한국도로학회 논문집
제13권 제3호 2011년 9월
pp. 7 ~ 14

환경하중에 의한 교량 프리스트레스 접속슬래브의 컬링 거동 수치 해석적 분석

Numerical Analysis of Curling Behavior of Prestressed Approach Slab Subjected to Environmental Loads

박 희 범 Park, Hee Beom | 경희대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : bambams@khu.ac.kr)
엄 인 섭 Eum, In Sub | 정회원 · 한국도로공사 수도권사업단 부장, 공학박사 (E-mail : dthree@ex.co.kr)
김 성 민 Kim, Seong-Min | 정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : seongmin@khu.ac.kr)
이 석 근 Rhee, Suk-Keun | 정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 (E-mail : skrhee@khu.ac.kr)

ABSTRACT

The numerical analyses were performed to investigate the curling behavior of the post-tensioned prestressed concrete approach slab (PTAS) under environmental loads. A technique to include properly the boundary conditions of one end of PTAS that was connected to the bridge abutment using hinges was proposed for the numerical model. The applicability of a simplified model not having hunches was also investigated. By using the developed models, the curling behavior of PTAS was analyzed when the foundation settlement occurred. The analysis results showed that the maximum tensile stress obtained from the simplified model involving a simplified hinge connection was very closed to that obtained from a rigorous model. When the slab curled up, the maximum tensile stress occurred in the model including no foundation settlement, but when the slab curled down, the maximum stress occurred in the model including partial settlement of the foundation. Therefore, the design of PTAS should be performed considering those maximum tensile stresses.

KEYWORDS

approach slab, prestress, environmental load, curling, foundation settlement

요지

본 연구는 프리스트레스 접속슬래브(PTAS: Post-Tensioned Approach Slab)가 환경하중을 받아 컬링할 때의 거동을 수치해석을 통해 적절히 분석하기 위하여 수행되었다. PTAS의 한쪽 단부가 교대에 힌지로 연결되는 부분을 해석 모형에 적합하게 포함시킬 수 있는 방법을 마련하였으며, 접속슬래브의 헌치 부분을 삭제한 단순 형상의 접속슬래브 모델의 사용성도 분석하였다. 개발한 모델을 이용하여 교대 뒤채움부 침하에 의한 접속슬래브의 컬링 응력 특성을 분석하였다. 연구 결과, PTAS의 단순화 힌지를 포함한 단순 형상 모델은 실제 형상 모델의 최대인장응력을 산출하기에 적합한 것을 알 수 있었다. 또한 컬업 시에는 하부지반 침하가 없는 PTAS에서 최대인장응력이 도출되었으며, 컬다운 시에는 하부지반 침하가 진행된 PTAS에서 최대인장응력이 발생하므로 이러한 컬링 응력을 고려하여 설계를 수행하는 것이 적절할 것으로 분석되었다.

핵심용어

접속슬래브, 프리스트레스, 환경하중, 컬링, 지반침하

1. 서론

교량의 교대와 토공부와의 접속되는 구간은 뒤채움 구간이며 이러한 구간에서는 포장의 파손이 매우 심각하였다. 따라서 교대 뒤채움부 포장의 파손문제를 해결하기 위하여 1973년부터 접속슬래브(Approach Slab)를 보강 설치하였다. 하지만 그림 1에서 보여주는 바와

같이 하부지반의 부등침하로 인해 포장면의 단차가 발생하고 이로 인해 평탄성 불량 및 포장 파손과 같은 문제가 계속 발생하여 왔으며 현재까지도 종전의 개념에서 그리 진전되지 못한 상태에서 미봉책의 개선노력만 시행되고 있다.

지금까지 접속슬래브는 교량 슬래브의 범주에 포함되어 뒤채움부라는 지반 위에 놓여 있음에도 불구하고 구조적인 측면에서 단순보 구조설계 개념을 도입하여 포장체로써의 거동 특성을 고려하지 않고 설계를 수행하였다. 그러나 2007년과 2008년에 시행된 경부고속도로 등 30개 노선 9,176개소의 접속슬래브 실태 조사에 의하면 수선유지가 필요한 고속도로 포장상태지수(HPCI: Highway Pavement Condition Index)가 3 이하인 곳이 1,526개소로써 16.6%의 파손율을 보이는 등 기존의 경험론을 바탕으로 제시된 접속슬래브의 설계개념이나 방법에 대한 보완대책만으로는 근원적인 문제해결을 못하고 있음을 알 수 있다(한국도로공사, 2007, 2008).

