

## 최소단면 보수지역의 평탄성 평가

### Evaluation of Pavement Smoothness on Optimized Rehabilitated Section

박 대 욱 Park, Dae-Wook  
진 정 훈 Jin, Jung-Hoon

정희원 · 군산대학교 토목공학과 조교수 (E-mail : dpark@kunsan.ac.kr)  
정희원 · (주)도화종합기술공사 수석연구원 (E-mail : jinrino@paran.com)

#### ABSTRACT

In this study, the profiles of optimized rehabilitated section was measured by a lightweight inertial profiler, and pavement smoothness was evaluated. To analyze the repeatability of the used lightweight profiler, two repeatable measurements were conducted. The agreement between two repeatable measurements were evaluated by Cross-correlation function. Pavement smoothness of the optimized rehabilitated pavement section and existing area was compared in terms of International Roughness Index and Profilograph Index. In general, the pavement smoothness of the rehabilitated sections was not good compared to the existing pavement sections. The analysis results could be used for the evaluation of pavement smoothness of the optimized rehabilitated pavement sections.

#### KEYWORDS

optimized rehabilitated section, repeatability, cross-correlation, pavement smoothness

#### 요지

본 논문에서는 최소단면 보수가 완료된 아스팔트 콘크리트 포장의 평탄성 평가를 위하여 경량 프로파일러를 이용하여 측정하였으며 평탄성 분석을 실시하였다. 측정 프로파일러의 정확도를 검토하기 위하여 2회 측정된 프로파일 데이터를 이용하여 반복성(repeatability) 검증을 수행하였다. Cross-Correlation 함수를 이용하여 측정치간의 일치를 검증하였다. 최소단면 보수가 이루어진 아스팔트 콘크리트 포장 부분과 기존 포장의 평탄성을 국제평탄성지수와 Pri 지수를 비교 분석하였으며, 최소단면 보수가 이루어진 차선의 평탄성이 대체적으로 좋지 않았다. 향후 최소단면 보수 지역의 평탄성 평가에 대한 기초자료로 사용할 수 있다고 판단된다.

#### 핵심용어

최소단면 보수, 반복성, cross-correlation, 평탄성

### 1. 서론

일반적으로 아스팔트 콘크리트 포장의 차량통행(wheel path) 지역에서 피로균열(fatigue cracking) 및 영구변형(rutting)등이 많이 발생하고 있으며, 이의 보수를 위해 경제적인 측면에서 최소단면 보수 공법이 개발되고 있다(김낙석, 2009). 이들 최소단면 보수공법이 적용된 지역의 평탄성 측정은 보수단면이 기존의 전면적으로 시행되고 있는 덧씌우기 보수공법에 비하여 차이가 있을 것으로 판단된다. 전단면 보수나

포장 단면 전체에 대한 평탄성 측정은 최근 국내에서 고속 관성프로파일러(high-speed inertial profiler)를 이용하여 측정하고 있으나 정확성은 기준 프로파일러(reference profiler)로 사용하고 있는 경량프로파일러나 Walking profiler와 비교하여 떨어지는 것으로 알려져 있다(Karamihas and Gillespie, 2002). 고속 관성프로파일러의 정확도는 전적으로 운전자의 주행과 관련이 있어 윈더링이 심할 경우 최소단면 보수 공법으로 시공한 아스팔트 콘크리트 포장 단면을 측정하기에는 어려

움이 있다고 판단된다. 또한 Walking profiler의 경우 운전자의 걸음걸이 이상으로 평탄성을 측정할 수 없는 단점이 있기 때문에 시속이 최대 20km/hr로 측정할 수 있는 경량 프로파일러 사용이 본 연구에서 검토되었다(Karamihas and Gillespie, 2002).

