

컬링추출기법을 이용한 국내 줄눈 콘크리트 포장의 컬링이 평탄성에 미치는 영향에 관한 연구

Effect of Curling on International Roughness Index of Jointed Concrete Pavements Using The Slab Curling Extraction Method.

전범준* · 이승우** · 문성호***

Chon Beom Jun · Lee Seung Woo · Mun Sung Ho

1. 서 론

도로 표면의 요철(Roughness)은 차량 주행 시 주행자의 승차감과 요철에 의한 차량의 충격하중에 의한 파손에 영향을 주는 중요한 요소가 되며, 도로공학에선 노면요철을 많은 표현방법으로 표현하였다. 도로 평탄성 지수로서 International Roughness Index(IRI), Profile Index(PrI), Ride Number(RN), Root Mean Square Vertical Acceleration (RMSVA)등을 들 수 있다. 이중 근래 가장 많이 사용하고 있는 평탄성 지수로서 IRI를 들 수 있다. 과거 브라질에서 국제도로 평탄성 실험(IRRE, International Road Roughness Experiment)을 수행하여 각기 다른 측정기를 통해 얻어진 평탄성 자료에 대하여 측정장비간에 상관관계가 가장 잘 성립되는 국제 표준 평탄성 지수인 IRI (International Roughness Index)를 개발하였으며, IRI는 그림 1에서 보이는 바와 같이 쿼터카 시스템을 적용하여 주행 중 운전자가 느끼는 노면의 요철을 표현할 수 있는 지수로서 제안하였다.

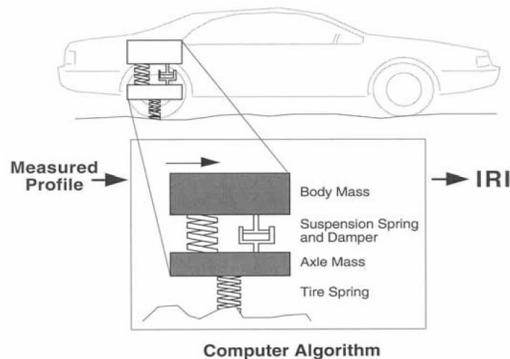


그림 1. 쿼터카 모델 개요

도로의 중요한 요소가 되는 노면 요철을 지수로 나타내기 위하여 요철 이력(Profile Data)을 측정하여 보

* 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 강릉원주대학교 공학연구소 연구원(E-mail : najunya@gmail.com)

** 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수(E-mail : swl@kangnung.ac.kr)

*** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원(E-mail : smun@ex.co.kr)

면 노면의 종단 방향에서의 요철은 각기 크기가 다른 파장(Wave Length)을 갖는 무수히 많은 파형의 조합으로 이루어져 있다. 이 중 주행 시 영향을 주는 파장은 보통 0.1~100m, 진폭은 0.1~10cm의 범위를 갖는다.(도로공사,1991) 그리고 줄눈 콘크리트포장에서 슬래브의 깊이방향으로의 온·습도차이로 인한 슬래브의 형상변화는 그림2와 같은 슬래브내의 휨 형상을 발생시킨다. 그림 2(a) 형상의 경우 야간에 대기의 온도가 슬래브 하부의 온도보다 낮은 경우 온도차에 의해 슬래브 하부에선 인장이 발생하며 반대로 슬래브 상부에선 압축이 발생하게 되어 상향으로 슬래브가 휨 변형을 일으키게 된다.

