

접속슬래브 하단 강성변화와 도로단차발생의 상관성 사례조사

A case study for Bump and differential Settlement Generated due to Loss of Support under PCC Pavement

임유진* · 박희문** · 조호진*** · 박경수****

Lim, Yu Jin · Park Hee Mun · Cho, Ho Jin · Park, kyung Soo

1. 서 론

접속슬래브는 도로단차의 발생을 억제하고 주행차량의 주행 안정성확보와 주행 쾌적성을 확보하기 위하여 설치한다. 최근의 도로설계는 이와 같이 주행성을 확보하기 위하여 선형을 개량하고 평탄성을 제고하는데 초점이 맞추어져 있다. 또한 이러한 설계개선에 의하여 이전 도로에 비해 속도한계가 높아지는 추세이다. 그러나 주행안정성과 쾌적성에 미치는 여러 가지 설계개선에도 불구하고 접속슬래브 위치에서의 단차발생에 의한 평탄성의 국지적 저하는 포장표면에서의 평탄성 제고에도 불구하고 아직 해결되지 못한 기술적인 문제로 남아있다. 본 사례조사에서는 공용년수가 오래된 국내 폐고속도로 구간에 존치되어 있는 접속슬래브 위치에서의 포장 표면상태와 덧씌우기 등 포장 보수이력 및 현장의 배수조건과 절성의 선형구성 등을 조사하고 접속슬래브 및 완충슬래브 위치에서 FWD(Falling Weight Deflectometer)시험을 실시하여 접속슬래브 위치에서의 단차발생과 접속슬래브 하단부의 강성이 어떠한 연관성을 갖고 있는지를 분석하였다.

2. 시험 현장 및 조사 방법

2.1 시험 현장 개요

시험현장은 최근 선형개량을 실시한 후 폐도가 된 경부고속도로 옥천군 동이면 ~ 옥천군 청성면 구간으로서 현재 해당 폐도구간은 구간을 관할하는 지방자치단체로 관리주체가 이관되어 있으며 해당 자치단체 관할의 지방도로로 사용되고 있다. 현장의 조사대상은 총 5개 교량(금강 3교, 금강 4교, 묘금 3교, 묘금 4교, 묘금 5교)의 접속부로서 이중 4개 구간(금강 4교, 묘금 3교, 묘금 4교, 묘금 5교)은 기존 아스팔트 포장부를 수차례 덧씌우기 포장을 실시한 후 표층을 포함한 일부 기층부를 완전히 제거하여 그림 1.와 같이 콘크리트 포장으로 재포장되어 있는 상태이며 나머지 1개구간(금강 3교)은 초기설계 당시의 아스팔트 포장으로 존치되어 있다. 교량접속부의 포괄적인 상태를 파악하기 위하여 주변 지형조건과 배수조건 등을 조사하였고 교대, 날개벽 등을 포함한 뒷채움부에 발생한 거동의 특이사항을 관찰, 기록하였으며 특히, 각 구조부 사이에 발생한 균열, 벌어짐 등의 현상이 발생하였는지의 여부를 조사하였다. 아울러 교대접속부가 성토부 또는 절토부에 설치되었는지를 목측으로 관측하였다. 각 교량접속부에 대한 이와 같은 조사와 병행하여 FWD시험을 실시하고 접속부 프로파일을 조사하였다. 해당 폐도의 모든 교량은 접속슬래브가 설치되어 있지 않은 상태이므로

* 정회원 · 배재대학교 건설환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : yujin@pcu.ac.kr)

** 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원 · 공학박사(E-mail : hpark@kict.re.kr)

*** 비회원 · 배재대학교 건설환경공학과 석사과정 · 공학사(E-mail : hojiny81@naver.com)

**** 비회원 · 배재대학교 건설환경공학과 석사과정 · 공학사(E-mail : kyungsoo0514@hanmail.net)



하부강성 저하에 따른 단차발생이 접속슬래브가 설치된 현재의 교량형태에 비하여 더 컸을 것으로 보인다. 또한 각 교량의 접속슬래브에서 보링에 의한 코어(core)를 채취하여 콘크리트포장과 아스팔트포장의 현재 두께를 확인 하였다(그림 1참조).