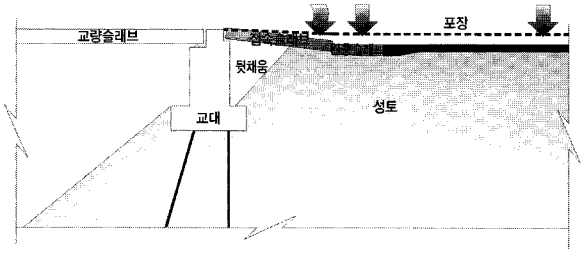


그림 1. 단차발생에 의한 접속슬래브 파손

단순보 구조설계 개념을 도입하여 시공된 접속슬래브의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 포스트텐션 접속슬래브(PTAS: Post-Tensioned Approach Slab)를 들 수 있다. PTAS는 프리스트레싱 기법을 도입하여 슬래브의 단면을 증가시키지 않고도 인장응력을 감소시키며 기존의 접속 및 완충슬래브 시스템을 단일 접속슬래브로 일체화할 수 있다. 기존의 단순보 설계 개념을 이용하면 연장이 긴 슬래브를 접속슬래브로 사용하려면 단면의 두께가 지나치게 커지기 때문에 이를 두 개의 슬래브(접속슬래브와 완충슬래브)로 분리시킴으로써 단면의 증가를 방지하였다. 하지만 이러한 시스템에서 접속슬래브는 연장이 그리 길지 않아서 뒤채움부의 침하에 따른 영향을 직접적으로 받아 함께 침하함으로써 평탄성의 저하 및 파손을 야기하였다. 따라서 접속슬래브로써 가장 효과적인 공용성을 발휘하기 위해서는 단면의 증가 없이 연장이 충분히 길어서 뒤채움부 침하가 발생하여도 함께 침하하지 않는 접속슬래브를 사용하는 것이라 할 수 있다. PTAS는 이러한 측면을 지닌 신개념의 접속슬래브라 할 수 있다.

PTAS는 2010년에 수행된 시험시공 및 거동 계측을 통해 환경하중에 의해서 콘크리트 포장과 유사한 거동을 나타낸다는 것을 알 수 있었다(박희범 외, 2010). 하지만 PTAS는 교량과 연결되는 교대에서는 힌지로 체결되어 있기 때문에 환경하중에 의한 컬링거동이 일반적인 콘크리트 포장과는 다르게 나타나게 된다. 따라서 PTAS와 같이 슬래브의 한쪽 단부가 힌지와 같은 지점부로 구속되어 있는 지반위에 놓인 슬래브의 컬링 거동을 분석하는 것이 PTAS의 거동을 적절히 이해하는데 필요하다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 구조해석을 통해 PTAS와 같이 지반위에 놓인 슬래브의 한쪽 단부가 힌지로 구속된 시스템의 환경하중에 대한 컬링 거동 특성을 분석하는 것이다. 이를 위해 유한요소법을 이용하여 접속슬래브 모델을 개발하였으며, 단부 구속 조건 및 하부지반 침하에 따른 거동 특성을 분석하였다.

2. 접속슬래브 기본 모델링

한쪽 단부가 힌지와 같은 지점부로 구속되어 있고 다른 부분은 하부지반 위에 놓여있는 PTAS의 환경하중에 대한 거동을 분석하기 위하여 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS(ABAQUS, 2007)를 사용하였다. 그림 2는 PTAS의 유한요소해석 모델을 타나낸 그림이다. PTAS에서 교대 위에 힌지로 체결되는 단부는 다른 부분에 비해 두께가 두꺼우며 이러한 두께는 소요두께가 될 때까지 종방향으로 갈수록 점차 감소하는 구조이다. 그림에서 보는 바와 같이 접속슬래브는 3차원 고체요소를 사용하여 모델링 하였으며 요소의 크기는 횡방향으로 0.1m, 종방향과 수직방향으로는 0.05m로 하여 유한요소의 형상비에 의한 해석 오차가 거의 발생하지 않도록 하였다. 접속슬래브를 지지하는 하부층은 필요에 따라 일반 스프링(Normal Spring)과 무인장 스프링(Tensionless Spring)을 이용하여 모델링 하였다. 실물 형상 모델과 단순화 형상 모델을 비교 분석할 때에는 일반 스프링을 사용하여 해석을 수행하였으며, 단순화 형상 모델을 이용하여 환경하중에 대한 접속슬래브의 거동 특성을 분석할 때에는 무인장 스프링을 사용함으로써 컬링 시 슬래브와 지반과의 공간 발생을 고려하여 해석을 수행하였다. 접속슬래브가 환경하중을 받을 때의 거동은 중앙선을 따라 횡방향으로 대칭이기 때문에

슬래브의 1/2만 고려하여 모델을 개발하였다. 이때 대칭면에서의 경계조건은 대칭면과 수직되는 방향의 자유도, 즉 횡방향 변위는 구속하고 종방향과 수직방향 변위는 자유롭게 발생할 수 있도록 하였다.

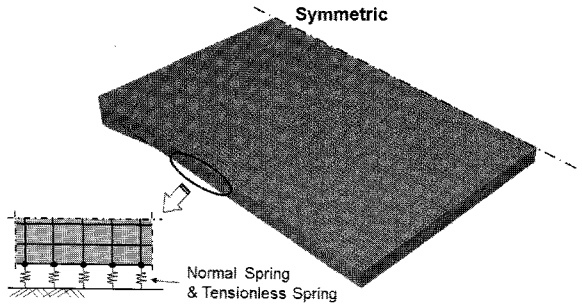


그림 2. 프리스트레스 접속슬래브 구조해석 모델

본 해석에 사용된 PTAS의 제원 및 재료 특성의 입력값을 표 1에 나타내었다.

