

철도교량 단부전환부궤도의 피로거동에 관한연구

A Study on Evaluation of Fatigue Behavior for Transition Track System of Railway Bridge

조가영[†], 최정열^{*}, 박병주^{**}, 문영수^{***}, 박용걸^{****}

GayoungJo[†], Jungyoul Choi^{*}, Byungju Park^{**}, Youngsu Moon^{***}, YonggulPark^{****},

AbstractThe goal of this paper is to evaluate a fatigue behavior for transition track system of railway bridge deck end. In this study, the fatigue behavior of transition track such as the variation in neutral axis and dynamic properties (natural frequency and damping ratio) was assessed by performing fatigue test using actual vehicle impact loading. As a result, we found that the variation in neutral axis and dynamic characteristic is not affected by the fatigue loading, and therefore it is inferred that the long term durability of transition track system is proved.

Keywords: Transition track system, Fatigue behavior, Neutral axis, Natural frequency, Damping ratio

초록 본 연구의 목적은 철도교량 단부전환부 궤도의 피로시험에 따른 구조적 건전성 확보 여부를 평가하는 것이다. 이에 본 논문에서는 철도하중에 대한 피로시험을 수행하였으며, 피로시험에 따른 전환부궤도시스템의 중립축 변화를 비롯한 고유진동수 및 감쇠비와 같은 동특성을 실험적으로 산출하여 피로시험 전과 비교하여 그 결과를 제시하였다. 연구결과, 피로시험에 따른 전환부궤도시스템의 중립축 및 동특성 변화가 매우 미소한 것으로 나타나, 국내 고속철도 궤도설계기준을 준용하여 설계, 제작한 전환부궤도시스템은 국내 철도하중 및 충격효과를 고려한 피로하중에 대한 장기내구성능 확보에 문제가 없음을 실험적으로 입증하였다.

주요어 : 전환부 궤도시스템, 피로거동, 중립축, 고유진동수, 감쇠비

1. 서론

독일 및 오스트리아를 비롯한 유럽과 중국철도에서는 철도교량 단부궤도의 성능개선을 위해 전환부궤도시스템이 이미 개발되어 적용되고 있다[1-5]. 그러나 각국의 철도환경에 맞게 전환부궤도시스템을 개발하여 적용하고 있는 해외 철도에서도 전환부궤도시스템의 정, 동적 거동 및 피로거동특성에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다[3,5,6,8]. 최근 국내에서도 국내 철도환경을 고려하여 설계 및 제작된 전환부궤도시스템의 적용효과 및 정, 동적거동특성에 대한 연구가 활발히 진행되어 연구결과가 도출되고 있는 시점이다[6-10].

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 (roona0908@hanmail.net)

* 베를린공과대학교 철도-궤도공학과 ** 한국철도시설공단 녹색철도연구원*** 한국철도공사오송고속철도시설사무소**** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수

그러나 공용중 발생 가능한 전환부궤도시스템의 장기내구성능 평가를 위한 실험 및 해석적 연구는 아직까지 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 300만회 피로시험이후의 전환부궤도시스템의 피로거동 특성을 파악하기 위해 중립축을 비롯한고유진동수 및 감쇠비와 같은 동특성 변화수준을 실험적으로 분석하여 그 결과를 제시하였다.

2. 실내실험

2.1 시험체 설계 및 시험하중 조건

전환부궤도시스템의 시험체단면은 고속철도 교량상 궤도표준단면 및철도설계기준을 준용하여 단면제원을 결정하고 설계하였다[10,11]. 전환부궤도시스템의 폭은 상부와 하부 각각2.8m, 2.9m인 변단면으로 설계하였으며, 높이는 본선 일반 궤도구조의 TCL(Track concrete layer) 높이를 기준으로 전환부궤도용 받침의 높이(84mm)를 고려하여 설계하였다[10]. 전환부궤도의 길이는 고속철도교량 신축이음부의 최대 유간 길이 조사결과를 참고하여3m로 선정하였으며, 시험체의 전경과 제원은 각각Fig. 1 및 Table 1과 같다[10].

