

Mean Profile Depth를 이용한 아스팔트 포장의 타이어-노면소음 산정 연구

현택집* · 홍성재** · 김형배*** · 이승우****

Hyun, Tak Jib*, Hong, Seong Jae**, Kim, Hyung Bae***, Lee, Seung Woo****

Estimation of Tire-Pavement Noise for Asphalt Pavement by Mean Profile Depth

ABSTRACT

Distress data, IRI, etc. are important factors in the evaluation of pavement condition. Recently, the need to consider tire-pavement noise in PMS (pavement management system) is raised. Generally, tire-pavement noise highly depends on the characteristics of pavement texture. Therefore, estimation of texture characteristics may give useful information to predict tire-pavement noise. Measurement of MPD (Mean Profile Depth) by using PLP (Portable Laser Profiler) provide very fast. The texture characteristics by means of MPD can be in a short time. hence, It can be a good alternative to give noise information, if MPD and tire-pavement noise have robust relationship. In this study, MPD and tire-pavement noise were simultaneously collected on the number of asphalt section to evaluate the tire-pavement noise due to the pavement texture characteristics. A set of statistical analysis was performed to propose relationship between tire-pavement noise and MPD for asphalt concrete pavement.

Key words : MPD (Mean Profile Depth), PLP (Portable Laser Profiler), Tire-pavement noise

초 록

포장파손과 IRI 등의 요소들은 포장상태를 평가하는 중요한 요소이다. 최근 들어 주행쾌적성에 영향을 주는 타이어-노면소음을 포장관리 시스템에 포함시키는 필요성이 대두되고 있다. PLP(Portable Laser Profiler)를 이용하여 주행 중 노면조각특성인 평균프로파일깊이(MPD)를 측정할 수 있는 기법이 개발되었다. 일반적으로 타이어-노면소음은 노면조각특성에 따라 다르게 발생하며, 타이어-노면소음을 예측하는 유용한 정보로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 아스팔트 구간의 노면조각특성에 따른 타이어-노면소음을 평가하기 위해 다수의 아스팔트 구간에서 MPD와 타이어-노면소음을 동시에 측정하여 데이터를 획득하였으며, 통계학적 분석을 통해 타이어-노면소음 추정식을 제안하였다.

검색어 : MPD(평균프로파일깊이), PLP(포터블 레이저 프로파일러), 타이어-노면소음

1. 서론

아스팔트 포장은 공용년수가 증가함에 따라 노후화가 진행되고 포트홀, 러팅, 균열 등 구조적인 파손뿐만 아니라 노면 마모로 인한

* 강릉원주대학교 토목공학과 석사 (jingskhan86@hanmail.net)

** 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (zkdlwl@nate.com)

*** 정회원 · 한국도로공사 수석연구원, 공학박사 (kimhyun3@ex.co.kr)

**** 정회원 · 교신저자 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Gangneung-Wonju National University · swl@gwnu.ac.kr)

Received December 3 2012, Revised January 27 2013, Accepted May 3 2013

도로의 미끄럼저항 감소 등 도로의 기능성 손실을 초래하고 있다. 포장의 공용성능이 저하되는 원인 및 경향은 중장기적인 모니터링을 통하여 파악 될 수 있으며, 이를 통해 포장 공용성 예측 모형 및 수명 주기비용 분석에 필요한 입력 변수의 선정이 가능하다. 일반적으로 포장 공용성 예측 모형에 필요한 입력 요소로는 포장노면의 파손, 평탄성, 미끄럼 저항 등 다양한 요소들이 사용된다. 주행 쾌적성에 중요한 영향을 주는 타이어-노면소음에 대한 직접적인 평가는 현재까지 포장관리 시스템에 체계적으로 반영되고 있지 않다.

일반적으로 타이어-노면소음은 노면조각 특성의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이러한 노면조각 특성을 단시간에 확보하여 분석한다면 도로포장의 공용성 평가 모니터링을 위한 좋은 정보가 된다. 본 연구에서는 아스팔트 포장 구간에서 발생하는 타이어-노면소음을 실시간으로 평가하기 위한 방안으로 주행 중 노면조각 특성 정보가 획득 가능한 PLP를 통하여 측정된 MPD(Mean Profile Depth) 데이터를 이용하여 타이어-노면소음을 추정하는 것을 목표로 한다. 타이어-노면소음 추정식 산정을 위해 중부내륙 시험도로, 동해고속도로(북강릉 IC~ 남강릉IC), 국도35호선(성산~왕산)에서 MPD 및 타이어-노면소음을 동시에 측정하여 619개의 데이터를 획득하였으며, 통계학적 분석을 통해 상관성 높은 결과가 도출되었다.