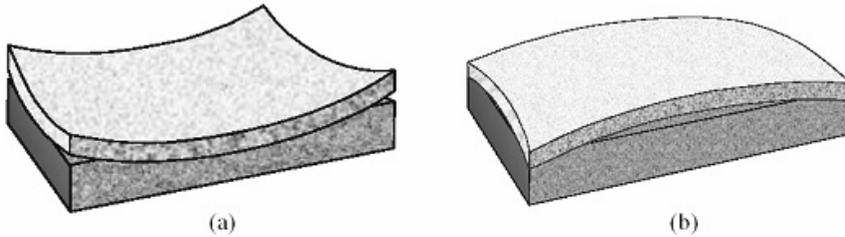


그림 2. (a) 상향 컬링 (b) 하향 컬링

그림 2(b) 형상은 상향의 컬링과는 반대로 낮 동안 슬래브 표면의 온도가 하부보다 높아져 슬래브 하부에선 압축이 상부에선 인장이 발생하게 되어 하향의 컬링이 발생하게 된다. 이러한 슬래브의 온도 및 습도에 의한 슬래브의 휨 현상을 컬링 및 와핑현상 이라고 한다. 이러한 슬래브 휨 현상의 경우 Hossain 등(2003)의 미국 I-70, I-135등 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 측정 되는 경우도 보고된바 있다(Felker, 2003). 그러므로 슬래브 컬링 변화는 온도 습도 영향에 받으며 동일 구간에 대하여 시간, 계절에 따라서 IRI 값이 변화할 수 있으며 이로 인하여 포장 품질 관리시 정확한 IRI 평가가 이루어지기 힘든 문제점을 가지고 있다. 이에 컬링 추출 기법을 이용하여 국내 줄눈콘크리트 포장에서의 컬링현상이 평탄성지수에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 줄눈 콘크리트포장의 슬래브 휨 형상 추출 기법

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 위해서 전범준(2008)이 노면 프로파일 데이터에서 손쉽게 컬링을 추출할 수 있도록 개발한 컬링추출기법을 이용하였으며 이에 대하여 그림 3에 나타내었다. 이에 대해 간단히 살펴보면 푸리에변화, 파워스펙트럼 분석과 특정 주파수 추출, 역푸리에 변환등의 기법들이 필요하다. 우선, 파워 스펙트럼 분석은 시간적으로 변동하는 어떠한 파형이 주어졌을 때, 그 파형에 일정 주파수 성분이 일정 크기로 포함되어 있는가를 나타내는 파라미터로서 표현되며 본 연구의 경우 시간이 아닌 일정 거리에 대한 도로 노면의 변위 변화들이 주파수 성분이 된다. 즉 도로노면에 나타나는 수직변위의 무작위하게 보이는 변화는 그림 4와 같이 다양한 파장의 주기적 수직변화의 합으로 구성되어진다.

