

레일 체결장치 종방향 마찰거동의 통계적 특성

Statistical Characteristics of Longitudinal Friction Behavior on Rail Fastening System

배현웅*, 박상준*, 최신형*, 김애림*, 김규완**, 임남형†

Hyun-Ung Bae*, Sang-Jun Park*, Shin-Hyung Choi*, Ae-Rim Kim*,

Kyu-Wan Kim**, Nam-Hyoung Lim†

Abstract When the interactions between railway track and bridge are analyzed for assessing safety of ballasted track on bridge, nonlinear behavior should be considered. And several design specifications and standards such as European design standard UIC774-3R, German standard DS 804, KR C-08080 (track-bridge species and regulations and operating direction interaction analysis) and KR C-08090 (bridge concrete track ends usability review) are applied to design the track and bridge considering track-bridge interaction. However, these design specifications were not established as international standards. Therefore, reflecting the characteristics of fasteners used currently in the domestic track is essential to rationally consider the interactions between railway track and bridge. In this paper, the experiment for longitudinal resistance and analysis on statistical characteristics of longitudinal friction behavior of the special fastener applied to concrete track was conducted.

Keywords : Track-bridge interaction, Rail fastener, Longitudinal resistance, Friction behavior

초 록 현재 국내에서는 궤도-교량 상호작용에 의해 발생하는 각종 물리적인 현상을 해석하고 제한하기 위해서 유럽의 설계기준인 UIC774-3R과 독일의 설계기준인 DS 804를 적용하여 KR C-08080(궤도-교량 종방향 상호작용 해석)과 KR C-08090(교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토)을 규정하고 운영하고 있다. 그러나 아직 국제적인 기준으로 정립되어 있지 않기 때문에 국내 철도에 적용하기 위해서는 실제 사용되는 체결장치의 성능 특성 등을 반영하여 검토가 필요하다. 본 논문에서는 국내 콘크리트궤도에 적용되는 체결장치의 종방향 저항력 실험을 수행하였으며, 이로부터 레일 체결장치의 마찰거동을 파악하여 통계적 특성을 분석하였다.

주요어 : 궤도교량 상호작용, 레일체결장치, 종방향 저항력, 마찰거동

1. 서 론

현재 국내에서는 궤도-교량 상호작용에 의해 발생하는 각종 물리적인 현상을 해석하고 제한하기 위해서 유럽의 설계기준인 UIC 774-3R과 독일의 설계기준인 DS 804를 적용하여 KR C-08080(궤도-교량 종방향 상호작용 해석)과 KR C-08090(교량단부 콘크리트궤도 사용성 검토)

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

* 충남대학교 공과대학 토목공학과

** 충남대학교 건설방재연구소

토)을 규정하고 운영하고 있다[1-4]. 그러나 아직 국제적인 기준으로 정립되어 있지 않기 때문에 국내 철도에 적용하기 위해서는 실제 사용되는 체결장치의 성능 특성 등을 반영하여 검토가 필요하다[5].

본 논문에서는 국내 콘크리트궤도에 적용되는 체결장치의 종방향 저항력 실험을 수행하였으며, 이로부터 레일 체결장치의 마찰거동을 파악하여 통계적 특성을 분석하였다.

2. 레일체결장치의 종방향 마찰거동의 통계적 특성

2.1 종방향 저항력 실험방법

레일체결장치 종방향 저항력시험은 레일의 한 쪽 단부에 하중제어를 이용하여 10 ± 5 kN/min 의 일정한 속도로 종방향력을 가하는 실험으로 KRS TR 0014-13R[6]에 의한 시험방법을 준용하였다. 궤도조건은 콘크리트궤도를 사용하였으며, 체결장치는 궤도-교량 상호작용으로 인해 발생하는 레일 부가축응력을 해소하기 위해 실제 국내에서 적용되고 있는 RLR(Reduced Longitudinal Resistance) 체결장치를 사용하였다.

