접속슬래브 컬링 거동 수치해석

Numerical Analysis of Curling Behavior of Approach Slab

박희범* · 김성민** · 엄인섭***

Park, Hee Beom · Kim, Seong-Min · Eum, In-Sub

1. 서 론

교량의 교대와 도로 포장 간의 구간을 연결해 주는 역할을 수행하는 접속슬래브는 일반적으로 뒷채움부에 시공되기 때문에 지반침하 및 이에 따른 하부지지력의 감소에 의해 잦은 손상이 발생하고 있는 실정이다. 이러한 접속슬래브의 파손 원인으로는 지반침하와 함께 차량에 의한 하중과 온도 및 습도변화 등에 의한 환경하중을 들 수 있다. 특히 환경하중에 의한 콘크리트 포장의 거동은 초기 균열 등의 초기 공용성을 지배하기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다(Jeong and Zollinger, 2004; Kim et al., 1998). 접속슬래브는 교량 슬래브 일부로 가정하여 설계하고 있는 실정이기 때문에 지반위에 놓여 있음에도 불구하고 콘크리트 포장에서 중요시 되고 있는 환경하중에 의한 거동은 고려되고 있지 않다. 지반위에 놓인 슬래브에 온도하중이 작용하면 슬래브 상하부의 온도차에 의해 슬래브에 휨 현상이 발생하며 슬래브의 중앙이 위로 솟는 현상을 컬다운이라 하며 반대 현상을 컬업이라 한다. 이러한 컬링 현상은 슬래브에 인장응력을 발생시키기 때문에 콘크리트 포장에서는 컬링 거동이 매우 중요하게 다루어지고 있다.

본 연구에서는 접속슬래브의 하부지반 침하 등 하부층의 지지력이 부분적으로 미흡한 경우를 고려하여 접속슬래브가 환경하중을 받을 때의 컬링 거동을 수치해석을 통해 분석하였으며 이러한 연구의 주요 내용 및 결과를 본 논문에서 설명한다.

2. 구조 해석 모형

지반 침하에 따른 접속 슬래브의 컬링 거동을 적절히 예측할 수 있는 구조해석 모델을 구성하고 분석하기 위하여 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS(ABAQUS, 2007)를 사용하여 분석을 수행하였다. 기본 모델은 콘크리트 슬래브의 종방향 길이 9m, 횡방향 길이 4m, 두께 0.4m로 하여 구성하였다. 해석에 사용된 물성치로는 콘크리트 탄성계수 30GPa, 포아송비 0.15를 사용하였다. 콘크리트 슬래브는 3차원 고체요소로 구성하였으며 하부지지층은 무인장스프링을 사용하여 탄성지반으로 구성하였다.

현재 접속슬래브의 설계는 슬래브 종방향 길이의 70%를 지간으로 하는 단순보로 계산하도록 하고 있다(도로부대시설, 1998). 본 연구에서는 실제 설계에 적용된 길이 7.4m의 접속슬래브를 도로부대시설에서 제시된 설계방법대로 이의 70%인 5.2m 길이의 단순보로 가정하여 계산하는 것을 기준값으로 했으며 이를 토대로 접속 슬래브에 5.2m의 지반 침하가 발생하였다는 가정 하에 그림 1과 같이 슬래브 길이 및 지반 강성에 따른 차륜하중에 의한 최대 인장응력을 우선적으로 분석하였다. 그림에서 나타낸 바와 같이 접속슬래브에 최대 5.2m의 지반 침하가 발생하였을 때 차륜하중에 의한 최대 인장응력은 슬래브 길이가 약 9m보다 길어질 경우에는 거의 비슷한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 길이 9m의 슬래브를 기준으로 온도하중에 의한 접속슬래브의 컬링거동을 분석하였다.

