



# 졸눈 콘크리트포장의 프로파일 데이터를 이용한 슬래브의 컬링형상 추출기법 개발

## Development of Extraction Method of Slab Curling Shape of Jointed Concrete Pavement Using Profile Data

전 범 준\*            이 승 우\*\*            문 성 호\*\*\*  
Chon Beom Jun    Lee Seung Woo        Mun Sung Ho

### Abstract

Curling is caused by the difference in the temperature and humidity by the depth of the slab in Jointed Plain Concrete Pavement. Slab curvature shape and size change due to curling exert a profound influence on the internal stress and roughness of the pavement, affecting structural and functional performance of the pavement. Direct measurement of the slab curvature entails many problems. Many measuring instruments have to be installed at the early-stage of the pavement construction, and the behavior of the slab curvature needs to be measured accurately from the early-stage. Moreover, the cost and technical difficulty are very formidable to measure the slab curvature. This study develops a measurement method for slab curvature in jointed concrete pavement at any given time by applying Power Spectrum Density Analysis and Inverse Fast Fourier Transformation to the profile data, that can be easily obtained at the construction field site. The effectiveness of this developed method is verified by measuring the profile data of the test road of jointed concrete pavement at an inland central expressway by the hour and by examining the result of extracting the slab curvature shape from this profile data. Additionally, the profile data of CRCP(Continuously Reinforced Concrete Pavement) sections on the same expressway were obtained and analyzed at the same time. The validity of the method developed for the slab curvature shape extraction is verified by comparing the result from the analysis of the profile data of CRCP sections with that from the analysis of the profile data of jointed concrete pavement sections.

**Keywords :** *profile data, PSD(power spectrum density analysis), IFFT(inverse fourier transform), curling, JPCP(joint plain concrete pavement)*

### 요 지

졸눈 콘크리트포장(JCP-Jointed Concrete Pavement)의 경우 포장단면 온·습도차에 의해 슬래브 내의 컬링이 발생하게 된다. 컬링에 의해서 발생하는 슬래브의 휨 형상 및 크기는 포장내 응력 및 평탄성에 영향을 미치기 때문에 포장의 구조적, 기능적 성능에 중요한 영향을 줄 수 있다. 슬래브의 휨 형상을 직접 측정하는 것은 시공초기에 포장내에 다량의 계측기를 매설하여야 하며, 시공초기부터 거동의 정교한 측정이 필요하고 고가의 실험비용 및 기술적인 어려움을 갖고 있다. 본 연구에서는 현장에서 손쉽게 획득할 수 있는 프로파일 데이터(Profile Data)에 파워 스펙트럼 분석(Power Spectrum Density Analysis)

\* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 박사과정  
\*\* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 부교수  
\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원



및 역 푸리에 변환(Inverse Fast Fourier Transform) 기법 등을 적용하여 임의의 시간에서 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 휨 형상을 측정하는 방법을 개발하였다. 개발한 기법의 실효성을 검증하기 위하여 국내 중부내륙에 위치한 시험도로 줄눈 콘크리트포장에서 시간대별 프로파일을 측정하고 이 데이터로부터 슬래브 휨 형상을 도출하여 그 결과를 검토하였다. 또한 동 시간대의 연속철근 콘크리트포장(CRCP- Continuous Reinforced concrete Pavement) 구간에서의 프로파일 데이터를 분석하고 이를 줄눈 콘크리트포장에서의 결과와 비교하여 개발한 슬래브 휨 형상 추출기법의 타당성을 검증하였다.

핵심용어: 켈링, 프로파일 데이터, 파워 스펙트럼 분석, 역 푸리에 변환, 줄눈 콘크리트 포장

## 1. 서론

줄눈 콘크리트포장에서 슬래브 깊이 방향으로의 온·습도차이로 인한 슬래브의 형상변화는 그림 1과 같은 슬래브내의 휨 형상을 발생시킨다. 그림 1(a) 형상의 경우 야간에 대기의 온도가 슬래브 하부의 온도보다 낮은 경우 온도차에 의해 슬래브 하부에서는 인장이 발생하며 반대로 슬래브 상부에서는 압축이 발생하게 되어 상향으로 슬래브가 휨 변형을 일으키게 된다. 그림 1(b) 형상은 상향의 켈링과는 반대로 낮 동안 슬래브 표면의 온도가 하부보다 높아져 슬래브 하부에선 압축이, 상부에서는 인장이 발생하게 되어 하향의 켈링이 발생하게 된다.