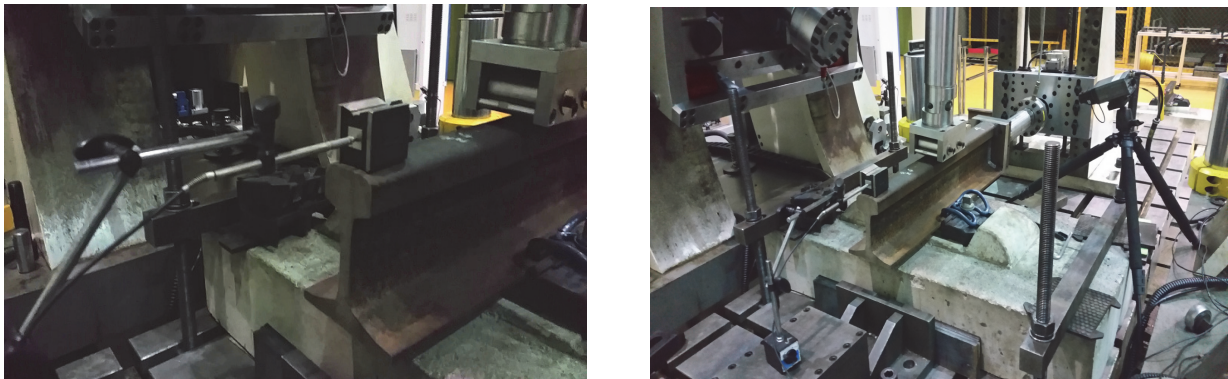


Fig. 1 Rail fastener Longitudinal resistance Experimental views

2.2 종방향 저항력의 통계적 특성

Fig. 2는 RLR 체결장치의 종방향 저항력 실험을 통해 얻는 탄성한계 종저항력 및 변위에 대한 산점도이다(총 데이터 수 113개), 종저항력이 저감된 특수 체결장치이기 때문에 KR Code에서 제시하는 일반체결장치의 탄성한계 종저항력(13 kN)보다 낮은 3~8 kN의 범위에서 발생되었으며, 탄성한계 변위는 KR Code에서 제시하는 일반체결장치의 값 0.5 mm보다 다소 큰 값에 주로 분포되어 나타난 것을 볼 수 있다.

또한, 다수의 체결장치 종저항력 실험데이터가 상당히 큰 분산을 갖는다. 즉, 재료의 특성이나 하중의 크기 등은 불확실성을 가지고 있기 때문에, 하나의 특정한 값으로 결정짓기가 어렵다. 그러나, 구조물의 설계를 위해서는 재료의 특성이나 하중의 크기가 특정한 값으로 결정되어야 한다. 이러한 공학적 목적으로 확률에 바탕을 둔 설계값(Design value)을 고려한다. 일반적으로 재료의 특성은 구조물의 저항력에 관련되어 있으므로 평균보다 작은 값을

사용할수록 설계자의 확신이 커질 것이다. 반면에 작용하중의 경우, 평균보다 큰 값을 사용할수록 설계자의 확신이 커질 것이다. 본 실험의 탄성한계 종저항력의 경우, 가능한 한 크게 고려하여 설계하는 것이 보수적 접근이고, 탄성한계 변위는 경우, 가능한 한 작게 고려하여 설계하는 것이 보수적 접근이다.