* 학생회원·경희대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(E-mail:bambams@khu.ac.kr) - 발표자

** 정회원·경희대학교 공과대학 토목공학과 교수·공학박사·교신저자(E-mail:seongmin@khu.ac.kr)

*** 정회원·경희대학교 공과대학 토목공학과 박사과정·한국도로공사 부장(E-mail:dthree@ex.co.kr)

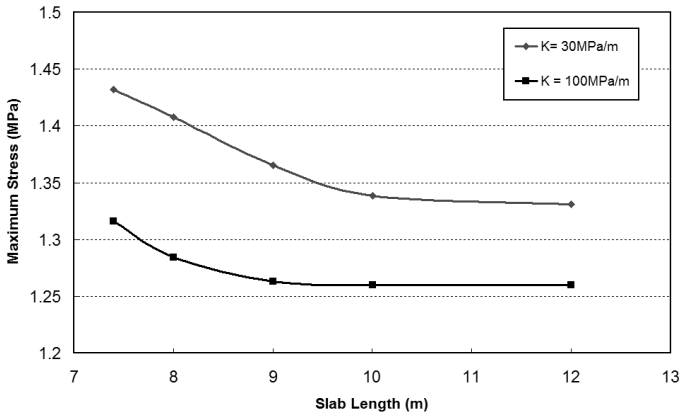

그림 1. 슬래브 길이 및 지반 강성에 따른 최대 인장응력

지반침하에 따른 슬래브 및 하부층의 모델링 방법으로는 그림 2에 나타낸 바와 같이 세 가지 경우를 고려하였다. 첫 번째는 접속슬래브가 아닌 일반 콘크리트 슬래브와 하부층을 모델링한 경우이며 두 번째는 교대와의 접속 구간에 지점부 힌지를 설치하는 접속슬래브에서 지반 침하가 발생하지 않았을 때의 하부층 모델링이다. 다른 하나는 접속슬래브에 부분적 지반침하가 지점부에서 5.2m까지 발생하였을 경우의 하부층을 모델링 한 경우이다.

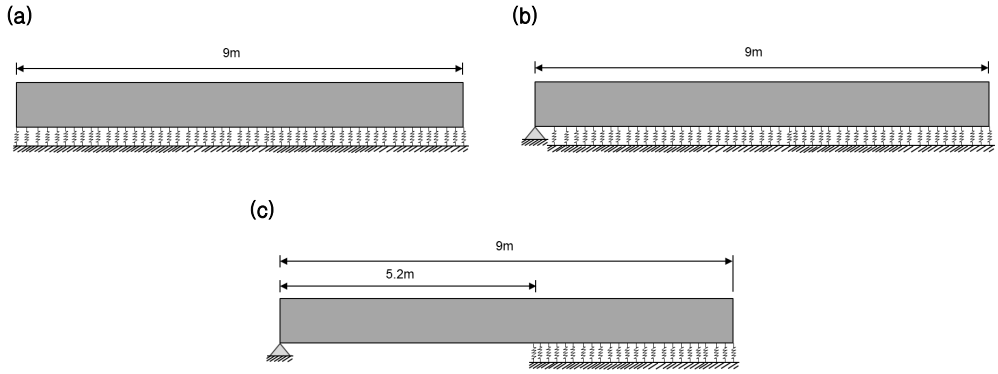

그림 2. 슬래브 하부층 모델링: (a) 포장 슬래브, (b) 지반 침하가 발생하지 않은 접속슬래브, (c) 부분적 지반 침하가 발생한 접속슬래브

3. 컬링 거동 분석

접속슬래브 상하부의 온도 차에 의한 컬링현상으로 슬래브에 발생할 수 있는 응력을 구조해석을 통하여 분석하였다. 슬래브 하부의 지지층은 복합수직강성을 가지는 무인장 스프링을 사용하여 모델링하였으며 슬래브에 작용하는 온도구배는 0.5℃/cm이며 선형으로 가정하여 해석을 수행하였다. 슬래브의 컬링 거동은 슬래브의 단부가 위로 솟고 중앙부는 내려앉는 모양의 컬업현상과 그 반대의 컬다운현상을 모두 고려하였다. 컬링현상에 의한 응력은 슬래브 상하부에 압축과 인장이 대칭으로 발생하기 때문에 상하부 표면에서 발생하는 최대 인장응력을 고려하였다.

그림 3은 컬업에 의해서 발생하는 접속슬래브의 변형과 슬래브 상부의 종방향 인장응력 분포를 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 지점부가 없는 일반 포장 슬래브이므로 양끝부분에서 모두 변형이 생기는 것을 볼 수

있으나 그림 3(b)와 (c)에서는 지점부가 있기 때문에 지점부에서 구속이 되어 지점이 없는 부분에서만 변형이 생기는 것을 알 수 있다. 또한 그림 3(c)에서 볼 수 있듯이 지반 침하가 발생한 경우 슬래브의 최대 인장응력은 슬래브를 지지하는 지반이 존재하는 곳에서 발생하는 것을 알 수 있다.

