

곡선부 캔트 과부족 자갈궤도의 궤도충격계수 고찰

A study on the Track Impact factor for
Curved Ballast Track According to Cant excess or deficiency박흥석[†], 송봉환^{*}, 최정열^{**}, 김만철^{***}, 박용걸^{****}Heung-Seok Park[†], Bong-Hwan Song^{*}, Jung-Youl Choi^{**}, Man-Cheol Kim^{***}, Yong-Gul Park^{****}

Abstract In the curved track, the contribution of wheel load on the low and high rail was fluctuated by cant deviation according to various vehicle speed, and it was affected on the track components by considering the equilibrium cant or cant excess condition. In this study, the measured track impact factor of each rail was compared with the performance requirements of ballasted track under real conditions, which included cant variation of curved ballasted tracks. Therefore, the dynamic wheel load were measured for three different trains (KTX, AREX and AREX express) running on two conventional curved track sections with two different cant (elevation). The track impact factor was estimated from the measured dynamic wheel load, and the empirical dynamic wheel load was calculated using the measured track impact factor at each site. The numerical simulations and field test results were compared with Korean regulations for train-induced track impact factor (dynamic amplification factor), and the speed effect of a KTX train was compared with that of a general train (AREX and AREX express).

Keywords : Ballast track, Curved track, Cant, Wheel load, Track impact factor

초 록 각기 다른 속도와 윤증을 갖는 열차(KTX, AREX, AREX express)가 공항철도 곡선부 자갈궤도를 주행함에 있어서 최고속도 기준으로 설정된 캔트는 열차속도의 변화에 따라 캔트의 과부족 현상을 초래할 수 있다. 또한 과캔트 상태는 내측 궤도의 부담력(충격효과)을 증폭시켜 내측 궤도구성품(레일, 침목 및 도상자갈)의 손상을 가중 시킬 수 있다. 본 연구에서는 곡선부 자갈궤도를 주행하는 열차종류별 특성 및 실제 통과속도를 고려한 차량-궤도 상호작용력 해석결과와 현장측정을 통해 산출한 내, 외측 궤도충격수준을 비교, 분석하였다. 연구결과, 대상선로에 대한 캔트설정의 적정성을 평가하고 이를 바탕으로 곡선부 캔트 과부족이 자갈궤도의 궤도충격수준에 미치는 영향을 분석하였다.

주요어 : 자갈궤도, 곡선궤도, 캔트, 윤증, 궤도충격계수

1. 서 론

본 연구에서는 각기 다른 속도와 윤증을 갖는 열차(KTX, AREX, AREX express)가 공항철도

† 교신저자 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정(phs2006@arex.or.kr)

* 공항철도(주) 시설처 선로팀장

** 철도시설연구소(주) 연구소장, 공학박사

*** 한국철도기술연구원 책임연구원, 공학박사

**** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수, 공학박사

곡선부 자갈궤도를 주행함에 있어서 최고속도 기준으로 설정된 캔트는 열차속도의 변화에 따라 캔트의 과부족 현상을 초래할 수 있다. 또한 과캔트 상태는 내측 궤도의 부담력(충격효과)을 증폭시켜 내측 궤도구성품(레일, 침목 및 도상자갈)의 손상을 가중 시킬 수 있다. 본 연구에서는 곡선부 자갈궤도를 주행하는 열차종류별 특성 및 실제 통과속도를 고려한 차량-궤도 상호작용력 해석결과와 현장측정을 통해 산출한 내, 외측 궤도충격수준을 비교, 분석하였다. 연구결과, 대상선로에 대한 캔트설정의 적정성을 평가하고 이를 바탕으로 곡선부 캔트 과부족이 자갈궤도의 궤도충격수준에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본론

2.1 수치해석

공항철도 곡선부 자갈궤도의 내, 외측에 발생하는 이론적인 궤도부담력(윤중)을 산출함에 있어 보다 신뢰성 있는 해석결과를 도출하기 위해 Section별 선형조건 및 실제 열차통과속도를 고려한 해석을 수행하였다.

수치해석을 위한 모델링은 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS Civil 2009를 사용하였다. 레일과 침목은 3차원 프레임요소(Frame element)로 구성하고 레일과 침목요소간 절점을 레일패드의 역할을 수행하는 스프링요소(Spring element)를 이용하여 레일패드의 스프링강성을 부여하고 도상자갈은 침목요소를 구성하는 절점과 도상깊이 및 도상자갈의 스프링강성을 고려한 스프링요소로 연결하여 도상자갈을 해석모델에 반영하였다. 또한 도상자갈의 스프링요소를 토공노반의 절점에 연결하여 궤도하중이 노반으로 전달될 수 있도록 궤도해석 모델을 구성하였다.