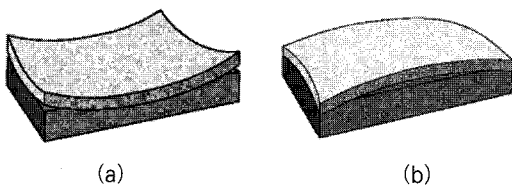


그림 1. (a) 상향 켈링 (b) 하향 켈링

이러한 줄눈 콘크리트포장의 공용성에 중요한 영향을 미치는 슬래브의 휨 변형은 포장의 구조적 성능에 있어 상향 켈링발생시 교통하중이 복합적으로 작용할 경우 슬래브 중앙 상부에 과도한 응력이 발생하여 Top-Down 균열이 발생하게 한다. 이와 반대로 하향 켈링이 작용할 경우엔 코너부에 균열이 발생하게 된다(Hansen, 2002). 콘크리트포장의 켈링에

있어 Hansen(2001), ARA(2003)은 포장 양생과정에서 발생한 Built-In Curvature는 줄눈 콘크리트포장의 장기적인 거동측면에서 보면 영구적인 슬래브 휨 형상에서 중립축이 되고 이 중립축을 중심으로 임의의 시간에서 기후조건 등의 변화에 따라 슬래브 곡률 형상 변화를 보인다. Built-In-Curvature는 시공초기 콘크리트포장의 양생과정에서 슬래브내 온·습도차에 의해 종결이후 슬래브내 응력이 발생하게 되며, 이에 슬래브가 휨 변형을 하게 된다. 이때 슬래브의 양생이 종료되는 시점에서의 휨 형상이 켈링형상의 중립축이 되며, 초기의 슬래브의 반영구적인 휨 형상이 되며, 이를 Built-In-Curvature라 한다. 시공초기 발생한 줄눈 콘크리트포장 슬래브의 Built-In-Curvature 중립축을 기준으로 같은 날에도 오전, 오후의 온도와 습도의 차이에 따라 슬래브의 휨 형상이 변화함을 그림 2에서 확인할 수 있다.

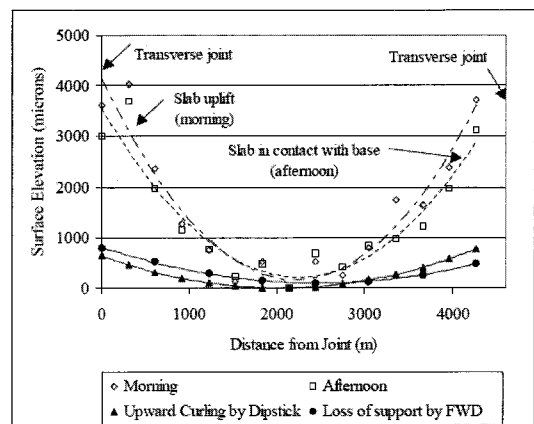


그림 2. 슬래브 휨 형상의 일 변화(hansen, 2002)



Hossain 등(2003)의 미국 I-70, I-135 등 고속도로상의 시험도로구간에서의 조사 연구에 따르면 슬래브의 곡률이 전체 평탄성에 미치는 영향이 지대하며 슬래브의 곡률이 평탄성 값에 미치는 비율이 IRI 기준으로 20-50%에 달한다고 하였다. 그리고 미국 켄사스 도로국에 따르면 동일포장에서 측정시간대에 따라서 IRI 값이 40% 차이가 나게 측정되는 경우도 보고된바 있다(Felker, 2003). 슬래브의 컬링(Curling) 및 파wrap(Warping)에 의한 휨 형상은 줄눈 콘크리트포장의 구조적, 기능적 성능에 지대한 영향을 주고 있는데 반하여 슬래브의 휨 형상을 손쉽게 측정하는 기술은 제시되지 않고 있다.

본 연구에서는 현장에서 임의시간에 손쉽게 획득할 수 있는 프로파일 데이터를 이용하여 슬래브 휨 형상을 도출하는 기법을 개발하고자 한다. 프로파일 데이터는 랜덤한 파장의 연속으로서 여러 파장과 진폭의 파들로 이루어진 데이터이다. 이러한 다수의 파형의 조합 중 일정한 줄눈간격에서 발생하는 특정 파장대의 데이터가 존재하게 된다. 그리고 프로파일 데이터에서 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 길이(줄눈간격)에 해당하는 특정파를 추출할 수 있다면 슬래브의 임의 시간대별 휨 형상을 측정할 수 있을 것으로 판단하였다. 그리고 슬래브 휨 형상 추출을 위해 프로파일 데이터에 파워스펙트럼 분석 및 역 푸리에 변환 기법을 적용하였으며, 이러한 기법의 경우 현재 지진해석, 통신분야의 신호분석, 소음/진동분석에서 사용중이다. 본 기법들을 이용하여 손쉽게 줄눈 콘크리트 도로의 슬래브 휨 형상을 추출하는 기법을 개발하였다. 이렇게 개발한 기법들에 대한 실험성을 검증하기 위하여 국내 중부내륙에 위치한 시험도로 줄눈 콘크리트포장에서 환경조건이 틀린 여름과 늦가을에 측정을 실시하고 하루에 3회 이른아침, 오후, 저녁에 걸쳐 프로파일 데이터를 측정하였다. 이 프로파일 데이터에 위의 기법들을 적용하여 슬래브 휨 형상을 도출하였다. 또한 동 시간대 연속측근 콘크리트포장 구간에서의 프로파일 데이터를 측정하였으며 이를 분석하여 줄눈 콘크리트포장 해석결과와 비교하여 보았다.