2. 도로노면조각 및 타이어-노면소음특성

2.1 노면조각 깊이 특성

일반적으로 노면조각의 특성은 Microtexture, Macrottexture, Megattexture, Roughness의 범위에 따라 정의되며, 도로노면에서 노면조각의 특성에 따라 Figure 1과 같이 마찰력, 타이어-노면소음, Splash 와 Spray, 타이어 마모, 구름저항, 승차감 등 도로의 기능성

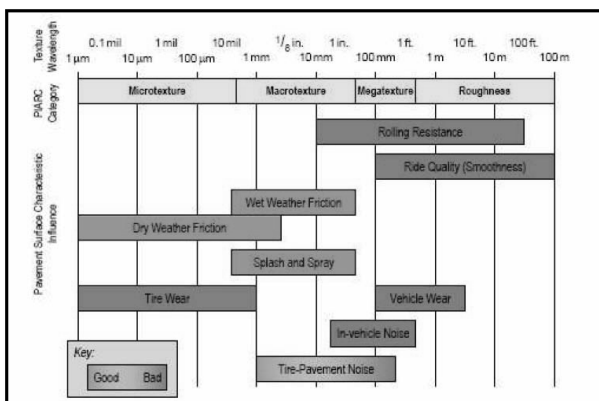
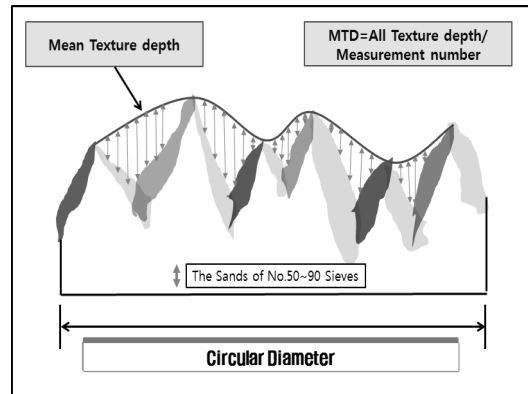


Fig. 1. Pavement Surface Characteristic Classifications and Their Impact on Pavement Performance Measures (ACPA, 2006a)

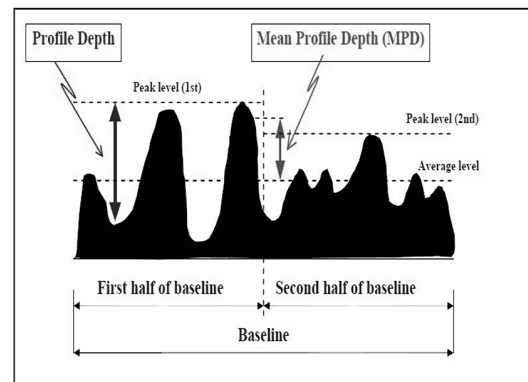
에 영향을 준다(Shakir Shatnawi, 2007). 파장 0.001~0.5mm의 수직 깊이 0.2mm 이하의 Microtexture와 파장 0.5~51mm와 수직 깊이 0.1~20mm의 Macrottexture영역 사이에 존재하는 아스팔트 포장의 노면조각은 타이어와 직접적인 상호작용으로 인하여 발생하는 타이어-노면소음과 깊은 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 마찰력 감소로 인한 교통사고를 최소화 할 수 있도록 포장 표면은 충분한 마찰력과 배수 성능을 가져야 하며, 이러한 포장의 표면 마찰력은 표면조건(간극, 마모, 골재형태, 골재분포) 및 환경적인 요인에 의해 결정되며(Panagouli and Kokkalis, 1998), 충분한 미끄럼 저항성과 노면조각을 가지도록 표층을 설계하고 관리하는 것이 습윤상태의 도로 주행 시 교통사고를 줄이는 방법이 될 수 있다(Hass et al., 1994).

2.1.1 MTD와 MPD의 정의 및 측정결과의 비교

일반적으로 노면조각의 평균깊이 산출 방법으로 SPT(Sand Patch Test, ASTM E-965)를 이용한 MTD(Mean Texture Depth)와 PLP를 MPD가 있다. MTD의 경우 Figure 2(a)와 같이 노면조각의 평균적인수직 높이의 차의 평균으로 정의하며, 일반적으로 SPT



(a) MTD



(b) MPD (Flintsch et al., 2003)

Fig. 2. Definition of MTD and MPD

를 이용하여 노면조직정보를 획득한다. 반면에 PLP를 이용한 MPD 산정의 경우 Figure 2(b)와 같이 1mm간격으로 측정된 노면조직의 평균깊이 데이터를 측정거리 100mm중 첫 번째로 높은 값(peak level 1st)과 두 번째 높은 값(peak level 2nd)을 평균하여 100mm에서의 프로파일 평균과 두 개의 높은 값을 평균한 값의 차이로 정의한다.

