

현장계측을 통한 교량상 분기기 축력 분석에 관한 연구

Analysis of the axial force in CWR connected with turnout by means of the field measurement

최진유* 김인재** 황성호*** 양신추****
Choi, Jin Yu Kim, In Jae Hwang, Sung Ho Yang, Shin Chu

ABSTRACT

The demand on a turnout layed on a bridge is rising owing to the increasing number of stations on the viaduct. And also the demand on a turnout with CWR is rising to upgrade running speed of the passing train. A CWR connected with turnout is subjected to additional axial force induced by the actions due to change in temperature, braking and starting force, and bending of the deck. But magnitude and distribution of the axial force in rails of turnout is not clear yet. So, in this study, a field measurement was conducted to know them. The strain gage method was adopted for field test. The FBG sensor for the strain measurement was used to ensure stability of test value and durability of gage for long term. It is expected that we can get data on the axial force in rail connected with turnout with respect to seasonal temperature change by the established field test system.

1. 서론

일반철도의 고속화에 따른 선형의 직선화로 선하역사의 증가되고 있는 추세이고 이에 따라 고속철도 뿐만 아니라 일반철도 구간에서도 교량상에 장대화된 분기기가 부설되는 경우가 증가하고 있다. 일반 토공구간에서도 장대화된 분기기를 부설하는 경우에는 레일축력의 변화에 따른 좌굴안전성의 저하 또는 레일의 파단에 대한 우려와 레일의 신축에 따른 변위차로 인한 전환불량등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 최근까지도 분기기 레일과 장대레일을 직접 연결하는 것은 피하고, 분기기 전후에 신축이음매를 배치 또는 크로싱 전후에 이음매를 부설하여 온도변화에 따른 분기기 전후의 레일에 발생된 축력이나 변위가 분기기에 직접 영향을 미치지 않도록 설계하여 왔다. 그러나 최근들어 용접기술의 발달과 궤도의 온도하중에 따른 거동에 대한 연구가 활발히 진행되어 장대분기기의 안전성이 증가되어 사용이 점차 확대되고 있다. 그런데 장대화된 분기기가 교량상에 설치되는 경우에는 토공구간에서와 달리 교량과의 상호작용에 의한 부가축력과 상대변위가 발생하게 되므로 분기기에 발생하는 축력과 변위의 양상이 토공구간에 설치되는 분기기보다 더욱 복잡하게 된다. 즉 분기기와 연결된 장대레일에 시제동하중과 온도변화, 그리고 수직하중에 의한 교량상판의 변형에 의해 부가축력이 발생하게 되고 상판의 변위가 분기기 포인터부에 상대변위를 증가시켜 차량통과시 충격증가로 분기부 궤도틀림의 증폭을 유발한다.

* 최진유, 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 궤도구조연구팀

E-mail : jychoi@krri.re.kr

TEL : (031) 460-5338 FAX : (031) 460-5814

** 한국철도시설공단 부장

*** 한국철도기술연구원 주임연구원

**** 한국철도기술연구원 책임연구원

그러나 현재까지 국내에서는 이에 대한 연구가 수행된 적이 없어 교량상 분기구간에 발생하는 축력과 변위의 크기와 분포에 대한 명확한 규명이 이루어지지 못하고 있다. 이를 위해서는 실험적 방법 즉, 현장계측 또는 실내실험을 통한 방법과 해석적 방법 즉, 해석프로그램을 활용한 수치해석을 통하여 그 거동특성을 규명할 수 있는데, 본 논문에서는 현재 진행 중인 현장계측시스템의 구축에 관하여 발표하고자 한다.