본 연구에서는 최소단면 보수가 시행된 아스팔트 콘크리트 포장 단면을 경량 프로파일러를 이용하여 측정하였다. 측정된 평탄성 프로파일을 이용하여 측정기계의 정확도를 나타내는 반복성을 분석하였으며, 최소단면 보수가 이루어진 부분과 기존 포장의 평탄성을 국제평탄성지수와 모사 PrI를 이용하여 분석하였다. 본 연구결과는 최소단면 보수가 이루어진 포장의 평탄성 평가에 기초자료로 사용될 수 있다고 판단된다.

## 2. 평탄성 측정

최소단면 측정은 경량프로파일러를 이용하여 수행되었다. 본 연구에서 사용된 경량프로파일러는 국내 포장관련회사 RoadTech에 의해 개발되었으며, 측정 원리는 고속관성프로파일러와 유사하다. 샘플간격은 5mm이고 최대 반복성은 0.9~0.95이며, 고속 관성프로파일러의 샘플간격이 약 50mm인 것에 비교하여 샘플간격이 짧아 보다 정확하게 평탄성을 측정할 수 있다.

그림 1은 최소단면 보수가 이루어지는 부분의 아스팔트 콘크리트 포장의 단면을 나타낸 것이다(김낙석, 2009). 그림 1과 같이 바퀴가 진행하는 wheelpath 부분에 영구변형 및 피로균열이 발생한 부분을 보수한 것이다.

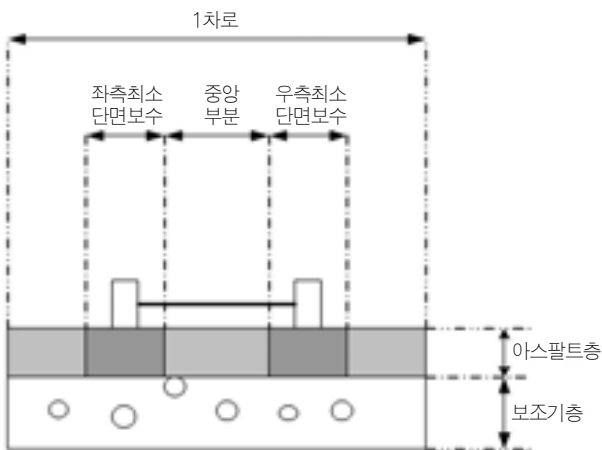


그림 1. 최소단면 보수 단면도

그림 2에 경량프로파일러를 이용한 평탄성 측정 장면을 나타내었으며, 그림 3에 최소단면 보수가 이루어진 부분과 기존 포장에 대한 평탄성 측정 계획도를 나타내었다. 그림 3에 나타나

듯이 최소단면 보수가 이루어진 부분과 기존 포장에 대한 평탄성을 각각 2회씩 측정하였다. 1/2와 5/6은 서쪽에서 동쪽으로 진행되는 방향에 대한 최소단면 보수 구간이고 3/4는 최소단면 보수가 이루어지지 않은 차량 wheelpath 중앙부분이다. 또한 8/9와 12/13은 동쪽에서 서쪽으로 진행되는 방향에 대한 최소단면 보수 구간이고 10/11은 최소단면 보수가 이루어지지 않은 차량 wheelpath 중앙부분이다.



