

Portable Laser Profiler를 이용한 도로 포장의 노면조직 깊이 측정 방법 연구

A Study on the Measurement of Texture Depth of Pavement Using Portable Laser Profiler

홍성재 Hong, Seong Jae
현택집 Hyun, Tak Jib
김형배 Kim, Hyung Bae
권오선 Kwon, Oh Sun
이승우 Lee, Seung Woo

정회원 · 강릉원주대학교 공과대학 박사과정 (E-mail: zkdwl@nate.com)
정회원 · 강릉원주대학교 공과대학 석사과정 (E-mail: jingiskhan86@hanmail.net)
정회원 · 한국도로공사 도로교통기술연구원 책임연구원 (E-mail: kimhyun3@ex.co.kr)
정회원 · 한국도로공사 도로교통기술연구원 선임연구원 (E-mail: pooh2461@ex.co.kr)
정회원 · 강릉원주대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail: swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Skid resistance and noise of roads highly depend on the characteristics of pavement texture. Therefore, estimation of texture characteristics may give useful information for the skid resistance and noise of road. Generally, Sand Patch Test is performed in order to estimate MTD(Mean Texture Depth). However, it is time-consuming and needs traffic control. This study aimed to investigate the effectiveness of measurement texture depth using the Portable Laser Profiler that give the MPD(Mean Profile Depth).

METHODS : MTD and MPD were collected on the number of expressway sections including Central Inland Test Road sections in Korea. Statistical analysis are performed to establish the relationship between MTD data based on Sand Patch Test and MPD data obtained by the Portable Laser Profiler.

RESULTS : Linear relationship MPD and MTD is observed for both of asphalt pavement and concrete pavement such as R-square of 0.51 to 0.58.

CONCLUSIONS : Even though, the test method and definition of MPD and MTD are different. EMTD(Estimated Mean Texture Depth) can be obtained by using the correlationship between MPD with MTD.

Keywords

MPD(Mean Profile Depth), MTD(Mean Texture Depth), portable laser profiler, sand patch test

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Associate Professor
Department of Engineering center, Gangneung Wonju National University,
Gangneung, 220-702, Korea
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.646.1391
email : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

국내 고속도로는 공용년수가 증가함에 따라 노후화가 진행되고 스프링, 단차, 균열등 구조적인 파손뿐만 아니라 노면의 마모로 인해 도로의 미끄럼저항이 감소하고

타이어 노면/소음이 증가하여 주행안전성 및 주행쾌적성의 기능이 도로 기능성 손실을 초래하고 있다. 기존에는 도로의 공용성을 판단하기 위해 포장파손과 평탄성에 대한 평가를 실시하고 있으나 도로 안전에 영향을 주

는 미끄럼저항과 주행 쾌적함에 영향을 주는 소음에 대한 직접적인 평가는 체계적으로 도로 유지관리 시스템에 반영되지 못하고 있다. 국외의 경우 도로의 기능성을 평가하는데 한계점을 가지고 있는 도로 유지관리체계를 보완하기 위해 평균노면조직깊이의 정보를 이용하여 도로의 기능성을 평가하는 연구들이 진행되고 있다.

일반적으로 노면조직의 특성은 Microtexture, Macrottexture, Megattexture, Roughness의 범위에 따라 정의되며, 습윤상태의 도로노면에서 노면조직의 특성에 따라 Fig. 1과 같이 마찰력, 타이어-노면소음, Splash 와 Spray, 타이어 마모, 구름저항, 승차감 등 도로의 기능성에 영향을 준다. 특히 Macrottexture는 포장 표면의 안정성 기능과 밀접한 관련이 있으며, 타이어와 직접적인 상호작용으로 인하여 마찰력 및 소음과 깊은 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 마찰력 감소로 인한 교통사고를 최소화할 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 노면조직을 가지도록 표층을 설계하고 관리하는 것이 습윤상태의 도로 주행 시 교통사고를 줄이는 방법이 될 수 있다 (Hass et al., 1994).

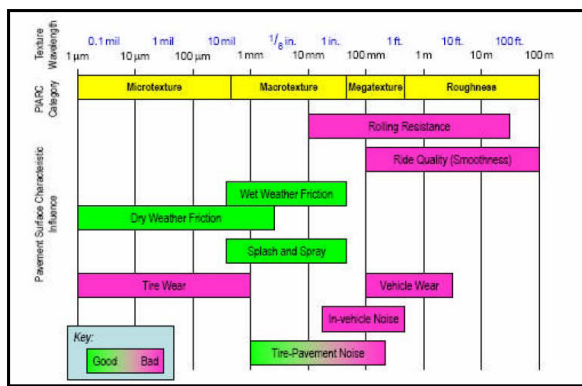
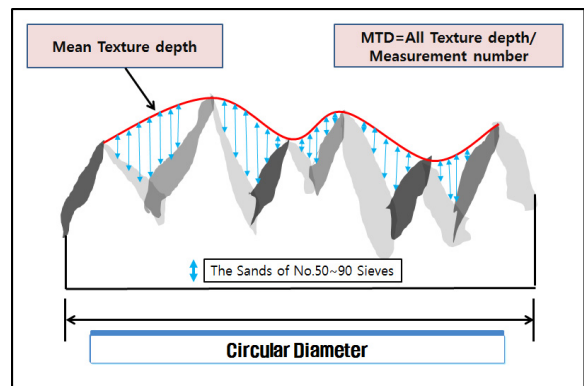


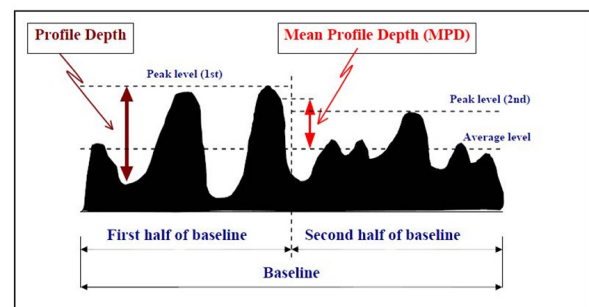
Fig. 1 Pavement Surface Characteristic Classifications and Their Impact on Pavement Performance Measures(ACPA, 2006a)