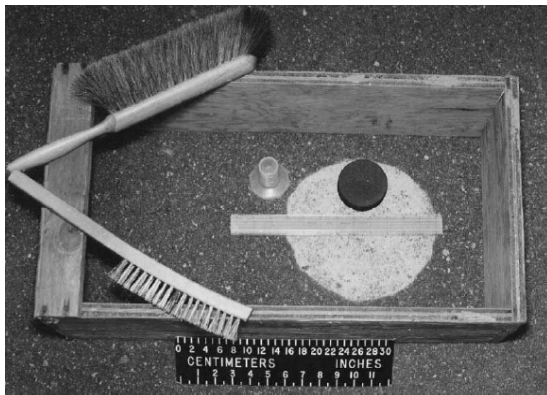
MTD를 정량적으로 산정하기 위한 방법으로는 Figure 3과 같이 SPT를 이용하며, 기본 원리는 골재와 골재사이의 간극의 체적을 산출하는 것으로 체가름 방법에 의하여 No.50 체를 90% 통과하고 No.100 체에 100% 잔류하는 고운 모래 25cm³ 이상을 사용하여 포장 표면에 균질하게 간극을 채운 후 펼쳐진 면적으로 나누어 산정하는 방법이다. 그러나 SPT에 의한 MTD 산정의 경우 주행중인 도로에서 실험을 수행할 수 없고, 데이터 확보를 위해 교통통제가 필요하며, 데이터 확보를 위해 시간이 많이 소모된다는 단점이 있다. SPT에 의한 노면의 평균 표면 조직 깊이는 식 (1)과

같이 산출한다.

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (1)$$

D = 모래실린더 직경, V = 모래의 부피 단위 : mm

MPD를 측정하기 위해 PLP를 이용하여 측정하는 방법이 있다. MPD를 산출하는 장비의 특징은 실험차량에 탑재된 PLP에서 방출하는 Laser가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 조직깊이로 산출한다. MPD는 1mm 간격으로 측정된 macro-texture 데이터를 Figure 4와 같이 프로파일 깊이(Profile Depth)를 측정하여 100mm 중에 첫 번째로 높은 값(peak level 1st)과 두 번째 높은 값(peak level 2nd)의 값을 평균하여 100mm에서의 프로파일 평균과 두 개의 높은 값을 평균한 값의 차로 산정하며,

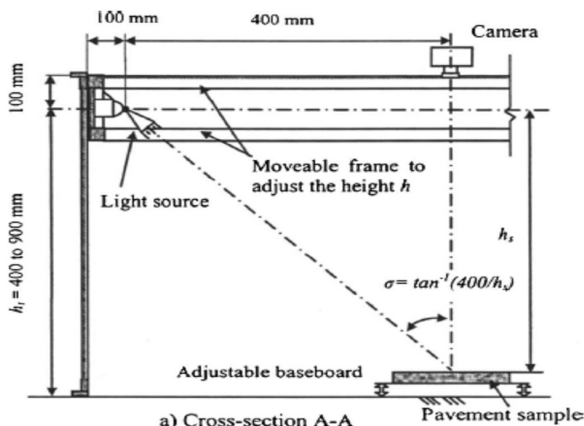


(a) Sand Patch Tester

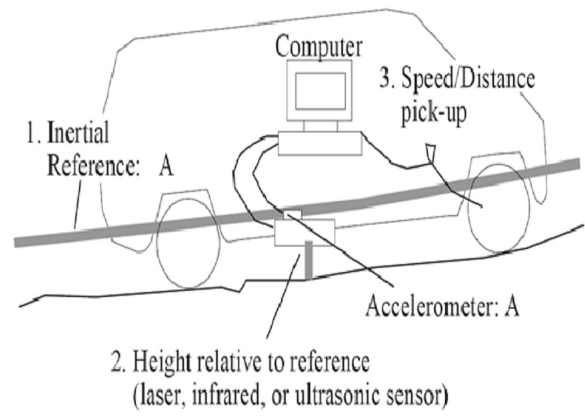


(b) Sand Patch Test Method

Fig. 3. Collection of MTD Using the Sand Patch Tester (Hoerner and Smith, 2002)



(a) Principle of MPD Test



(b) MPD Measurement Using Portable Laser Profiler

Fig. 4. Measurement Principle of MPD Test Using Portable Laser Profiler (Budras, 2001)

실험차량이 주행 중에 평균노면조직깊이를 측정하여 교통통제가 요구되지 않아 시간적제약이 없기 때문에 MPD가 MTD에 비해 효율적이라고 판단된다. PLP를 이용한 MPD 산정식은 다음과 같다.

