

불연속 프리캐스트 콘크리트궤도 슬래브의 컬링과 동적응력 분포

Curling and Dynamic Stress Distribution of Discontinuous Precast Concrete Track Slab

이용재*, 장승엽**†, 최준혁**

Young Jae Lee*, Seung Yup Jang**†, Jun Hyuck Choi*

초 록 콘크리트궤도에서 콘크리트 수축, 슬래브 상하부 온도차에 의한 슬래브의 컬링(curling)이 발생한다. 그러나 설계 시에는 이러한 슬래브의 변형을 고려하지 않고 열차하중에 의한 응력의 최대 값을 산정하여 설계한다. 실제 콘크리트 슬래브 컬링을 고려할 경우 동적응력 분포와 그 크기가 달라질 수 있다. 이 연구에서는 슬래브의 컬링이 발생한 상태에서 열차하중이 작용할 때 동적응력 분포와 크기가 얼마나 달라지는지 분석하였다. 이를 위해 유한요소해석을 이용하여 적절한 온도경사(temperature gradient)를 주어 슬래브의 컬링이 발생하도록 모델링하고, 추가로 열차하중을 가하여 슬래브의 동적응력의 분포를 산정하였다. 해석 결과에 따르면 슬래브 컬링을 고려할 때 동적응력의 크기가 더 크게 발생하는 것으로 나타났다.

주요어 : 불연속 프리캐스트 콘크리트 궤도, 슬래브 컬링, 온도경사, 응력분포, 최대 인장응력

1. 서론

콘크리트궤도의 피로 파손을 평가하기 위해 슬래브에 발생하는 인장응력의 발생 위치나 그 크기 등을 파악해야 한다. 선행연구[1,2]에 따르면 콘크리트 궤도 슬래브는 콘크리트 수축에 의한 변형(컬링, curling)이 발생한 상태로 부설되며, 이후 온도 변화에 따라 대기온도가 높을 때는 위로 볼록한 형태(curl-down)가 되고, 대기온도가 낮아지면 아래로 볼록한 형태(curl-up)로 변형된다. 그러나 현재에는 설계 시 이러한 슬래브 컬링을 고려하지 않고 열차하중에 의한 동적응력을 산정하여 설계한다. 실제 콘크리트 슬래브의 컬링을 고려할 경우 동적응력 분포와 그 크기가 달라질 수 있다.

이 연구에서는 슬래브의 컬링이 발생한 상태에서 열차하중이 작용할 때 동적응력 분포와 크기가 어떻게 달라지는지 분석하였다.

2. 모델링

불연속 프리캐스트 콘크리트궤도의 유한요소 해석모델을 Fig.1과 같이 구성하였다. 프리캐스트 콘크리트궤도는 콘크리트 기층(HSB) 위에 충전층(grout), 충전층 위에 슬래브 패널(slab panel)이 존재하는 구조를 가진다. 또한, 종·횡방향 하중에 저항하기 위해 슬래브 패널에 두 개의 전단키가 존재하는 구조로 되어있다. 해석은 범용 유한요소 해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 실시하였다. 해석 소요시간을 줄이기 위해 좌우 대칭조건을 적용한 half model로 모델링하였다.

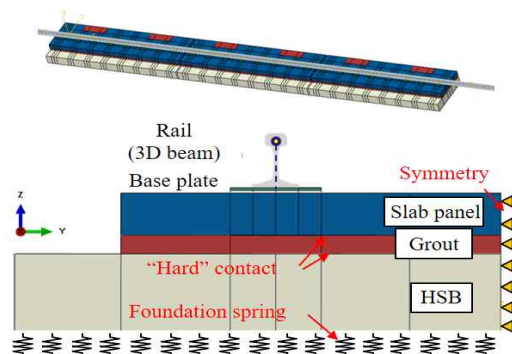


Fig. 1 Schematic diagram of FE model

† 교신저자: 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 (syjang@ut.ac.kr)