표 1. 해석에 사용된 입력값

변 수	입 력 값
콘크리트 탄성계수(GPa)	30
콘크리트 포와송비	0.15
콘크리트 열팽창계수(/℃)	0.00001
슬래브 크기(m): 종, 횡, 두께 (괄호안은 대칭을 이용한 모델)	9×12×0.4 (9×6×0.4)
하부층 수직강성(MN/m³)	10, 30, 50, 100, 200
온도경사(℃/cm)	0.5

3. 접속슬래브 단순화 모형 개발

접속슬래브는 교대 위에 놓이는 한쪽 단부 부분에서 힌지로 교대와 체결되며 이미 언급한 바와 같이 이 부분의 슬래브 두께를 가장 두껍게 함으로써 헌치(Hunch) 구간이 형성된다. 또한 힌지 지점부가 해석상으로는 수평, 수직 방향을 모두 구속하는 요소이지만 접속슬래브에서 실제로 사용되는 힌지 지점부는 그림 3에서 보여주는 바와 같이 교대에 수직 철근을 배근하고 이러한 철근에 속을 필러로 채운 원통형 부재를 씌운 형태이며 콘크리트가 이 부재 위에 타설되게 된다. 따라서 이러한 형태의 힌지는 접속슬래브의 수평변위와 하향 수직변위는 구속하게 되나 상향 수직변위는 구속하지 않게 된다. 이러한 요소들을 모두 고려하게 되면 수치 해석이 복잡해지기 때문에 편이성을 위해 포장 슬래브와 같이 접속슬래브의 헌치 구간을 삭제하고 일반적인 힌지 지점을 적용한 단순화 형상의 접속슬래브 모델을 개발하여 이에 대한 적절성을 분석하였다.

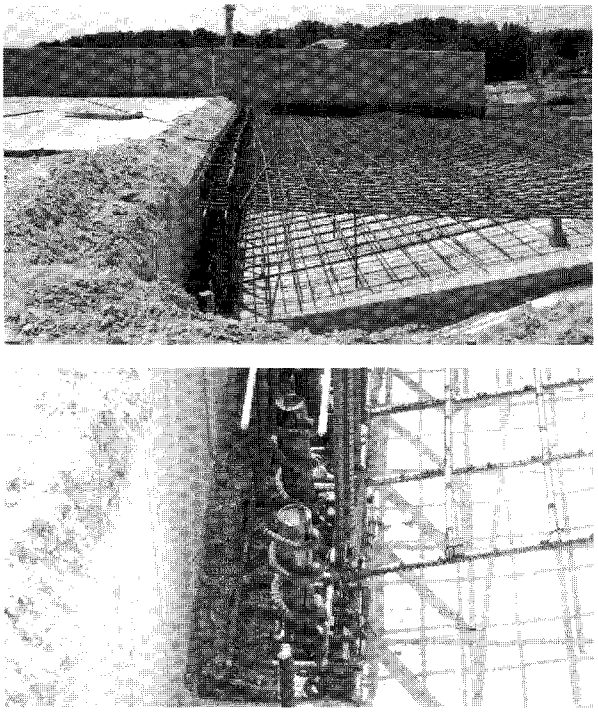
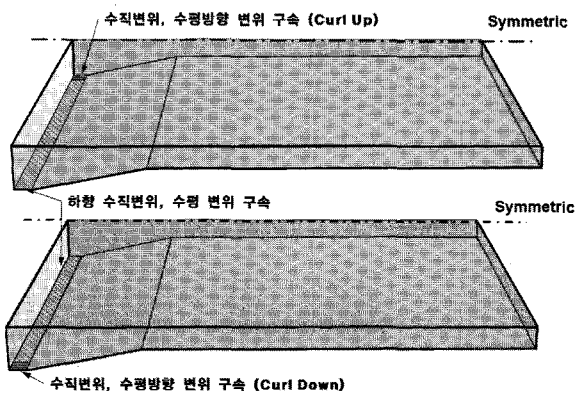
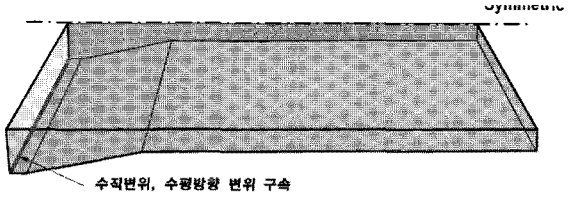


