

프리스트레스 접속슬래브의 수치해석 모형 개발

Development of Numerical Analysis Model of Prestressed Approach Slab

오한진* · 박희범** · 김성민*** · 엄인섭**** · 이석근*****

Oh, Han Jin · Park, Hee Beom · Kim, Seong-Min · Eum, In Sub · Rhee, Suk-Keun

1. 서론

교량과 도로 포장에 접속하는 부분에 시공되는 접속슬래브는 하부지지층의 침하 등에 따라 파손이 발생하며 이는 도로의 평탄성을 저감시켜 사용자의 만족도 및 도로포장 유지관리에 있어서 심각한 문제로 지적되고 있다. 접속슬래브에 대한 포장 평탄성 확보방안으로 프리스트레싱 기법을 도입한 일체형 접속슬래브(Single-PTAS: Single Post-Tensioned Approach Slab) 시스템을 들 수 있다. 일체형 PTAS는 기존의 접속슬래브와 완충슬래브를 하나로 통합하고 프리스트레싱 기법을 도입하여 일체화시킨 형식의 접속슬래브이다. 이러한 일체형 PTAS는 접속슬래브에 대한 기존의 구조적 보의 거동 분석이 아닌 포장체의 개념으로써 환경 및 차륜하중에 대한 거동을 고려한다. 따라서 수치해석을 통한 접속슬래브의 환경 및 차륜하중에 대한 거동 분석이 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 접속슬래브에 대한 수치해석의 편의성을 도모하기 위하여 단순화된 접속슬래브의 모델을 개발하였다. 또한 실제 시공에 사용되는 실물 모델과 단순 모델을 비교 분석하여 단순 모델의 사용성을 검토하였으며 이러한 연구의 주요 내용 및 결과를 본 논문에서 설명한다.

2. 구조해석 모형

유한요소해석 프로그램인 ABAQUS(ABAQUS, 2007)를 사용하여 접속슬래브 구조해석 모델을 개발하였다. 그림 1에서 보인 바와 같이 실제 시험 시공에서 적용된 실물 모형모델과 해석의 편의성을 위해 이를 단순화시킨 모델을 각각 사용하여 비교 분석하였다. 슬래브의 크기는 종방향 길이 9m, 횡방향 폭 12m, 두께 0.4m이다. 실물 모형에서는 교대에 접속되는 부분의 두께는 0.8m이며 종방향 길이 2.3m인 지점까지 두께가 감소한다.

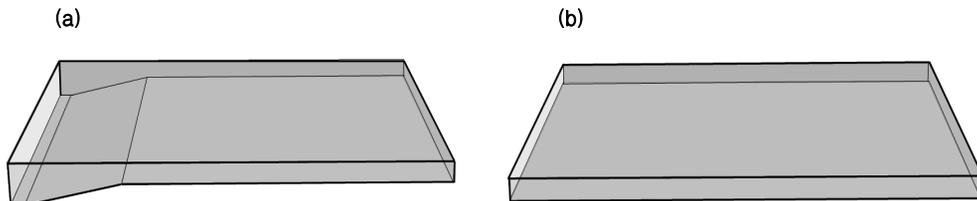


그림 1. 접속슬래브 모델: (a) 실물 모형, (b) 단순화 모형

* 경희대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : fantum2040@khu.ac.kr) - 발표자
** 경희대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : bambams@khu.ac.kr)
*** 정희원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자(E-mail : seongmin@khu.ac.kr)
**** 정희원 · 한국도로공사 수도권사업단 · 공학박사(E-mail : dthree@ex.co.kr)
***** 정희원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail : skrhee@khu.ac.kr)

그림 2는 구조해석 모델을 타나낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 접속슬래브는 3차원 고체요소를 사용하여 모델링 하였으며 요소의 크기는 횡방향으로 0.1m, 종방향, 수직방향으로 0.05m로 하였다. 슬래브를 지지하는 하부층은 스프링을 이용하여 모델링을 하였다. 슬래브의 모델이 횡방향으로 대칭이기 때문에 슬래브의 1/2만 고려하여 모델을 개발하였으며 대칭을 이용한 해석이므로 대칭면에서 대칭면과 수직되는 방향의 자유도는 구속하는 경계조건을 사용하였다. 해석에 사용된 접속슬래브의 재료 특성의 입력값을 표 1에 나타내었다.