2. 분기기 축력 계측에 관련 연구 동향

온도에 의하여 분기부에 발생하는 축력과 변위를 알아보기 위한 실험은 일본에서 활발히 진행되고 있는데, RTRI의 高谷博文(1987년) 등은 1985~1986년 2년간에 걸쳐 실물 궤도좌굴 실험장치를 이용한 실내실험을 수행하여 장대화된 분기기에 발생하는 축력과 변위에 대한 거동을 분석하였다. 三浦重(1989년) 등은 장대화된 분기기 해석을 위한 수치해석프로그램을 개발하였으며, 1987년에 수행된 실험결과를 이용하여 검증하였다. 三浦重은 이 해석프로그램을 활용한 다양한 수치해석을 통하여 장대화된 분기기에 발생하는 축력과 변위의 크기와 분포를 해석적으로 규명하였다. 최근들어 岩佐裕一 등은 교량상에 부설된 장대분기기에 대한 수치해석 및 현장실험을 수행하여 교량상 장대분기기에 발생하는 축력과 변위량을 평가하였다. 유럽에서는 1999년 ERRI D202/RP6 보고서에서 장대화된 분기기의 해석방법을 제안하고 있다. 그러나 유럽의 아직까지 교량상 분기기에 대한 연구는 활발히 진행되지 않고 있다. 국내의 경우, 한국철도기술연구원(2000년)에서 분기기 레일 장대화에 따른 구조해석과 시험부설에 관한 연구결과를 발표하였다. 그러나 국내의 경우에도 최근까지 교량상에 부설된 분기기에 대한 해석 및 실험에 대한 연구는 진행되지 못하였다.

3. 축력계측방법 비교 분석

레일에 발생하는 축력의 계측방법은 초음파방식, 축력변환기 방식, 자기파라메타 방식, 변형게이지 방식 등 여러 가지 방식들이 있는데, 표1에서 각 방법에 대한 장단점과 적용성을 비교분석 하였다.

<표 1> 레일 축력계측 방법 비교

방식명	측정방법	측정개소		비교측정		재료특성, 잔류응력의 영향		모니터링		차상측정	
		임의	고정	可	否	유	무	可	否	可	否
초음파방식 JR, AAR	①레일두정면에서 저면방향으로 축력에 평행한 방향과 90° 방향으로 초음파를 동시에 쏘아서 반사파의 위상차 또는 시간차를 측정한다.		○	○		○			○		○
	②종파, 또는 횡파를 레일복부에 전파시켜 축력에 의한 음소의 변화를 측정한다.		○	○		○			○		○
축력변환기 방식, BR	레일복부중립축에 29φ의 구멍을 뚫어 링을 삽입한다. 링 속에 가는 강선이 긴장하여 축력에 의한 감쇄변화를 측정한다.		○	○			○		○		○
휨진동방식 BR, PKP	레일의 휨진동수 또는 진동의 감쇠율이 축력에 의해 변화하는 것을 이용한다. 횡방향으로 충격을 가하고 가속도계로 검출한다.		○	○			○		○		○
자기파라메타 방식, JR	축력에 의한 레일의 자기적성질의 변화를 측정한다.		○	○		○			○		○
기계적방식 JR, DB, AAR	레일복부 또는 저부에 일진간격의 표시 또는 핀을 붙여 레일온도와 거리를 계산하여 축력을 구한다.		○	○			○		○		○
변형게이지 방식, JR	측정레일 복부안팎중립축에 처짐게이지를 부착하여 무축력과 축력상태의 불균형의 차를 이용하여 축력을 구한다.		○	○			○	○			○