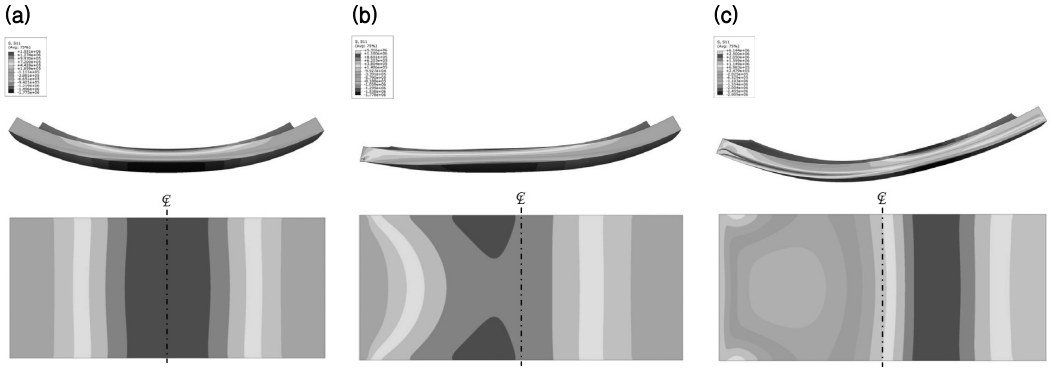

그림 3. 컬업에 의한 접속슬래브의 변형 및 슬래브 상부의 종방향 인장응력 분포; (a) 포장 슬래브, (b) 지반 침하가 발생하지 않은 접속슬래브, (c) 부분적 지반 침하가 발생한 접속슬래브

그림 4는 컬다운에 의해서 발생하는 접속슬래브의 변형과 슬래브 하부의 종방향 인장응력 분포를 나타낸 것이다. 그림3과 마찬가지로 컬다운 발생 시 지점부가 없는 일반 슬래브는 양끝부분에서 모두 변형이 생기는 것을 볼 수 있으며 지점부가 있는 접속슬래브는 지점이 없는 부분에서만 변형이 생기는 것을 알 수 있다. 하지만 컬다운 발생 시에는 그림 4(c)에서 볼 수 있듯이 컬업이 발생할 때와는 달리 지반 침하가 발생하였을 때 슬래브의 최대 인장응력은 지반이 침하된 곳에서 발생하는 것을 알 수 있다.

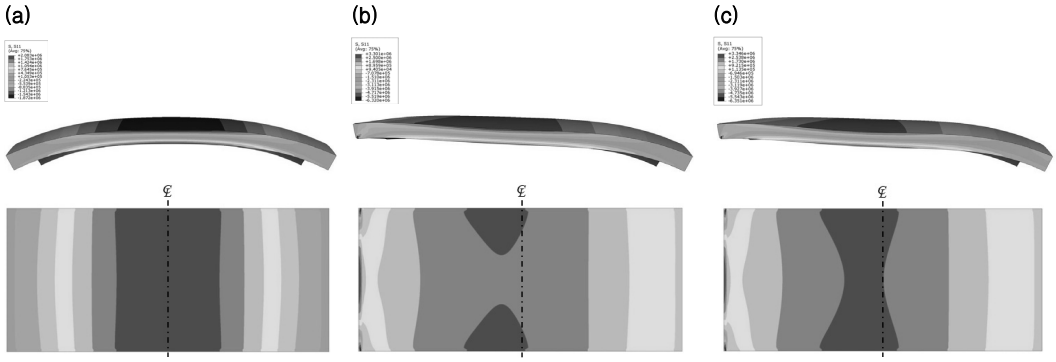

그림 4. 컬다운에 의한 접속슬래브의 변형 및 슬래브 하부의 인장응력 분포; (a) 포장 슬래브, (b) 지반 침하가 발생하지 않은 접속슬래브, (c) 부분적 지반 침하가 발생한 접속슬래브

하부지반 강성이 온도하중에 의해 접속슬래브가 컬링 할 때 어떠한 영향을 미치는 지를 분석하여 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)에서 볼 수 있듯이 접속슬래브에 컬업이 발생 할 때 부분적 지반 침하가 발생한 접속슬래브에서 가장 작은 최대인장응력을 나타내었고 지반 침하가 발생하지 않은 접속슬래브에서 가장 큰 최대인장응력을 나타내는 것을 알 수 있다. 하지만 그림 5(b)에 나타낸 컬다운 발생 시 최대인장응력을 살펴보면 지반 침하가 발생한 접속슬래브에서 가장 큰 최대인장응력을 나타내었으며 응력의 크기도 컬업이 발생할 때의 최대응력보다 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이를 통해 지반침하가 발생한 접속슬래브는

컬업보다 컬다운이 발생 하였을 때 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 컬업과 컬다운에 관계없이 지반침하가 발생하지 않은 접속슬래브에서의 최대인장응력은 일반 포장 슬래브에서의 최대인장응력보다 큰 것을 알 수 있다.