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

MPD와 MTD는 평균노면조직 깊이를 산정하는 목표는 같으나 정의와 산정방법이 다르기 때문에 평균노면조직깊이 측정치가 다르게 나타난다. 개념적으로는 MTD가 MPD에 비해 평균노면조직깊이 특성을 파악하는데 합리적이거나 교통통제가 필요하며, 데이터 확보를 위한 시간이 많이 소요되는 단점 때문에 MPD 측정치를 이용하여 MTD를 추정하는 것이 필요하다. 이승우(2012)의 연구에서는 PLP를 이용한 MPD 데이터가 합리적으로 측정되었는지를 확인하기 위하여 중부내륙 시험도로 및 다수의 아스팔트 구간에서 획득한 MPD 데이터와 SPT를 통한 MTD 데이터의 상관관계 분석을 수행하였다. 상관관계 분석 결과는 Figure 5와 같으며, MPD와 MTD의 상관관계는 식 (3)과 같이 도출되었다.

$$MPD (AP) = 0.92 \times MTD + 0.21, R^2 = 0.51, P\text{-value} = 0 \quad (3)$$

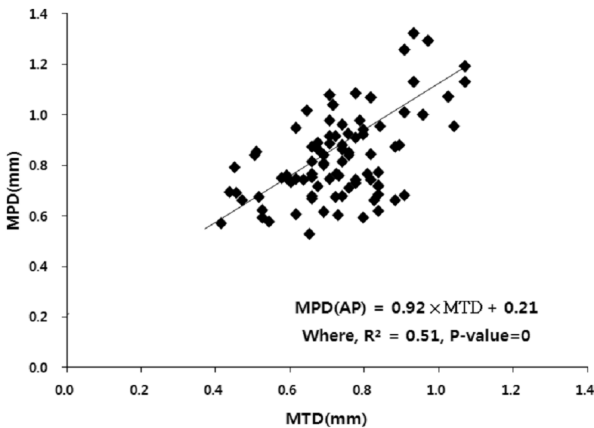


Fig. 5. Correlation of MPD and MTD (Lee, 2012)

중부내륙 시험도로 및 다수의 아스팔트 구간에서 측정된 MPD 데이터와 MTD 데이터를 활용하여 상관관계 분석을 수행하였고, 결정계수가 0.51, 유의확률이 0으로 산정된 것으로 보아 통계학적으로 분명한 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 PLP를 이용한 MPD 측정 데이터가 평균노면조직깊이를 측정하는 합리적인 방법이라고 판단된다.

2.2 타이어-노면소음 특성 및 측정방안

2.2.1 타이어-노면소음 특성

타이어-노면소음의 원인으로는 타이어 진동에 의한 소음, air pumping에 의한 소음, 피치소음으로 구분된다. 소음원 중에서 air pumping에 의해 발생하는 소음은 Figure 6과 같이 차량이 고속으로 주행할 때, 타이어 트레드의 그루브나 도로 표면의 홈 속으로 공기가 압축이 되면서 갇히게 되고 홈이 열릴 때 급격히 공기압이 외부로 방출 되면서 소음이 유발하게 되는데 이와 같은 과정이 지속될 경우 타이어-노면소음이 발생된다. air pumping에 의한 타이어-노면소음의 발생 주파수 범위는 약 800Hz~2500Hz로 높은 주파수 범위에서 넓게 분포되며, 주행 중 발생하는 타이어-노면소음 중 주된 인자로 판단된다(Han, 2007). 또한 air pumping에 의한 타이어-노면소음은 노면조직 깊이와 깊은 관련이 있다.

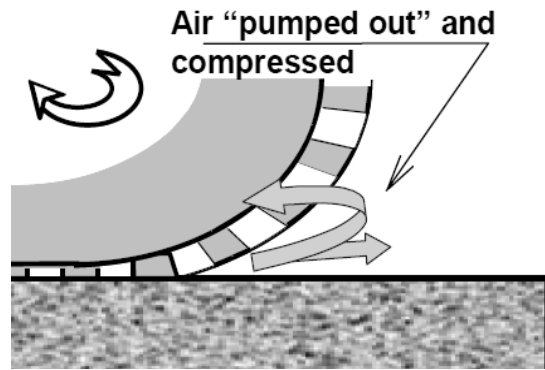
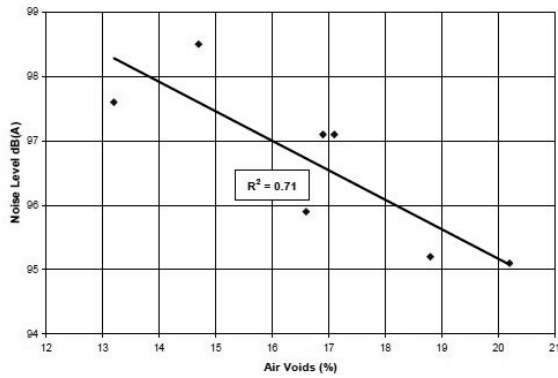