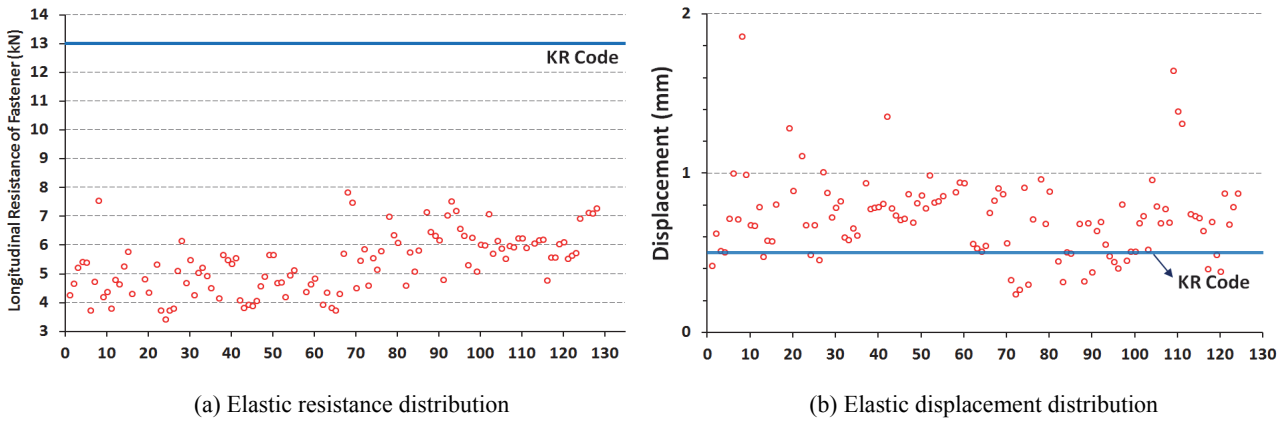


Fig. 2 Longitudinal resistance Experimental Data distribution

따라서, 본 논문에서는 탄성한계 종저항력 설계값보다 실제 종저항력이 클 확률이 0.03% (신뢰성지수 3.44) 이하가 되도록 설계값을 결정하고, 반대로 탄성한계 변위 설계값보다 실제 탄성한계 변위가 작을 확률이 0.03% 이하가 되도록 설계값을 결정할 것이다(Fig. 3). 신뢰성지수(Reliability Index) 3.44는 최소 30개의 실험값을 사용하여 설계값을 결정할 경우 Euro Code (EN 1990:2002) [7]에서 제안하는 값이다(Table 1). 여기서, n 은 실험결과 수 또는 실험횟수, V_x 는 변동계수(Coefficient of Variation)이다. 더 많은 실험값을 사용할 경우 더 낮은 신뢰성지수를 사용할 수 있다.

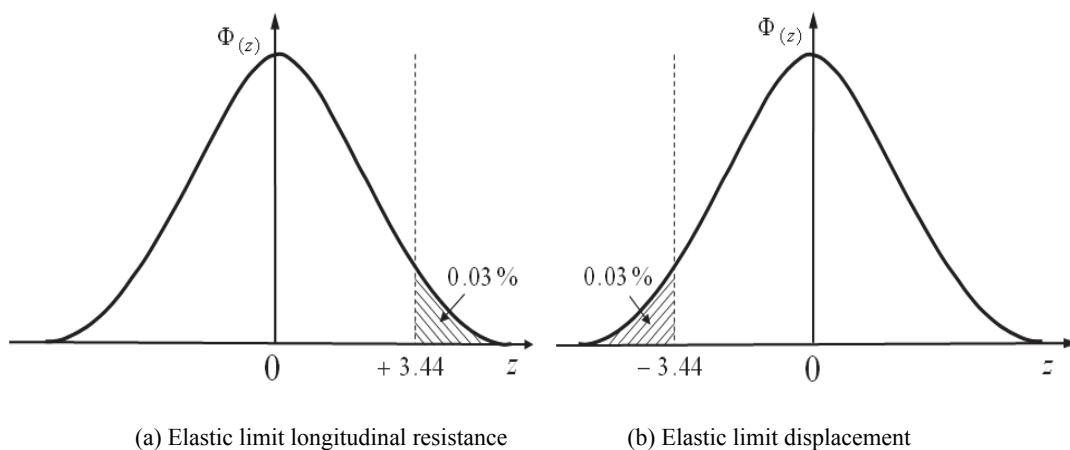


Fig. 3 Probabilistic concept

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	∞
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

Fig .4는 RLR 체결장치의 종방향 저항력 실험데이터 히스토그램으로, 탄성한계 종저항력의 통계적 특성은 평균값을 기준으로 좌우 대칭이 되는 정규분포(Normal Distribution)로 고려하였으며, 탄성한계 변위의 통계적 특성은 0 이하의 값은 존재하지 않고 0 쪽으로 치우친 로그 정규분포(Log-normal Distribution)로 고려하였다.

