

콘크리트 궤도와 교량 상판과의 종 방향 분리 정도에 따른 상호작용 특성

Interaction Characteristics According to Extent of Separation Between Concrete Track and Top of Girder

송대석*, 최신행**, 성인모**, 임남형†

Dae-Seok Song*, Sin-Hyung Choi**, In-Mo Sung**, Nam-Hyoung Lim†

Abstract Unlike road bridge, longitudinal load caused by loads(vertical, braking, acceleration, temperature) is delivered to structure on a cycle in railway bridge. There is a case using LCPBT(Longitudinally Coupled Prefabricated Ballastless Track) inserted slide layer between concrete slave and bridge floor to reduce interaction effect according to longitudinal loads. It is needed to enhance the application of railway bridges with longer continuous span from now on. The purpose of this study is enhancing the application of railway bridges with longer continuous span, and reduction effect of railway bridge inserted slide layer is analysed using finite element analysis.

Keywords : Track-bridge interaction, Rail additional axial force, Slide layer

초 록 철도 교량은 도로 교량과 달리 열차의 연직 하중, 시·제동 하중, 그리고 온도하중으로 인해 종 방향 하중이 일정 주기로 구조물에 전달된다. 이러한 종 방향 하중으로 인한 상호작용의 저감을 위해 궤도 슬래브와 교량 상판 사이에 슬라이드 층을 삽입한 LCPBT(Longitudinally Coupled Prefabricated Ballastless Track)를 사용하는 사례가 있다.

본 연구는 경간장 연장 및 연속화를 위한 연구로써 유한요소해석을 통하여 슬라이드층이 고려된 철도 교량의 콘크리트 궤도와 교량 상판과의 종 방향 분리 정도에 따른 종 방향 상호작용 저감효과를 분석 하였다.

주요어 : 궤도/교량 상호작용, 레일 부가 축력, 슬라이드 층

1. 서 론

고속으로 주행하는 열차의 주행성을 확보할 수 있는 장대레일 궤도(Continuous Welded Rail Track)가 토공구간에 부설 시 레일 양단의 자유 신축부를 제외하고는 그 내부에 레일변위는 발생하지 않고 응력만 발생하는 부동구간이 존재하게 된다. 이러한 부동구간하부에 교량과 같은 구조물이 있을 경우 구조물의 거동으로 인하여 궤도에 변위가 발생하게 되고 레일은

† 교신저자: 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수(nhrim@cnu.ac.kr)

* 한국철도시설공단 건설본부 건설계획처

** 충남대학교 공과대학 토목공학과

토공구간에 있는 부동간과는 달리 종(길이)방향으로 변위 및 응력변화가 발생하게 된다.

Max Bögl의 기술로 인해 궤도 슬래브와 교량 상판 사이에 슬라이드 층을 고려하여 교량상 레일 축력을 저감하는 LCPBT(Longitudinally Coupled Prefabricated Ballastless Track)가 사용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 궤도 슬래브와 교량 상판 사이의 슬라이드를 허용하는 유한요소 모델을 검토하였으며, 마찰력 변화에 따라 발생하는 레일의 거동을 분석하였다.

2. 본론

2.1 해석 모델

궤도/교량 상호작용 해석을 위하여 범용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS[1]를 이용하였으며 해석 모델의 토공구간은 교량 시·종점 교대로부터 300m까지 모델링을 하였고, 교량 상판위에 무도상 궤도가 부설된 4경간 (2*40 m)+(2*40 m)의 복선궤도를 모델링하였다.[2] 해석에 사용한 물성치와 해석모델의 개념도는 다음 Table 1과 Fig.1과 같다.