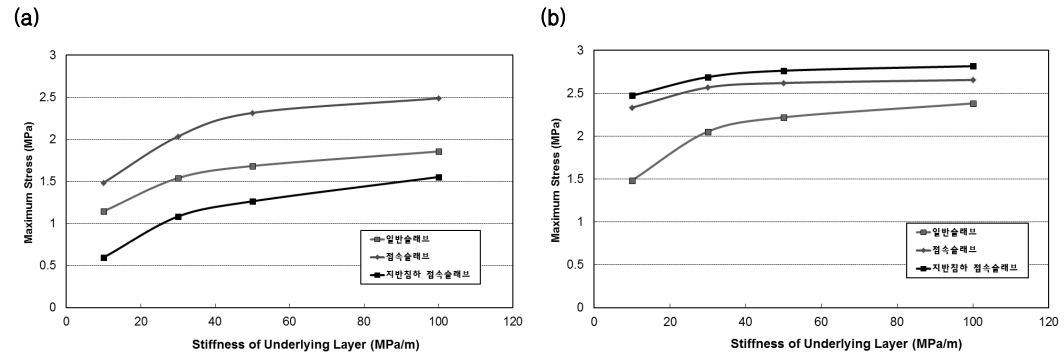

그림 5. 컬링 발생 시 하부지반 조건에 따른 접속슬래브 최대 인장응력: (a) 컬업 (b) 컬다운

4. 결 론

본 연구는 지반침하가 발생한 경우 접속슬래브가 온도하중에 의해 컬링할 때의 거동을 구조해석을 통해 분석하기 위해 수행되었다. 구조해석은 일반 포장 슬래브, 지반침하가 발생하지 않았을 경우의 접속슬래브, 지반침하가 발생한 경우의 접속슬래브로 나누어 3차원 고체 요소 및 무인장 스프링을 이용한 유한요소 모델을 개발하여 수치 해석을 수행하였다. 각각의 경우에 대해서 온도하중에 의한 컬링이 발생 할 때의 지반침하와 지반강성에 따른 슬래브의 최대인장응력을 분석하였으며 이러한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 슬래브의 최대 지반 처짐 거리를 교대로 부터 5.2m로 가정하였을 때 슬래브의 길이가 9m 이상일 경우 차륜하중에 의해 발생하는 최대 인장응력의 크기는 거의 일정한 것을 알 수 있었다.
- 컬업이 발생할 때 부분적 지반 침하가 발생한 접속슬래브에서 가장 작은 최대인장응력을 나타내고 지반침하가 발생하지 않은 접속슬래브에서 가장 큰 최대인장응력을 나타내었다.
- 컬다운이 발생할 때 지반 침하가 발생하지 않은 접속슬래브에서 가장 작은 최대인장응력을 나타내고 지반침하가 발생한 접속슬래브에서 가장 큰 최대인장응력을 나타내었다.
- 지반침하가 발생한 접속슬래브는 컬업보다 컬다운이 발생하였을 때 더 큰 최대인장응력이 발생하게 된다.

참고 문헌

1. 건설교통부(1998). 도로부대시설(교량부대시설, 철근가공조립, 기타시설편)
2. ABAQUS (2007). User's Manual Version 6.7, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, R. I.
3. Jeong, J. H. and Zollinger, D. Z. (2004). "Early-age curling and warping behavior: Insights from a fully instrumented test-slab system," Transportation Research Record - Journal of the Transportation Research Board, No.1896, National Research Council. pp. 66-74.
4. Kim, S.-M., Won, M. C. and McCullough, B. F. (1998). "Numerical modeling of continuously reinforced concrete pavement subjected to environmental loads," Transportation Research Record, No. 1629, Transportation Research Board, National Research Council, pp. 76-89.