Fig. 6. Tire-Pavement Noise by Air Pumping (Rasmussen and Bernhard, 2007)

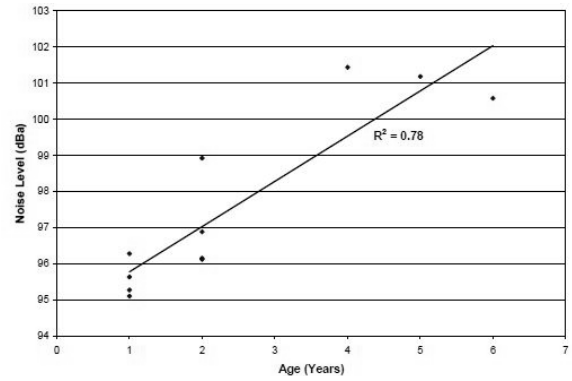
Hanson and NeSmith (2004)의 연구에 의하면 Figure 7과 같이 골재와 골재 사이의 공극율과, 포장재형 등이 아스팔트 포장에서 타이어-노면소음에 중요한 영향을 준다. 공극률이 증가할수록 타이어 트레드나 도로 표면의 홈 속으로 갇히게 되는 공기의 양이 감소하여 타이어-노면소음은 감소하며, 재령이 증가할수록 골재 맞물림 감소에 따른 골재 탈리 현상으로 인한 노면조직깊이 증가로 타이어-노면소음이 증가한다고 밝혔다.

2.2.2 타이어-노면소음 측정 방안

주행차량의 타이어에 근접해서 소음을 측정하는 방법으로 ISO/CD 11819-1(1997) 규정에서는 트레일러장비를 사용한 측정법을 제시하고 있다. 트레일러 내에 마이크로폰을 설치하여 차량에서 발생하는 엔진, 배기 등의 소음을 최소화하여 타이어-노면소음을 측정하는 방법이다. 주행 차량에서 발생하는 소음은 저속일 경우, 엔진 등의 기계적인 소음이 전체 소음에서 큰 비중을 차지하며, 고속으로 주행할수록 타이어-노면에서 발생하는 소음의 비중이

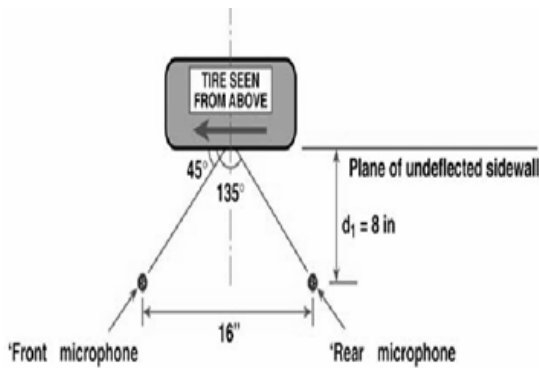


(a) Effect of Air Void on Tire-Pavement Noise



(b) Effect of Age of Tire-Pavement Noise

Fig. 7. Characteristics of Tire-Pavement Noise (Hanson and NeSmith, 2004)



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



(b) CPX-Trailer (Leeuwen et al., 2007)

Fig. 8. Measurement of Tire-Pavement Noise using CPX

증가하게 된다. 따라서 근접 소음 측정법(CPX ; Close Proximity)은 포장 면에 따른 소음 발생 정도를 평가할 경우, 낮은 속도와 높은 속도를 모두 비교할 수 있는 방법이다. Figure 8은 CPX의 원리를 설명한다.

본 연구에서는 중부내륙 시험도로 및 다수의 아스팔트 구간에서 타이어-노면소음을 측정하기 위해 소음측정 장비를 개발하였다. Microphone 2개를 이용하여 음압을 측정하기 때문에 CPX방법의 타이어-노면소음 측정 위치와 동일 위치에서 측정하였다. 또한 타이어-노면소음 측정 실험을 위한 지그는 Figure 9와 같으며, 실험차량의 바퀴축에 탈부착이 용이하도록 제작하였다.



Fig. 9. Equipment of Tire-Pavement Noise

3. 노면조각깊이 및 타이어-노면소음 측정

3.1 MPD와 타이어-노면소음의 상관관계 분석을 위한 구간선정

MPD와 타이어-노면소음의 상관관계분석을 위해 중부내륙고속도로에 위치한 시험도로 및 고속도로의 아스팔트 구간에서 PLP

를 이용한 MPD 측정 및 타이어-노면소음측정을 수행하였다. MPD 및 타이어-노면소음 측정 실험은 주변 암소음으로 부터의 영향을 최소화 시키고 실험자의 안전을 위해 2차로 우측 휠패스 구간에서 실시하였다. MPD와 타이어-노면소음 상관관계 분석을 위한 데이터 수집 구간은 Table 1과 같다.