일반적으로 노면조직의 평균깊이 산출 방법으로 MTD(Mean Texture Depth)와 MPD(Mean Profile Depth)가 있다. MTD의 경우 Fig. 2(a)와 같이 노면조직의 평균적인 수직 높이의 차의 평균으로 정의하며, 일반적으로 Sand Patch Test(ASTM E-965)를 한다. Sand Patch Test의 기본원리는 체가름 방법에 의해 60번 체를 90% 이상 통과하고 80번 체에 100% 잔류하

는 모래 25cm³를 사용하여 포장표면에 균질하게 간극의 체적을 채운 후 펼쳐진 면적으로 나누어 산정한다. Sand Patch Test의 경우 주행중인 도로에서 실험을 수행할 수 없고, 실험을 수행하기 위해 교통통제가 필요하며, 데이터확보를 위해 시간이 많이 소모되는 단점이 있다. 반면에 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 산정의 경우 1mm 간격으로 측정된 노면조직의 평균깊이 데이터를 Fig. 2(b)와 같이 프로파일 깊이를 측정하여 100mm중에 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 차이에서 MPD를 산정하며, 실험차량이 주행중에 평균노면조직깊이를 측정하여 교통통제가 요구되지 않아 시간적 제약이 없기 때문에 MPD가 MTD에 비해 효율적이라고 판단된다. 그러나 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, 데이터확보를 위한 시간이 많이 소요되는 단점 때문에 MPD 측정치를 이용하여 MTD를 추정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 EMTD(Estimated



(a) MTD



(b) MPD(Gerardo W. Flintsch, 2003)

Fig. 2 Definition of MTD and MPD

Mean Texture Depth)를 MPD측정치로부터 산정하는 식을 제안하기 위해 중부내륙시험도로를 비롯한 다수의 아스팔트 및 콘크리트 Section에서 MPD와 MTD 데이터를 확보하여 그 상관관계를 구하고자한다.

2. 노면조직 측정방법의 연구동향

국내의 경우 평균노면조직깊이를 측정을 위해 일반적으로 Sand Patch Test 방법으로만 의존하고 있다. 반면에 국외의 경우 평균노면조직깊이 특성을 통한 도로의 기능성을 평가하기 위한 연구들이 진행 중이며, MPD의 경우 Laser Profiler, Mobile Profilometer, Ames, CTM, Portable Laser Profiler 등 다양한 장비를 이용하여 평균노면조직깊이를 산출하며, 도로의 기능성평가를 위해 MPD와 MTD의 상관관계 분석을 통해 EMTD식 개발에 대한 연구가 진행 중이다. 여러가지의 MPD 측정장비를 통해 획득한 MPD 데이터와 Sand Patch Test를 통해 획득한 MTD를 이용하여 상관관계를 분석한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Collection of Correlations between MTD and MPD

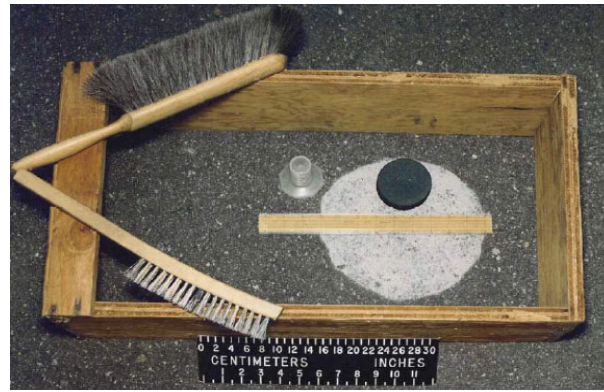
Equipment for MPD	Pave ment	Correlation	R ²	Standard
Ames	AP	$EMTD=1.1743 \times MPD - 0.0127$	0.98	Nicholas R. Fisco (2009)
CTM	AP	$EMTD=1.2587 \times MPD + 0.0762$	0.89	Nicholas R. Fisco (2009)
CTM	PCC	$EMTD=0.947 \times MPD + 0.069$	0.94	ASTM E 965

2.1. Sand Patch Test

도로 포장 표면의 조직깊이를 정량적으로 측정하는 기본원리는 골재와 골재사이의 간극의 체적을 산출하는 것으로 해석방법으로는 MTD가 있으며, 일반적으로 Sand Patch Test를 사용한다. Sand Patching Test는 체가름 방법에 의하여 No.50체를 90% 통과하고 No.100체에 100% 잔류하는 고운 모래 25cm³ 이상을 사용하여 포장 표면에 균질하게 간극을 채운 후 펼쳐진 면적으로 나누어 산정하는 방법이다. Sand Patch Test에 의한 노면의 평균 표면 조직 깊이는 Eq. (1)과 같이 산출한다.

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

D : 모래의 직경, V : 모래의 부피



(a) Sand Patch Tester



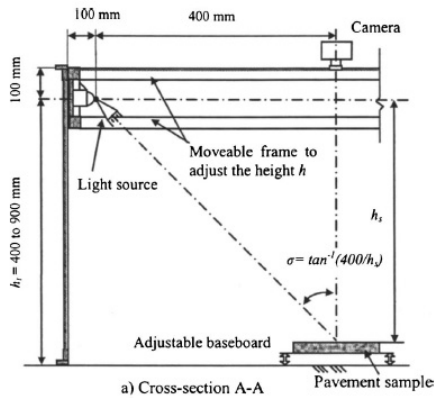
(b) Sand Patch Tester Method

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

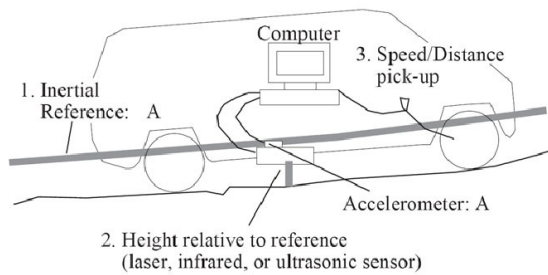
2.2. Portable Laser Profile를 이용한 방법

도로 노면 깊이를 측정하기 위한 간접적인 방법으로는 Portable Laser Profiler를 이용하여 측정하는 방법이 있다. 이 방법은 MPD를 해석하는 방법으로 실험 차량에 설치되어 있는 Portable Laser Profiler장비에서 방출되는 Laser가 도로노면에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 조직깊이로 변환하여 측정하는 방법이다. MPD는 1mm 간격으로 측정된 macrotexture 데이터를 Fig. 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 정의하며, macrotexture영역을 제외한 모든 노면조직 정보를 제거하여 MPD를 산정한다. MPD의 산정식은 Eq. (2)와 같다.