그림 3. 접속슬래브 힌지 구조

우선 실물 형상 모델과 단순화 형상 모델이 환경하중을 받을 때의 거동을 비교 분석하였다. 헌치 구간의 존재유무에 대한 거동 차이 및 실제거동을 모사한 힌지 지점부와 단순화한 힌지 지점부에 대한 차이를 각각 비교분석하였다. 실제 형상 접속슬래브와 이에 적용되는 힌지 지점부 모델링에 관해 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)의 위쪽 그림에 나타낸 바와 같이 컬업 현상이 발생할 경우에는 슬래브 단부 중앙부분만 교대에 지지되어 있게 되며 단부의 나머지 부분들은 위로 들리는 현상을 나타내기 때문에 그림에서 볼 수 있듯이 힌지 지점부의 가운데 부분은 수직방향 변위, 수평방향 변위를 모두 구속하였고 나머지 부분에서는 하향 수직변위와 수평방향 변위만을 구속하여 상향 수직 변위는 발생 가능하도록 하였다. 컬다운 현상이 발생할 경우에는 그림 4(a)의 아래쪽 그림에서 보여 주는 바와 같이 단부 모서리 부분에서 수직변위와 수평변위가 구속되며 나머지 부분에서는 하향 수직변위와 수평변위만을 구속하였다. 또한 그림 4(b)에서와 같이 힌지 지점부 모사를 단순화하여 컬업과 컬다운 현상과 무관하게 항상 수직과 수평변위를 구속하는 힌지 지점부를 모사하여 이러한 단순 경계조건을 사용할 경우의 해석 결과도 비교 분석하였다.



(a) 실제 거동 모사



(b) 단순 모사

그림 4. 실물 접속슬래브 힌지 지점부 모델링

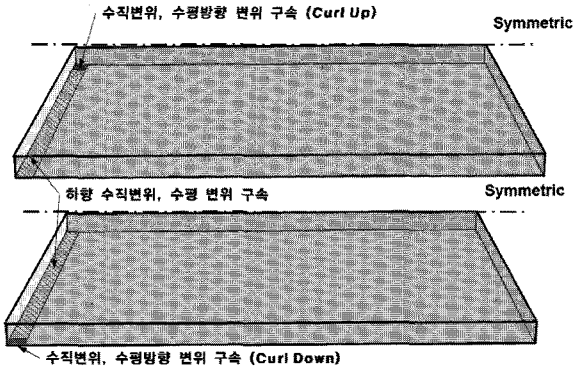
표 2는 하부지반 강성이 100MN/m³일 때 실물 형상의 접속슬래브 모델에 실제 거동을 모사한 힌지와 단순화한 힌지를 사용하여 경계조건을 구성했을 경우에 환경하중에 대한 종횡방향으로의 최대인장응력을 보여준다. 표에서 알 수 있듯이 컬다운 시에는 실제 거동을 모사한 힌지를 사용했을 때의 응력이 단순화한 힌지를 사용했을 때보다 미소하게 커지게 되며, 컬업 시에는 반대로 단순화 힌지를 이용한 모델에서 응력이 다소 크게 발생하게 된다. 하지만 이러한 응력의 편차는 최대 약 4% 이내로 매우 작은 것을 알 수 있다. 따라서 힌지 지점부의 보다 실제적인 경계조건 설정이 환경하중에 대한 접속슬래브의 거동에 크게 영향을 미치지는 않는 것을 알 수 있다.

표 2. 접속슬래브 실물 형상 모델 사용 시 최대인장응력 비교

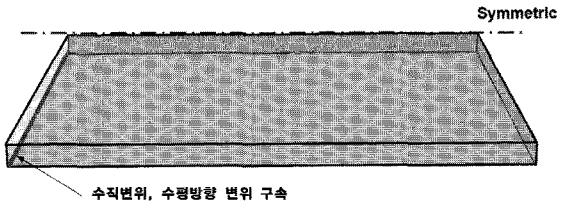
접속슬래브 실물 형상 모델				
힌지 모델링 방법		실제 거동 모사 힌지	단순화 힌지	편 차
종방향 응력 (MPa)	컬다운	3.464	3.338	3.64%
	컬업	3.439	3.456	0.49%
횡방향 응력 (MPa)	컬다운	3.269	3.253	0.49%
	컬업	3.175	3.259	2.65%

일반적으로 접속슬래브의 힌지 부분 슬래브 두께는 포장과 연결되는 반대쪽 부분에서의 접속슬래브 두께의 약 2배 정도이다. 따라서 이러한 접속슬래브는 그림 4와 같이 두께가 변화하는 슬래브로 모델링하여야 하지만 해석의 편의를 위해 포장 슬래브와 같이 두께가 일정한 슬래브로 모델링하여도 해석 결과에 큰 차이가 없으면 이러한 단순화된 모델을 사용하는 것이 보다 경제적일 것이다.

그림 5는 접속슬래브를 단순화시켜서 두께가 일정한 슬래브로 모델링하여 보여준다. 이러한 단순화된 모델에서도 힌지 지점부를 실제 거동을 고려하여 경계조건을 구성한 경우와 단순한 힌지로 경계조건을 구성한 경우로 나누어서 분석을 수행하였다. 실제 힌지 지점부의 거동을 모사한 경계조건을 가진 실물 형상과 단순 형상의 두 가지 접속슬래브 모델을 이용하여 환경하중에 대한 컬링 거동을 분석하였으며 이때 발생하는 최대인장응력을 표 3에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 접속슬래브의 헌치 부분을 없애고 평평하게 슬래브를 모델링하여도 해석 결과에는 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 포장 슬래브와 같이 헌치 부분이 없는 슬래브로 접속슬래브를 모델링하여도 무방할 것으로 판단된다.



