

## 교량 상 콘크리트궤도의 종방향 저항력 변화에 따른 상호작용 응답 변화

### Response Variability of Track-Bridge Interaction according to Variation of Longitudinal Resistance of Concrete Track on the Bridge

윤경민\*, 박범호\*, 전병흔\*, 이진옥\*, 임남형†

Kyung-Min Yun\*, Beom-Ho Park\*, Byeong-Heun Jeon\*,  
Chin-Ok, Lee\*\*, Nam-Hyoung Lim†

**Abstract** Bilinear model is used as longitudinal loading-displacement curve of track for track-bridge analysis, longitudinal resistance of track and elastic limit displacement is important variable of longitudinal resistance characteristics of track. Longitudinal resistance curve used in track-bridge interaction analysis for track design on the bridge in domestic is proposed in UIC 774-3R. In this study, laboratory test was conducted for reevaluation of longitudinal resistance of fastener and deducted longitudinal resistance of track and elastic limit displacement using reliability index. In addition, track-bridge interaction response was analyzed.

**Keywords** : Track-bridge interaction, Longitudinal resistance, reliability index, elastic limit displacement

**초 록** 궤도-교량 상호작용해석에 있어서 궤도 종방향 하중-변위선도는 쌍일차 모형(Bilinear model)을 사용하며, 쌍일차 모형에서 궤도 종저항력 및 탄성한계변위는 궤도 종저항력의 특성을 결정짓는 중요 변수이다. 국내의 교량상 궤도 설계를 위한 궤도-교량 상호작용 해석 시 사용하는 종저항력은 UIC 774-3R에서 제시하는 선도이다. 본 연구에서는 체결구 종저항선도에 대한 재평가를 위하여 실내실험을 수행하였으며 신뢰성 지수를 이용하여 궤도 종저항력 및 한계변위를 도출하였다. 또한 도출된 저항선도에 따른 궤도-교량 상호작용 응답 변화를 분석하였다.

**주요어** : 궤도교량 상호작용, 종저항력, 신뢰성 지수, 탄성한계변위

## 1. 서 론

교량상 콘크리트 부설 시 궤도-교량 종방향 상호작용에 의한 영향을 고려한다. 궤도-교량 종방향 상호작용 해석에 궤도의 종저항력은 주요 변수이며, 종저항력 및 탄성한계변위를 이용한 쌍일차 모형(Bilinear model)을 적용한다.

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

\* 충남대학교 공과대학 토목공학과

국내의 궤도교량 상호작용 시 사용되는 콘크리트궤도의 종저항 선도(KR C-08080[1])는 UIC 774-3R[2]에서 제시된 선도와 동일하게 제시하고 있으며, 불확실한 현장조건을 고려하여 과도한 물성치를 제시 하여 교량의 안전측 설계를 유도하고 있다. 본 연구에서는 체결장치의 종저항력 도출을 위한 실내실험 결과를 이용하여 궤도-교량 상호작용 해석을 수행하였다. 또한 저항선도에 따른 상호작용 응답 변화를 분석하였다.

## 2. 신뢰도 지수를 고려한 저항선도 도출

### 2.1 체결구 종저항력 실험

종방향 저항력을 실험을 위한 실험체는 00체결장치 1Set, 레일, 침목을 포함하는 레일 지지체로 구성된다. Fig. 1과 같이 침목또는 침목이 매립된 슬래브 궤도를 포함하는 레일지지체에 레일을 올린 후 체결장치로 결속하는 방식을 통해 실험체 준비를 완료하며, 시험체는 기타장치들을 사용하여 정반에 고정한다. 슬래브 궤도를 포함하는 레일지지체에 레일을 올린 후 체결장치로 결속하는 방식을 통해 실험체 준비를 완료하며, 시험체는 기타장치들을 이용하여 정반에 고정한다.[3] 하중은 현장의 하중이력을 고려하기 위하여 종방향 하중 외에 수직하중을 추가로 고려하였다.[4]