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



(a) Principle of MPD Test

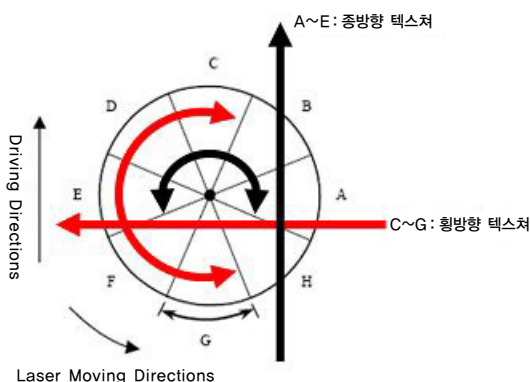


(b) MPD Measurement Using Portable Laser Profiler (Budras, 2001)

Fig. 4 Measurement Principle of MPD Test Using Portable Laser Profiler

2.3. CTMeter

CTMeter는 레이저변위센서를 이용하여 892mm의 원주의 포장표면을 0.892mm 간격으로 수직변위를 측정하여 측정구역의 MPD를 산출하는 방법이다. 레이저 변위센서를 이용하여 Sand Patch Test를 수행했던 동일 위치에서 측정이 가능하며, 평균노면조직깊이를 선형적으로 여러번 측정한 결과를 디지털화되어 정량적 분석의 편리함이 있으나, 측정장비의 중량이 크기에 이동이 어렵고, 실험 시 교통통제가 필요하며, 측정 시간이 많이 소요되는 단점 때문에 우리나라의 고속도로에서 사용하기 힘들다.



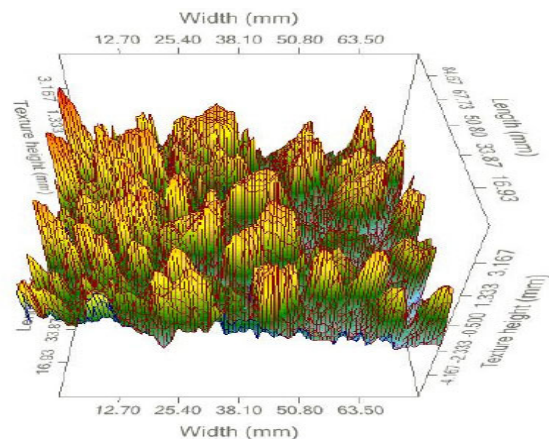
(b) Ames Scanner



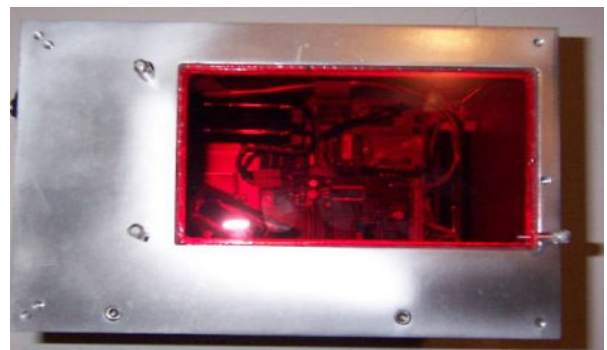
Fig. 5 CTMeter (N. Mike Jackson, 2008)

2.4. Ames scanner

Ames scanner는 레이저변위센서를 이용하여 Fig. 5와 같이 100mm×100mm의 정사각형 크기로 3차원적 체적을 측정하여 MTD를 산출하는 방식이다. Ames scanner는 Sand Patch Test를 수행했던 동일 위치에서 측정이 가능하다는 장점이 있으나 실험 시 교통통제가 필요하며, 측정시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.



(a) Three-Dimensional Surface Rendering



(b) Ames Scanner

Fig. 6 Measurement Principle of MPD Test Using Ames Scanner(Nicholas R. Fisco 2009)

Sand Patch Test, CTMeter, Ames를 이용한 MTD 및 MPD 산출은 정확히 할 수 있으나, 실험을 수행하는 과정에서 측정장비의 이동이 어려우며, 교통통제가 필요하고, 데이터 확보를 위해 측정시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 그러나 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 산출의 경우 선형적으로 평균노면조직깊이를 측정하기 때문에 정확도는 떨어지지만 교통통제가 필요하지 않으며, 실험차량이 주행하면서 평균노면조직깊이를 측정하기 때문에 MPD 산정이 용이하다. 따라서 본 연구에서는 보다 효율적으로 평균노면조직 깊이를 측정할 수 있는 Sand Patch Test를 통한 MTD와 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD의 상관관계 분석을 수행하였다.

3. 연구전략 및 범위

본 연구에서는 MPD와 MTD의 상관관계 분석을 수행하기 위해 공용 중인 도로의 다양한 노면조직에 대한 정보가 필요하다. 따라서 횡방향 타이닝, 랜덤 타이닝, 잔디 떼 끌기, 아스팔트 구간 등 다양한 표면처리가 적용되어있는 중부 내륙 시험도로와 제2 중부선, 중부내륙선, 중앙선, 중부내륙지선, 강릉원주대학교 교내 도로에서 Sand Patch Test를 통한 MTD 산정을 하였으며, 동일지점에서 Portable Laser Profiler를 이용하여 MPD를 산정하였다. 이를 통해 아스팔트 구간과 콘크리트 구간의 MPD와 MTD를 204개의 동일지점에서 측정된 결과를 통계학적인 방법을 이용하여 상관관계 분석을 실시하였으며, EMTD식을 제안하였다.

