

# 5mm 상하연선 평탄성지수 사용의 적합성 분석

## Applicability Analysis of 5mm Blanking Band Profilograph Index

박대욱\* · 배정환\*\* · 안덕순\*\*\*

Park, Dae Wook · Bae, Jung Hwan · An, Deok Soon

### 1. 서론

초기 포장 평탄성은 포장의 성능, 유지보수 경제성과 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 모든 조건이 동일할 때 평탄성이 좋은 포장이 유지보수에 대한 우위성이 있으며, 사용자에게 안전성과 안락성을 제공하여 준다. 미국에서는 1950년대와 1960년대에 몇몇 주에 의해 포장의 초기 평탄성에 대한 규정을 사용하였으며, 1960년대와 1980년에 걸쳐 7.6m rolling reference 시스템이 개발되어 프로파일러를 측정하고 있다. 이 장비에 의해 측정된 지수를 profilograph index(PrI)라고 한다. 동일기간에 더욱더 복잡하고 정확한 관성 프로파일러가 개발되었으며, profilograph와 비교하여 측정이 매우 빠르고 보다 정확하다. 관성 프로파일러는 수직변위 측정센서(vertical displacement sensor), 수직가속계(vertical accelerometer) 및 거리측정장치(distance measuring equipment)가 부착된 차량으로 이루어져 있다.

최근 우리나라 및 미국 등 선진국에서는 포장관리 체계를 위하여 관성 프로파일러를 사용하고 있으며, 포장의 평탄성을 국제평탄성지수(International Roughness Index, IRI)로 표시하고 있다. 또한, 시공후의 평탄성 평가를 위하여 profilograph를 이용하여 측정하고 평탄성을 PrI로 나타낸다. 하지만 시공 후 평탄성 평가와 포장관리체계에 있어서 사용하는 지수가 달라 불편함으로 인하여 미국의 몇몇 교통국에서는 사용이 편리하고 정확한 관성 프로파일러를 이용하여 측정한 후 IRI를 계산하여 시공 후 평탄성 평가를 수행하고 있다. 몇몇 교통국은 IRI를 이용하여 시공직후 포장 평탄성 평가를 고려하고 있다.

현재 우리나라 및 대부분의 미국 교통부에서 5mm 상하연선(blanking band)을 사용하고 있으나 많은 문제점을 내포하고 있어 0mm 상하연선이나 IRI로의 전환을 검토하고 있는 것으로 알려졌다. 5mm 상하연선은 평탄성이 좋지 않은 포장에서도 지수가 허용기준 이하의 값으로 나와 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 분별력 없는 기준을 사용함으로써 평탄성이 좋지 않은 포장의 양산으로 초래할 우려가 있다. 따라서 상하연선 폭의 변경이나 IRI로의 전환을 검토하고 있다.

본 연구에서는 다양한 형태의 도로 평탄성을 프로파일미터를 이용하여 측정하였으며, PrI를 5mm와 0mm 상하연선에서 각각 산정하였다. 동일한 단면을 경량 프로파일러를 이용하여 측정하였으며, IRI를 계산하여 평탄성을 나타내었다. 이에 대한 결과를 비교 분석하여 5mm 상하연선의 PrI 적합성을 평가하였다.

### 2. 프로파일미터와 평탄성지수

최근 가장 많이 사용되는 프로파일미터는 트러스형태의 7.6m 캘리포니아 프로파일미터이다. 프로파일미터는 강성 프레임 끝단에 지지바퀴(support wheel)가 있으며 프로파일 측정을 위하여 중앙바퀴가 있다. 각 양 끝단의 지지바퀴 사이의 거리가 7.6m이며, 중앙바퀴의 편차(deviation)에 대한 기준 값으로서 지지바퀴를 사용하여 평가한다. 중앙바퀴는 스트립 기록장치나 자동적으로 값을 기록하는 컴퓨터와 연결되어 있으며, 중앙바퀴의 움직임을 기준선으로부터 기록한다. 측정자가 프로파일미터를 포장표면을 따라 밀고 가며, 1시간에 3-5km를 측정할 수 있다. 최근 사용하고 있는 대부분의 프로파일미터는 자동으로 데이터를 기록하고 컴퓨

\* 정회원 · 국립군산대학교 토목환경공학부 조교수 · 063-469-4876 (Email: dpark@kunsan.ac.kr)

\*\* 국립군산대학교 토목환경공학부 석사과정 · 063-469-4876 (Email: dream-ui@hanmail.net)

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 031-9100-172 (Email: dsan@kict.re.kr)



터 프로그램을 이용하여 PrI지수를 계산한다. 수동으로 기록된 데이터를 평가할 경우 포장 기술자가 PrI를 계산하기 위하여 스트립 기록결과를 평가하며, 자동으로 해석할 경우 스트립 기록 데이터를 스캔한 후 컴퓨터 프로그램을 이용하여 데이터 분석을 수행한다.