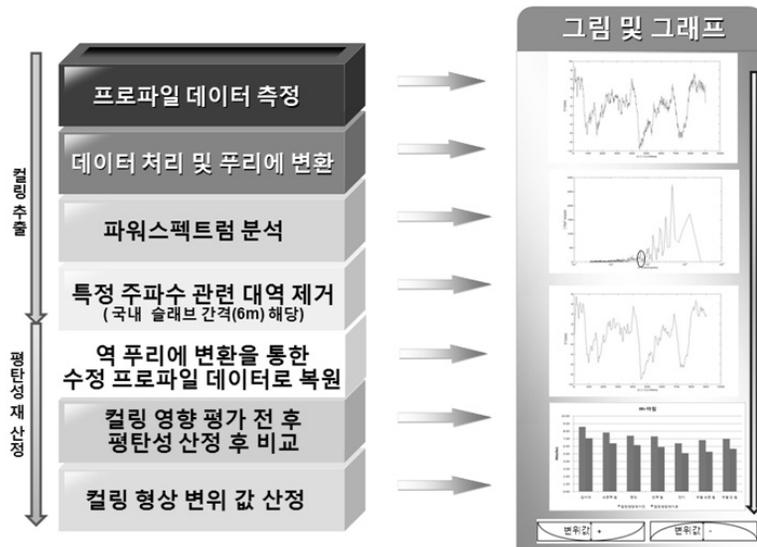


그림 3. 프로파일 데이터로부터 슬래브 휨(컬링)의 추출 기법

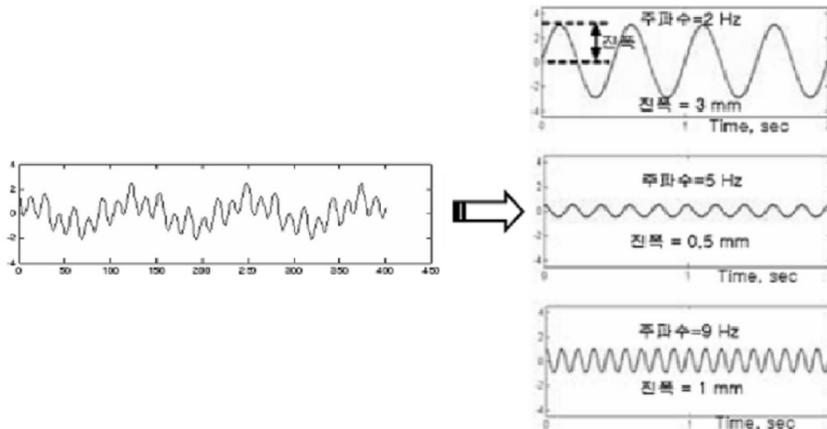


그림 4. 도로 노면이력의 구성의 예

이러한 랜덤한 신호에 포함되어 있는 주파수 성분에 대한 크기를 나타낸 그래프인 파워 스펙트럼 그래프에서 일정한 줄눈간격(6m)에 의해 발생하는 컬링현상에 해당하는 주파수가 존재하며 이에 대하여 대역 통과 필터와 노치 필터를 이용하여 필터링을 실시하고 이후 역 푸리에 변환을 사용하여 프로파일 데이터로 복원을 실시한다. 이후 컬링 영향 주파수 대역의 제거된 것과 그렇지 않은 프로파일 데이터에 대하여 평탄성 지수를 산정하여 비교 분석하였으며 그림 3의 오른쪽 그림중 맨 아래와 같이 접시 모양의 컬링일 경우에는 컬링값을 +로 그 반대 형상의 경우 -로 정의 하였다.

3. 중부고속도로의 노면 프로파일 데이터 수집

컬링추출기법을 이용하여 콘크리트 포장의 컬링현상이 평탄성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 국내 콘크리트 포장의 프로파일 데이터를 수집하였다. 국내 콘크리트 포장중 표 1의 중부 고속도로의 통영~하남 구간들의 프로파일 데이터를 수집하였다. 중부 고속도로 중부~하남 구간은 4~8차로로 이루어져 있으며, 각 차로별 프로파일은 약 40~60 Km 이며 이중 콘크리트 포장의 데이터에 대하여 수집하였다.

표 1. 중부 고속도로 하남-통영 구간

위치 및 차선	구간	비 고
통영방향 추월차로	316~312.96	
	300~266.49	
하남방향 추월차로	248.18~250	
하남방향 주행차로	248.18~310	
	314~316	
	329~331.84	

표 4의 각 구간별 프로파일 데이터는 2007년 3월 2일에 수집된 데이터들이며, 노면의 프로파일 측정당일의 평균기온은 8.5℃이고 최고기온과 최저기온은 각각 10.6℃와 6.9℃이었다. 측정된 프로파일 데이터의 경우 컬링을 추출적용에 있어 너무 길기 때문에 모든 구간의 데이터에 대하여 컬링 추출기법 적용이 가능하게 프로파일의 길이를 160m로 모두 재산정 하였다.

4. 하남 구간의 컬링과 평탄성 지수와의 영향 관계

중부 고속도로 하남구간 추월차선의 컬링의 평탄성에 대한 영향에 대하여 표 2에 표시하였다. 컬링에 대한 평탄성의 영향에 있어 컬링으로 인한 평탄성 영향은 0.1~0.27 m/km 이며 컬링으로 인한 평탄성 지수의 감소율은 5.2~17.8% 임을 확인 할 수 있다.

표 2. 하남 방향 추월차로의 컬링영향에 대한 IRI 결과

구간	IRI 차이 (m/Km)	IRI 감소율 (%)
1_255_260	0.1~0.21	6.2~15.8
1_260_265	0.1~0.29	7.6~13.5
1_265_270	0.1~0.24	5.2~13.8
1_270_275	0.18~0.27	7.5~17.8

표 3은 하남구간의 주행차로에 대한 영향을 나타낸 것으로 컬링에 대한 평탄성지수의 차이와 감소율은 각각 0.1~0.31 km 와 4.6~15.4% 로서 추월차로와 비슷한 양상의 값을 확인할 수 있다.

표 3. 하남 방향 주행차로의 컬링영향에 대한 IRI 결과

구간	IRI 차이 (m/Km)	IRI 감소율 (%)
248.18_250	0.12-0.14	5.6-7.2
275_280	0.1-0.24	5.8-13.3
270_275	0.13-0.31	6.8~14.0
300_305	0.1~0.25	4.6~15.4
314_315	0.12~0.15	5.7~7.5
315_316	0.15~0.21	10.3~15.0

중부 고소고도로 하남-통영구간에서 통영방향으로의 주행 및 추월차로에 대한 프로파일 데이터를 컬링 추출기법을 통해 컬링을 추출하여 평탄성 지수를 산정한 결과 표 4의 결과를 얻었다. 각 구간에서의 평탄성 지수에 대한 컬링 영향이 각각 0.1-0.36m/km 이며 이에 대한 평탄성 지수 감소율은 3.6-23.4%로 하남 방향에 비하여 감소율이 5-7%정도 높은 것을 알 수 있다.