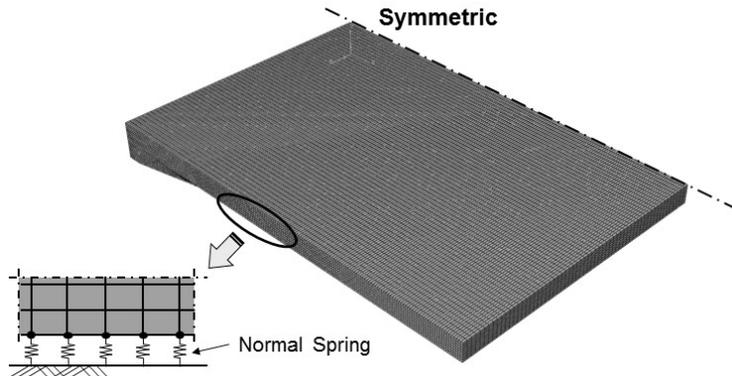


그림 2. 접속슬래브 구조해석 모델

표 1. 해석에 사용된 입력값

변 수	입 력 값
콘크리트 탄성계수(GPa)	30
콘크리트 포와송 비	0.15
콘크리트 열팽창 계수(/°C)	0.00001
하부층 수직저항(MN/m ³)	100
온도 경사(°C/cm)	0.5

3. 환경하중에 대한 모형 분석

실물 모형 모델과 단순화 모형 모델이 환경하중을 받을 때의 거동을 비교 분석하여 단순화 모형모델의 사용성을 분석하였다. 실물 모형 모델과 단순화 모형 모델을 비교하게 될 때 접속슬래브는 일반 포장 슬래브와 달리 교량과 연결되는 부분이 힌지 지점부로 되어 있기 때문에 이 부분을 모델링 하는 것이 중요시 된다고 할 수 있다. 힌지 지점부가 해석상으로는 수평, 수직 방향을 모두 구속하는 요소이지만 실제 시공된 지점부는 수평변위와 하향 수직변위는 구속하고 있으나 상향 수직변위는 구속하지 않고 있다. 따라서 이러한 힌지 지점부의 거동을 그림 3(a)에 나타낸 바와 같이 모델링하였다. 켤업 현상이 발생할 경우에는 실제로 중앙부분만 하부층과 부착되어 있고 나머지 부분들은 위로 들리는 현상을 나타내기 때문에 모델링에서 볼 수 있듯이 힌지 지점부 대칭면의 가운데 부분은 수직방향 변위, 수평방향 변위를 모두 구속하였고 나머지 부분에서는 하향 수직변위, 수평방향 변위만 구속하여 상향 수직 변화가 가능하도록 하였다. 마찬가지로 켤다운 현상이 발생할 경우에는 대칭면의 모서리 부분에서 수직변위, 수평변위를 구속하였고 나머지 부분에서는 하향 수직변위, 수평변위를 구속하였다. 또한 그림 3(b)에서와 같이 힌지 지점부 모사를 2차원적으로 단순화하여 실제 힌지 지점부 모사 모델과 비교 분석해 보았다. 그림 4에서는 단순화 모형 모델에 실제 힌지 지점부 모델과 단순화 힌지 모델을 모사한 모습을 나타내었다.