## 2. 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 휨 형상 추출기법

### 2.1 종방향 슬래브 휨 형상 추출기법

줄눈 콘크리트포장의 프로파일 데이터는 랜덤한 파장의 데이터로 수많은 파장과 진폭의 파들이 조합된 데이터라 할 수 있다. 이러한 프로파일 데이터에서 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 휨 형상을 분리하여 분석하기 위해선 그림 3과 같은 푸리에 변환, 파워스펙트럼 분석과 특정 주파수 추출, 역푸리에 변환 등의 기법들이 필요하다. 우선, 파워 스펙트럼분석은 시간적으로 변동하는 어떠한 파형이 주어졌을 때, 그 파형에 일정주파수 성분이 일정 크기로 포함되어 있는가를 나타내는 파라미터로서 표현되며 본 연구의 경우 시간이 아닌 일정거리에 대한 도로노면의 변위 변화들이 주파수성분이 된다. 즉, 도로노면에 나타나는 수직변위의 무작위하게 보이는 변화는 그림 4와 같이 다양한 파장의 주기적 수직변화의 합으로 구성되어진다. 랜덤한 신호에 포함되어 있는 주파수성분에 대한 크기를 나타낸 그래프인 파워 스펙트럼의 경우 그림 5에서 타원으로 표시한 A는 슬래브 길이에 해당하는 파장이 6m/cycle인 값으로 이를 확인할 수 있다. 그림 5에서 파워 스펙트럼 분석은 신호의 진폭을 제공하여 큰 진폭의 신호와 작은 진폭의 신호 차이를 더욱 크게 해서 신호를 해석하는데 도움을 주며

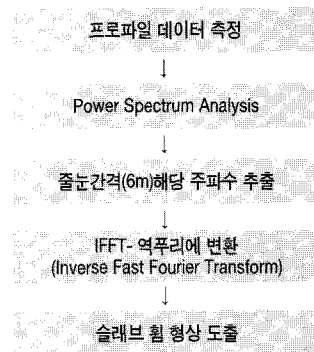


그림 3. 프로파일 데이터로부터 슬래브 휨 형상의 추출기법 개발



식 (1)로 표현된다.

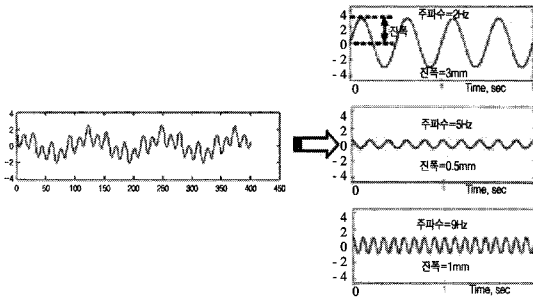


그림 4. 도로노면이력의 구성 예

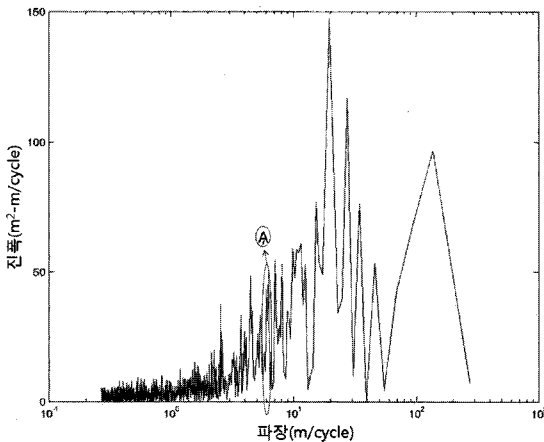


그림 5. 파워 스펙트럼 분석 예

(줄눈 콘크리트포장, 린 보조기층, 2007. 07. 27.  
06시 측정, 대기온도 26℃, ΔT(슬래브 상하온도차) 1.45℃)

$$G_k = (2y/N)|X_k|^2 \quad \text{식 (1)}$$

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-\frac{2\pi i k}{N}} \quad \text{식 (2)}$$

여기서,  $y$  = 샘플 간격  
 $N$  = 샘플포인트 수  
 $X_k$  = 푸리에 변환  
 $k$  = 임의의 포인트

식 (1)에서  $k$ 의 경우 본 연구에선 시간의 함수가 아닌 거리의 함수로 적용이 되며 일정구간의 비주기적 노면 이력 값에 대해 주파수 스펙트럼 분석은 여러 신호의 파장과 파장의 수의 조합을 그림 6과 같이 보여주게 된다.