수치해석 결과 Section-A와 Section-B 구간에서 KTX의 경우에는 균형캔트에 해당하는 것으로 분석되었지만 AREX의 경우에는 내측 궤도의 응답이 다소 높게 나타나 과캔트의 경향으로 분석되었다. 열차별 차량-궤도 상호작용력 해석결과(예)는 Fig. 1과 같다.

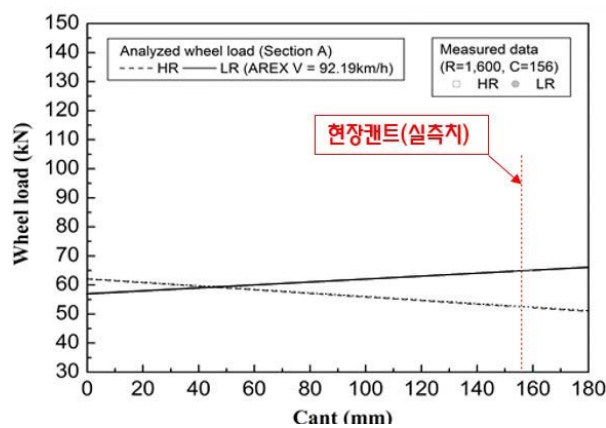


Fig. 1 차량-궤도 상호작용력 해석결과(예)

2.2 현장측정

2.2.1 개요

본 연구에서 검토한 개소는 Table 1과 같으며 현상상태에서의 내, 외측 궤도부담력(윤증)을 실험적으로 산출하여 캔트설정의 적정성을 평가하고 이를 바탕으로 곡선부 캔트 과부족이 자갈 궤도의 궤도충격수준에 미치는 영향을 분석하기 위해 현장측정을 수행하였다. 측정구간의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 측정구간 제원

Section	선형조건		도상	침목	레일	체결장치
	곡선반경(m)	캔트(mm)				
A	1,600	156.0	자갈	PC	60kgK	e-clip
B	1,600	154.0				

2.2.2 현장측정 결과 및 분석

곡선부 열차주행에 따른 내, 외측 레일에 작용하는 동적 윤증의 발생특성을 파악하고자 내, 외측 레일에 총 8Set의 윤증 게이지를 부착하여 열차종별 동적 윤증을 측정하였다.

윤증 측정결과, 측정구간을 주행하는 열차의 속도편차가 크지 않아 열차별(AREX, KTX) 속도 변화에 따른 내, 외측 윤증의 변화는 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 또한 측정구간별 하중분포범위(변동수준) 및 편차는 KTX 보다 AREX가 큰 것으로 분석되었으며 Section-A의 경우 내측레일과 외측레일의 편차가 내측레일에서 발생한 윤증이 약 1.3배 크게 발생하였다.

2.3 해석 및 측정결과 비교·분석

대상구간을 주행하는 열차종별 실측속도를 반영한 수치해석 결과와 현장측정 결과를 함께 비교하였다. 해석 및 측정 비교·분석 결과 KTX 속도대역에서는 현재 부설캔트 조건에서 적절한 수준으로 나타났지만 AREX 차량의 속도대역에서는 현재 부설캔트의 경우 내, 외측 궤도부담력(윤증)의 수준 차이가 큰것으로 나타나 과캔트 상태인 것으로 분석되었다.

2.4 확률론적 분석기법을 이용한 곡선부 자갈궤도의 궤도부담력 평가

Section별 열차주행에 따른 선로 내, 외측의 하중발생 특성을 파악하고자 측정된 동적 윤증을 발생빈도를 고려하여 가우시안(Gaussian) 확률분포 모델을 이용한 확률 통계 해석을 수행하였다. 측정결과와 해석결과의 비교분석에 있어서 확률적으로 신뢰범위 80% 이내에 포함될 수 있는 수치해석 결과를 이용하여 현재 상태에서의 캔트 설정의 적정성을 입증하였다. 분석결과

Fig. 2와 같이 열차 종류와 무관하게 해석결과가 측정 윤중 확률밀도 분포곡선의 80% 범위내에 포함되는 것으로 나타나 해석결과는 측정결과를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