(a) 실제 거동 모사



(b) 단순 모사

그림 5. 단순화 접속슬래브 힌지 지점부 모델링

표 3. 접속슬래브 모델에 따른 최대인장응력 비교

슬래브 모델링 방법		실제 형상	단순 형상	편 차
종방향 응력 (MPa)	컬다운	3.464	3.339	3.61%
	컬업	3.439	3.442	0.09%
횡방향 응력 (MPa)	컬다운	3.269	3.311	1.28%
	컬업	3.175	3.233	1.83%

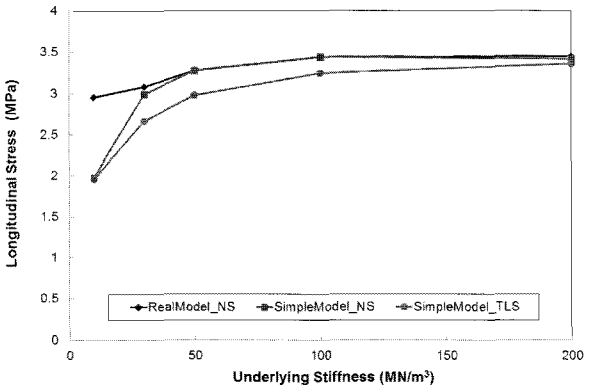
단순 형상의 접속슬래브 모델을 사용할 경우에도 힌지 지점부를 실제 거동을 모사한 경우와 단순화한 경우로 구분하여 경계조건을 설정할 수 있다. 이러한 경우에 대한 해석을 수행한 결과를 표 4에 나타내었다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 힌지 지점부의 모델링 방법은 해석 결과에 큰 영향을 미치지는 않는 것을 알 수 있다. 따라서 접속슬래브를 모델링하여 환경하중에 대한 접속슬래브의 컬링 거동을 예측할 때는 헌치 부분을 생략하여 포장 슬래브와 같은 평평한 슬래브로 모델링하고 힌지 부분을 수평 수직방향으로의 변위를 모두 구속하도록 경계조건을 설정함으로써 매우 편리하게 접속슬래브를 분석할 수 있는 것을 알 수 있다.

표 4. 접속슬래브 단순 형상 모델 사용 시 최대인장응력 비교

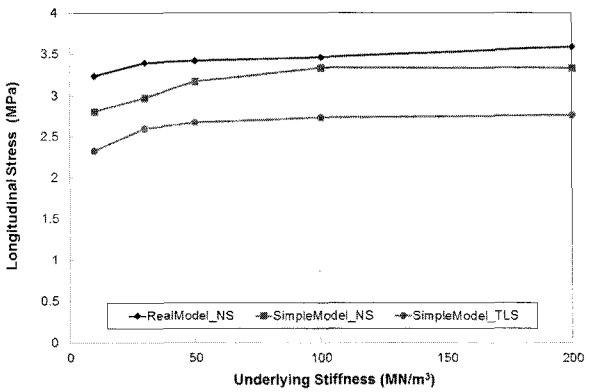
접속슬래브 단순 형상 모델				
힌지 모델링 방법		실제 거동 모사 힌지	단순화 힌지	편 차
종방향 응력 (MPa)	컬다운	3.339	3.461	3.65%
	컬업	3.442	3.395	1.37%
횡방향 응력 (MPa)	컬다운	3.311	3.474	4.92%
	컬업	3.233	3.31	2.38%

포장 슬래브의 컬링거동을 보다 적절히 예측하기 위해서는 하부지지층을 모델링할 때 무인장 스프링을 사용한다(김성민, 2007). 일반 스프링으로 하부층을 모사할 경우에는 슬래브가 컬링현상에 의해 하부층과의 사이에 공간이 발생하더라도 이를 적절히 모사하지 못하고 항상 슬래브에 붙어 있기 때문에 슬래브에 발생하는 응력이 과대평가된다. 접속슬래브도 힌지 지점부를 제외하고는 하부지지층 위에 놓여 있기 때문에 무인장 스프링으로 하부층을 모델링하였을 경우에 발생하는 최대인장응력 특성을 지반 강성 변화에 따라 분석하였다.

