

# 교량 단부에서의 차륜-레일 접촉력 저감을 위한 광폭침목 적용 및 궤도 강성 최적화

## Application of Wide Sleepers and Track Stiffness Optimization for the Reduction of Wheel-Rail Contact Forces at Bridge Ends

이용재\*, 장승엽†, 최준혁\*, 강인석\*\*, 심광섭\*\*\*

Yong Jae Lee\*, Seung Yup Jang†, Jun Hyuck Choi\*, In Seok Kang\*\*, Kwang Sub Shim\*\*\*

**초 록** 열차가 철도 교량을 통과할 때 교량의 단부에서 토공구간과 교량구간에서의 궤도 강성의 차이로 인해 열차의 속도가 증가할수록 차륜과 레일의 접촉력 변동이 증가한다. 이와 같은 문제는 교량 단부 궤도의 내구성과 수명을 감소시킬 뿐만 아니라 열차의 승차감과 주행 안정성에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 차륜-레일 접촉력을 저감하기 위한 방안으로 광폭 침목 설치와 레일패드 수직 강성을 조정하는 방안의 타당성을 검토하기 위해 열차-궤도-교량 동적 상호작용 (train-track-bridge interaction, TTBDI)을 고려한 유한요소 해석을 실시하여 검토하였다. 해석 결과는 광폭침목 설치와 레일패드 수직 강성 조정으로 교량 단부의 차륜-레일 접촉력 변동을 효과적으로 저감할 수 있음을 보여준다.

**주요어** : 열차-궤도-교량 동적상호작용, Abaqus, 차륜-레일 접촉력, 광폭침목, 레일패드 수직강성

### 1. 서론

교량의 단부에서 발생하는 차륜-레일 접촉력 변동은 토공부와 교량부의 강성차이로 인해 발생하며, 열차속도가 증가함에 따라 접촉력 변동이 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 이에 따른 접촉력의 감소는 열차탈선 위험성을 높이고, 접촉력의 증가는 궤도구성품의 수명 감소와 파손을 유발하기 때문에 단부에서 발생하는 접촉력을 저감할 수 있는 방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 교량 단부의 접촉력을 저감 하고자 레일패드의 수직 강성을 조정하고 광폭 침목을 사용하는 방안을 제시했다. 이를 위해 유한요소 해석프로그램 Abaqus를 활용하여 열차-궤도-교량 동적 상호작용 2차원 해석 모델을 구축하고 제안된 방안에 대해 검토했다.

### 2. 모델링

KTX 차량은 Fig. 1과 같이 차체와 대차는 강체빔(rigid beam)으로 모델링하고, 각 무게중심점을 1차, 2차 현가장치에 해당하는 선형 스프링과 댐퍼로 커넥터 요소(CONN2D2)를 이용하여 연결했다. 또한, 각 객차 사이의 관절대차는 Fig. 1과 같이 종방향 댐퍼와 수직 스프링으로 모델링했다. 교량과 레일은 Fig. 2와 같이 2차원 빔요소(B21)를 사용하고, 레일을 각 침목 위치마다 궤도 강성을 나타내는 선형 수직 스프링으로 하부 구조와 연결했다. 차륜-레일 접촉은 선형 스프링으로 연결하고 스프링 하부 접촉점에 “hard contact” 모델을 적용했다.

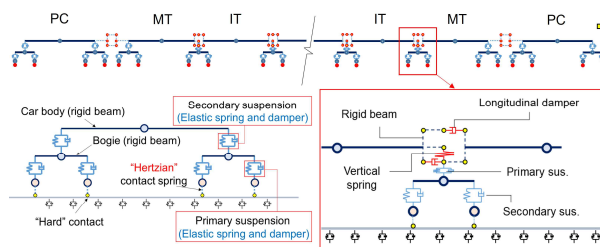


Fig. 1 Train model (KTX)