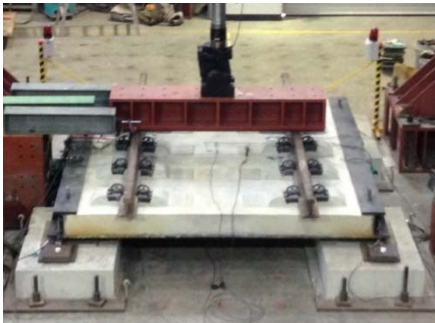


Fig. 1 Photograph of transition track

Table 1 Properties of transition track specimen

Description	Properties
Rail	UIC60
Fastening system	Vossloh System 300(SK15)
Sleeper	Rheda 2000 Bi-block
Girder	T-Beam : 3,000 x 200 x 30t, 3,000 x 188 x 20t (Welding)
	Plate : 150 x 2900 x 28t (SM490)
TCL	$F_{ck}=45\text{MPa}$
Bearing of Transition track	Elastomeric Bearing(150 x 250 x 30t), $k=121.45\text{kN/mm}$

본 연구에서 수행한 피로시험은 정격하중 500kN인 Actuator를 이용하여총 300만회 가력시험을 실시하였으며피로시험 전, 후에는 정적 가력시험을 통해 전환부 궤도시스템의 중립축 변화 유무를 분석하였다[10,12]. 또한 동적 가진시험을 통해 획득한 가속도응답의 자유진동 파형을 이용하여 고유진동수 및 감쇠비의 변화를 검토하였다[10,12]. 본 연구의 실내시험에서 적용한 하중케이스는Table 2와 같다.Fig. 2는 동적 가진시험에 적용된 주기하중의 예로써 초기하중 (Median load)부터 윤중변동의 수준을 각각 5%, 15% 및 25%까지고려하여 최대하중 170kN, 200kN 및 220kN을 각각 만족시킬 수 있는 동적 진폭하중의 형태로 가진하였다[10,12].

Table2 Load case for test

Static test	0 ~ 220kN (loading step : 20kN)			-
Dynamic test		Case 1 (5%)	Case 2 (15%)	Case 3 (25%)
	LC1 (170kN)	161.9 ± 8.1	147.9 ± 22.1	136.0 ± 34.0
	LC2 (220kN)	209.5 ± 10.5	191.3 ± 28.7	176.0 ± 44.0
	LC3(200kN)	105.0 ± 95		5Hz
Fatigue test	• 176±44.0kN• Frequency : 5Hz• Repeated cycle: 3,000,000 cycles			

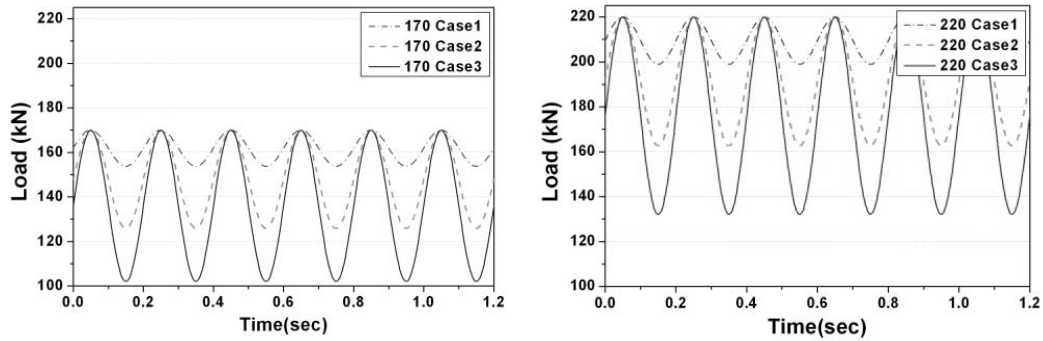
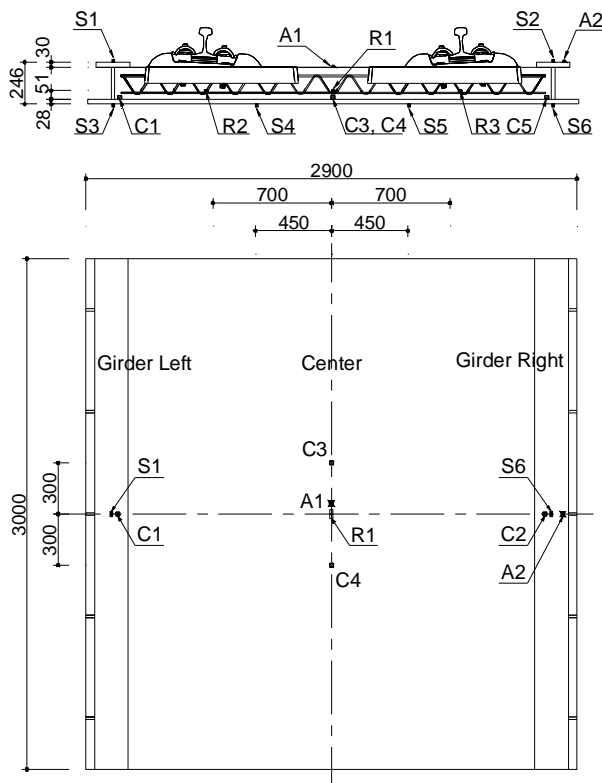