4. 현장조사를 통한 MPD, MTD 데이터베이스 구축

4.1. 구간선정

MPD와 MTD의 상관관계 분석을 위해 중부내륙고속도로에 위치한 시험도로 및 고속도로에서 육안조사, Sand Patch Test, Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 측정을 수행하였다. 표면 처리공법으로는 횡방향 타이닝, 잔디 떼 끌기, 랜덤 타이닝, 아스팔트포장의 4가지의 다양한 포장 표면에 대한 데이터를 획득하였다. 육안조사를 통해 포장파손 부분을 제외하고 실험 위치를 선정하였으며, 실험자의 안전을 위해 실험은 우측 휠패스 구간에서 실시하였다. MPD 및 MTD의 상관관

계 분석을 위해 노면조직 데이터를 수집한 구간은 Table 2와 같다. 중부내륙 시험도로의 경우는 각 표면 처리 공법별 10m에 대한 평균노면조직깊이 정보를 획득하였으며, 제2중부선, 중부내륙선에서 각각 10m에 대한 평균노면조직깊이 정보를 획득하였다. 그리고 중앙선과 중부내륙지선에서는 횡방향 타이닝과 아스팔트에 대한 평균노면조직깊이 정보를 획득하였으며, 강릉원주대학교 교내에서 4개의 아스팔트 구간과 1개의 콘크리트구간에서 각각 20m씩 평균노면조직깊이 정보를 획득하였다.

Table 2. Test Section for Collection of MPD and MTD

Road Routes	Station		Pavement Type
Central Inland Test Road	-	-	Transverse Tining, Random Tining, Burlap Drag, Asphalt(DGA)
Second Joungbu Expressway	339.0	338.6	Transverse Tining
Central Inland Expressway	118.0	117.6	Transverse Tining
Jungang Expressway	130.4	130	Transverse Tining
Central Inland Branch Line	1.6	2.0	Asphalt(SMA)
Gangneung WonJu University Campus	-	-	Asphalt(SMA), Non Tined

4.2. 현장조사 및 MPD와 MTD측정

4.2.1. 육안조사

시험도로 및 여러 고속도로 구간에서 포장파손조사 및 MPD와 MTD의 실험위치를 설정하기 위해 육안조사를 실시하였으며 포장파손이 발견된 부분은 평균노면깊이를 측정하기 위한 실험 위치에서 제외하였다. 육안조사 결과 Fig. 8과 같이 콘크리트 포장의 경우 대부분 줄눈부에서 포장파손이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 포장파손이 발생한 부분은 MPD와 MTD의 실험 위치에서 제외하였다.

또한 실험자의 안전을 위해서 Sand Patch Test 및 MPD 측정은 우측 휠 패스 구간으로 육안조사를 통해 결정하였다. 또한 횡방향 타이닝 구간에서의 타이닝 간격은 일반적으로 사용하는 18×3×3mm를 확인하였다.



(a) Distress on Longitudinal Tining



(b) Sand Patch Test on the Concrete Section



(b) Distress on Transverse Tining

Fig. 8 Visual Survey based on Distress

4.2.2. Sand Patch Test

육안조사를 통해 MTD 및 MPD의 데이터 수집을 위한 실험 구간을 선정하였다. 실험 위치는 우측 휠 패스 구간에서 실시하였으며, 횡방향 타이닝, 랜덤 타이닝 잔디 떼 끌기, 아스팔트 포장에서 다양한 노면조직 정보를 얻기 위해 1m 간격으로 Sand Patch Test를 실시하였다.



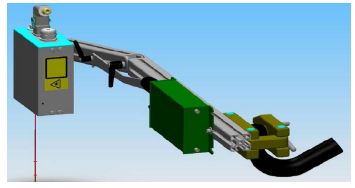
(a) Sand Patch Test on the Asphalt Section

Fig. 9 Sand Patch Test for MTD Calculation

4.2.3. Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 측정

MPD 측정 시 사용된 Portable Laser Profiler의 제원은 Table 3과 같다. Portable Laser Profiler의 모델명은 2207-155/260-A로 사용최대 레이저출력은 7.0mW이며, 측정 가능한 노면조직의 파장은 155mm이다. Portable Laser Profiler의 경우 1mm간격으로 측정된 100개의 데이터 중 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 산정한다. 노면조직 데이터 수집 시 macrotexture영역을 제외한 나머지 영역의 노면조직 정보는 MPD로 산정되지 않는 특징이 있다.

Table 3. Specification of Portable Laser Profiler

Model	Greenwood Engineering 2207-155/260-A
Max power	7.0mW
Measurement Range	7.0mW
Portable Laser Profiler	

Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 측정 방법은 Fig. 10과 같다. Portable Laser Profiler에서 방출되는 laser를 Sand Patch Test를 수행했던 구간에 위치시킨다. MPD 측정을 위한 실험 차량의 속도는 80km/h로 주행하였으며, Sand Patch Test를 실시했던 위치와 동일한 위치를 통과하여 표면처리공법 별 노

면조직 데이터를 수집하였다.



Fig. 10 Test Method of MPD

수집된 표면처리공법 별 노면조직 데이터는 Fig. 11 과 같이 3가지 과정을 통해 MPD 데이터가 산정된다. 먼저 Portable Laser Profiler에서 방출되는 Laser가 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.