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

Road Routes	Location	Construction
Central Inland Test Road	YeoJu JC ~ GamGok IC	2011
DongHae Expressway	S. Gangneung IC ~ N. Gangneung IC	2001
National Highway 35 Line	SungSan ~ WangSan	2010

3.2 노면조각깊이 및 타이어-노면소음 측정

PLP를 이용한 MPD 데이터는 Figure 10과 같은 과정을 통해 획득된다. 실험차량을 80km/h로 일정하게 유지시킨 후 PLP에서 방출되는 Laser가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 수집된 노면조각 정보를 main software에 전송한다. MPD

수집된 노면조각깊이 데이터는 software에서 자동으로 100mm 간격으로 나누어 1개의 MPD 데이터로 산정하며, 100mm마다 산정된 MPD 1개의 데이터를 편리하게 확인할 수 있도록 프로그램을 통해 MPD 데이터를 구축한다.

타이어-노면소음 데이터 측정은 Figure 11과 같은 과정을 통해 획득된다. 실험차량을 80km/h로 일정하게 유지 시킨 후 타이어와 노면사이에서 발생하는 소음을 측정하여 main software에 전송한다. 수집된 타이어-노면소음은 1/10초에 1개씩 데이터가 산정되며, 1/10초에 1개씩 산정된 타이어-노면소음 데이터를 확인하기 위해 프로그램을 통해 타이어-노면소음 데이터를 구축한다. 타이어-노면소음 데이터 측정시 microphone 2개를 사용하며, 일관성 있는 데이터를 획득하기 위해 타이어 앞·뒷부분에서 획득한 2가지 데이터를 평균하여 1개의 타이어-노면소음 데이터로 산출한다.