Fig. 2 Dynamic load wave (5Hz)

2.2 측정센서설치

전환부레도시스템의 중립축 분석을 위해 주형상면, 하부 바닥강판의상, 하면 등 총 13개의 스트레인게이지를 부착하였으며, 고유진동수 및 감쇠비 산출을 위해 전환부레도시스템의 주형상면에 가속도계(2g)2개를 설치하였다. 측정을 위한센서설치위치도는Fig. 3과 같다[10].



Sensors	Loaction and sensor type
A1, A2	Acceleration of girder and TCL (Acceleration 2g)
S1, S2	Compression stress of upper plate (Strain gauge)
S3~S6	Outside : Tensil stress of bttom plate on girder (Strain gauge)
C1~C4	Inside : Tensil stress of bttom plate on girder (Strain gauge)
R1~R3	Compression stress of rebar (Strain gauge)

Fig. 3 Location of sensors instrumentation

300만회 피로시험에 따른전환부레도시스템의 중립축 변화수준을 파악하고자 주형 상부, 하부강판의 상, 하면 및 매입철근에 스트레인게이지를설치하였으며 설치전경은 Fig. 4와 같다. 또한 동적 가진하중에 의해 발생하는 전환부레도시구조의 고유진동수 및 감쇠비와 같은 동특성 측정을 위해 Fig. 4와 같이 주형 상면에 가속도계를 설치하여 가속도를 측정하였다[10].



Fig. 4 Photograph of sensor instrumentation(acceleration and strain gauge)

3. 측정결과 및 분석

3.1 중립축 검토

정적재하시험에 의해 주형 및 매입철근에서 발생한 변형률을 측정 한 후 각 측정 부재의 탄성계수를 고려하여 응력으로 환산하였다. 피로시험 전, 후 정적하중 220kN 가력 시 측정된 응력 및 이를 이용하여 산출된 전환부 웨도시스템의 외측 및 중앙부 단면의 중립축은 Fig. 5 및 Table 3과 같다.

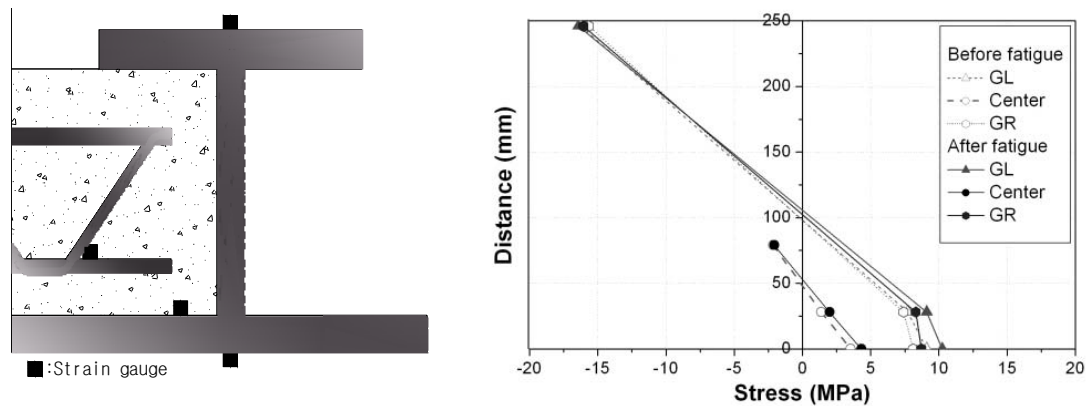


Fig. 5 Result of Neutral axis

Table 3 Comparison result of stress and neutral axis between before and after fatigue test