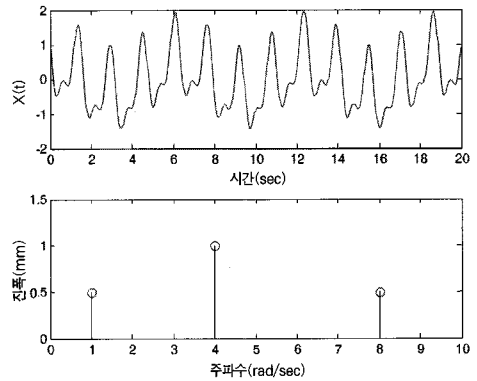


그림 6. 특정 주파수 대역의 조합 예

이러한 파워 스펙트럼 분석과 특정 주파수 추출을 위해선 푸리에 급수에 대한 이해가 필요하며, 푸리에 급수는 주기함수를 삼각함수의 가중치로 분해하여 해석하는 수학적 기법으로서, 비주기적인 어떤 신호를 사인과 코사인의 조화(harmonic)로 표현할 수 있는 것이 바로 푸리에 변환이다.

$$X[f] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j2\pi f n} \quad \text{식 (3)}$$

$$x[n] = \int X(f) e^{-j2\pi f n} df \quad \text{식 (4)}$$

비주기적 노면 이력 값에 대해 여러 신호의 파장과 파장의 수의 조합을 나타낼 수 있는 푸리에 변환식의 경우 식 (3)과 같다. 식 (3)의 푸리에 변환식을 이용함에 있어 본 프로파일 데이터의 경우  $X$  축이 시간 축이 아닌 도로의 길이 방향으로의 거리축이 되며 이러한 거리별 도로의 변위값에 대하여 각 영향 파장 ( $f$ )별 진폭값에 대하여 실제 측정된 프로파일 데이터의 샘플링 수치를 위식의 우항에 대입하여 각 파장

별 특성을 분석하고 컬링에 의한 영향에 의한 평가를 실시한 후 이에 해당하는 진폭값  $x[n]$  을 역푸리에 변환식인 식 (4)를 이용하여 산정하였으며, 이를 통해 컬링 영향을 주는 줄눈간격(6m) 파장( $f$ )에 대한 진폭값을 산정하고 줄눈 콘크리트포장에서의 슬래브 휨형상 변화를 분석하였다.

## 2.2 횡방향 슬래브 휨 형상 추출기법

줄눈 콘크리트포장의 프로파일 데이터를 슬래브 휨 형상 추출기법을 이용하여 분석하게 되면 종방향으로의 슬래브 휨 형상 결과를 얻게 된다. 이때 종방향의 프로파일 데이터에 대하여 주행차선과 추월차선에 걸쳐 횡방향으로 그림 7의 4~7포인트에서 측정하여 포장의 횡단방향으로 종방향 휨 형상값을 비교하였다. 이를 통해 온도변화에 따른 종방향으로의 휨 형상이 아닌 포장의 횡단면에 대한 슬래브 휨형상 변화를 분석하였다.

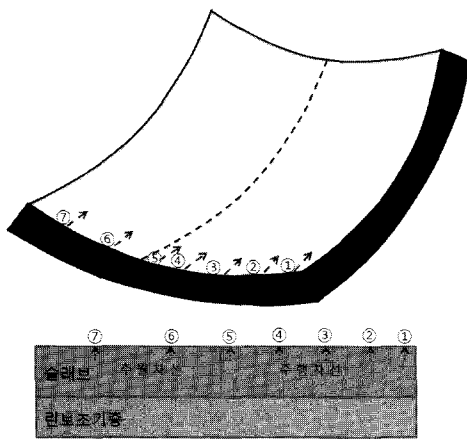


그림 7. 횡방향 슬래브 휨 형상 측정 포인트 위치

국내 줄눈 콘크리트포장의 컬링변화에 대한 분석을 위해 중부내륙고속도로 여주 - 충주 구간 하행선에 7.7km에 위치한 시험도로에서 본 연구를 위한 프로파일 데이터를 측정하였다. 2007년 7월 26일 - 27일 양일간 3회와 10월 23일 하루동안 3회에 걸쳐 그림 8에서 보는 바와 같이 측정구간에서 종단(길이) 방향으로 총 7 포인트의 위치에서 프로파일 데이터를 측정하였다. 프로파일 데이터의 획득을 위하여 휴대용 프로파일러(CS8800)을 이용하여 측정하였다. 프로파일러의 경우 운영용 노트북, 장비 배터리, 프로파일 측정 장치로 이루어져 있으며 최대측정속도는 1.2km/hr이고 도로노면 프로파일을 최소 0.5inch(12mm)간격으로 측정 가능하며, 노면 요철 변위의 최대 0.0002in(0.005mm)까지 측정이 가능하다. 표 1에 프로파일 데이터 측정에 대해 요약하였으며, 컬링변화에 대해 보조기층의 영향을 알아보기 위하여 쇄석보조기층과 린보조기층의 구간에 대하여 데이터를 측정하였다. 또한 줄눈간격의 영향에 대해 검증해 보기 위하여 인접구간에 위치한 연속철근 콘크리트포장 구간에서도 동일시간대에 데이터를 측정하였다. 측정시기의 경우 슬래브의 휨형상 변화가 온·습도에 영향을 받으므로 이를 알아보기 위하여 이른 아침, 한낮 그리고 저녁을 측정시기로 결정하였다.