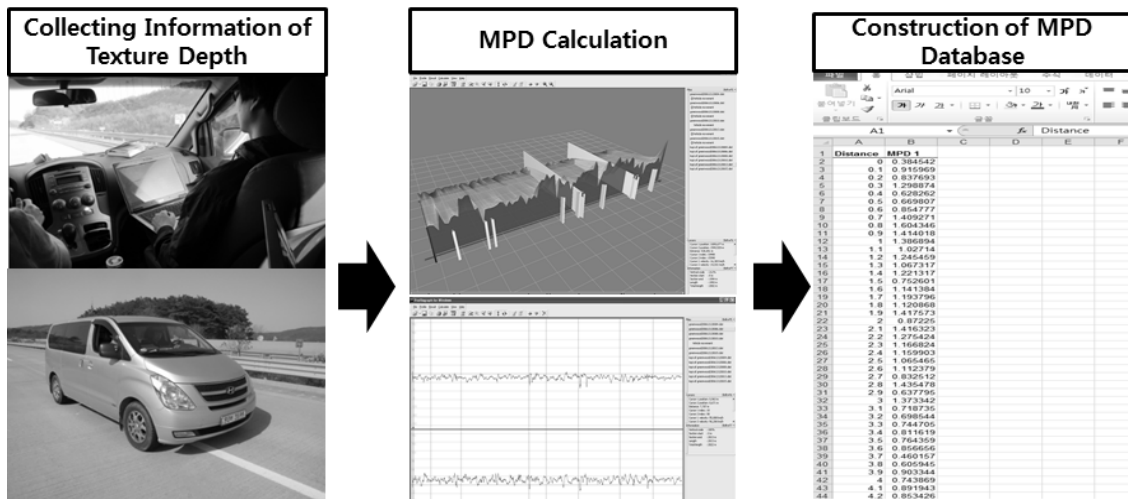


Fig. 10. Procedure for MPD Calculation

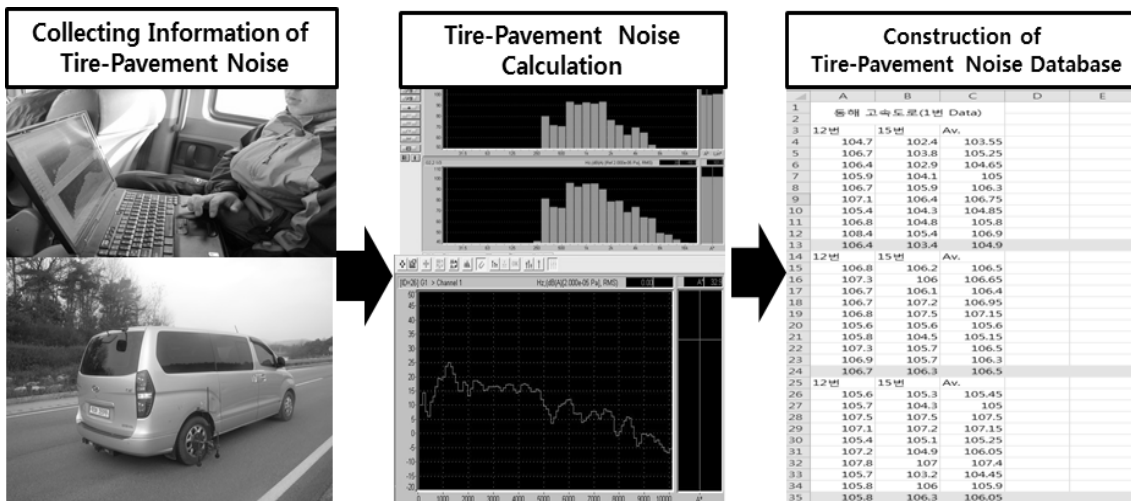


Fig. 11. Procedure for Tire-Pavement Noise Calculation

따라서, 동일구간에서 MPD 데이터와 타이어-노면소음 데이터를 동시에 측정하였으며, 각각의 과정을 통해 획득한 MPD 및 타이어-노면소음은 중부내륙 시험도로에서 26개, 동해 고속도로 351개, 국도35호선에서 242개 총 619개 데이터로 MPD 및 타이어-노면소음 데이터를 구축하였다.

4. 노면조직깊이 및 타이어-노면소음 데이터 분석

4.1 MPD와 타이어-노면소음 데이터의 상관관계 분석

실험차량이 주행하면서 동일한 시간동안 측정되는 MPD 데이터와 타이어-노면소음 데이터의 수는 크게 차이가 있다. 80km/h로 1초 동안 이동거리는 약 22m이다. 100mm 마다 1개 데이터가 측정되는 MPD의 경우 1초 동안 220개의 MPD 데이터가 측정되며, 타이어-노면소음의 경우는 1초 동안 10개의 데이터가 측정된다. 따라서 데이터의 형평성을 위해 MPD의 경우 각 구간에서 1초 마다 측정된 220개 데이터를 평균하여 1개의 MPD 데이터를 산출하였으며, 각 구간에 대한 MPD 데이터를 구축하였다. 타이어-노면소음의 경우 1초 마다 측정된 10개의 데이터를 평균하여 1개의 타이어-노면소음 데이터를 산출하였으며, 각 구간에 대한 타이어-노면소음 데이터를 구축하였다. 따라서 각각의 과정을 통해 구축된 MPD 및 타이어-노면소음 데이터를 이용하여 상관관계 분석을 수행하였다.

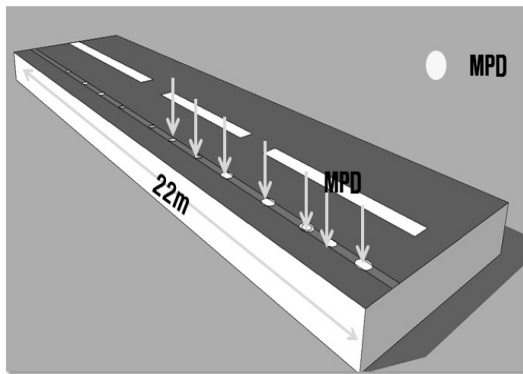


Fig. 12. Data Correlation Method of MPD and Tire-Pavement Noise

4.2 MPD와 타이어-노면소음 분석결과

실험차량의 주행속도 80Km/h에서 측정된 MPD 데이터와 타이어-노면소음 데이터를 이용하여 상관관계분석을 수행한 결과 Figure 13과 같이 MPD가 증가하면 타이어-노면소음이 증가하는 경향이 나타났으며, 결정계수는 0.63, 유의확률은 0으로 산정되었다. 이는 아스팔트 구간에서 MPD와 타이어-노면소음은 통계학적으로 분명한 상관관계가 있는 것으로 판단되며, MPD와 타이어-

노면소음과의 상관관계는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Estimated Noise, dB(A)} \\ = 3.20 \times \text{MPD} + 95.46, R^2 = 0.63, P\text{-value} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Estimated Noise, dB(A)} \\ = \text{추정 타이어-노면소음, MPD} = \text{Mean Profile Depth} \end{aligned}$$