PrI를 산정하는 일반적인 표준방법은 없으며 각 나라마다 다양한 방법을 정해놓고 시행하고 있다. 미국 캘리포니아 교통국은 PrI 산정 및 데이터 분석에 있어 매우 풍부한 경험이 있으며, California Test Method 526을 만들어 사용하고 있다.

PrI를 산정함에 있어 가장 중요한 요소가 상하연선인데 이 상하연선은 일정한 폭의 띠로 되어 있어 측정된 프로파일을 상하로 고르게 분포할 수 있도록 적색으로 그린다. 도로의 구배로 인하여 상하연선이 단차가 생겨서는 안되며 수평하게 일직선으로 그려야 한다. 상하연선의 높이는 일반적으로 5mm이나 5mm 상하연선이 평탄성 평가에 적합하지 않아 2.5mm나 상하연선이 완전히 없는 0mm를 사용하는 기관도 있다. 미국의 캔사스 교통국의 경우 1990년도에 5mm 상하연선을 사용하지 않기로 결정하였는데 그 이유는 평탄성이 좋지 않은 포장이 5mm 상하연선에서의 PrI 값을 만족하고 있기 때문이었다.

상하연선을 벗어난 trace를 요철과형(scallop)이라고 하며, 이 요철과형은 높이가 1mm이고 넓이가 2mm(실제거리 0.6m)이상인 것만 PrI에 합산한다. Profilograph 측정은 150m로 하며 상하연선을 벗어난 요철과형 높이의 합산을 cm/km로 PrI를 나타낸다. PrI를 나타내는 식은 다음과 같다.

$$PrI = \frac{\sum h}{L}$$

여기서, PrI = 평탄성지수(cm/km)

$\sum h$  = 0.15km에 대해 상하연선을 벗어난 요철과형의 합(cm)

$L$  = 측정길이 (0.15km)

### 3. 프로파일 측정

평탄성 측정을 위하여 3종류의 측정 장비를 사용하였다. 7.6m 프로파일미터나 3.0m 프로파일미터 중 이용 가능한 하나의 장비를 사용하였으며, 국제평탄성지수 측정을 위하여 프로파일미터가 측정된 동일한 구간의 프로파일을 경량 프로파일러를 이용하여 측정하였다. 7.6m 프로파일미터의 경우 종방향 축척이 1:300이며, 3.0m 프로파일미터의 경우 종방향 축척이 1:100이다. 경량프로파일러의 프로파일 측정 간격은 5mm이며, 종방향 정확도는 0.05mm이다.

다양한 조건에 대한 도로포장의 평탄성 지수(PrI) 평가를 위하여 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장에 대한 측정 및 분석을 수행하였다. 아스팔트 콘크리트 포장의 평탄성 평가를 위하여 밀입도 포장과 Stone Mastic Asphalt(SMA)포장, 시멘트 콘크리트 포장의 평탄성 평가를 위하여 줄눈콘크리트 포장(Jointed Concrete Pavement)와 연속철근콘크리트 포장(Continuously Reinforced Concrete Pavement) 포장에 대한 평탄성지수와 프로파일 측정을 각각 수행하였다.

### 4. 평탄성 분석결과

본 절에서는 7.6m 프로파일미터 또는 3.0m 프로파일미터로 측정된 요철과형의 선에 5mm와 0mm 상하연선을 그어 두 상하연선에 대해 각각 분석하였다. 프로파일미터로 측정하여 5mm와 0mm 상하연선을 이용하여 분석한 평탄성지수(PrI)값이 포장의 평탄성 상태를 잘 나타내는지 확인하기 위하여 동일단면을 경량프로파일러로 측정하여 국제평탄성지수로 나타내었다. 표 1에 측정된 포장형태, 평탄성지수, 국제평탄성지수를 요약하여 나타내었다.