그림 6은 접속슬래브에 환경하중이 작용하여 컬링할 때 종방향으로의 최대인장응력을 하부지반 강성의 변화에 따라 보여준다. 본 해석에서는 세 가지의 접속슬래브 모델을 사용하여 비교 분석하였다. 하나의 모델은 실제 형상의 접속슬래브 모델이며 이 경우 하부지반은 일반 스프링으로 구성하였다(그림에서 RealModel_NS로 표기). 다른 두 개의 모델은 단순 형상의 접속슬래브이며 그 중 하나는 하부지반을 일반 스프링으로 구성하였으며 다른 하나는 무인장 스프링으로 구성하였다(그림에서 각각 SimpleModel_NS와 SimpleModel_TLS로 표기). 그림에서 볼 수 있듯이 종방향 최대인장응력은 하부지반 강성이 증가함에 따라 증가하다가 어느 정도의 강성에 다다르면 강성에 관계없이 거의 일정한 응력을 나타내는 것을 알 수 있다. 하부지반이 일반 스프링일 경우에 실제 형상과 단순 형상의 접속슬래브 모델은 매우 유사한 응력을 나타내는 것을 알 수 있다. 특히 컬업 시에는 하부지반 강성이 매우 작을 경우에는 실제 형상의 접속슬래브 모델에서의 응력이 더 크게 발생하지만 지반 강성이 증가함에 따라 해석 결과값이 거의 일치하게 된다. 또한 일반 포장 슬래브에서와 같이 무인장 스프링을 사용하여 하부지반을 모델링 하면 최대인장응력이 다소 감소하는 것을 알 수 있다.



(a) Curl Up

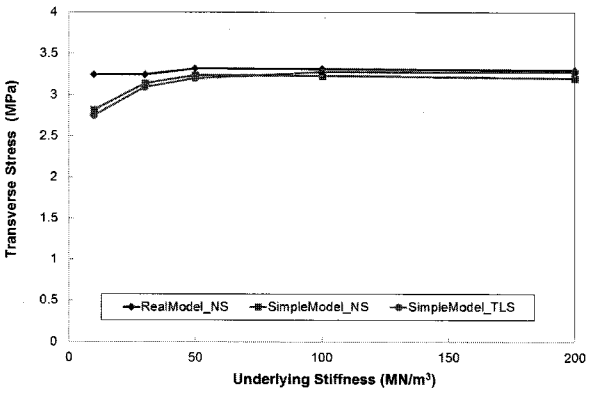


(b) Curl Down

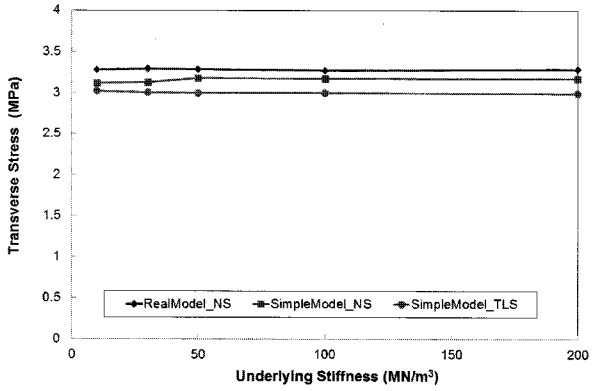
그림 6. 모델별 지반강성에 따른 종방향 최대인장응력

해석 모델에 따른 횡방향 최대인장응력도 산출하여 하부지반 강성 변화에 따라 비교하여 그림 7에 나타내었다. 횡방향 응력의 특징도 전체적인 현상은 종방향 응력에서의 특징과 거의 같은 것을 알 수 있다. 또한 서로 다른 세 가지 모델을 이용하여 구한 횡방향 최대인장응력은 종방향 최대인장응력보다도 차이가 더욱 적은 것을 알 수 있다. 따라서 접속슬래브의 컬링 현상 발생 시에 실물 형상 모델에서 최대인장응력의 크기가 가장 크게 발생하기는 하지만 단순 형상 모델 이용 시의 최대인장응력과의 차이는 미소하기 때문에 단순 형상 모델을

이용하여도 무방할 것으로 사료된다.



