였고, 이를 통하여 노면조직 깊이와 평균파장주기를 산정하였다.

아스팔트 포장의 SMA에서는 노면조직깊이가 1.26~2.17mm에 분포되어 있으며, 평균파장주기는 3.64~4.09mm에서 분포되어 있다. 밀입도의 경우에는 노면조직깊이가 0.69~1.50mm에 분포되어 있으며, 평균파장주기는 3.80~4.24mm에서 분포되어 있다. 아스팔트 포장의 노면조직깊이와 평균파장주기는 선형적인 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 아스팔트 포장의 골재입도에 따라 노면조직깊이와 평균파장주기가 동시에 영향을 받는 것으로 판단된다. 아스팔트 포장에서 노면조직 깊이와 평균파장주기가 증가할수록 타이어-노면소음이 증가하는 경향을 나타내고 있다(Lee et al., 2014 ; Hong et al., 2015).

또한 Fig. 1과 같이 Macrotexture가 많을수록 젖은 상태의 미끄럼저항성에 좋은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 아스팔트 포장의 골재입도 선정 시 강도, 평탄성 등을 고려하여 선정하고 있으나 타이어-노면소음, 미끄럼저항성 등의 도로 기능적 측면을 고려한 골재입도선정 방안에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Budras, J. (2001). "A Synopsis on the Current Equipment Used for Measuring Pavement Smoothness", Federal Highway Administration.
- Flintsch, G. W., de León, E., McGhee, K. K., and Al-Qadi, I. L. (2003). "Pavement Surface Macrotexture Measurement and Application", Presented at 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Hanson, D. I., Jame, R. NeSmith, C. (2004). "Tire/Pavement 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.
- Hong, S. J., Park, S. W., Lee S. W. (2013). "The Effect of Texture Wavelength on the Tire-Pavement Noise in Asphalt Concrete

- Pavement”, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol 17, No1, pp1-5.
- Li, M., Keulen, W., Ceylan, H., Tang, G., Wen, M., Molenaar, A. (2014) “Influence of Road Surface Characteristics on Tire-Road Noise for Thin-Layer Surfacing”, Journal of Material in Civil Engineers, Vol 26, No2, pp240-249.
- Pack, D. W., (2012) “Analysis of Texture Depth of Asphalt Pavement Based on Profile Analysis”, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol 14, No3, pp9-14.
- Rasmussen, R. O., Bernhard, R. J. (2007) The Little Book of Quieter Pavements. FHWA-IF-08-004, Federal Highway Administration.