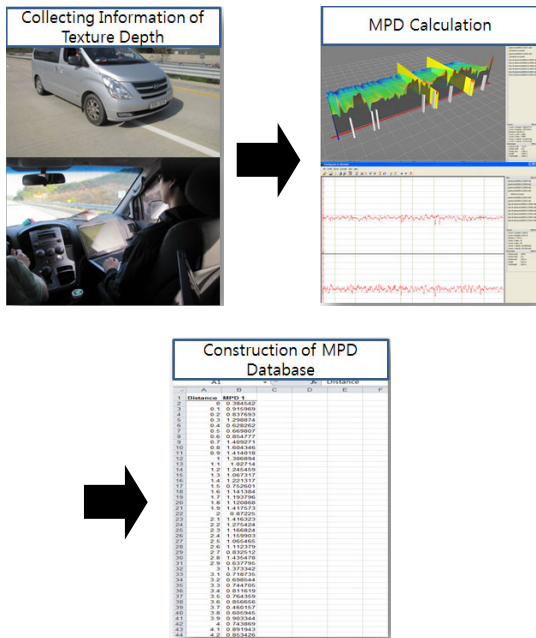


Fig. 11 Procedure for MPD Calculation

Fig. 11과 같은 과정을 통해 아스팔트 구간(강릉원주대학교 교내도로, 중부내륙 시험도로, 중부내륙지선)에서 Portable Laser Profiler를 통한 MPD와 Sand Patch Test를 통한 MTD는 강릉원주대학교 교내에서

65개, 중부내륙 시험도로에서 15개, 중부내륙지선에서 7개의 데이터를 획득하였으며, 총 87개의 데이터베이스를 구축하였다. 각 구간에서 측정된 MPD 데이터의 경우 0.41~1.07mm의 범위로 측정되었으며, MTD 데이터는 0.5~1.32mm의 범위로 측정되었다. 각 구간에서 산출된 MPD와 MTD 데이터는 Table 4와 같다.

Table 4. Measuring Result of MPD and MTD on Asphalt Section

Asphalt Pavement									
Campus in Gangneung WonJu University						Central Inland Test Road		Central Inland Branch Line	
MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)
0.71	0.76	1.13	1.07	0.81	0.66	0.72	0.84	0.59	0.80
0.91	0.78	1.13	0.93	0.68	0.51	0.62	0.84	0.72	0.84
0.85	0.82	1.07	1.03	0.73	0.60	0.68	0.74	0.75	0.78
0.96	0.74	0.81	0.69	0.74	0.64	0.73	0.78	0.95	1.04
1.07	0.82	0.82	0.74	0.79	0.45	0.68	0.72	0.68	0.84
1.08	0.78	1.00	0.96	0.94	0.80	0.53	0.65	0.68	0.91
0.86	0.74	0.88	0.89	1.01	0.91	0.77	0.72	0.66	0.88
0.89	0.71	0.77	0.84	1.26	0.91	0.74	0.82		
0.84	0.69	0.92	0.80	0.66	0.47	0.75	0.71		
0.80	0.69	0.98	0.79	0.61	0.62	0.88	0.88		
0.72	0.67	0.77	0.81	0.59	0.53	0.60	0.73		
0.92	0.71	1.04	0.71	0.58	0.54	0.66	0.83		
0.87	0.66	0.88	0.74	0.77	0.66	0.96	0.84		
0.86	0.67	1.08	0.71	0.84	0.69	0.92	0.75		
0.89	0.67	0.76	0.73	0.85	0.76	0.62	0.69		
0.98	0.71	0.84	0.76	0.92	0.72				
0.75	0.59	1.32	0.93	0.95	0.62				
1.19	1.07	0.57	0.41	0.75	0.58				
1.29	0.97	0.69	0.44	0.67	0.66				
0.75	0.66	0.75	0.62	0.68	0.66				
0.85	0.51	0.69	0.45	0.76	0.59				
0.84	0.50	0.62	0.53						

콘크리트 구간(강릉원주대학교 교내도로, 제2중부선, 중부내륙 시험도로, 중부내륙선, 중앙선)에서 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD와 Sand Patch Test를 통한 MTD는 강릉원주대학교 교내에서 11개, 제2 중부선에서 35개, 중부내륙 시험도로에서 89개, 중부내륙선에서 22개, 중앙선에서 17개의 데이터를 획득하였으며, 총 174개의 데이터베이스를 구축하였다. 각 구간에서 측정된 MPD 데이터의 경우 0.31~2.17mm의 범위로 측정되었으며, MTD 데이터 0.32~1.68mm의 범위로 측정되었으며, 각 구간에서 산출된 MPD와 MTD 데이터는 Table 5와 같다.