(a) Curl Up

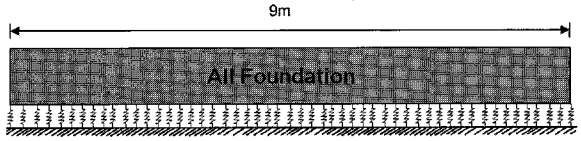


(b) Curl Down

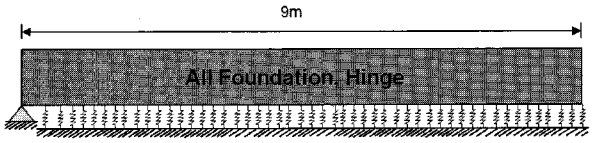
그림 7. 모델별 지반강성에 따른 횡방향 최대인장응력

4. 하부지반 침하 영향 분석

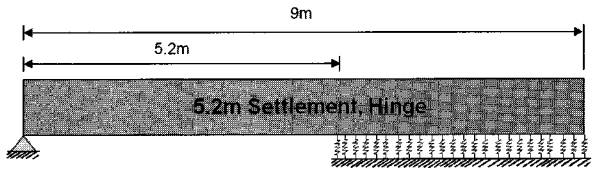
교량 접속슬래브는 시간이 경과함에 따라 교대 뒤채움부 구간의 지반이 침하하여 일부분은 지반에 의해 지지되지 못하는 경우가 발생하게 된다. 이러한 이유로 인해 기존 접속슬래브를 설계할 때는 실제 길이의 70%를 유효 길이로 하는 단순보로 가정하여 설계하던지 또는 70%는 떠있고 30%는 탄성지반에 놓여있는 보로 가정하여 설계한다. PTAS는 기존의 접속슬래브보다 길이가 길기 때문에 상대적으로 지반침하가 발생하는 부분이 줄어들게 된다. 따라서 기존의 접속슬래브 길이가 7.4m인 경우를 예로 들어 이의 70%인 약 5.2m의 뒤채움부가 침하한 연장 9m, 폭 12m의 PTAS에 대한 해석을 수행하였다. 또한 비교를 위하여 그림 8에 보인 바와 같이 힌지 지점부가 없는 일반 포장슬래브(All Foundation), 힌지가 존재하고 지반침하가 없는 PTAS(All Foundation, Hinge), 그리고 뒤채움부의 일부 지반에 침하가 존재하는 PTAS(5.2m Settlement, Hinge)에 대하여 환경하중에 의한 컬링거동을 분석하였다.



(a) 일반 포장 슬래브



(b) 지반침하 없는 PTAS



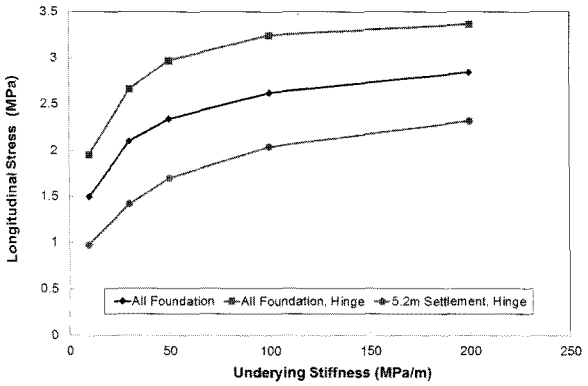
(c) 지반침하 발생 PTAS

그림 8. PTAS 하부층 모델링

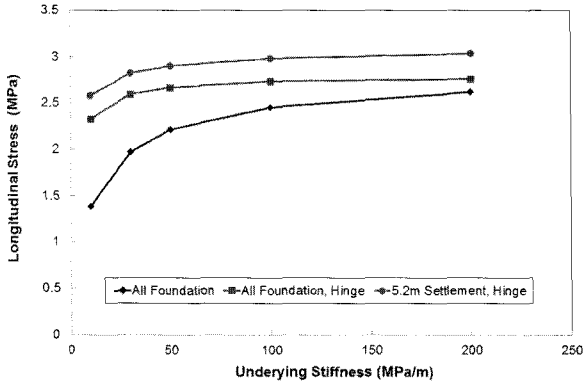
세 가지 모델을 이용하여 컬업과 컬다운 현상이 발생할 때 하부지반 강성에 따른 종방향 및 횡방향 최대인장응력을 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 경우에 대해서 하부지반 강성이 커질수록 발생 응력 또한 커지는 것을 알 수 있다. 하지만 컬업이 발생할 때는 오히려 지반침하가 발생하지 않은 접속슬래브에서 지반침하가 발생한 접속슬래브보다 종방향 및 횡방향 최대인장응력이 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 컬다운이 발생할 때에는 지반침하가 발생한 접속슬래브가 지반침하가 발생하지 않은 접속슬래브보다 종방향 최대인장응력이 크게 발생하며 횡방향 최대인장응력은 지반침하에 상관없이 거의 같은 것을 알 수 있다.

그 이유는 컬업 현상이 발생 할 때에는 슬래브의 양단이 위로 솟고 가운데 부분이 아래 방향으로 휘게 되는데 지반침하가 발생한 슬래브의 경우 지반침하에 의해 슬래브를 지지해야할 지반의 접촉면이 슬래브를 지지하고 있지 못하게 되면서 자중에 의해 슬래브 하부에 인장응력이 발생하게 되고 이로 인해 슬래브 상부에 발생하는 컬업에 의한 인장응력을 감소시킨다. 이와 반대로 슬래브의 컬다운 현상이 발생할 때에는 슬래브의 양단이 아래 방향으로 휘게 되며 가운데 부분이 위로 솟기 때문에 지반침하가 발생하게 되면 컬다운에 의한 응력과 지반

침하에 따른 자중에 의한 응력을 동시에 같은 방향으로 받기 때문에 최대인장응력이 더 증가하게 되는 것이다. 따라서 PTAS의 환경하중에 의해 발생하는 최대인장응력에 대한 설계를 위해서 컬업 시에는 하부지반의 침하가 발생하지 않은 슬래브의 상부에서 발생하는 최대인장응력을 고려해야하며, 컬다운 시에는 지반침하가 발생한 슬래브의 하부에서 발생하는 최대인장응력을 고려해야 한다.