표 1. 프로파일 데이터 측정 개요

측정 구간	내 용	측정 시간
줄눈 콘크리트포장 (린 보조기층)	①~⑦번 라인 측정	7월 26일 1차 17:00-21:00 27일 2차 05:50-07:50 3차 12:30-15:00
줄눈 콘크리트포장 (쇄석 보조기층)	②번 ④번 -휨 패스구간 측정	10월 23일 1차 05:00-08:00 2차 13:30-16:30 3차 18:30-19:20
연속철근 콘크리트 포장	②번 ④번 -휨 패스구간 측정	

## 3. 노면 프로파일 데이터 분석 및 결과

### 3.1 도로노면 프로파일 데이터(Profile Data)수집

각각의 위치에서 160m 구간에 걸쳐 측정한 프로파일 데이터의 경우 그림 8의 점선 화살표의 위치에서 측정하였으며, 실험을 통해 획득한 데이터를 분석



하여 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 컬링 휨 형상에 대하여 알아보고 온도에 따른 휨 형상을 비교하였다.

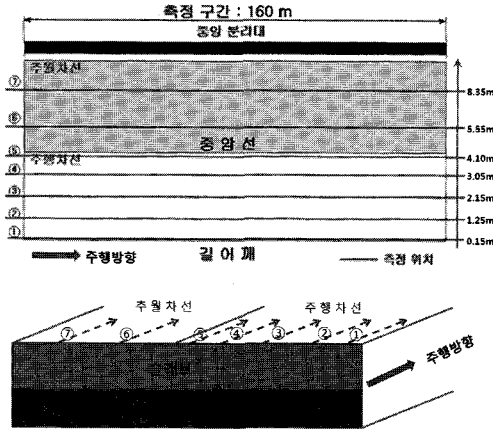


그림 8. 데이터 측정 위치

### 3.2 데이터 분석 및 결과

중부내륙 시험도로에서 2007년 7월 26일, 27일 및 10월 23일에 총 6회에 걸쳐 획득한 프로파일 데

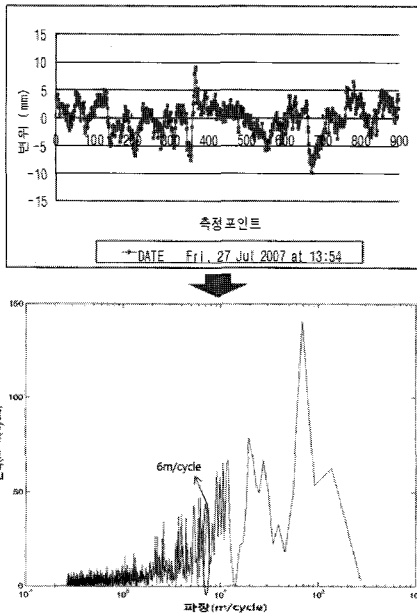


그림 9. 줄눈 콘크리트포장의 파워스펙트럼 분석 결과 (린보조기층, 길이개, 2007.07.27. 오후, 대기온도 42℃, ΔT(슬래브 상하온도차) 8.9℃)

이터를 파워 스펙트럼 분석과 역푸리에 변환을 이용하여 각 구간별 주파수 특성을 분석하여 줄눈간격에 영향을 받는 특정 주파수를 분리하여 슬래브의 휨 형상을 분석하였다.

그림 9의 상부에 위치한 프로파일 데이터는 여러 파장대의 도로에 모든 요철을 나타내고 있으며 이러한 노면 데이터를 앞의 기법을 이용하여 특정파장의 영향을 추출하여 분석하였다. 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 휨 형상을 추출하였으며, 본 논문에서는 슬래브 휨 형상 변위값을 상향컬링의 경우 +로 하향 컬링의 경우 -로 나타내었다.

#### 3.2.1 슬래브 종방향 휨 변형 특성 분석

가. 줄눈 콘크리트포장 슬래브 휨 변형

중부내륙시험도로 줄눈 콘크리트포장의 린보조기층 구간에서 측정된 데이터들을 슬래브 휨 형상 분리 기법을 이용하여 분석하였다. 도로주행 시 승차감에 영향을 주는 파장의 범위는 0.1~100m이다(G Awasthi, 2003). 그리고 도로주행 시 사람, 자동차 종류, 주행속도, 운전습관 등에 따라 평탄성의 영향이 틀릴 수 있으나, 일반적으로 차멀미나 주의력 감소 등의 영향을 유발하는 진동의 주파수가 2~15Hz이며, 이는 도로노면 요철의 경우 자동차가 80km/h의 속도로 주행 시 1.5~11m 범위에 속하는 요철이 된다(한국도로공사, 1992). 이는 그림 9에서 15(m/cycle) 이하의 파장대의 경우 승차감 및 포장파손에 영향을 미치는 파장대로서 국내 줄눈 콘크리트포장의 6m 줄눈간격에 해당하는 파장대도 이에 속하는 것을 보여 준다 할 수 있으며, 그림 9에 타원으로 표시한 부분이 줄눈간격 6m의 영향을 받는 부분이다.