AAR :미국철도협회, BR : 영국철도, PKP :폴란드국철, DB :서독철도, JR : 일본국철

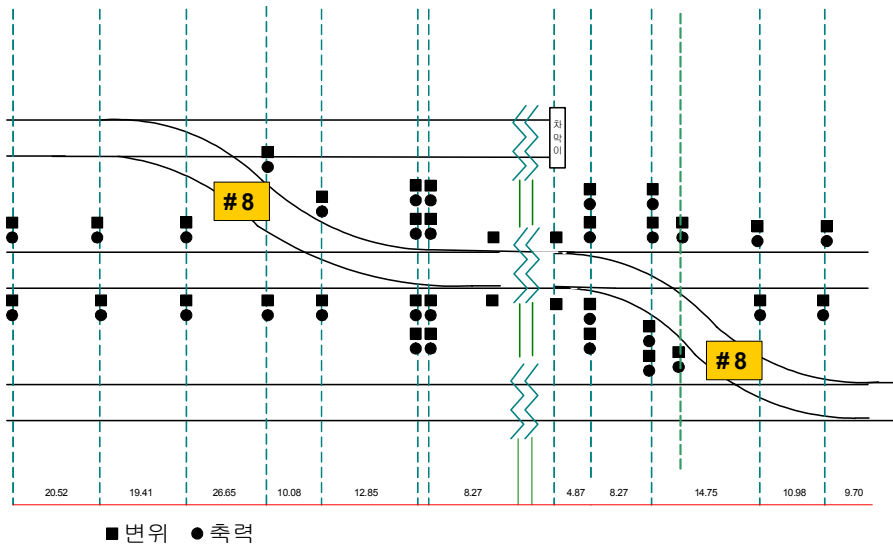
4. 현장계측 시스템의 구축

4.1 현장계측시스템의 구축 개요

현장계측시스템은 경춘선 평내역 구내에 설치된 건넘선을 대상으로 구축되었다. 평내역 구간은 인입선과 본선을 연결하는 건넘선과 본선과 본선을 연결하는 검넘선이 연속적으로 설치되어 있는 구간으로서 분기기의 종류는 60kgK레일용 8번 분기기이다. 계측현장전경 및 계측센스 부설도는 그림 1~2와 같다.



(그림 1) 계측현장 전경



(그림 2) 계측센스 부설도

4.2 축력 측정 방법

본 연구에서는 3절에서 설명한 여러 가지 축력측정방법 중에서계측의 정확도가 상대적으로 높고, 레일의 잔류응력과 재질에 관계없이 측정할 수 있을 뿐만 아니라 장기계측시스템을 구축하기에 용이한 변형계이지법을 사용하였다. 변형계이지 방법은 계측대상 레일의 변형량과 신축이 자유로운 레일의 변형량과의 차를 통하여 레일에 축적된 축력을 구하는 방식이다.

$$\epsilon_R = \beta \cdot \Delta T - \epsilon_m = \frac{P}{A \cdot E}, \quad P = \epsilon_R \cdot A \cdot E$$

여기서,

β : 레일의 열팽창계수, ΔT : 온도차, ϵ_m : 계측된 변형률

A : 레일의 단면적, E : 레일의 탄성계수, P : 축력

레일의 변형량을 측정하기 위한 변형계이지는 광섬유센스(FBG)를 사용하였다. FBG센스는 초기변형값을 기억할 수 있고 센스의 내구성이 뛰어나 장기계측을 위한 시스템의 구축에 적합하다. 현장에 부설된 FBG센스는 그림 2와 같다.



보호캡 부착 전



보호캡 부착 후

(그림 2) 축력측정 센서 부착

4.3 변위계측 방안

교량상에 부설되는 분기기의 변위는 교량의 변위에 의한 영향을 추가적으로 받게 되므로 분기기의 정확한 변위를 계측하기 위해서는 분기기자체의 변위 뿐 만 아니라 교량의 변위도 같이 계측하여야 한다. 분기기 레일 각 부분의 변위는 교량상에 기준점을 설정하고 레이저 측정장비를 활용하여 레일의 변위를 측정하였다. 교량상판 변위의 계측은 교각에 기준점을 설정하여 추를 이용하여 상판의 변위를 측정하였다.



(a) 레일변위 계측



(b) 상판 변위 계측

(그림 3) 변위계측

4.4 온도 측정 방법

레일온도의 측정은 레일의 두부를 천공하여 온도측정용 광섬유센서를 삽입하여 측정하였다. 온도의 측정은 지상에서 1m 높이에서 측정하여 이를 레일의 기준온도로 설정한다.

5. 결론

제시된 현장계측시스템으로 향후 계절적 온도변화에 따른 교량상 분기기의 축력변화에 대한 시험자료를 지속적으로 수집할 수 있을 것으로 기대되며, 계측된 결과는 해석프로그램의 검증자료로 활용될 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

- 高谷博文, 佐藤吉彦, 鈴木俊一 (1987), “분기기 온도 축압력 재하시험”, 철도기술연구속보 No.A87-214, 일본철도총합연구소
- 三浦重, 柳川秀明 (1989), “롱레일과 일체화된 분기기 레일의 축력특성, 철도총연보고, Vol.3, No.1, 일본철도총합연구소
- 岩佐裕一, 片岡宏夫, 柳川秀明 (2006), “분기기 개재 롱레일의 적용범위의 확대”, 철도총연보고, Vol. 20, No.4, 일본철도총합연구소
- "Interaction between welded turnouts and adjoining CWR track zones", ERRI D202/RP6 (1999), European Rail Research Institute.
- "경부고속철도 기존선 활용에 따른 판형교 장대부설 및 장대레일 관리방안 연구" (2000), 연구보고서, 한국철도기술연구원