그림 2. 최소단면 보수지역 평탄성 측정

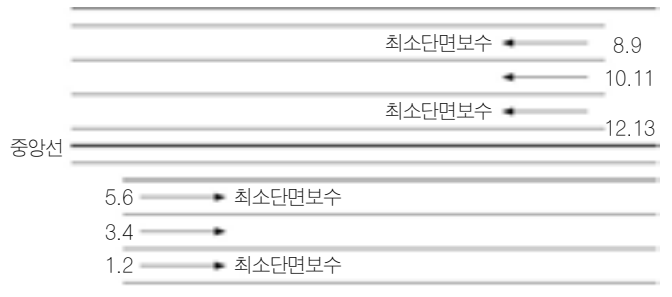


그림 3. 평탄성 측정 계획도

## 3. 반복성 검토

측정 프로파일러의 정확성(accuracy)은 일반적으로 두 가지 변수에 의해 나타내어진다. 하나는 반복성이고 다른 하나는 재생산성(reproducibility)이다. 반복성은 동일지역에 대하여 동일 측정장비를 이용하여 여러번 측정하였을 경우 측정값 간의 일치도로서 나타낸다. 재생산성은 동일지역에 대하여 다른 측정장비를 이용하여 측정하였을 경우 측정값 간의 일치도로서 나타낸다(Karamihas, 2005). 재생산성에서 기준으로 사용하는 측정 장비는 주로 rod and level 측정값을 사용한다. 반복성과 재생산성은 Cross-correlation 함수에 의한 일치도로서 나타내어진다. Cross-correlation 함수는 한 측정값이 다른 측정값에 의존정도를 나타내는 통계적 수치이다. 포장표면 프로

파일의 반복측정에 대한 Cross-correlation 함수는 두 측정값을 동기화(synchronize)하고 일치정도를 측정하는데 유용하게 사용된다. 두 측정값의 포장 프로파일에 대한 Cross-correlation 함수는 식(1)과 같다(Karamihas, 2005).

$$R_{pq}(\delta) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_0^L p(x)q(x + \delta)dx \quad (1)$$

여기서,  $p$ 와  $q$ 는 거리함수  $x$ 에 대한 각각의 포장 프로파일의 측정값이며, Cross-correlation 함수  $R$ 은 길이  $L$ 인 두 프로파일 사이의 offset 거리  $\delta$ 의 연속함수로 존재한다. 프로파일의 실제거리는 아주 작고 일정간격으로 수집되기 때문에 길이  $L$ 에 대한 적분함수로 표시되었다. 두 프로파일 사이에 상관계수(correlation coefficient)가 존재하며, 두 측정값  $p$ 와  $q$ 사이의 표준편차로 나누어 상관함수로 식(2)와 같이 나타낸다(Karamihas, 2005).

$$\rho_{pq}(\delta) = \frac{1}{\sigma_p \sigma_q} \sum_{i=1}^{i=N} p(x_i)q(x_i + \delta) \quad (2)$$

여기서,  $N$ 은 offset 거리  $\delta$ 에서 두 프로파일 사이에 공통적으로 존재하는 데이터 수이며,  $\sigma$ 는 각 프로파일의 표준편차이다. 두 프로파일이 정확하게 동일할 경우  $\rho=1$ 이며, 상관성이 없을 경우  $\rho=0$ 이다.

본 연구에서는 프로파일 측정에 사용된 경량 프로파일러의 반복성을 검토하기 위하여 최소단면 보수지역이 이루어진 부분과 기존포장 지역의 2회 프로파일 측정값을 사용하였다. 그림 4는 그림 3의 1/2 측정값의 반복성을 나타낸 것이다. 1/2의 두 프로파일의 반복성은 90%로써 상당히 양호한 일치성을 보여준다. 표 1에 본 연구에서 측정한 프로파일에 대한 반복성 분석 결과를 나타내었다. 분석결과 8과 9측정치의 반복성이 0.913으로 가장 높은 것으로 판단되어 가장 잘 측정된 것으로 판단되며, 3과 4 측정 프로파일의 반복성이 0.790으로 가장 낮은 것으로 판단되어 측정 정확도가 가장 낮은 것으로 판단된다.

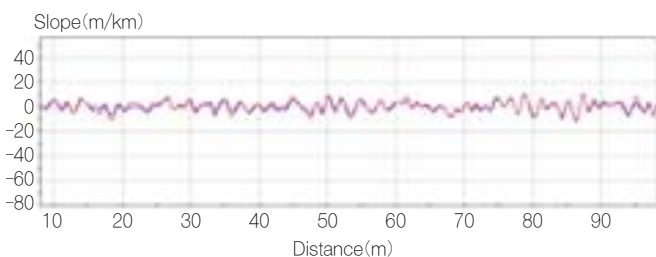


그림 4. 1/2 측정값 간의 반복성 검토결과( $\rho=0.9$ )