Table 1 Properties of Materials

Materials	Properties	
Rail (UIC60)	Cross-sectional Area (m ²)	0.0155
	Modulus of elasticity (Pa)	2.1E+11
	Thermal coefficient (/°C)	1.2E-5
	Moment of Inertia (m ⁴)	3.055E-5
Deck	Cross-sectional Area (m ²)	12.84
	Modulus of elasticity (Pa)	3.1E+10
	Thermal coefficient (/°C)	1.0E-5
	Moment of Inertia (m ⁴)	20.3
	Depth (m)	1.5

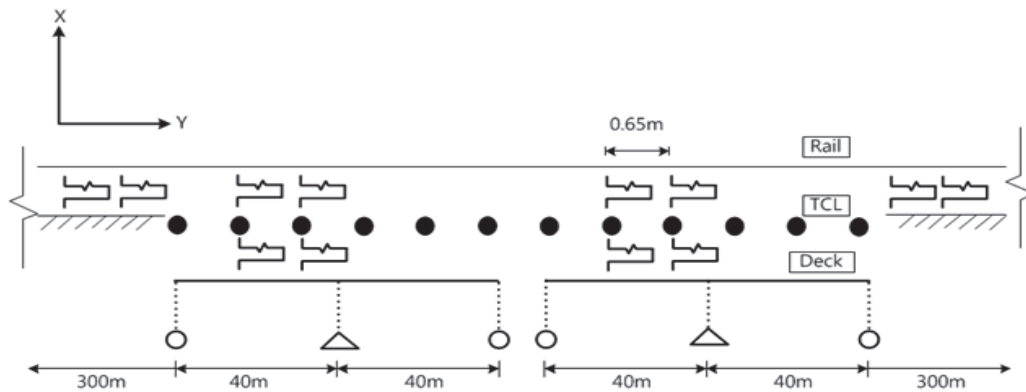


Fig. 1 Concept Map of Analysis Model

궤도/교량 상호작용에 의한 영향력을 분석하기 위해 레일은 교량 상판과 동일한 높이에 위치시키고, Fig. 2와 같이 Constraint 방정식과 강체 요소인 Rigid Link로 교량 상판을 모델링하였다. 콘크리트 슬래브와 교량 상판사이에 위치하는 슬라이드 층은 비선형 스프링을 사용하여 묘사하였고, 교량상부구조물은 2Node Beam Element를 사용하여 종 방향력과 회전력을 고려하였다.

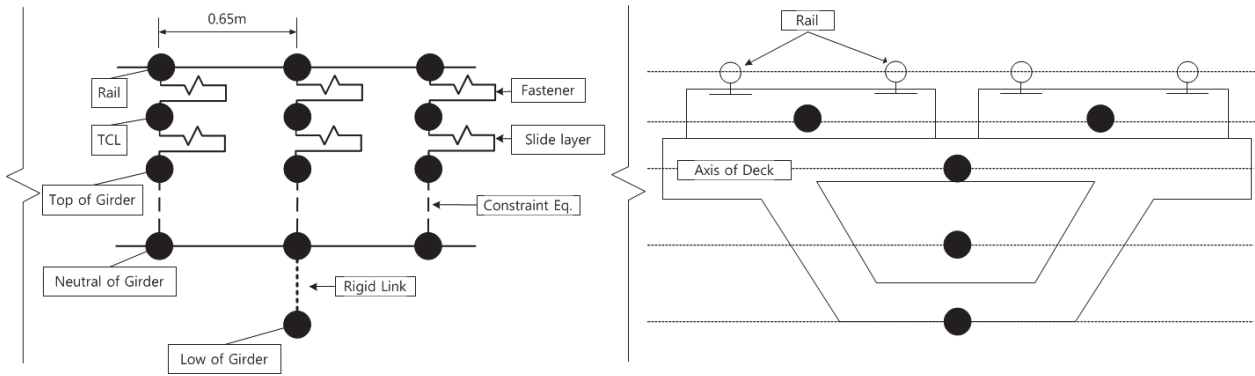


Fig. 2 Model of Track-Deck Bearing System

2.2 하중 조건

KR C-08080에서는 레일의 부가축력을 발생시키는 요소로 온도하중, 시·제동하중, 열차수직하중을 명시하고 있다[3]. 온도변화에 따른 구조물의 신축에 의하여 장대레일의 축력이 전달되며 온도하중의 적용기준은 Table 2와 같다. 본 논문에서는 슬라이드 층의 효과를 검증하기 위해 시·제동하중 및 열차수직하중을 앞서 교량상판의 온도하중(25 °C)만을 고려하였다.