시험도로에서 온도가 상이한 시간대별 프로파일 데이터를 측정하여 분석한 각각의 슬래브 휨 형상에 대해 표 2와 같은 결과를 얻었다. 측정 데이터 중 왼쪽 휠 패스에 대하여 각 시간대별 휨 형상을 그림 10에 측정데이터들 중 왼쪽 휠 패스의 데이터를 대표하여 나타내었다. 그림 10을 보면 온도가 변화함에 따



표 2. 줄눈 콘크리트포장의 휨 형상 변화값

구 분	슬래브 휨 형상 변위(mm)					
	7월 27일		7월 26일	10월 23일		
슬래브 상·하부 온도차 ( $\Delta T$ )	-1.45℃	8.9℃	3.4℃	-3.25℃	5.9℃	1.55℃
구 분	아침 06시	오후 14시	저녁 19시	아침 05시30분	오후 13시30분	저녁 17시
길어깨	-	-0.9928	0.6769	0.6803	-0.402	0.5671
오른쪽 휠패스	0.1862	-0.205	-	0.5067	-0.2242	0.2282
중앙	0.1907	-0.44	0.37	0.3434	-0.4957	-
왼쪽 휠패스	0.277	-0.2176	0.4126	0.3307	-0.3848	0.201
엣지	0.6549	-0.3519	0.2653	0.4119	-0.2064	0.1676
오른쪽 휠패스	-	-	-	0.6511	-0.0973	0.3438
왼쪽 휠패스	-	-	-	0.1744	-0.3812	0.7841

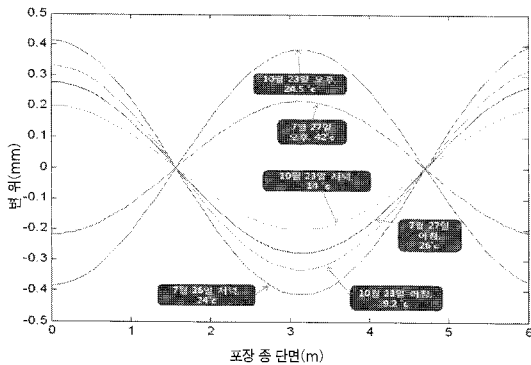


그림 10. 슬래브 컬링의 온도 영향 (줄눈 콘크리트포장, 린 보조기층, 왼쪽 휠패스)

라 아침과 오후 그리고 저녁의 휨 형상이 변화함을 확인할 수 있으며, 그 형상이 상향 컬링과 하향 컬링 형상을 보임을 확인할 수 있다. 여기서, 슬래브 상하부 온도차( $\Delta T$ )의 경우 상부의 온도가 하부의 온도보다 낮은 경우의 온도차에 대해 음수로 표시하였으며 반대의 상태를 양수로 나타내었다. 슬래브의 휨 형상의 변화가 시간과 온도에 영향을 받으며 포장상태 평가에도 영향을 줄 수 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

### 3.2.2 연속철근 콘크리트포장 구간 분석

줄눈 콘크리트포장의 측정구간과 인접한 위치의

연속철근 콘크리트포장 구간의 경우 프로파일 데이터에 대해 파워 스펙트럼 분석을 해본 결과를 그림 11에서 보면, 약 1m 파장 이하의 단파장에서는 연속철근 콘크리트포장의 프로파일 데이터에 영향을 미치는 파동이 없거나 매우 미세한 것을 확인할 수 있다. 이는 줄눈 콘크리트포장의 경우 6m 줄눈간격의 영향으로 단파장의 파동에 영향을 많이 받는 것과 비교하면 대조적이라 할 수 있으며, 프로파일 데이터 분석을 통해 줄눈 콘크리트포장에서 슬래브의 휨 형상을 추출하여 분석할 수 있음을 보여주고 있다.

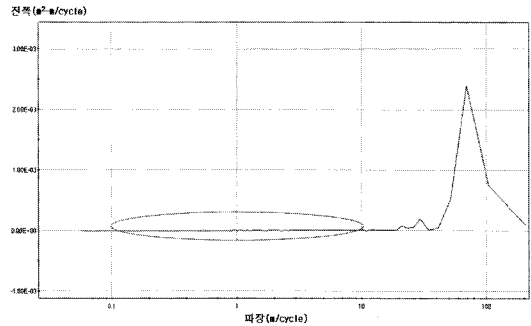


그림 11. 연속철근 콘크리트포장 구간 파워 스펙트럼 분석결과 (린보조기층, 왼쪽 휠패스, 2007.07.27, 아침, 대기온도 26℃,  $\Delta T$ (슬래브 상하온도차) 1.45℃)

### 3.2.3 줄눈 콘크리트포장 기층별 휨 변형

줄눈 콘크리트포장에서 보조기층에 따른 슬래브의 휨 형상을 비교하였다. 쇠석보조기층 구간의 데이터의 경우 양 휠패스만 측정된 관계로 린보조기층과 쇠석보조기층의 경우 양 휠 패스 구간의 결과만 비교하였다. 줄눈 콘크리트포장에서 린보조기층에서의 프로파일 데이터에서 휨 형상을 추출한 결과 휠 패스구간에서 표 3과 그림 12의 슬래브 휨 형상값을 얻을 수 있었다. 표 3의 결과는 컬링 형상에 따른 슬래브 휨 형상값 결정방법을 따랐다. 줄눈 콘크리트포장의 보조기층별 결과를 보면 7월과 10월 모두 오후의 값들은 유사한 값을 보이거나 나머지는 린보조기층보다 쇠석보조기층의 휨 형상 변화값이 더 크음을 확인할 수 있으며, 이는 린 보조기층보다 쇠석보조기층의 탄성



계수값이 작아 슬래브의 컬링 변화가 더 많이 일어나는 것으로 판단된다.