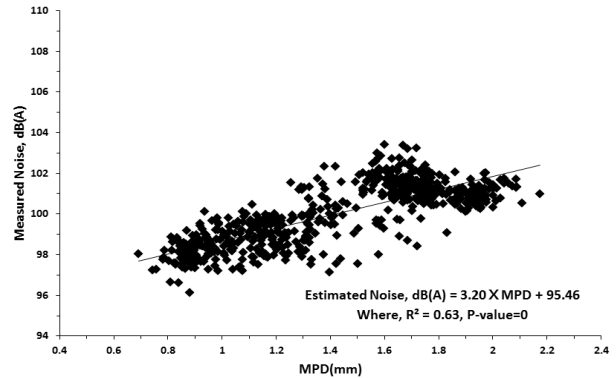


Fig. 13. Correlation of MPD and Tire-Pavement Noise

5. 결론

타이어-노면소음은 주행 쾌적성에 영향을 주는 중요한 요소이다. 일반적인 포장관리 시스템에서는 도로의 공용성 평가를 위한 방법으로 포장의 파손형태, 심각도 및 파손량과 함께 평탄성을 중장기적인 모니터링 등의 방법을 통한 유기관리 기준이 제시되어 있으나, 도로의 기능적 측면의 타이어-노면소음에 대한 관리 기준은 적용되고 있지 않다. 본 연구에서는 MPD 측정으로 교통통제 없이 실시간으로 타이어-노면소음을 평가를 할 수 있는 추정식 개발을 위해 중부내륙 시험도로, 동해고속도로, 국도35호선의 아스팔트 구간에서 MPD 및 타이어-노면소음 619개 데이터를 획득하여 통계학적으로 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 실험차량의 주행속도 80Km/h에서 측정된 MPD와 타이어-노면소음 데이터를 이용하여 상관관계분석을 수행하였다. MPD와 타이어-노면소음이 선형적으로 증가는 경향이 나타났으며, MPD를 이용한 타이어-노면소음 추정식은 $\text{Estimated Noise}(\text{dB(A)}) = 3.20 \times \text{MPD} + 95.46$ ($R^2 = 0.63$, $P\text{-value} = 0$)로 도출되었다. MPD와 타이어-노면소음의 상관관계 분석에서 신뢰도 높은 결과가 도출된 것으로 보아 노면조직 깊이를 통해 타이어-노면소음을 평가할 수 있다고 판단된다.
- (2) 타이어-노면소음은 주행 쾌적성에 영향을 주는 중요한 요소이

다. 현재 포장관리 시스템에서는 도로의 공용성 평가를 위해 파손조사, IRI 등의 요소를 활용하여 평가를 시행하고 있으나 타이어-노면소음에 대한 관리기준이 적용되고 있지 않다. 본 연구에서는 타이어-노면소음을 실시간으로 평가할 수 있는 방안을 제시하기 위해 PLP를 이용하여 측정된 MPD와 타이어-노면소음과의 상관관계 분석을 수행하여 신뢰도 높은 결과가 도출되었다. 이를 활용하여 도로의 공용성 평가 시 보다 효율적으로 타이어-노면소음을 평가할 수 있는 방안을 도출하였다.

References

- 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.
- Hanson, D. I., Jame, R. and NeSmith, C. (2004). *Tire/pavement noise study*, NCAT Reprint 04-02, National Center for Asphalt Technology.
- Kohler, E., Motumah, L., Rymer, B. and Harvey, J. (2009). "Tire-pavement noise results from California PCCP and HMA pavements." *National Conference on Preservation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Pavements*, St. Louis, Missouri, pp. 287-299.
- State of California Department of Transportation (2007). *Maintenance technical advisory guide volume II - rigid pavement preservation second edition*, Caltrans Division of Maintenance.
- 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*.
- Han, S. H. (2007). *A study on the surface texture characteristics of the fine-size exposed aggregate PCC pavements*, MSc Thesis, National University of Gangneung- Wonju, p. 83 (in Korean).
- Hoerner, T. E. and Smith, K. D. (2002). *High performance concrete pavement: Pavement Texturing and Tire-Pavement Noise*, FHWA-IF-02-020, Federal Highway Administration.
- Hong, S. J., Hyun T. J., Kim H. B., Kwon O. S. and Lee S. W. (2012). "A study on the measurement of texture depth of pavement using portable laser profiler." *International Pavement Engineering Conference 2012*, Busan, Korea, pp. 185-204.
- Leeuwen, H., Kok, A. and Reubsact, J. (2007). "The uncertainty of acoustical measurements on road surfaces using the CPX-Method." *INTER-NOISE 2007*, Istanbul, Turkey.
- 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.
- Kim, Y. K. (2008). *A study on the optimum mix design and exposing method of the fine-size exposed aggregate portland cement concrete pavements*, MSc Thesis, National University of Gangneung- Wonju, p. 109 (in Korean).
- Pouliot, N., Carter, A. and Langlois, P. (2006). "Close-proximity measurement of tire-pavement noise on the ministry of transportation of quebec's road network." *Annual Conference & Exhibition of the Transportation Association of Canada*.
- Fisco, N. R. (2009). *Comparison of macrotexture measurement methods*, MSc Thesis, The Ohio State University, p. 246.
- Rasmussen, R. O. and Bernhard, R. J. (2007). *The little book of quieter pavements*, FHWA-IF-08-004, Federal Highway Administration.
- Snyder, Mark B. (2006). *Pavement surface characteristics: A Synthesis and Guide*, American Concrete Pavement Association Draft Report. ACPA, 2006a. p. 124.