표 1. 차량특성과 입력변수 요약

| 측정 프로파일 | 반복성   | offset거리(m) | 보수형태    |
|---------|-------|-------------|---------|
| 1,2     | 0.900 | 0.08        | 최소단면보수  |
| 3,4     | 0.790 | 0.285       | 보수 무    |
| 5,6     | 0.891 | 0.17        | 최소단면 보수 |
| 8,9     | 0.913 | 0.045       | 최소단면 보수 |
| 10,11   | 0.849 | 0.075       | 보수 무    |
| 12,13   | 0.911 | 0.23        | 최소단면 보수 |

#### 4. 평탄성 분석결과

본 절에서는 최소단면 보수지역과 기존 아스팔트 콘크리트 포장의 평탄성을 분석하여 국제평탄성지수(International Roughness Index, IRI)로 나타내었으며, 프로파일을 이용하여 프로파일로 그래프지수(Profilograph Index, PrI)로 조사하여 분석하였다..

##### 4.1. 국제평탄성지수

아스팔트 콘크리트의 평탄성을 분석하기 위하여 최소단면 보수지역의 프로파일을 이용하여 국제평탄성지수를 산정하였다. 또한 최소단면 보수지역의 평탄성을 비교하기 위하여 기존에 공용중인 포장과 비교 분석하였다. 그림 5에 최소단면 보수 포장의 국제평탄성지수를 나타내었다. 8/9 프로파일의 평탄성이 가장 좋지 않은 것으로 판단되며, 1/6/12 프로파일의 평탄성이 가장 좋은 것으로 판단된다. 1/2측정, 5/6측정, 8/9측정, 12/13측정은 각각 동일구간이며, 국제평탄성지수 측면에서 상관성은 매우 좋은 것을 알 수 있으나 Cross-correlation 함수에 의한 반복성 검토에 의하여 상관성의 좋고 나쁨을 보다 정확하게 판단할 수 있다. 그림 6에 보수되지 않은 기존 포장에 대한 국제평탄성지수를 나타내었다. 최소단면 보수에 의한 포장 평탄성 보다 기존에 공용중인 포장의 평탄성이 매우 좋은 것으로 나타났다. 이는 포장 평탄성은 포장 시공성능과 매우 밀접한 관계가 있으므로 최소단면 보수 시 다짐불량등 시공에 문제가 있었던 것