Table 5. Measuring Result of MPD and MTD on Concrete Section

Concrete Pavement													
Gangneung WonJu University Campus		Second Joungbu Expressway		Central Inland Test Road						Central Inland Expressway		Jungang Expressway	
MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)	MPD (mm)	MTD (mm)
1.34	0.96	0.71	0.84	0.71	0.89	0.62	0.88	0.56	0.60	0.68	0.88	0.74	0.56
1.99	1.68	0.69	0.62	0.60	0.70	0.47	1.01	0.63	0.72	0.76	0.84	0.59	0.51
1.99	1.46	0.52	0.64	0.58	0.91	0.65	1.07	0.73	0.72	0.77	0.92	1.00	0.49
1.79	1.57	0.78	0.63	0.72	0.61	0.76	1.04	0.73	0.78	1.02	1.07	0.62	0.45
1.87	1.28	0.79	0.42	0.72	1.01	0.50	0.91	0.86	0.69	0.91	0.78	0.81	0.44
1.70	1.24	0.44	0.40	0.78	0.94	0.56	1.01	0.73	0.67	0.92	0.93	0.70	0.58
2.17	1.21	0.54	0.49	0.69	0.87	0.50	0.78	0.82	0.76	0.96	1.07	0.93	0.64
1.58	0.93	1.26	0.58	0.67	1.02	0.39	0.80	0.82	0.67	0.79	1.07	0.73	0.59
1.69	1.33	0.91	0.72	0.76	1.05	0.51	0.78	0.75	0.71	0.84	1.21	0.66	0.52
1.67	1.46	0.52	0.86	0.67	0.92	0.35	0.91	0.79	0.55	0.76	1.14	0.61	0.66
0.84	0.96	0.58	0.53	0.71	1.11	0.35	0.82	0.87	0.64	0.89	1.17	0.74	0.55
		0.62	0.49	0.55	0.92	0.34	0.86	0.92	0.62	1.17	1.17	0.99	0.56
		0.44	0.60	0.64	1.13	0.37	0.91	0.55	0.78	0.75	0.84	0.95	0.51
		0.62	0.53	0.62	0.99	0.37	0.98	1.04	1.07	0.52	0.91	0.70	0.50
		0.46	0.54	1.04	0.77	0.60	0.62	1.10	1.14	0.83	0.89	0.85	0.44
		0.64	0.58	1.01	1.08	0.54	0.72	1.10	1.17	0.73	0.80	0.74	0.98
		0.74	0.66	1.07	0.96	0.45	0.64			1.14	1.28	0.53	0.32
		0.71	0.66	1.04	1.07	0.67	0.76			1.42	1.33		
		0.71	0.67	1.10	1.14	0.78	0.71			1.30	1.05		
		0.71	0.62	1.10	1.17	0.67	0.60			0.78	1.12		
		0.82	0.62	1.04	0.77	0.74	0.58			1.29	1.22		
		0.43	0.48	1.01	1.08	0.41	0.58			1.16	0.91		
		0.41	0.67	1.07	0.96	0.96	1.22						
		0.70	0.63	1.04	1.07	0.88	1.08						
		0.31	0.54	1.10	1.14	0.91	0.90						
		0.52	0.40	1.10	1.17	1.04	0.77						
		0.59	0.39	1.04	0.77	1.01	1.08						
		0.46	0.41	1.01	1.08	1.07	0.96						
		0.68	0.34	1.07	0.96	1.04	1.07						
		0.53	0.36	1.04	1.07	1.10	1.14						
		0.49	0.37	1.10	1.14	1.10	1.17						
		0.37	0.34	1.10	1.17	0.91	1.10						
		0.37	0.32	1.04	0.77	0.62	0.91						
		0.57	0.40	1.01	1.08	0.72	0.98						
		0.83	0.45	1.07	0.96	0.76	0.72						

5. MPD와 MTD의 데이터분석

5.1. MPD와 MTD의 상관관계 분석 방법

Sand Patch Test는 일반적으로 콘크리트 포장 및 아스팔트 포장의 구간에서 원형 평균직경이 약 25~30cm

로 측정된다. 100mm마다 100개 측정으로 인해 1개의 데이터가 산정되는 MPD와 Sand Patch Test를 통해 산정된 MTD 데이터는 상관관계 분석을 위해 MPD가 MTD의 직경 범위 내에 속하도록 하였다. 상관관계 분석

을 위해 3개의 MPD 데이터를 평균한 1개의 값과 MTD 1개의 데이터를 이용하여 상관관계 분석을 수행하였다.

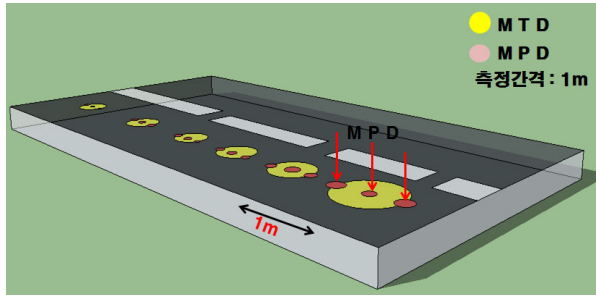


Fig. 12 Data Correlation Method of MPD and MTD

5.2. MPD와 MTD의 상관관계 분석

본 연구에서는 아스팔트 구간, 콘크리트 구간의 MPD와 MTD의 상관관계 분석을 통한 EMTD식을 개발하였으며, 콘크리트 구간의 경우는 MPD와 MTD의 신뢰도를 높이기 위한 방법을 분석하기 위해 1mm 이상의 평균노면조직깊이 데이터에 일정한 가중치를 부여하여 상관관계 분석을 수행하였다.

5.2.1. 아스팔트 구간에서의 MPD와 MTD의 상관관계 분석

아스팔트구간에서 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 산정과 Sand Patch Test를 이용한 MTD 데이터를 이용한 상관관계 분석결과는 Fig. 13과 같이 MPD와 MTD가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 결정계수가 0.51, 유의확률이 0으로 분석되었다.

$$EMTD(AP) = 0.56 \times MPD + 0.27, R^2 = 0.51, P\text{-value} = 0$$

(3)

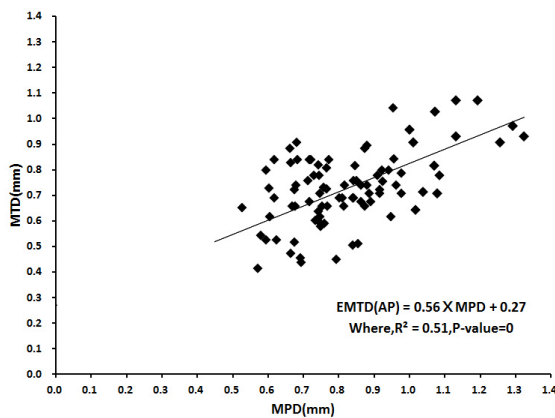


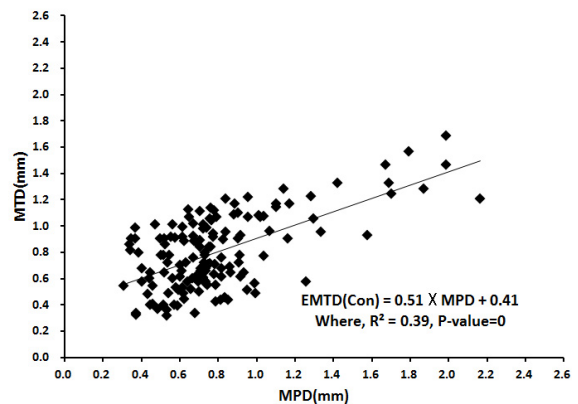
Fig. 13 Correlation of MPD and MTD Data on Asphalt Pavement