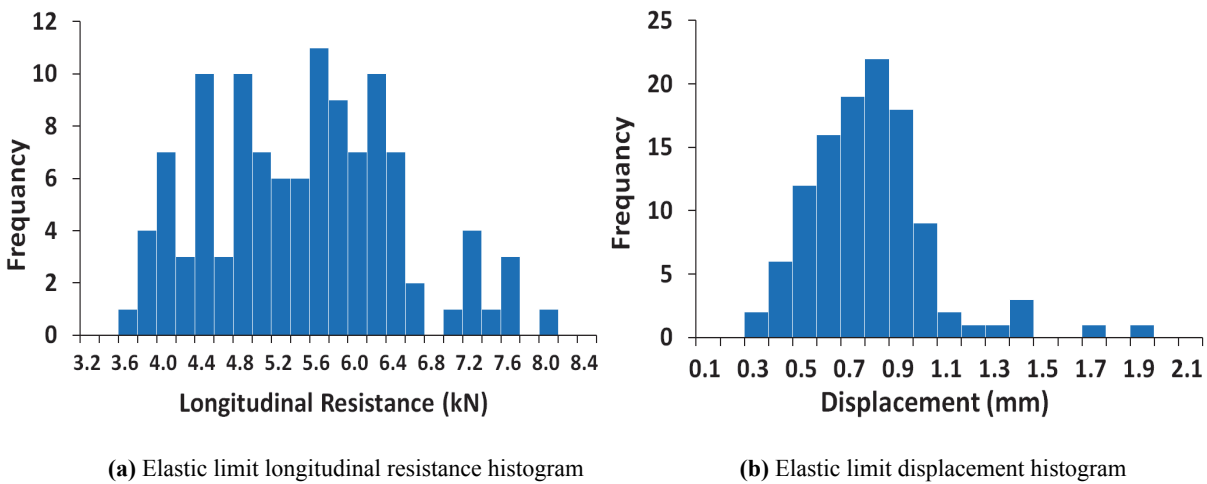


Fig. 4 Longitudinal resistance experimental results histogram

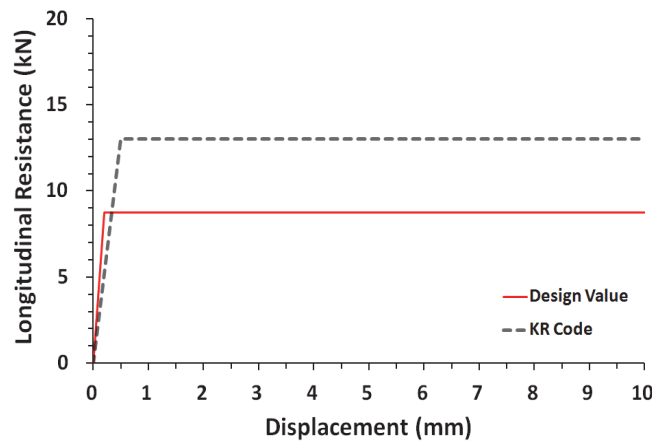


Fig. 5 Design value of longitudinal resistance of RLR fasteners

Fig .5는 RLR 체결장치의 통계적 특성이 반영된 설계 값에 의한 종저항력-변위 곡선이다. KR Code에서 제시하는 일반체결장치의 탄성한계 종저항력(13 kN)보다 낮은 크기인 8.74 kN

로 평가되었으며, 탄성한계 변위는 KR Code에서 제시하는 일반체결장치의 탄성한계 변위 (0.5 mm)보다 낮은 0.21 mm로 평가되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 국내 콘크리트레도에 적용되는 종저항력이 저감된 RLR 체결장치의 종방향 저항력 실험을 수행하였으며, 이로부터 레일 체결장치의 마찰거동을 파악하여 통계적 특성을 분석하였다. 실험을 통해 다수의 체결장치 종저항력 실험데이터가 상당히 큰 분산을 가짐을 확인하였으며, 설계를 위한 하나의 특정한 값으로 결정짓기가 어려우므로 체결장치의 실제적인 변동 특성이 반영된 통계적 접근을 적용시켜 설계값을 제안하고자 하였다.

차후 다양한 체결장치 및 열차의 수직하중이 고려된 실험결과를 활용하여 지속적인 연구를 수행한다면 궤도-교량 상호작용 설계 시 반영되는 합리적인 물성치를 제공하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(14RTRP-B067919-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] International Union of Railways (2001) Track-bridge interaction recommendations for calculations, UIC Code 774-3R.
- [2] Eisenbahnvorschrift (2000) Bridge deck ends: Check for serviceability limit state of superstructure, Regulation for Railway Bridges and Other Civil Constructions, German code for bridge design, App.29(Para. 270A), DS 804, pp.1-20.
- [3] Korea Rail Network Authority (2012) Railway design guidelines and handbooks: Track-bridge longitudinal interaction analysis, KR C-08080.
- [4] Korea Rail Network Authority (2012) Railway design guidelines and handbooks: Bridge concrete track ends usability review, KR C-08090.
- [5] 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.
- [6] Korean Railway Standards (KRS) (2013) Rail fastening system, KRS TR 0014-13R, Korea Railroad Research Institute.
- [7] European Committee for Standardization (CEN) (2005) Eurocode: Basis of structural design, BS EN 1990:2002.