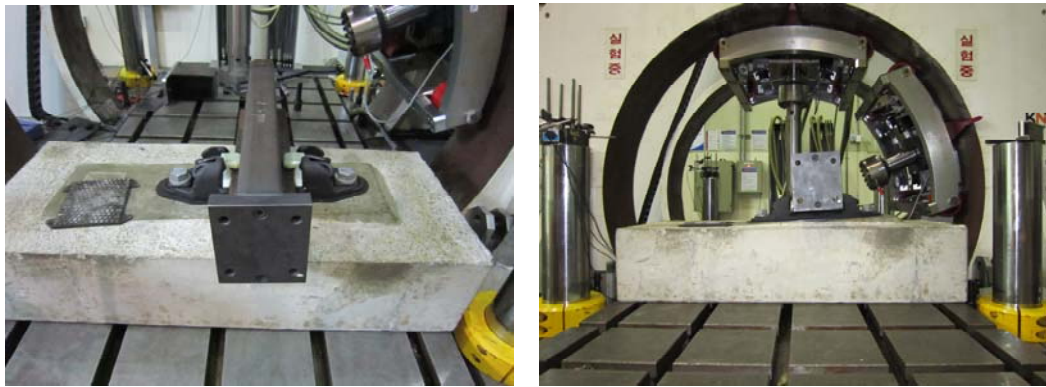


Fig. 1 Whole view of fastener experiment

### 2.2 신뢰성 지수를 고려한 저항선도 도출

실험에 의한 종저항력과 탄성한계변위는 큰 분포를 나타내며, 설계를 위한 특정 값 결정을 위하여 신뢰성을 고려한 접근이 요구된다. 실험값을 사용하여 설계 값을 결정할 경우 Eurocode-Basis of structural design[5]에서 실험횟수에 따른 신뢰도 지수를 제안하고 있다.(Table 1) 여기서  $n$  은 실험결과 수 또는 실험횟수,  $V_x$  는 변동계수(Coefficient of Variation)이다.

Table 1. Reliability index of the design value by the experiment(EN 1990:2002)

N	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ known	4.36	3.77	3.56	3.44	3.37	3.33	3.27	3.23	3.16	3.13	3.04
$V_x$ unknown	-	-	-	11.40	7.85	6.36	5.07	4.51	3.64	3.44	3.04

궤도의 종저항력의 경우 보수적 접근을 위하여 탄성한계 종저항력의 경우 큰 값을 사용하며, 탄성한계변위의 경우 작은 값을 사용하는 것이 보수적인 접근이다. 본 연구에서 실험은 76번을 수행하여 신뢰성지수(Reliability Index)는 3.04를 사용하였으며, 이는 탄성한계 종저항력 설계값보다 실제 종저항력이 클 확률이 0.12%(신뢰성지수 3.04) 이하가 되도록 설계값을 결정하고, 반대로 탄성한계 변위 설계값보다 실제 탄성한계 변위가 작을 확률이 0.12%이하가 되도록 실험값을 결정하였다. 또한 동일한 탄성한계변위에서 수직하중에 의한 저항력 증가를 약 1.72배로 가정하였다[6]. 실험결과를 통해 도출된 체결장치의 종저항력 및 탄성한계변위는 Fig. 2와 같다.

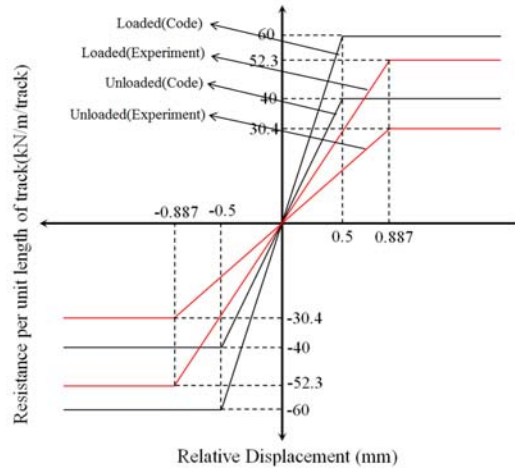


Fig. 2WResistance of the track as a function of the longitudinal displacement of rail

### 3. 수치해석을 통한 레일부가축응력 및 변위 분석

#### 3.1 수치해석 모델

궤도-교량 상호작용 해석을 위하여 범용유한요소해석 프로그램(ABAQUS 6.13)[7]을 이용하였다. 신축이음부 없는 장대레일 궤도를 묘사하기 위하여 토노반상 궤도는 교량 시중점 교대부로부터 300m까지 모델링하였으며, PSC Box Girder 상판위에 콘크리트 궤도가 부설된 8×40m의 단선교량을 모델링하였다. 해석에 사용한 물성치와 교량의 개략적인 형태는 각각 Fig. 3과 Table 1과 같다. 수치해석은 하중이력(온도에 의한 영향을 고려 후 차량의 하중 재하)을 고려한 완전해석을 수행하였다.[6]

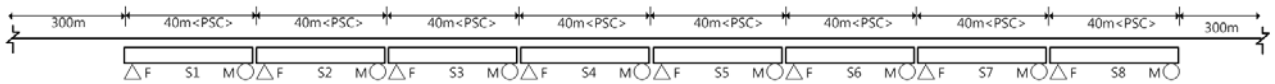


Fig. 3 Plan of the bridge

Table 1 Material and geometric properties of the model

Member	Cross-sectional area(m <sup>2</sup> )	Young's modulus (N/m <sup>2</sup> )	Thermal coefficient (/°C)	Moment of Inertia (m <sup>4</sup> )	Depth (m)
Rail(UIC60)	0.015372	2.1x10 <sup>11</sup>	1.2 x10 <sup>-5</sup>	3.05510 x10 <sup>-5</sup>	-
Deck	12.84	3.1 x10 <sup>10</sup>	1.0 x10 <sup>-5</sup>	20.3	3.63

하중은 온도하중 및 제동 하중을 고려하였으며 차량의 수직하중은 고려하지 않았다. 온도 하중은 거더에 온도하중 25℃를 재하하였으며, 교량 전구간(320m)에 제동하중(20kN/m)을 재하하였다.[1]

### 3.2 해석 결과

KR C-08080에서 제시하는 중저항력 선도와 실험에서 도출된 중저항력 선도를 고려한 해석 결과를 분석하였다. 해석 결과는 온도+제동하중에 의한 레일의 부가축응력(Fig. 4)과 제동하중에 의한 레일-교량 상대변위(Fig. 5)이다.