Table 2 Application of Temperature Load [3] [4]

	Rail	Concrete bridge	Steel bridge
UIC code	$\Delta T = \pm 50^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = \pm 50^{\circ}\text{C}$ Max difference between Rail and Deck: $\pm 20^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = \pm 50^{\circ}\text{C}$
KR C-08080	$\Delta T = \pm 50^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = \pm 25^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = \pm 35^{\circ}\text{C}$ $\Delta T = \pm 45^{\circ}\text{C}$

2.3 해석 시 고려된 매개변수

슬라이드 층의 마찰력은 스프링강성으로 묘사하였으며, 마찰력의 변화에 따른 레일의 거동을 분석하기 위하여 스프링의 강성을 4가지로 분류하여 해석을 수행하였다. Table 3과 Fig. 3은 해석에 사용된 궤도 슬래브-교량상판간 스프링 강성을 나타낸다.

- Case 1 : 궤도 슬래브와 교량상판 사이에 슬라이드가 발생하지 않는 스프링 강성 조건
- Case 2 : 하중 비 재하 시 콘크리트 궤도에서 사용되는 스프링 강성 조건
- Case 3 : Case 2조건 75%인 스프링 강성 조건
- Case 4 : Case 2조건 50%인 스프링 강성 조건

Table 3 Spring Stiffness used between Concrete Slave Track and Deck

Analysis condition	Parameter(Spring stiffness, kN/m/track)
Case 1	1.0E+11
Case 2	40
Case 3	30
Case 4	15

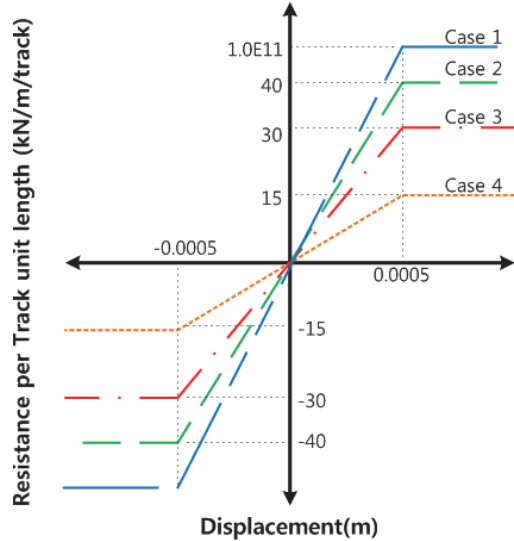


Fig. 3 Spring Stiffness used between Concrete Slave Track and Deck

2.4 해석결과

Case 1~4를 통하여 동일한 온도 하중에서 레도 슬래브와 교량 상판을 연결하는 스프링 강성에 따른 차이를 살펴보았다. Fig. 4,5는 동일한 온도하중(25 °C)에서 상이하게 발생하는 레일의 변위와 부가축력 선도를 나타낸다.