콘크리트 포장		아스팔트 포장	
콘크리트 표층	30 ~ 35cm	표층 (아스팔트 콘크리트)	5cm (5cm는 추후로 시공)
잔존 보조기층	27.5 ~ 32.5cm	중간층(바인더) 아스팔트 콘크리트	7cm
		기층	20cm
		보조기층 (모래 · 자갈)	30cm

그림 1. 육천페도 포장 단면 구성

2.2 현장조사방법

2.2.1 프로파일(profile) 조사

교량접속부에 발생하는 단차측정을 위하여 별도의 계획을 수립하고 접속부 위치에서 단차발생과 관련된 여러 가지 조사를 실시하였다. 먼저 접속부에 발생한 단차를 측정하기 위하여 그림 2.와 같이 줄자와 수평자(level), 디지털 사진기 등을 이용하여 단차를 측정하였다. 교대와의 접속위치에서부터 교대 배향측으로 10cm 간격마다 발생한 단차를 기록하여 단차 발생 프로파일을 구하였다.

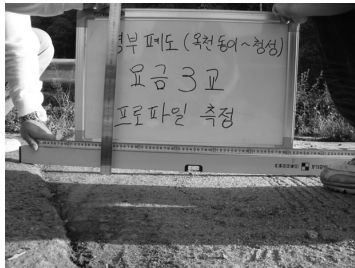


그림 2. 각 교량 접속부의 단차 Profile 측정

2.2.2 FWD 시험

FWD는 1970년 네덜란드 쉘 석유중양연구소에서 개발되었으며, LTPP(Long Term Pavement Performance) 시험구간의 구조강도측정을 위한 장비이다. 본 현장에서는 KUAB사의 FWD장비를 사용하여 시험을 실시하였다. FWD의 구동원리는 재하체의 포장면에 대한 자유낙하 충격시 발생한 포장층 구조의 처짐량을 구하고 이를 이용하여 포장하부 구성 각 층의 탄성계수를 역산하여 구하도록 되어있다.

FWD의 측정위치는 시험대상인 각 교량접속부에서 각각 6개의 측정점을 정하였으며 차량진행방향과 차로위치 등을 고려하여 결정하였다. 그림 3.과 같이 금강 3~4교와 묘금 3~4교는 교대에서 뒷채움방향(배향)으로 1m 떨어진 지점에 횡열로 3개의 측정점을, 접속슬래브에서 포장쪽으로 1m 이격된 지점에 횡열로 3개의 측정점 등 총 6개의 측정점에서 FWD시험을 실시하였다. 반면 묘금 5교는 교량을 사이에 두고 양쪽의 접속부 구간에 횡열로 각 3개의 측정점을 선정, 총 6개의 측정점에서 FWD시험을 실시하였다.

이렇게 선정된 6개의 측정점에서 낙하하중 4, 9, 18 Ton의 하중을 동일 하중당 3번씩 총 9번, 한 접속부 당 총 54번 가격하여 시험을 실시하였다.

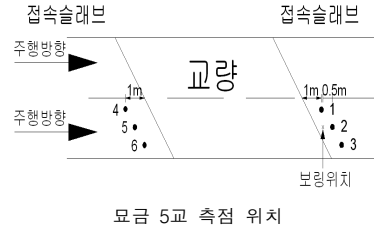
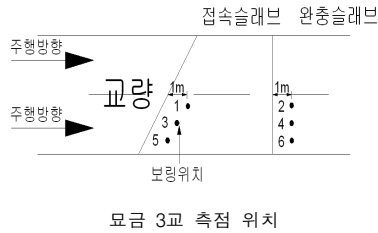