표 4. 통영 방향 추월차로의 컬링영향에 대한 IRI 결과

구간	IRI 차이 (m/Km)	IRI 감소율 (%)
275-270	0.09-0.31	3.9-17.2
1_285_280	0.1~0.32	5.3~18.4
1_290_285	0.16~0.39	9.1~21.8
1_295_290	0.19~0.36	12.9~23.4
1_300_295	0.1~0.18	6.3~13.5
1_315_312.96	0.1~0.18	3.6~11.3
1_316_315	0.11~0.2	5.7~10.2

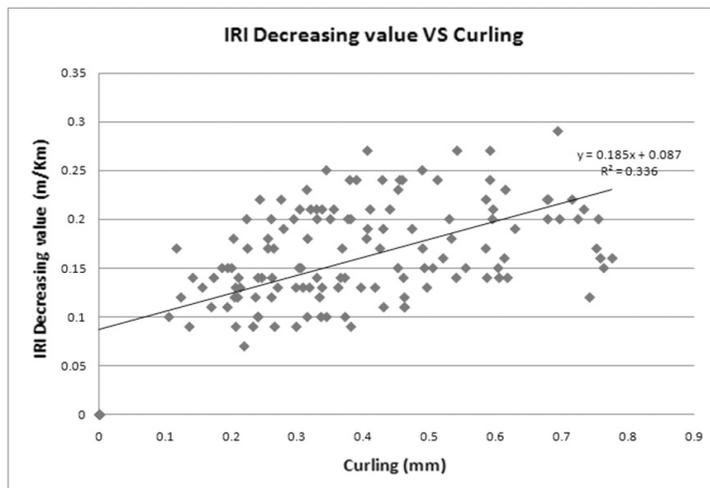


그림 5. 중부고속도로 하남방향 구간에서의 컬링과 평탄성지수 감소율과의 관계

하남-통영구간의 컬링 영향에 대한 평탄성 지수의 변화에 대하여 각각의 측정방향에 대하여 우선 살펴보았으며 이후 모든 중부고속도로 하남-통영구간의 데이터를 총괄하여 살펴보았다. 그림 5는 하남방향 구간에 대한 컬링과 컬링영향에 의해 값의 차이를 보이는 평탄성 지수 차이 값에 대한 관계를 보여주고 있으며 컬링의 변위가 약 0.5mm의 변화가 있을 경우 이에 따라 평탄성 지수가 약 0.1m/km의 영향을 보임을 확인 할

수 있다. 또한 통영방향 구간역시 하남구간과 유사한 양상을 보이며, 그림 6을 보면 컬링이 0.5mm 변화할 때 이에 따라 평탄성지수가 약 0.15m/km의 영향을 받음을 확인 할 수 있다.

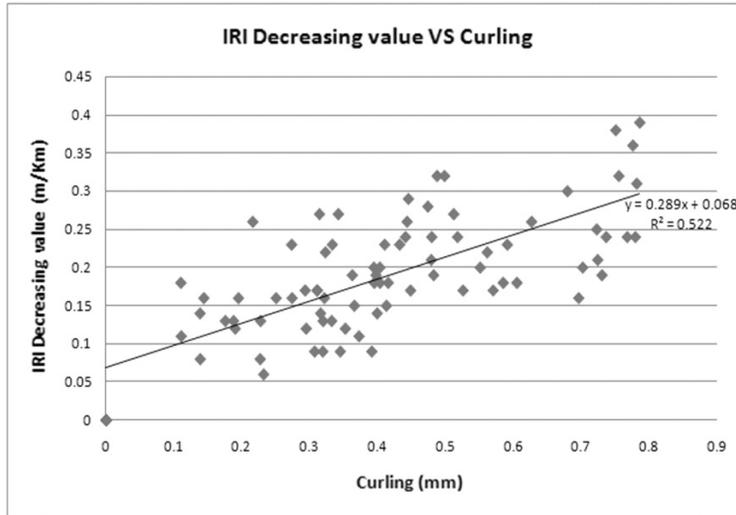


그림 6. 중부고속도로 통영방향 구간에서의 컬링과 평탄성지수 감소율과의 관계

하남과 통영구간의 모든 결과를 종합하여 중부고속도로 하남-통영구간 전체의 컬링 영향을 살펴보고자 그림 7과 같이 나타내었다. 컬링과 평탄성 지수 차이에 대한 관계를 살펴본 결과 $y = 0.228 * x + 0.079$, $R^2=0.404$ 의 상관 관계를 보임을 확인할 수 있었다.