표 3. 린보조기층 및 쇠석보조기층 구간 휨 형상 변화값

위 치	슬래브 휨 형상 변위(mm)			
	27일 06시	27일 14시	23일 05시	23일 13시
슬래브 상·하부 온도차 ( $\Delta T$ )	1.45℃	8.9℃	3.25℃	5.9℃
린보조기층	0.0059	-0.0041	0.0036	-0.0079
쇠석보조기층	0.0253	-0.0043	0.0129	-0.0078

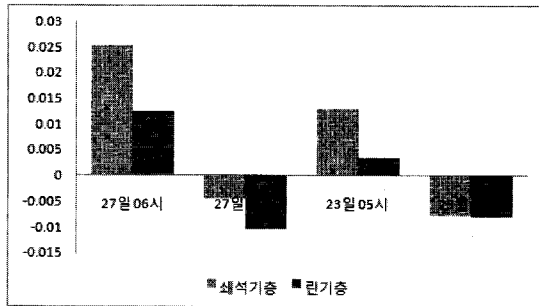


그림 12. 보조기층별 슬래브 휨 형상값 비교

### 3.3 슬래브 횡방향 휨 변형 특성 분석

줄눈 콘크리트포장의 슬래브 휨 형상 추출은 그림 12와 같이 종방향의 슬래브 컬링 현상과 마찬가지로 횡방향으로의 슬래브 컬링현상이 발생함을 예측할 수 있다. 종방향 휨 형상을 도로의 횡단(폭) 방향으로 여러 포인트에 걸쳐 데이터를 측정하고 분석하게 되면 횡단면에서의 슬래브 휨 형상을 확인할 수 있을 것으로 예상하였다. 이에 시험도로의 줄눈 콘크리트포장의 린보조기층구간에 대해 횡단면으로 4-7 포인트에 걸쳐 데이터를 측정하였으며, 이를 분석하였다. 줄눈 콘크리트포장의 경우 슬래브 컬링발생시 횡단면상에서 인접한 두 개의 슬래브가 독립되어 있다면 그림 13(a)와 같이 두 개의 슬래브 컬링이 독립적으로 발생하게 될 것이다. 그리고 슬래브 사이의 종단 줄눈에 타이바와 골재맞물림에 의한 구속으로 인해 두 개의

슬래브가 함께 거동할 경우 그림 13(b)와 같은 거동을 보이게 된다. 시험도로에서 측정한 줄눈 콘크리트포장의 각 위치별 슬래브 컬링량에 대하여 횡방향 휨 형상을 분석해 본 결과 그림 13(a)와 같이 슬래브가 각각 컬링현상이 발생하는 것이 아니라 그림 13(b)와 같이 두 개의 슬래브가 함께 하나의 슬래브로 거동하며 컬링현상이 발생함을 확인할 수 있었다.

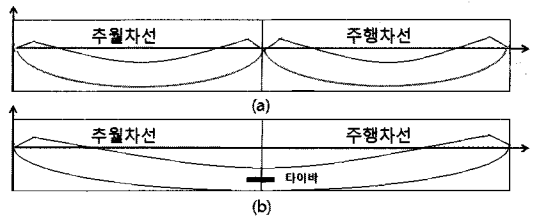


그림 13. 줄눈 콘크리트포장의 상향 컬링발생 형상 예

시험도로 줄눈 콘크리트포장에서 측정한 주행차선과 추월차선의 데이터를 분석한 결과 그림 14와 같이 두개의 맞닿아 있는 슬래브 사이의 타이바가 설치되어 있는 종단 줄눈을 중심으로 함께 컬링현상이 발생함을 확인할 수 있었으며, 이는 맞닿아있는 두 개의 슬래브가 함께 하나의 슬래브로 거동함을 보여주는 결과라 할 수 있다.

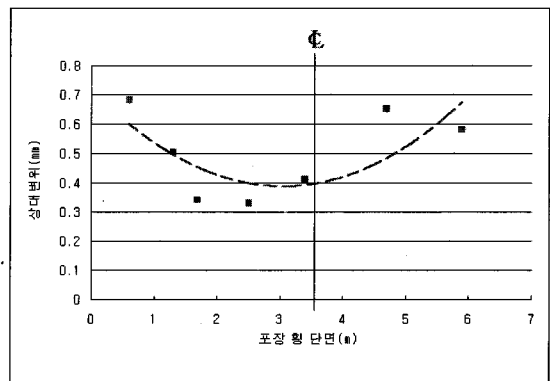


그림 14. 주행, 추월차선 횡단면 슬래브 휨 형상 (줄눈 콘크리트포장, 린보조기층, 왼쪽 휠패스, 2007.10.23. 아침, 대기온도 10℃)