그림 3. FWD 시험을 위한 현장 측정 위치 예

3. 현장시험 및 조사결과

3.1 FWD시험 결과

총 5개의 교량 접속부에서 FWD시험을 수행하였으며, 각 교량 접속부에 6개의 측정점을 선택하여 각 측정점에 하중을 변화(4, 9, 18 Ton)시키며 시험을 실시하였다. 아래 표 1.은 각 교량에서 FWD시험을 실시한 후 취득한 데이터를 미국 워싱턴주 DOT에서 개발한 역산프로그램인 EVERCALC를 이용하여 계산한 역해석 결과로서 각 측정점에서 얻은 값을 슬래브 위치별로 평균한 것이며 그림 4.는 이들을 비교 도시한 것이다. EVERCALC 프로그램은 현장 측정침하량과 가상의 탄성계수를 이용한 다층탄성이론에 의해 계산된 침하량의 차이가 5%이내에 들 때까지 반복계산을 실시한다. 이때 RMS에러(Root Mean Square Error)는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_d} \left[\frac{1}{n_d} \left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

n_d = 센서의 총수

d_{ci} = i 번째 센서에서의 측정 처짐량

d_{mi} = i 번째 센서에서의 계산 처짐량

금강 3교는 아스팔트포장 존치 구간으로서 약간의 성토가 긴 절토구간상에 축조되었으며 접속부와 교대하단에 침투수에 의한 침식이 심각하게 발생한 상황이었다. 또한 금강 4교는 목측관찰 결과 날개벽과 기존 포장부 사이에 심각한 침하가 발생한 것으로 관측되었다. 이는 뒷체움부에서의 침투수에 의한 침식으로 접속부 포장전체가 기울어짐(tilting)과 침하(settlement)가 동반 발생한 결과로 보인다. 아울러 요금 3교 및 요금 4교는 성토구간, 요금 5교는 편질편성구간으로서 모두 기존 아스팔트표층을 제거하고 콘크리트층으로 치환된 상태이다. 치환포장에도 불구하고 접속부에서 모두 포장슬래브의 처짐이 발생한 것으로 관측되었다. 전반적으로 접속슬래브구간이 완층슬래브구간보다 탄성계수가 작고 침하량이 큰 것으로 보아 하부 침식 등의 문제로



강성이 작은 것으로 판단되었다. 표금 5교의 경우에는 교량을 중심으로 양쪽의 접속슬래브에서 탄성계수를 측정하여 공용에 따른 탄성계수의 차이를 확인할 수 있다.

표 1. EVERCALC를 이용한 각 교량 접속부의 탄성계수 역해석 결과 (단위 : kN/m²)

교량명	구간	표층	잔존보조기층	노상
표금3교	완충슬래브	3.21×10^7	6.89×10^4	2.02×10^5
	접속슬래브	2.86×10^7	3.45×10^4	4.46×10^4
표금4교	접속슬래브	8.49×10^6	3.45×10^4	2.96×10^5
	완충슬래브	8.62×10^6	3.45×10^4	2.65×10^5
표금5교	접속슬래브	3.08×10^7	2.96×10^5	1.75×10^5
	접속슬래브	5.29×10^7	6.64×10^5	9.64×10^4
금강3교	접속슬래브	6.91×10^6	1.52×10^5	6.30×10^5
	완충슬래브	1.20×10^6	9.87×10^4	2.50×10^5
금강4교	완충슬래브	2.21×10^7	3.45×10^4	8.33×10^4
	접속슬래브	1.40×10^7	3.45×10^4	3.45×10^4