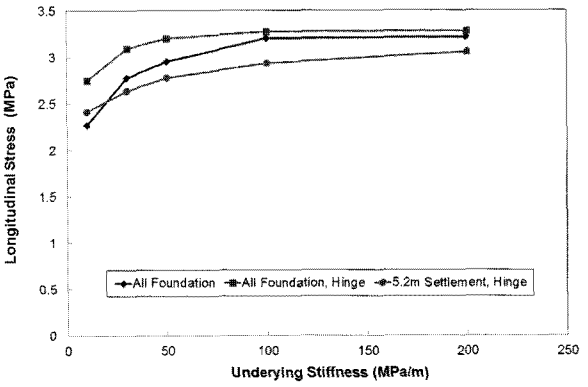
(a) Curl Up



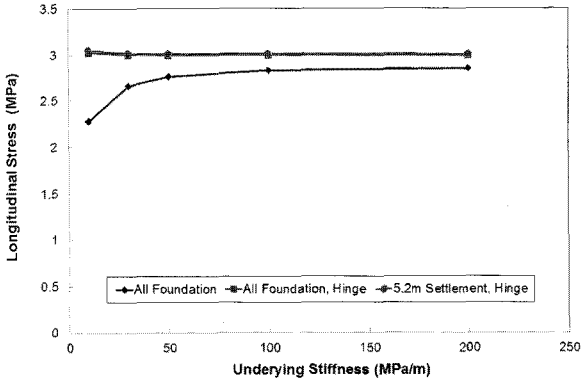
(b) Curl Down

그림 9. 하부지반 강성에 따른 종방향 최대인장응력

PTAS와 포장슬래브의 최대인장응력을 비교해 보면 컬업 시에는 대체적으로 포장슬래브의 응력이 하부지반 침하가 없는 PTAS의 응력보다는 작고 지반침하가 있는 PTAS의 응력보다는 커지게 된다. 하지만 컬다운 시에는 하부지반 침하와 관계없이 PTAS의 응력이 포장슬래브의 응력보다 더 큰 것을 알 수 있다. 따라서 PTAS의 적절한 설계를 위해 포장슬래브 모델을 이용하면 최대인장응력을 과소평가할 수 있기 때문에 힌지와 지반침하를 모두 고려할 수 있는 해석 모델을 이용해야 할 것으로 판단된다.



(a) Curl Up



(b) Curl Down

그림 10. 하부지반 강성에 따른 횡방향 최대인장응력

5. 결론

본 연구는 교량과 접속하는 프리스트레스 접속슬래브인 PTAS가 환경하중을 받을 때의 컬링거동을 적절히 예측하기 위한 수치해석 모델을 개발하고 이를 이용하여 PTAS의 거동을 분석하기 위하여 수행되었다. PTAS의 교대 힌지 지점부 모델링 방법 및 PTAS의 헌치 부분을 삭제한 단순화 모델링 방법 등에 대한 분석을 통해 컬링거동을 예측하는 최적의 PTAS 모델을 개발하였다. 본 연구를 수행함으로써 도출한 결론은 다음과 같다.

1. 환경하중에 의한 컬링 거동 분석을 위해 실물 형상 모형과 단순 형상 모형 그리고 실제 거동 모사 힌지와 단순화 힌지를 각각 모델링 하여 비교 분석한 결과 발생하는 최대인장응력의 편차가 5% 이내로 단순 형상 모형과 단순화 힌지를 사용한 모델을 이용하여 PTAS의 해석을 경제적으로 수행할 수 있음을 알 수 있었다.

2. PTAS의 환경하중에 의해 발생하는 최대인장응력은 컬업 시에는 하부지반의 침하가 없는 접속슬래브의 상부에서 발생하며 컬다운 시에는 하부지반의 침하가 발생한 접속슬래브의 하부에서 발생하게 되므로 이러한 응력을 고려하여 설계를 수행하여야 한다.
3. PTAS의 컬링거동을 분석하기 위하여 일반 포장슬래브의 해석 모형을 사용하면 최대인장응력을 과소평가하게 되므로 교대부분의 힌지 지점부에 대한 경계조건을 도입한 모델을 이용하여 최대인장응력을 산정하여야 한다.
4. 헌치 부분이 존재하는 접속슬래브와 헌치가 없는 평평한 접속슬래브에서의 컬링에 의한 최대인장응력이 거의 같기 때문에 PTAS의 실제 설계 및 시공에서도 헌치 부분을 삭제함으로써 보다 경제적이고 시공이 간편한 접속슬래브 시스템을 구축할 수 있는 방안을 고려해 보는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

김성민 (2007). "환경하중과 차량하중에 대한 줄눈콘크리트 포장의 최대인장응력 특성 분석," *한국콘크리트학회논문집*, 한국콘크리트학회, Vol. 19, No. 4, pp. 449-456.

박희범, 엄인섭, 김성민 (2010). "프리스트레스가 도입된 접속슬래브의 실험적 거동 분석," *한국도로학회논문집*, 한국도로학회, Vol. 12, No. 4, pp. 157-164.

한국도로공사 (2007). *고속도로 포장상태 조사 및 분석 (HPMS부문)*.

한국도로공사 (2008). *고속도로 포장상태 조사 및 분석 (HPMS부문)*.

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

접 수 일 : 2011. 3. 13
심 사 일 : 2011. 3. 15
심사완료일 : 2011. 4. 7