그리고 이러한 두 슬래브의 횡단면 휨 형상 변화를



그림 15에 나타내었다. 컬링현상 발생시 대동소이하게 대칭으로 발생함으로 그림 15과 같이 주행차선의 데이터만을 도시하였다. 온도의 변화에 따라 횡단면상에서 슬래브의 휨 형상 변화를 보면 아침에 상향의 컬링현상이 발생하였다가 오후가 되면서 상향의 컬링현상이 줄어드는 현상을 확인할 수 있다. 이를 통해 횡단면상에서도 휨 형상이 나타남을 확인하였다. 이러한 횡단면상에서의 슬래브 휨 형상 결과에 대해 다른 구간의 좀 더 많은 데이터를 통해 추후 추가검증이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

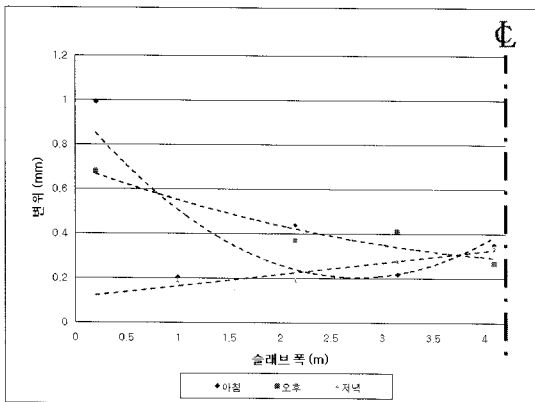


그림 15. 주행차선의 횡단면 슬래브 휨 형상 변화 (줄눈 콘크리트포장, 린보조기층, 2007.07.26~27.)

#### 4. 결론

본 연구에서는 콘크리트포장의 프로파일 데이터의 분석을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 슬래브의 컬링영향에 대하여 파워 스펙트럼 분석과 역푸리에 변환기법을 이용하여 노면 프로파일 데이터에서 슬래브 휨 형상을 실시간으로 추출할 수 있는 기법을 개발하였다.

둘째, 줄눈 콘크리트포장과 연속철근 콘크리트포장의 파워 스펙트럼 결과를 비교 분석한 결과, 줄눈 콘크리트포장의 줄눈간격(슬래브)에 의한 컬링영향

을 확인할 수 있는 반면, 연속철근 콘크리트포장에서 줄눈간격의 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

셋째, 줄눈 콘크리트포장의 보조기층의 종류에 상관없이 유사한 슬래브 곡률양상을 보이며, 쇠석보조기층이 린보조기층보다 좀 더 큰 휨 변위를 보였다.

넷째, 도로의 횡단면상에서 주행차로와 추월차로의 두 슬래브가 타이바가 설치되어 있는 종단 줄눈부를 중심으로 휨 형상을 보임을 확인하였다.

온·습도 영향에 따른 슬래브의 휨 형상 변화에 따라 동일구간에서도 시간대별 줄눈 콘크리트포장의 평탄성에 영향을 미칠 수 있으므로 추후 이러한 컬링영향을 고려한 실질적 평탄성을 도출할 수 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국도로공사의 지원을 받아 수행하고 있는 줄눈 콘크리트포장의 컬링보정기술을 이용한 평탄성 산정연구의 일부 성과물로 이에 감사를 포함합니다.

#### 참고문헌

- 한국도로공사 도로연구소(1992), “포장의 평탄성 특성 연구(II), 포장의 미끄럼 저항특성연구(III)”, 한국도로공사, 도로연 92-13-10.
- Ben Bruscella, Vincent Rouillard, Michael Sek(1999), “Analysis of road surface profiles”, *J. Transp. Engrg.*, Volume 125, Issue 1, pp. 55-59.
- G Awasthi, T Singh, Dr A Das(2003), “On pavement roughness indices”, *Journal of the Institution of Engineers*, vol 84, pp 33-37.
- Hassen, R., Mc Manus, K.J., and holden, J(1999). “Predicting pavement deterioration modes using waveband analysis”, *Transportation Research Board*, pp. 181-187.
- Hansen, W. Smiley, D. Peng, Y. Jensen, E(2002), “Validating Top-down Premature Transverse



Slab Cracking in Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP).” *Transportation Research Board 1809*, pp.52-59.

H.Thomas Yu, Lev Khazanovich, Michael I. Darter(2004), “Consideration of JPCP Curling and Warping in the 2002 Design Guide”, *Transportation Research Board*.

Lu Sun(2001), “Developing spectrum-based models for international roughness index and present serviceability index”, *ASCE*, Volume 127, Issue 6, pp. 463-470.

Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas(1996), “Interpretation of road roughness Profile

Data”, *Federal Highway Administration Report FHWA/RD-96/101*, 177 p.

Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas(1998), “The little book of profiling”, *University of Michigan Transportation Research Institute*.

Victoria Felker, Mustaque Hossain, and Yacoub Najjar(2003), “Roughness Progression Model on Kansas PCC Pavements”, *2003 Mid-continent Transportation Research Symposium*.

접 수 일 : 2008. 2. 12

심 사 일 : 2008. 2. 22

심사완료일 : 2008. 11. 17