Description	Before fatigue			After fatigue		
	Compressive stress(MPa)	Tension stress (MPa)	Neutral axis (mm)	Compressive stress(MPa)	Tension stress (MPa)	Neutral axis (mm)
Girder Left	-16.243	9.088	100.3	-16.437	10.249	104.94
Center	-2.138	3.523	50.96	-2.058	4.312	52.29
Girder Right	-15.663	8.122	100.3	-16.05	8.702	103.61

Fig. 5 및 Table 3과 같이 피로시험 전, 후 발생 응력의 변화는 뚜렷하지 않았으며, 따라서 중립축의 변화 역시 약 5% 이내로 매우 작게 나타났다. 또한 전환부 웨도시스템의 중앙부와 외측 주형단면 모두 하부강판의 상면에 설치한 매입 게이지와 하부강판 하면에서 측정된 응력 모두가

인장응력으로 나타나 전환부 궤도시스템의 강합성 단면은 피로시험 후에도 합성단면으로 거동하는 것으로 분석되었다.

3.2 동특성 검토

300만회의 반복피로시험 전, 후에 실시한 동적가진시험 시 획득한 가속도 응답의 자유진동파형을 이용하여 전환부 궤도시스템의 고유진동수 및 감쇠비를 평가함으로써 피로하중에 따른 전환부 궤도구조의 구조적 건전성을 입증하고자하였다[10].

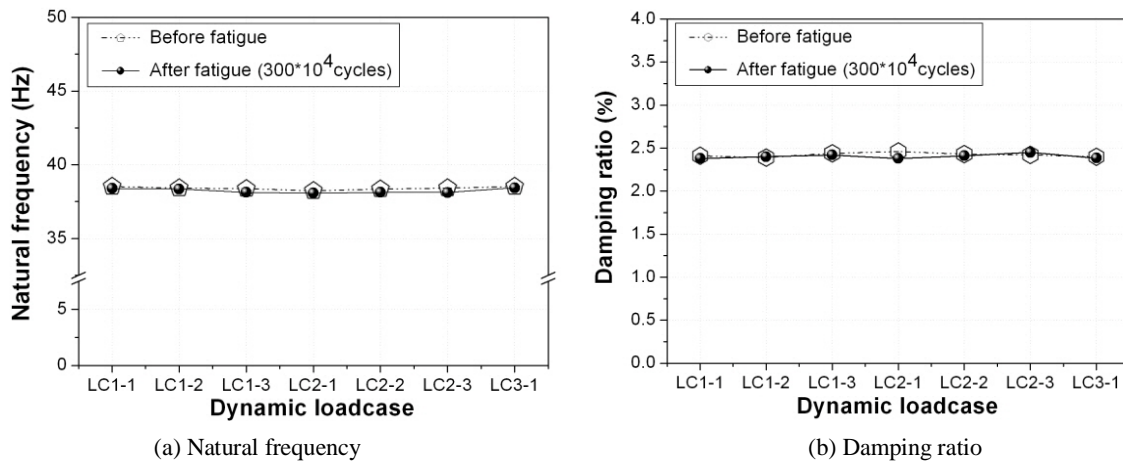


Fig. 6 Result of dynamic modal test for transition track

전환부 궤도시스템의 고유진동수 분석결과, 전환부 궤도시스템의 고유진동수는 Fig. 6(a)와 같이 가진하중의 크기변화에 영향을 받지 않았으며, 피로시험 전, 후의 고유진동수 차이가 매우 미소한 것(0.82%)으로 나타났다. 따라서, 피로시험에 따른 전환부 궤도시스템의 구조적인 손상(단면강성의 변화 및 질량의 손실)은 발생하지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서 수행한 감쇠비 분석은 동적 가진시험을 통해 획득한 측정가속도 신호의 자유진동파형을 이용하여 대수감소법(Logarithmic decrement)에 의한 감쇠비 추정방법을 적용하였다[10]. 측정 감쇠비 분석결과, Fig. 6(b)와 같이 고유진동수와 마찬가지로 가진하중의 영향을 받지 않고 일정한 수준을 유지하였으며, 피로시험 전, 후 감쇠비의 차이가 약 1.26% 수준으로 매우 미소한 것으로 나타났다.