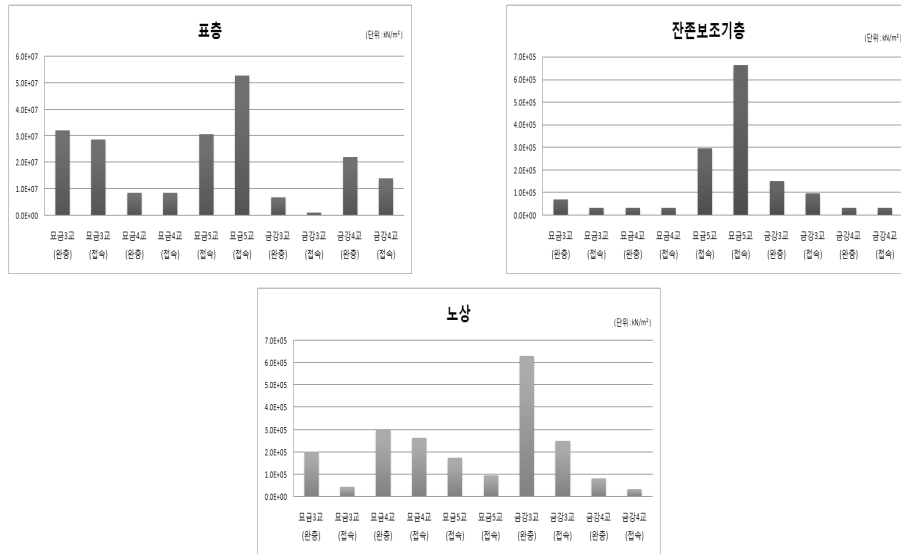


그림 4. FWD 시험의 교량 부위별 역산결과 비교

그림 5는 각 교량 접속부에서의 FWD시험 시 획득된 처짐량을 나타낸 그래프이다. 본 조사 결과 모든 교량접속부에서 대체적으로 기존 포장에 비하여 탄성계수가 작게 측정되었으며, 이는 폐도구간의 이전 덧씌우기 포장 및 전치환 재포장에도 불구하고 하부지반에 심각한 강성의 약화가 있었음을 뜻하는 것이다.

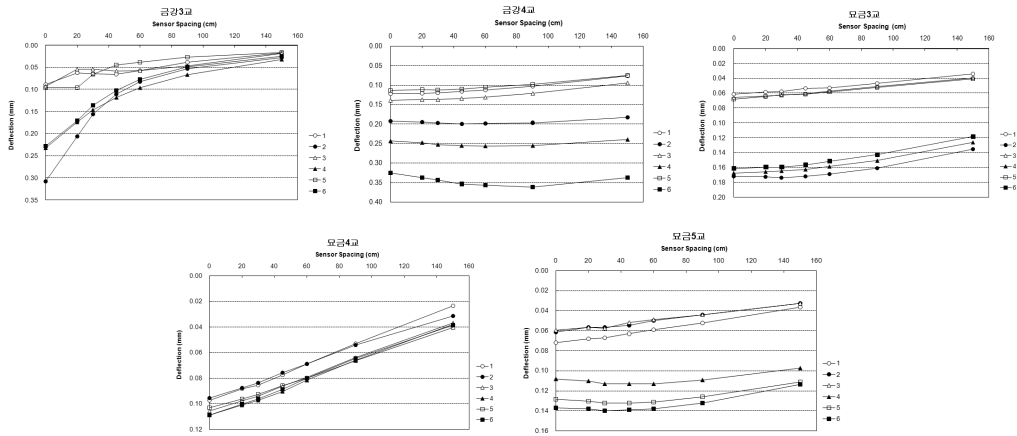


그림 5. 각 교량 접속부에서의 FWD시험 시 처짐량 비교

3.2 단차 Profile 측정 결과

시험대상 각 교량의 접속부에서의 단차 프로파일을 측정된 결과 그림 6.과 같이 나타났다. 그래프에서 교대와 접속슬래브의 연결부분이 프로파일 측정시점이다. 단차 프로파일은 콘크리트 포장과 아스팔트 포장에서 다른 발생양상을 보였다. 콘크리트 포장의 경우 그림 6.의 (b-1) ~ (e-2)와 같이 직삼각형의 발생형태를 보였으며 아스팔트 포장의 경우에는 일정 이격거리에서 가장 단차가 크게 발생하는 포물선 형태를 보였다. 이는 콘크리트 포장의 경우 하나의 슬래브가 플레이트(plate)로 거동하여 하부강성의 저하시 저하위치로 급격히 기울어지는(tilting) 경향을 보였기 때문으로 판단된다.