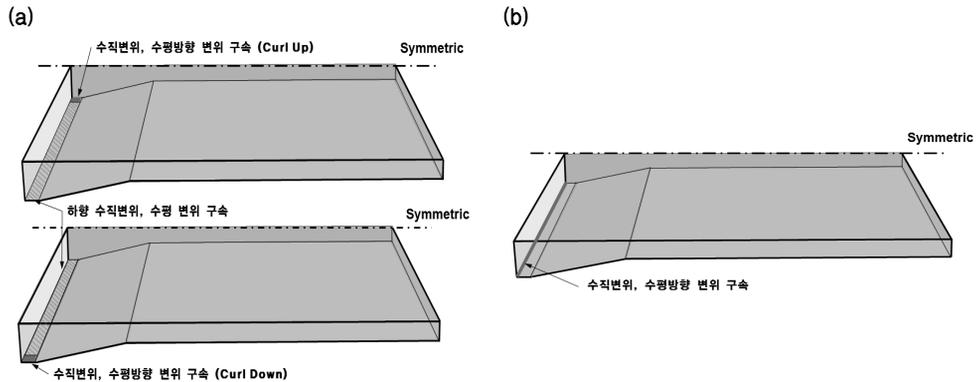


그림 3. 실물 접속슬래브 힌지 지점부 모델링: (a) 실제 거동 모사, (b) 단순화 모사

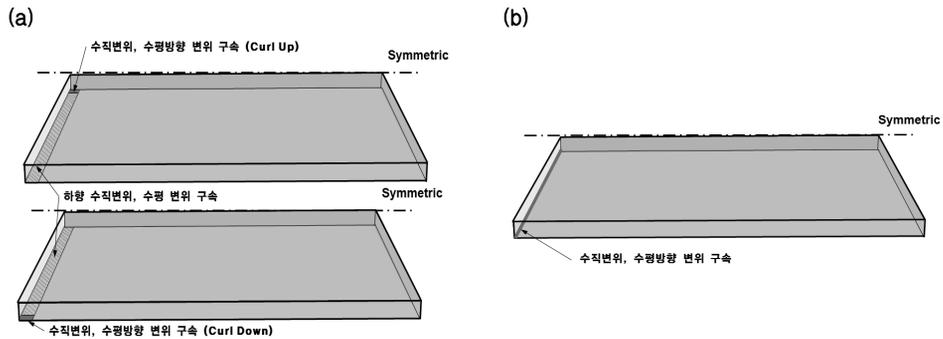


그림 4. 단순화 접속슬래브 힌지 지점부 모델링: (a) 실제 거동 모사, (b) 단순화 모사

하부지반 강성이 100MN/m^3 인 경우에 대해서 각 모델의 힌지 지점부 모델링 조건 별로 분석하여 표 2에 나타내었다. 표에서 볼 수 있듯이 실물 모델과 단순화 모델 모두 힌지 지점부의 모델에 따른 오차는 5% 미만으로 매우 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 이를 통해 구조해석의 편의성을 위해 단순화 모델과 단순화 힌지를 사용해도 타당한 것으로 분석되었다.

표 2. 지점부 모델링에 따른 최대 인장응력

구 분		실물 모델			단순화 모델		
		실제 거동 모사 힌지	단순화 힌지	편 차	실제 거동 모사 힌지	단순화 힌지	편 차
종방향 응력 (MPa)	컬다운	3.464	3.338	3.64%	3.339	3.461	3.65%
	컬업	3.439	3.456	0.49%	3.442	3.395	1.37%
횡방향 응력 (MPa)	컬다운	3.269	3.253	0.49%	3.311	3.474	4.92%
	컬업	3.175	3.259	2.65%	3.233	3.31	2.38%

4. 차량하중에 대한 모형 분석

실물 모델과 단순화 모형 모델이 차량하중을 받을 때의 거동을 비교 분석하여 단순화 모형 모델의 사용성을 분석하였다. 실물모델과 단순화 모델의 차륜 하중 재하에 따른 종방향 인장응력 분포를 그림 5에 나타내었다. 모델에 따른 거동비교는 단축하중을 모서리부에 작용하였을 경우를 고려하였으며 그림에서 볼 수 있듯이 현지 지점부에서만 인장응력에 대한 차이를 나타내고 약 2m 지점에서 부터는 거의 비슷하게 나타났다. 현지 지점부에서 2m 지점까지는 실물모델의 단면이 0.8m로 두껍기 때문에 차륜하중에 의한 인장응력이 작게 나타난다. 실질적으로 접속슬래브에서 차륜하중에 의한 최대 인장응력은 약 2m 부분에서 발생하기 때문에 단순화 모델을 이용하여 해석을 수행하여도 타당한 것으로 분석되었다.

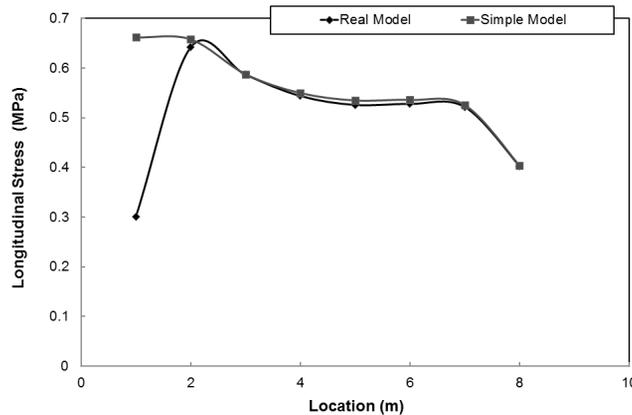


그림 5. 실물모델과 단순화 모델의 차륜하중에 의한 인장응력 비교

5. 결 론

본 연구에서는 접속슬래브에 대한 수치해석의 편의성을 도모하기 위한 단순 모델을 개발하였으며 개발된 단순 모델을 실제 시공에 사용되는 실물 모형모델과 비교 분석하여 그 사용성을 검토하였다. 구조해석을 통해 차량하중과 환경하중에 대하여 실물 모형 모델과 단순 모델을 각각 비교 분석하였다.

- 환경하중에 의한 컬링 거동 분석을 통해 실물모형과 단순화모형 그리고 실제 거동 모사 현지와 단순화 현지를 각각 모델링하여 비교해 본 결과, 발생하는 응력 편차가 5% 이내로 단순화모형과 단순화현지를 사용한 해석을 통해서도 유효한 분석을 수행할 수 있는 것을 알 수 있었다.
- 차량하중에 의한 거동 분석을 위해 실물모형과 단순화모형에 대하여 모서리부 단축하중이 재하된 경우를 비교해 본 결과 차량하중에 의한 최대인장응력은 두 모델에서 거의 유사하게 발생하였으며 교대 근처에서의 인장응력 분포에만 차이가 있었다. 따라서 단순화모형을 사용하여 적절한 분석을 수행할 수 있는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] ABAQUS(2007), User's Manual Version 6.7, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc. Pawtucket, R. I.