표 1. 평탄성분석 결과 요약

연번	포장종류	측정장비	측정길이(m)	5mm PrI (cm/km)	0mm PrI (cm/km)	IRI (m/km)
1	밀입도	3.0m	148	12.2	60.1	2.34
2	SMA	3.0m	97	43.30	96.9	3.53
3	SMA	3.0m	98	13.3	98.5	2.53
4	밀입도	3.0m	96	12.5	59.4	2.60
5	SMA	3.0m	150	10.0	100.0	2.37
6	JCP	3.0m	100	4.0	43.0	1.79
7	CRCP	3.0m	98	12.3	92.3	1.73
8	밀입도	7.6m	150	10	39.3	1.88
9	밀입도	7.6m	150	0	20.0	1.49
10	밀입도	7.6m	150	0	15.3	1.42
11	밀입도	7.6m	150	1.3	20.7	1.56
12	밀입도	7.6m	150	0	15.3	1.54

표 1에서 보듯이 5mm 상하연선을 이용한 PrI가 0mm 상하연선을 이용한 PrI값과 비교하여 2-10배 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한, 5번과 8번 포장과 같이 국제평탄성지수와 5mm 상하연선의 PrI를 비교한 결과 비교적 평탄성이 좋지 않은 포장의 PrI값이 도로공사 표준시방서에서 정한 허용한계보다 낮은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 1, 3, 4, 7번 포장과 같이 5mm PrI 값이 12에서 13으로 비교적 좋았으나 IRI값은 매우 좋지 않은 것으로 판단되었다.

미국 몇몇 주에서 공사금액을 다 받을 수 있는 허용치를 0mm 상하연선으로 23.6 - 31.5cm/km로 규정해 놓았다. 이 범주에 속하는 포장 단면은 9, 10, 11, 12로 IRI값도 1.6m/km 미만으로 비교적 좋은 것으로 나타나 보다 현실적인 규정으로 확인되었다.

## 5. 결 론

현재 우리나라에서 사용하고 있는 평탄성 기준인 프로파일미터에 의한 5mm 상하연선 PrI값의 포장 시공 후 평탄성 평가는 미국 및 선진국에서 많은 문제점이 있어 0mm 상하연선에 의한 PrI값이나 IRI값으로 전환하고 있는 추세에 있으며, 국내에서도 이에 대한 분석을 실시하고 있다. 5mm 상하연선에 의한 PrI값의 시공 후 평탄성 평가 지수로서의 적합성을 평가하기 위하여 다양한 포장과 조건에서 프로파일미터를 이용하여 프로파일을 측정하였으며, 5mm와 0mm 상하연선에서 각각 PrI값을 계산하였다. IRI값을 계산하기 위하여 프로파일미터로 측정한 동일구간을 경량 프로파일러를 이용하여 2회 측정하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 5mm 상하연선에 의한 PrI값이 0mm 상하연선에 의한 PrI값에 비교하여 2-10배정도 작은 것으로 나타났다.
- (2) 5mm 상하연선에 의한 PrI값이 도로공사 표준시방서 규정의 허용치(10cm/km)보다 작음에도 불구하고 IRI에 의한 평탄성은 좋지 않은 것으로 나타났다. 5mm 상하연선에 의한 포장 시공 후 평탄성 규정은 문제가 있는 것으로 판단된다.
- (3) 0mm 상하연선에 의한 PrI값을 미국의 규정을 적용한 결과 허용치보다 작은 PrI값을 가지는 포장이 IRI 값이 낮은 포장으로 나타나 보다 분별력이 좋은 평탄성 규정으로 판단된다.

시공 후 보다 합리적인 방법으로 평탄성을 평가하기 위하여 기존에 사용하고 있는 5mm 상하연선보다는 0mm 상하연선이나 IRI 값으로의 전환을 적극 검토해볼 필요가 있다. 본 연구결과를 근거로 보다 더 다양한 조건에서의 연구가 필요한 것으로 판단된다.



### 감사의 글

이 논문은 한국장학재단 이공계대학원 연구 장학금과 건설교통R&D정책·인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화 과제('06~'11) 연구결과의 일부입니다.

### 참고 문헌

한국표준협회, 7.6m 프로파일미터에 의한 포장 평탄성 시험방법, KS F 2373, 2000.

국토해양부. 도로공사 표준시방서. 2009

Perera, R. W., S. D. Kuhn, and S. Tayabji. Achieving a High Level of Smoothness in Concrete Pavements without sacrificing Long Term Performance. Research Report FHWA-HRT-05-068, Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, McLean, VA, USA, 2005.

Smith, K. L., L. Titus-Glover, and L. D. Evans. Pavement Smoothness Index Relationships, Research Report FHWA-RD-02-057, Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, McLean, VA, USA, 2002.