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

\* 한국교통대학교 교통정책·시스템공학과

\*\* 한국철도공사 고속시설사업단

\*\*\* 한국철도공사 디지털기술처

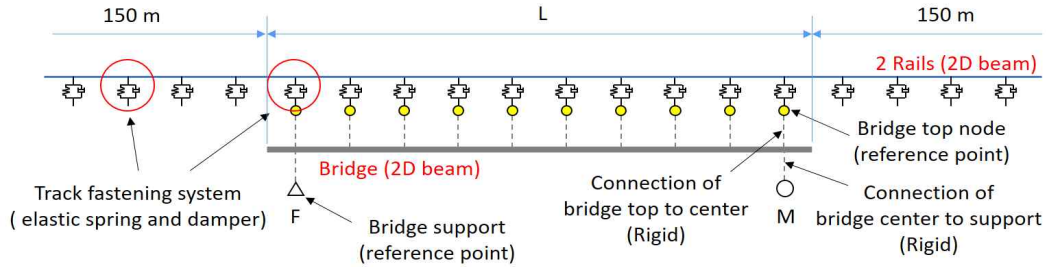


Fig. 2 Track and bridge model

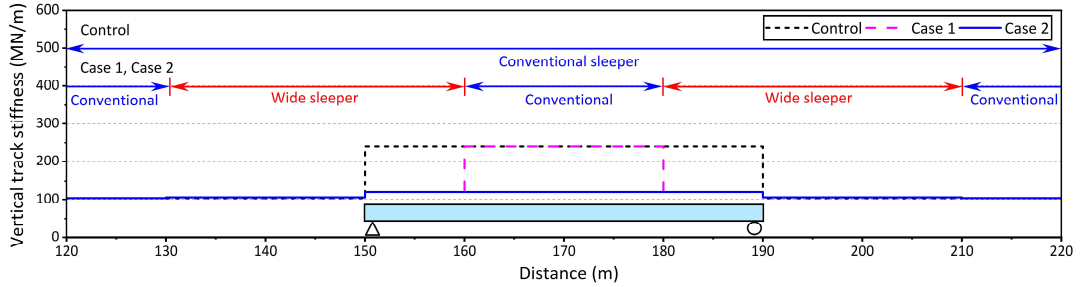


Fig. 3 Analysis cases with sleeper type and arrangement of track stiffness

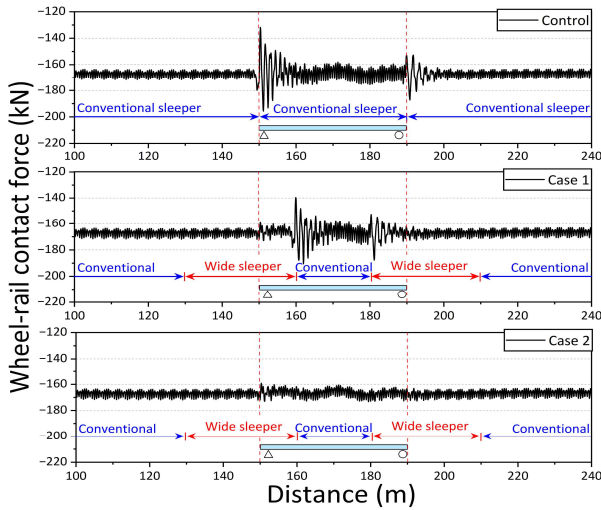


Fig. 4 Calculated wheel-rail contact forces

### 3. 해석 결과 및 결론

해석 모델은 경부고속철도의 단경간 40m 자갈 궤도 교량을 적용했으며 각 레일과 교량, 열차의 세부 물성은 선행문헌[1,2]을 참고했다. 침목의 하부 강성은 일반침목과 광폭침목 도상 접촉면적을 고려하여 산정한 도상자갈 스프링 상수와 노반 스프링 상수를 반영한 합성 스프링 상수를 적용했다. 열차속도는 300 km/h로 하였다.

Fig. 4의 해석 결과에 따르면, 광폭침목을 적용하지 않은 경우(control) 교량 단부에서 접촉력 변동이 증가하는 것을 알 수 있다. 이처럼 교량 단부에서 증가하는 차륜-레일 접촉력 변동을 억제하기 위해 Fig. 3과 같이 토공구간부터 교량

단부까지 20 m 구간과 교량 단부에서 교량구간 10 m까지 광폭 침목을 설치하고 레일패드 수직 강성을 조정하는 방안을 고려하였다. Case 1 해석 결과 교량 단부에서 차륜-레일 접촉력 변동이 5% 미만으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 레일패드 수직 강성을 조정하지 않은 교량 중앙부 일반 침목 구간과 광폭 침목 구간 사이 경계에서 다시 접촉력 변동이 증가하는 것을 알 수 있다. Case 2에서 교량 중앙부 일반 침목 구간에서도 레일패드 수직 강성을 조정하면 접촉력 변동을 매우 낮은 수준으로 저감할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 광폭침목 설치와 레일패드의 수직 강성을 조정하여 최적화하는 방법이 교량 단부의 차륜-레일 접촉력 변동을 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

2024년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

### 참고문헌

- [1] S.C. Yang, C.K. Hong (2007) A method for the analysis of train/slab-track interaction on settled roadbed, *Journal of Korean Society for Railway*, 10(3), pp. 295-305.
- [2] Y.J. Lee, S.Y. Jang, K.S. Yoo, J.H. Lee, T.W. Lee (2022) Evaluation of dynamic behavior and wheel-rail contact forces due to bridge resonance using train-track-bridge dynamic interaction analysis, *Journal of the academic conference of the Korean Society for Railway*, pp. 123-124.