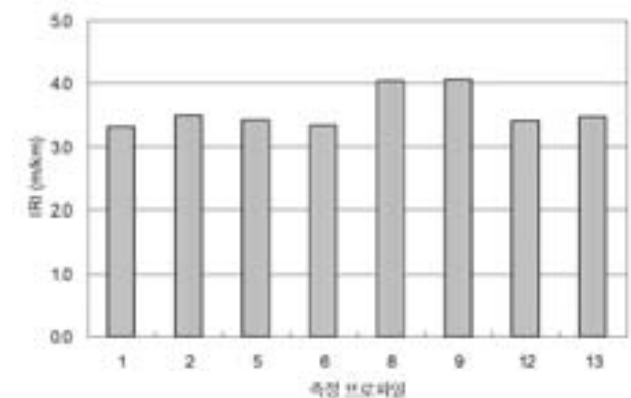


그림 5. 최소단면 보수 지역의 포장 평탄성 분석

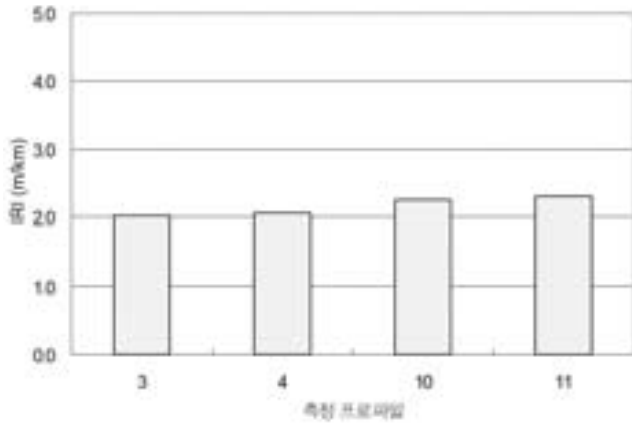


그림 6. 기존 포장의 평탄성 분석

로 판단된다. 최소단면 보수 구간의 평탄성이 좋지 못하여 중차량 통행등에 의해 과도한 동적하중이 포장체에 가해져 영구변형 및 피로균열 등의 악화는 가속화될 것으로 판단된다.

#### 4.2. Profilograph Index (PrI)

PrI 지수는 아스팔트 콘크리트 포장의 시공직후 품질조절 (quality control) 목적이나 지불규정 목적으로 많이 사용된다. 시공직후 7.6m CP(California Profilograph)를 사용하여 측정하며, 주로 5mm 상하연선에 기록하고 있다 (Karamihas, 2004). 현재 미국등 선진국에서는 PrI를 이용한 지불규정을 따르고 있으나 7.6m CP 사용의 불편한 점을 인식하고 측정하기 용이한 경량프로파일러로 프로파일을 측정하여 PrI를 모사하는 방법을 널리 사용하고 있다(Baus and Hong, 1999). 또한, 선진국에서는 5mm 상하연폭이 포장 평탄성을 제대로 반영하지 못하고 있는 현실을 감안하여 2.5mm나 0mm 상하연선을 사용 중이거나 사용을 검토하고 있으나 국내에서는 이에 대한 검토없이 5mm를 계속 사용하고 있어 국내 포장 평탄성을 더욱 악화시키고 있다(Smith et al., 2002).

본 연구에서는 7.6m CP로 직접 측정하지 않고 경량프로파일러로 측정한 프로파일을 Profilograph simulation 모듈을 이용하여 PrI를 산정하였다. PrI 모사 방법은 Karamihas(2004)에 의해 제안한 방법을 사용하였으며, 모사 조건은 표 2와 같다. 표 2에서 Low pass 필터는 프로파일 측정 시 발생할 수 있는 텍스처 및 시멘트 콘크리트 포장 줄눈부 등 7.6mCP로 측정할 시 나타나지 않는 부분을 제거할 수 있다(Karamihas, 2004). Low pass 필터와 함께 최소 Scallop 폭은 PrI 모사에서 발생할 수 있는 노이즈 제거에 도움이 되며 다리 같은 틈새를 제거하는데 유용하다. 최소 Scallop 높이는 현재 5mm 상하연선이 2mm 폭으로 되어 있으므로 1mm 미만 Scallop은 모두 0cm/km로 간주한다.

표 2. PrI 모사조건

| 모사조건              | 계수          |
|-------------------|-------------|
| 필터                | Low pass 필터 |
| Cutoff 파장(m)      | 0.6         |
| 상하연선(mm)          | 5           |
| 최소 Scallop 폭(m)   | 0.6         |
| 최소 Scallop 높이(mm) | 1           |
| Scallop 증가량(mm)   | 2           |

그림 7에 최소단면 보수 지역의 모사 PrI 지수를 나타내었다. 유지보수 PrI 기준인 16cm/km를 크게 벗어나는 것을 알 수 있다. 이는 시공직후 교통량 개방전에 측정하는 것이 규정이나 시공직후 3개월이 지났을 때의 모사 PrI 지수이기 때문이다. 교통개방 시기를 고려하더라도 평탄성은 매우 좋지 않은 상태인 것으로 판단된다.