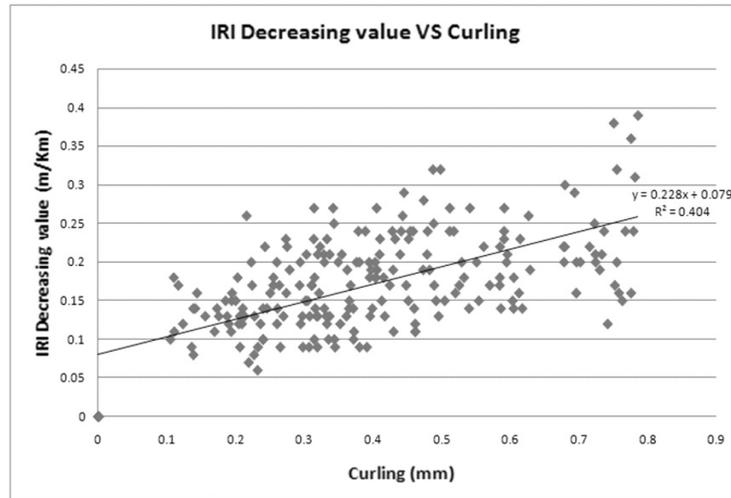


그림 7. 중부고속도로 하남-통영 양방향 구간의 컬링과 평탄성지수 감소율과의 관계

이러한 관계는 0.5 mm의 컬링 영향으로 인하여 평탄성 지수가 약 0.11 m/km 정도 영향을 받음을 보여주는 결과이다. 여기서, R^2 가 다소 낮은 이유는 프로파일 데이터의 측정위치, 동일하지 않은 측정 시간으로 인

한 온도 및 습도 등의 상이한 영향, 컬링추출시 발생하는 수학적 오차 등의 합으로 인한 결과로 사료된다.

5. 결 론

본 연구를 통해 중부 고속도로 하남-통영 구간의 프로파일 데이터의 분석을 통해 컬링의 평탄성 지수에 대한 영향 분석 결과를 다음과 같이 도출하였다.

첫째, 하남 방향 구간의 컬링 변화에 따른 평탄성 지수의 영향의 경우 추월차로와 주행차로에서 평탄성 지수차이와 감소율이 각각 0.1~0.27 m/km, 5.2~17.8% 과 0.1-0.31 km, 4.6-15.4% 이다.

둘째, 통영 방향 구간의 경우 컬링 변화에 따른 평탄성 지수의 영향이 0.1-0.36m/km이며, 감소율의 경우 3.6-23.4%로 하남 방향에 비하여 감소율이 5-7%정도 높은 것을 볼 수 있다.

셋째, 중부 고속도로 하남-통영 구간의 모든 데이터에 대해 분석한 결과 $y = 0.228 * x + 0.079$, $R^2=0.404$ 의 상관관계를 보였으며 이는 컬링이 0.5 mm 발생한 경우 이로 인하여 평탄성 지수가 약 0.11 m/km 정도 영향을 받을 수 있음을 확인하였다.

이러한 평탄성 지수에 대한 컬링의 영향은 유지/보수의 판단에 있어 좀 더 합리적이고 정확한 판단의 근거가 될 수 있을 것으로 판단되며 보다 정확한 결과 도출을 위하여 국내의 좀 더 많은 구간과 동일구간에 대한 다양한 환경조건에서의 프로파일 데이터 수집을 통해 추가 연구를 수행이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 도로공사의 지원을 받아 수행하고 있는 “줄눈 콘크리트포장의 컬링보정기술을 이용한 평탄성 산정연구”의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고 문헌

1. 한국도로공사 도로연구소(1992), “포장의 평탄성 특성연구(II), 포장의 미끄럼 저항특성연구(III)”, 한국도로공사, 도로연 92-13-10.
2. 전범준, 이승우, 문성호(2009), “줄눈콘크리트포장의 프로파일데이터를 이용한 슬레브의 컬링형상추출기법 개발”, 한국도로학회 논문집, 제 10권 제 4호, pp 9~18.
3. H.Thomas Yu, Lev Khazanovich, Michael I. Darter(2004), “Consideration of JPCP Curling and Warping in the 2002 Design Guide”, Transportation Research Board,
4. Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas(1996), “Interpretation of road roughness Profile Data”, Federal Highway Administration Report FHWA/RD-96/101, 177 p.
5. Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas(1998), “The little book of profiling”, University of Michigan Transportation Research Institute.
6. Victoria Felker, Mustaque Hossain, and Yacoub Najjar(2003), “Roughness Progression Model on Kansas PCC Pavements”, 2003 Mid-continent Transportation Research Symposium.