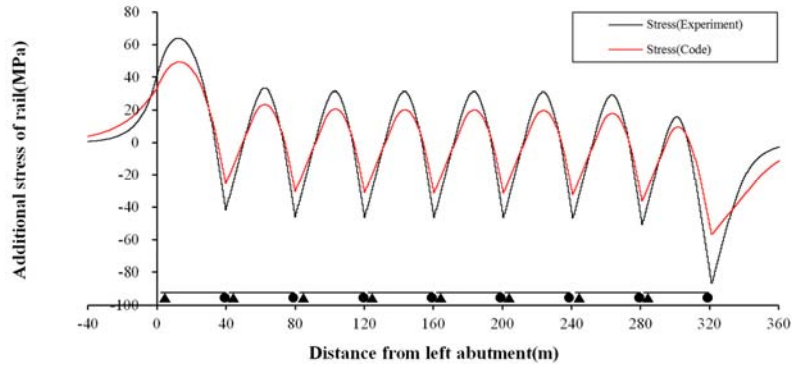


Fig. 4 Additional axial stress of rail

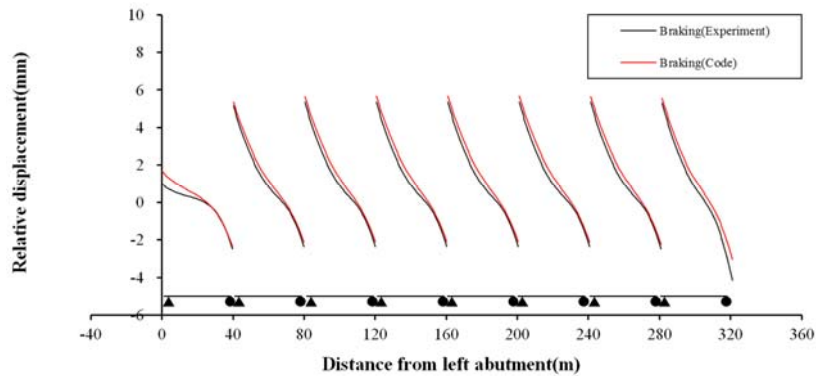


Fig. 5 Relative displacement of rail-upper surface of girder

레일의 부가축응력의 경우 12m에서 최대 응력이 발생하였으며, 실험에서 도출된 물성치를 사용한 경우 63.9 MPa, Code에서 제시한 물성치를 사용한 경우(49.2 MPa)보다 약 30% 증가되었다. 또한 레일-거더 상대변위의 경우 160.8m에서 나타났으며 실험에서 도출된 저항력을 고려 시 5.37 mm의 변위가 발생하였으며, Code에서 제시한 물성치를 사용한 경우(5.68 mm)보다 약 6% 작은 변위가 발생하였다. 실험에서 도출된 물성치를 사용 시 레일의 부가축응력은 보수적 평가가 이뤄졌으며, 변위의 경우 기존 Code에서 제시한 물성치를 적용 시 보수적으로 평가되는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 KR C-08080에서 제시하고 있는 교량 상 콘크리트궤도의 저항선도를 재평가하기 위한 기초연구로, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 체결장치의 종방향 저항선도 도출을 위하여 실내실험을 수행하였으며, 통계처리를 통해 설계값을 도출하였다. 도출된 저항선도에 따른 궤도-교량 상호작용 해석을 수행하였으며, 실험을 통해 도출된 저항력을 사용한 경우에 Code에서 제시한 저항력을 사용한 경우보다 레일의 부가축응력은 크게 나타났으며, 변위는 작게 나타났다.

2. 다양한 조건의 저항력 및 탄성한계 변위의 조합을 통해 실제적인 저항특성이 고려된 저항선도를 도출 가능 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP- B067919-03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Korea Rail Network Authority (2012) Railway design guidelines and handbooks: Track-bridge longitudinal interaction analysis, KR C-08080.
- [2] UIC (2001), Track/bridge Interaction recommendation for calculations. 774-3 R, UIC, Paris, France.
- [3] Korean Railway Standards (KRS) (2013) Rail fastening system, KRS TR 0014-15R, Korea Railroad Research Institute.
- [4] Byeong-Heun Jeon, Hyun-Ung Bae, Eun Kim, Nam-Hyoung Lim (2014) Longitudinal behavior characteristic of rail fastener according to train vertical load, Proceedings of the Autumn Conference of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, pp.54-56.
- [5] European Committee for Standardization (CEN) (2005) Eurocode: Basis of structural design, BS EN 1990:2002.
- [6] Nam-Hyoung Lim, Kyoung-Chan Lee, Jae-Gwon Jeong (2015) Reduction technology of track-bridge interaction to enhancing the application of railway bridges with longer continuous span, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement R&D Report.
- [7] ABAQUS Version 6.13(2013), Analysis User' s Guide, Dassault Systems.