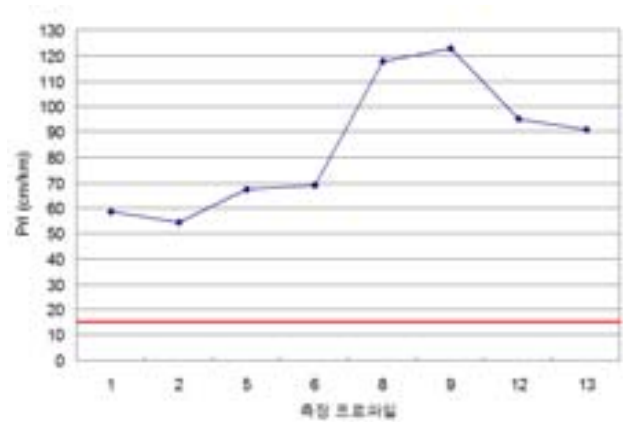


그림 7. 최소단면 보수 지역에 대한 모사 PrI지수

#### 5. 결론

최소단면 보수 지역에 대한 평탄성 평가를 위하여 기준 프로파일러로 사용되고 있는 경량 프로파일러를 이용하여 프로파일 측정을 실시하였다. 평탄성 비교 분석을 위하여 최소단면 보수가 이루어진 wheelpath 부분과 기존 아스팔트 콘크리트 포장 부분인 축 중앙부분을 2회 측정하였다. 2회씩 측정한 프로파일을 이용하여 Cross-correlation 함수를 통한 반복성 검토를 수행하였다. 최소단면 보수가 이루어진 부분과 이루어지지 않은 축 중앙부위에 대한 국제평탄성지수 분석을 수행하였으며, 측정된 프로파일을 이용하여 PrI지수를 모사하였다. 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 정확도가 높은 경량프로파일러를 이용하여 최소단면 보수 지역과 같은 비교적 좁은 포장 범위의 평탄성을 성공적으로 측정할 수 있었다.
2. 최소단면 보수 부분과 축 중앙부분을 2회씩 측정한 프로파일을 이용하여 Cross correlation 함수를 통한 반복성

검토를 한 결과 0.79에서 0.913까지의 다양한 반복성 결과를 얻었으며, 국제평탄성지수나 PrI지수의 반복성과 비교하여 분별력이 향상된 것으로 판단된다.

3. 국제평탄성지수를 분석한 결과 최소단면 보수가 이루어진 부분의 평탄성이 축 중앙부의 평탄성보다 좋지 않았는데 그 이유는 최소단면 보수 시 협소한 다짐공간으로 다짐이 잘 이루어지지 않은 것으로 판단되어 향후 최소 단면 보수공법 시행 시 정확한 품질관리가 이루어져야 한다고 판단된다.
4. 7.6m CP로 측정된 PrI지수를 모사하기 위하여 경량프로파일러로 측정된 프로파일을 이용하였으며, 모사된 PrI지수는 국제평탄성지수와 유사하게 상당히 평탄성이 좋지 않은 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 이용하여 향후 최소단면 보수 지역의 평탄성 기준 정립에 기초자료로 사용할 수 있으며, 시공성 향상을 위해 더 많은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

김낙석, 홍은철. 예방적 최소단면 보수공법 적용 아스팔트 도로포장의 유지관리 비용분석, *한국방재학회 논문집*, 제 9권 4호, 2009, pp. 45-51.

Baus, R. and W. Hong. Investigation and Evaluation of Roadway Rideability Equipment and Specifications, *Research Report FHWA-SC-99-05*, Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, McLean, VA, USA, 1999.

Karamihas, S. M. and T. D. Gillespie. Assessment of Profiler Performance for Construction Quality Control: *Phase I. Research Report UMTRI-2003-1*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, USA, 2002.

Karamihas, S. M. Assessment of Profiler Performance for Construction Quality Control with Simulated Profilograph Index, *Annual Conference of Transportation Research Board*, Washington, D. C., CD-Rom, 2004.

Karamihas, S. M.. Critical Profiler Accuracy Requirements. *Research Report UMTRI-2005-24*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, 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.

접 수 일 : 2010. 4. 1  
심 사 일 : 2010. 4. 6  
심사완료일 : 2010. 5. 12