5.2.2. 콘크리트 구간에서의 MPD와 MTD의 상관관계 분석

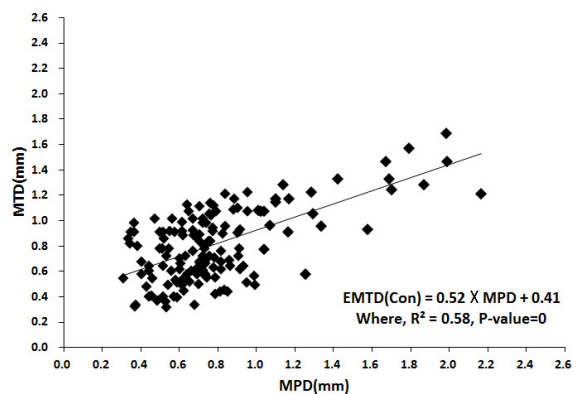
콘크리트 구간에서 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD 산정과 Sand Patch Test를 이용한 MTD 데이터를 이용한 상관관계 분석결과는 Fig. 14(a)와 같이 MPD와 MTD가 선형적으로 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 1.0mm~2.4mm범위의 평균노면조직깊이 데이터가 0.3mm~1mm 범위의 평균노면조직깊이 데이터에 비해 현격히 부족한 것으로 판단되어 데이터의 형평성을 위해 1.0mm~2.4mm범위의 평균노면조직깊이 데이터에 가중치를 부여하여 상관관계 분석을 수행한 결과 Fig. 14(b)와 같이 나타났으며, 결정계수가 0.58, 유의확률이 0으로 분석되었다. 따라서 결정계수가 가중치를 부여하기 전에 비해 증가한 것으로 보아 1mm~2.4mm 범위의 추가 데이터확보가 필요할 것으로 판단된다. 콘크리트구간에서 가중치를 부여한 MPD와 MTD의 상관관계 식은 Eq. (4)와 같다.

$$EMTD(Con) = 0.52 \times MPD + 0.41, R^2 = 0.58, P\text{-value} = 0$$

(4)



(a) Not Insert of Weighting on Concrete Pavement



(b) Inset of Weighting on Concrete Pavement

Fig. 14 Correlation of MPD and MTD Data on Concrete Pavement

5.3. 본 연구결과와 국외 EMTD식과의 비교

본 연구의 결과를 국외의 연구결과와 비교한 결과 Table 6과 같이 국외의 연구결과에서 MPD와 MTD의 상관관계가 높게 나타났다. 이러한 결과는 각각의 연구에서 MPD와 MTD를 산정하기 위해 사용했던 장비들과 상이하였기 때문이라고 판단된다. 특히, Ames scanner는 레이저변위센서를 이용하여 정사각형 크기로 3차원적 체적을 측정할 수 있는 3D Laser를 이용하여 MPD를 산출하는 방식으로 Sand Patch Test와 유사하게 노면조직의 체적을 면적으로 나누어 MPD를 산정한다. 반면에 Portable Laser Profiler는 선상으로 측정된 노면조직깊이를 MPD로 산정하기 때문에 장비들 사이에 MPD 산정방법과 정의의 차이로 인해 상관관계 분석과정에서 오차가 발생할 가능성이 있다고 판단되며, 또한 1mm 이상의 평균노면조직깊이 데이터가 그 밖의 평균노면조직깊이 데이터에 비해 현격히 적어 형평성이 낮기 때문에 MPD와 MTD의 상관관계가 낮은 것으로 판단된다. 국외의 연구에서는 MPD 및 MTD는 약 0.2mm~3mm까지 다양한 범위의 평균노면조직깊이가 고르게 측정되어 결정계수 0.89~0.98범위의 상관관계가 나타났다. 본 연구에서는 Sand Patch Test를 이용한 MTD와 Portable Laser Profiler를 이용한 MPD를 측정 데이터는 약 0.31~1mm 부분에 집중적으로 측정되었으며, 또한 1mm 이상의 평균노면조직 데이터는 상대적으로 적은 수가 측정되었으므로 국외 연구결과에 비해 상관관계가 낮게 분석된 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 다양한 표면치러가 적용되어 있는 중부내륙 시험도로와 2 중부선, 중부내륙선, 중앙선, 중부내륙지선, 강릉원주대학교 교내 도로에서 Portable Laser Profiler를 이용하여 MPD 데이터를 획득하였으며, Sand Patch Test를 통해 MTD 데이터를 획득하였다. 아스팔트 구간, 콘크리트 구간에서 획득한 MPD와

MTD 데이터를 상관관계 분석을 수행한 결과 MPD와 MTD가 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 콘크리트 구간의 신뢰도를 높이기 위한 방안을 모색하기 위해 일정범위의 평균노면조직깊이 데이터에 가중치를 부여하여 상관관계 분석을 수행하여 다음과 같은 결과도 도출되었다.