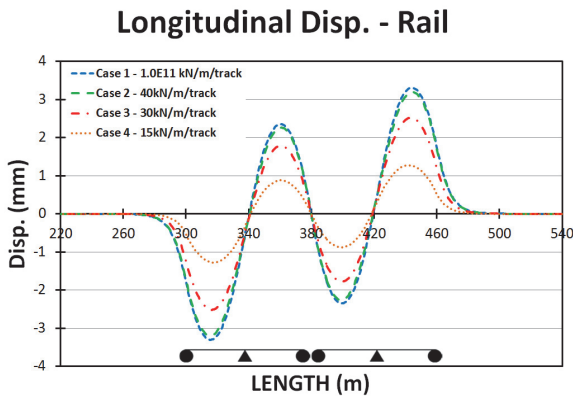


Fig. 4 Longitudinal Displacement of Rail

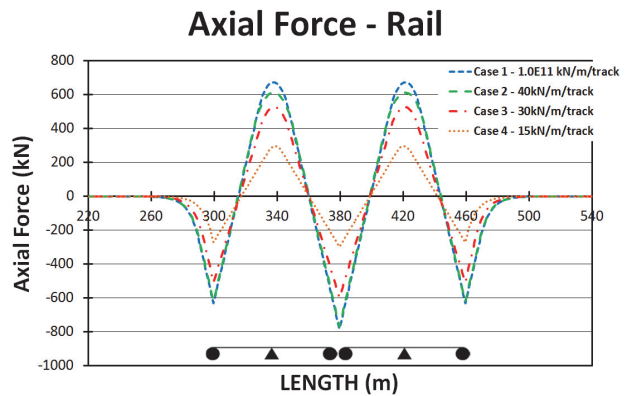


Fig. 5 Axial Force of Rail

동일한 25 °C의 온도하중 재하 상태에서 레일 변위 비교 시 Fig. 4와 같이 레도 슬래브와 교량상판 사이에 있는 슬라이드 층의 마찰력이 감소 할수록 레일의 변위와 축력이 작아지는 결과가 나타났다. Case 1과 Case 2의 변위·축력결과에서 전 구간에 걸쳐 유사한 값을 보였으며, 가장 큰 변화가 나타난 Case 1과 Case 4에 대하여 비교를 해보았다.

레일의 종 방향 변위는 443.95 m 지점에서 가장 크게 나타났으며, 슬라이드 층을 묘사한 Case 4에서는 강성으로 묘사된 Case 1에 비해 변위가 약 62 % 감소하였으며, 두 번째로 변위가 크게 발생된 399.75 m지점에서는 Case 1에 비해 Case 4에서 변위가 약 63 % 감소하였다.

레일의 부가 축력에 대해서는 신축된 교량의 두 거더에 의해 가장 큰 압축력이 작용하는 380 m지점에서 Case 4에서 Case 1에 비해 레일의 부가 축력이 약 63 % 감소하였고 가장 큰 인장력이 작용하는 420 m지점에서 Case 4는 Case 1에 비해 부가 축력이 약 63 %가 감소하였다.

Table 4 Result of Analysis

Longitudinal Displacement (mm)				
Comparison spot (m)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
443.95	3.3041	3.1965	2.5174	1.275
399.75	-2.3492	-2.2609	-1.7786	-0.87729

Longitudinal Axial force (kN)				
Comparison spot (m)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
421.2	6.72E2	6.11E2	5.72E2	2.97E2
380	-7.82E2	-7.68E2	-5.97E2	-2.97E2

3. 결론

본 논문에서는 범용유한요소 프로그램인 ABAQUS ver.6.13을 이용하여 궤도 슬래브와 교량 상판과의 분리 정도에 따른 궤도/교량 상호작용의 차이점을 분석하였다[1]. 슬라이드 층의 마찰력이 감소할수록 교량상판에 의해 레일에 발생하는 부가적인 거동이 감소하는 것을 확인하였다. 궤도 슬래브와 교량상판과의 슬라이드를 허용함에 따라 온도 하중을 받는 구조물이 레일에 간접적인 영향을 끼치는 것으로 나타났으며, 궤도-교량간 상호작용 저감효과를 확인하였다. 궤도/교량 종 방향 상호작용 저감을 위해서 슬라이드 층에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(13RTRP-B071565-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] ABAQUS/Standard User's Manual – Version 6.13 (2013) ABAQUS, Inc.Pawtucket, R.I
- [2] J.J. Kim (2013), Track-Bridge interaction Characteristics due to Cycle Loads, Master's Thesis, Chungnam National University.
- [3] KR (2012), KR C-08080 : Track-bridge longitudinal interaction analysis.
- [4] UIC (2001), Track/bridge Interaction recommendation for calculations. 774-3 R, UIC, Paris, France.