4. 결론

피로시험 전, 후에 대한 전환부 궤도시스템의 중립축, 고유진동수 및 감쇠비의 변화수준은 각각 약 5%, 0.82% 및 1.26% 이내로 나타나 강합성 구조인 전환부 궤도시스템은 300만회 피로시험 이후에도 구조계의 변화 혹은 손상이 없이 구조적 성능을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 국내 고속철도 궤도설계기준을 준용하여 개발한 전환부 궤도시스템은 국내 철도하중 및 충격효과를 고려한 300만회 피로하중에 대하여 구조적으로 안전하며, 충분한 장기내구성능을

확보할 수 있음을 실험적으로 입증하였다.

후 기

본연구는국토교통부국토교통과학기술진흥원미래철도기술개발사업의연구비지원(과제번호: 12PRTD-C059777-02, 과제명: 콘크리트케도가부설된철도교량상장대레일축력저감및단부사용성 확보를위한한국형횡단케도시스템개발)에의해수행되었으며, 관련자분들 모두에게감사드립니다.

참고문헌

- [1] Deutsche Bahn, DB Netz AG (2008) Bridge deck Ends, Check for serviceability limit state of superstructure, DS804 – Appendix 29(German language).
- [2] Deutsche Bahn, DB Netz AG (2003) Richtlinie 804.5202 (German language).
- [3] Rudolf Seidel(2000) FesteFahrbahn auf großenStahlüberbauten der NBS Hannover-Berlin, EI-Eisenbahningenieur (51), pp. 23-29 (German language).
- [4] Deutsche Bahn, DB Netz AG (1995) AnforderungskatalogzumBau der Fahrbahn, 3. ÜberarbeiteteAuflage, Stand, Catalogues for construction of slab track (German language).
- [5] Edgar Darr, Werner Fiebig (2006)FesteFahrbahn, Konstruktion und BauartenfürEisenbahn und Straßenbahn, ISBN 3-8266-1485-2, Eurail press (German language).
- [6] J.I. Lim, S.O. Song, J.Y. Choi, Y.G. Park (2013) Experimental Study on Applying a Transition Track System to Improve Track Serviceability in Railway Bridge Deck Ends,*Journal of the Korean Society for Railway*, 16(3), pp. 207-216.
- [7] J.I. Lim, S.O. Song, J.Y. Choi, Y.G. Park (2013) Experimental Study on Characteristics of Deformation for Concrete Track on Railway Bridge Deck End induced by Bridge End Rotation, *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(3), pp. 217-225.
- [8] K.H.Lee (2013) Applying transition track system to improve track performance in a railway bridge deck ends, Master's thesis, Seoul National University of Science & Technology.
- [9] K.H. Lee, J.Y. Choi, M.C. Kim, Y.G. Park (2012) The Behavior Analysis of Track of Railway Bridge Ends Deck Installed Transition Track, *2012Autumn Conference & Annual Meeting of the Korean Society for Railway*,Gyeongju, pp. 1342-1352.
- [10] K.W. Kim, J.Y. Choi, C.E. Kim,S.G.Lee, Y.G. Park (2013) A Study on Behavior Characteristics of Transition Track System, 2013 Autumn Conference & Annual Meeting of the Korean Society for Railway, Daegu.(Submitted)
- [11] Korea Rail Network Authority (2011) Railway design Standard (Track part).
- [12] D.S. Chun, J.Y. Choi, H.Y. An, Y.G. Park (2008) Behavior ofFastening system of HSR bridge ends deck on slab Trackinstalled Bridge, *2008 Autumn Conference & Annual Meeting of the Korean Society for Railway*,Gwangju, pp. 1624-1633.