1. 아스팔트 구간 및 콘크리트 구간에서 MPD와 MTD의 상관관계 분석결과 MPD와 MTD가 선형적으로 증가하는 경향이 나타났으며, $EMTD(AP)=0.56 \times MPD+0.27$, $R^2=0.51$, $P\text{-value}=0$ 의 결과가 도출되었다. 국외의 아스팔트 구간의 연구결과에서는 평균노면조직깊이 데이터가 약 0.2mm~2mm범위로 다양하게 측정하여 MPD와 MTD의 상관관계 분석을 수행하였으나, 본 연구에서는 약 0.6mm~1.4mm 범위의 평균노면조직깊이가 측정되어 MPD와 MTD의 상관관계 분석을 수행하였기 때문에 MPD와 MTD의 상관관계가 국외 연구에 비해 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 아스팔트 구간에서 다양한 범위의 평균노면조직깊이 데이터를 추가하여 MPD와 MTD의 상관관계 분석이 필요하다고 판단된다.
2. 콘크리트 구간에서 MPD와 MTD의 상관관계 분석결과 MPD와 MTD가 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 그러나 콘크리트 구간에서 1mm~2.4mm, 평균노면조직깊이 데이터가 그 밖의 범위의 평균노면조직깊이 데이터에 비해 현격히 적어 MTD와 MPD의 상관관계가 낮게 나타났다고 판단되어 통계학적으로 일정한 가중치를 부여하여 MPD와 MTD의 상관관계 분석을 수행한 결과 $EMTD(Con)=0.52 \times MPD+0.41$, $R^2=0.58$, $P\text{-value}=0$ 의 결과가 도출되었다. 따라서 콘크리트 구간에서 다양한 범위의 평균노면조직깊이 데이터를 추가하여 MPD와 MTD의 상관관계 분석이 필요하다고 판단된다.
3. 본 연구에서는 Portable Laser Profiler를 이용하여 산출된 MPD와 Sand Patch Test를 통해 산출된

Table 6. Comparison of EMTD Equation with Result of Other Research

Equipment for MPD	Pavement	Correlation	R ²	Researcher
Ames	AC	$EMTD = 1.1743 \times MPD - 0.0127$	0.98	Nicholas R. Fisco (2009)
CTM	AC	$EMTD = 1.2587 \times MPD + 0.0762$	0.89	Nicholas R. Fisco (2009)
CTM	PCC	$EMTD = 0.947 \times MPD + 0.069$	0.94	ASTM E 965
Portable Laser Profiler	AC	$EMTD(AP) = 0.56 \times MPD + 0.27$	0.51	Gangnenug Wonju University (2012)
	PCC	$EMTD(Con) = 0.52 \times MPD + 0.41$	0.58	

MTD의 상관관계 분석을 수행한 결과 국외문헌에 비해 상관관계가 낮은 것으로 나타났으며, 그 이유는 2가지로 분석되었다. 첫째, 국외 연구의 Ames scanner을 이용한 MPD 측정은 Sand Patch Test와 유사한 방법으로 레이저변위센서를 이용하여 여러번 측정된 평균노면조직깊이의 3차원적 체적을 면적으로 나누어 MPD를 측정하지만, 본 연구에서 사용된 Portable Laser Profiler는 차량이 주행하면서 Sand Patch Test를 실시했던 동일 위치에서 MPD 측정을 선상으로 수행하기 때문에 측정방법에 따른 MPD와 MTD의 상관관계가 낮게 나타난 것으로 분석되었다. 둘째, 1mm 이상의 평균노면조직깊이 데이터가 그 밖의 평균노면조직깊이 데이터에 비해 현격히 적어 형평성이 낮아 MPD와 MTD의 상관관계가 낮은 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안된 EMTD식에 대한 상관관계는 국외 연구결과에 비해 낮게 나타났지만 유의확률이 0으로 분석되어 유의성이 매우 높아 통계학적으로 MPD와 MTD가 확실한 상관관계가 있는 결과라 판단된다. MPD와 MTD의 상관관계 분석의 신뢰도를 높이기 위해 다양한 범위의 MPD 및 MTD 데이터를 추가하여 보다 높은 상관관계 분석결과를 도출한다면, 평균노면조직깊이를 이용한 미끄럼 저항과 타이어/노면소음 추정이 도로 유지관리의 효율성 개선에 기여할 것으로 판단된다.

References

- Kim Yeong-Gyu, Lee Seung-Woo, Yoo Tae-Seok., 2008. A Study on Optimum Mix and Exposure Skill of the Fine-Size Exposed Aggregate Concrete Pavement, *Conference Papers of Korean Society of Road Engineers*.
- Hong Seung-Ho, Kim Jun-Beom, Kim Hong-Gi, Kwon Bong-Gyeong., 2003. A Study on Establishment of Pavement Function Standard and Skid Control Standard, *Expressway & Transportation Research Institute*, Korea Expressway Corporation.
- Panagouli, O. K. and A. B. Kokkalis., 1998. Skid Resistance and Fractal Structure of Pavement Surface. *Chaos Solutions and Fractals*, Vol. 9, No. 3, 1998, pp. 493-505.
- Haas, R., R. W. Hudson, and J. Zaniewski., 1994. *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company, Florida.
- Budras, Joseph., 2001. *A Synopsis of the Current Equipment Used fro Measuring Pavement Smoothness*.
- ASTM E 961. 2001. *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique*.
- Snyder, Mark B., 2006. Pavement Surface Characteristics: A Synthesis and Guide. *American Concrete Pavement Association Draft Report*. ACPA, 2006a..
- Nicholas R. Fisco. 2009. *Comparison of Macrottexture Measurement Methods*. Master's Thesis.
- N.Mike Jackson. 2008. Harmonization of Texture and Skid-Resistance Measurements. *Florida Department of Transportation Resarch Report 08-BDH-23*.
- Amin El Gendy, Ahmed Shalaby., 2007. Mean Profile Depth of Pavement Surface Macrottexture Using Photometric Stereo Techniques. *ASCE*, 0733-947X.
- A. A Mohamed, R. Muniandy , M.O.hamzah. 2004. TEXTURE DEPTH DETERMINATION FOR STONE MASTIC ASPHALT. *3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna-Paper 194*.
- Douglas I. Hanson Robert S. James Christopher NeSmith. 2004. TIRE/PAVEMENT NOISESTUDY. *NCAT Reprot 04-02*.
- Nadia Pouliot, Alan Carter, Pierre Langlois., 2006. *CLOSE-PROXIMITY MEASUREMENT OF TIRE-PAVEMENT NOISE ON THE MINISTRY OF TRANSPORTATION OF QUEBEC'S ROAD NETWORK*.

(접수일 : 2012. 9. 27 / 심사일 : 2012. 10. 3 / 심사완료일 : 2012. 11. 28)