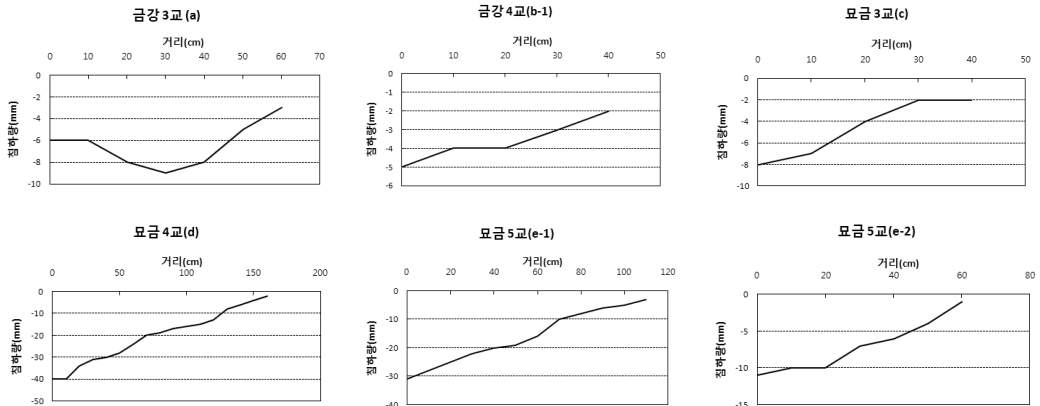


그림 6. EVERCALC를 이용한 각 교량 접속부의 역해석 그래프

특히 금강 4교의 경우 날개벽과 접속부 사이의 포장구간(그림 7)에서 가장 큰 침하량 발생을 보였는데, 이는 교대 뒷채움체의 침식과 이로 인한 하부재료의 유실에 의해 공동이 발생하고 날개벽과 콘크리트 포장 슬래브 사이에 단차가 발생한 것으로서 침식이 단차발생에 크게 영향을 끼칠 수 있음을 재차 확인하였다.

프로파일 분석결과 아스팔트 포장의 경우 침하 프로파일은 교량접속위치에서부터 일정 배향거리에 따라 포물선 형태를 보였으며 콘크리트 포장의 경우 전체 슬래브가 일체로 한쪽 방향으로 침하되는 경향을 보였다.

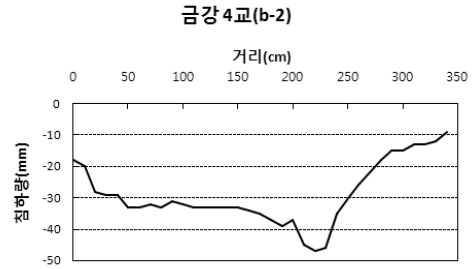


그림 7. 금강 4교 날개벽위치에서의 공동 발생

4. 결 론

본 조사는 접속슬래브에서 하부 강성의 변화에 따른 단차발생의 상관성을 FWD시험과 단차 프로파일 측정을 통하여 규명하고자 하였다. FWD시험과 단차측정을 통하여 얻어진 데이터의 분석결과 접속슬래브 하단의 강성은 초기 가정치에 비하여 공용후 크게 떨어지는 추세를 확인할 수 있었다. 이러한 포장하부강성의 감소는 포장 균열에서의 침투수 및 절토부에서의 용출수 침투에 의한 뒷채움재료 및 하부구조 재료의 침식과 재료의 이완 및 포화 등에 의한 것으로 판단되었다. 또한 접속슬래브와 완충슬래브 사이에서의 단차발생이 확인되었으며 이는 두 슬래브 사이에 단차발생을 억제하기 위한 새로운 설계가 필요함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 07-기술혁신-A01)(스마트하이웨이 사업단)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Lary R. Lenke, Settlement Issue - Bridge Approach Slabs (Final Report Phase 1), 2006
2. Seo,J.B., The Bump at the End of the Bridge: An Investigation, Korea University, 2003