* 한국교통대학교 교통대학원 교통정책시스템공학과

** 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과

Table 1 Properties of PC track

Materials	Properties	
Slab panel	Mass density (t/mm ³)	2.5×10 ⁻⁹
	Young's modulus (MPa)	29,756
	Poisson's ratio	0.167
Grout	Mass density (t/mm ³)	2.5×10 ⁻⁹
	Young's modulus (MPa)	27,243
	Poisson's ratio	0.167
HSB	Mass density (t/mm ³)	2.5×10 ⁻⁹
	Young's modulus (MPa)	11,527
	Poisson's ratio	0.167
Rail (UIC 60)	Mass density (t/mm ³)	7.85×10 ⁻⁹
	Young's modulus (MPa)	210,000
	Poisson's ratio	0.3

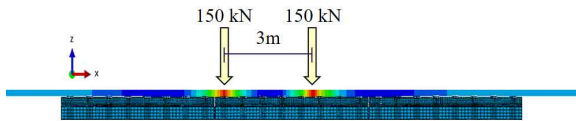


Fig. 2 Location of dynamic vertical traffic load

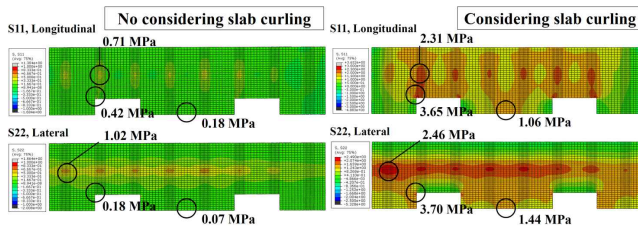


Fig. 3 Dynamic tensile stress distribution at slab bottom

슬래브 패널, 충전층, 기층은 solid element (C3D8T)를 사용하여 모델링하고, 패널-충전층 그리고 충전층-기층 간의 경계면에는 hard contact 조건을 적용해 서로 분리가 가능하도록 모델링하였다. half model이므로 슬래브 중심선을 경계로 면대칭 조건을 적용하고, 기층 단부에서 종방향 변위와 회전을 구속하였다. 하부 노반은 스프링계수 0.05152 N/mm³인 선형 스프링으로 모델링하였다.

슬래브에 온도경사(temperature gradient)를 주어 슬래브에 컬링이 발생하도록 모델링하였다. 슬래브를 부설 직후의 변형의 크기는 현장에서 측정한 슬래브 수직변위와 해석에서 구한 변위를 상호 비교하여 서로 잘 일치할 때의 값으로 결정하였다. 슬래브 부설 직후 변형의 크기를 유발하는 온도경사를 유효내재온도차(EBITD)라고 정의한다[1,2]. EBITD와 함께 추가 온도경사를 작용시켜 슬래브 컬링이 발생한 상태에서 Fig.2와 같이 가장 불리한 위치에 150 kN의 운중을

작용시켰다. 슬래브가 위로 볼록한 상태에서 열차하중이 작용할 때 슬래브 하면의 응력이 가장 커지므로, 여름철 한낮의 기온조건을 고려한 온도경사를 작용시켰다.

Table 2 Comparison of amplitudes of dynamic tensile stresses at slab bottom

	Location	Dynamic tensile stress (MPa)	
		Longitudinal	Transverse
Without considering initial deformation of slab	Under rail	0.71	1.02
	Shear key corner	0.42	0.18
	Slab center	0.18	0.07
Considering Initial deformation of slab	Under rail	2.31	2.46
	Shear key corner	3.65	2.12
	Slab center	1.06	1.26

3. 결과 분석

Table 2는 슬래브 컬링을 고려한 해석과 고려하지 않은 해석에서 각각 구한 슬래브 하면 응력을 비교하고 있다. 슬래브 컬링을 고려할 때 더 큰 인장응력이 발생하고, 전단키 코너부와 슬래브 중앙부에서도 상당히 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 슬래브의 컬링이 콘크리트레도 슬래브의 동적응력 분포에 큰 영향을 미친다는 것을 보여주며, 따라서 설계에서 슬래브의 컬링을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

후 기

이 연구는 삼포레일웨이(주)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] D.H. Lee, K.H. Kim, S.Y. Jang, G. Zi (2017) Deformation and stress distribution of discontinuous precast concrete track slab: I. Initial and temperature deformation, *Journal of the Korean Society for Railway*, 20(5), pp. 625-636.

[2] D.H. Lee, K.H. Kim, S.Y. Jang, G. Zi (2017) Deformation and stress distribution of discontinuous precast concrete track slab: II. stress distribution, *Journal of the Korean Society for Railway*, 20(5), pp. 637-648.