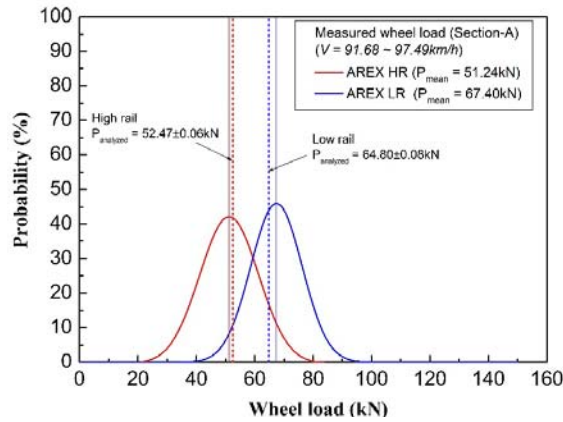


Fig. 2 측정 윤중 확률분포 검토 결과(예)

2.5 궤도충격계수 평가

Fig. 3은 철도설계편람(궤도편)의 동적충격계수(DAF:Dynamic amplification Factor)와 각각의 측정구간에서의 측정 충격계수값과의 비교를 위한 그래프로써 선으로 표시된 DAF는 현재 국내에서 궤도설계 시 고려되는 설계충격계수이며, Scatter는 본 연구의 측정구간에서 측정된 동적윤중 측정결과를 이용하여 산출한 측정 궤도충격계수를 열차별(AREX, KTX)로 나타내었다.

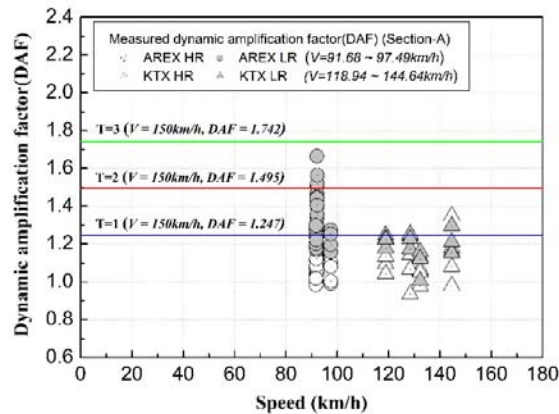


Fig. 3 설계 및 측정 궤도충격계수 비교(예)

현장측정결과를 바탕으로 현 궤도상태에서의 궤도충격계수 검토결과, KTX의 경우 Section-A, B 개소에서 대부분 $t=1$ (접촉응력, 노반 구조계산에 적용)을 적용한 궤도충격 수준에 근접하거나 다소 상회하는 것으로 나타나 KTX의 동적윤중변동에 따른 궤도 충격수준은 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 하지만 과켄트에 해당되는 AREX 열차의 충격수준은 $t=3$ (응력, 체결장치, 침목구조계산시 적용값)을 적용한 궤도충격 수준에 근접하게 발생되어 측정구간의 레일 직하

부 및 궤도구성품에 미치는 충격수준이 클 것으로 판단된다. 충격의 수준은 Section-A의 경우 KTX 보다 AREX가 약 30% 크게 발생하였으며 Section-B의 경우 약 19% 크게 발생하는 것으로 분석되었다.

3. 결 론

본 연구는 각기 다른 속도와 제원을 가진 열차가 동일한 곡선부를 통과시 곡선부 캔트 과부족이 자갈궤도의 궤도충격수준에 미치는 영향을 분석하였고 결론은 다음과 같다.

KTX의 경우 균형캔트 상태이지만 상대적으로 열차하중이 작고 속도가 느린 AREX 열차가 선로조건(과캔트)에 의해 궤도에 작용하는 충격효과는 Section-A의 경우 약 30%, Section-B의 경우 약 19%로 분석되어 KTX 보다 크게 발생하는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- [1] VTI report 595A. Tilting trains – description and analysis of the present situation (a literature study), Sweden; 2007.
- [2] Railway Technical Research Institute, Design Standard and Manual for Railway Structure (Ballasted Track), Japan; 1997.
- [3] J-Y-Choi. Prediction of displacement induced by tilting trains running on ballasted tracks through measurement of track impact factors. *Engineering Failure Analysis* 31 (2013), 360–374.
- [4] Sato Y. Japanese studies on deterioration of ballasted track. *Vehicle Syst Dyn* 1995;24(Suppl.):197–208.
- [5] International Union of Railways, Office for Research and Experiments, Question D71. Stresses in the track, ballast and formation as a result of rolling loads, stresses in rails, part 2: calibration and measuring procedures. Report No. 1, Utrecht, Holland; 1965.
- [6] MIDAS/FEA user manual. MIDAS Information Technology Co. Ltd., Joongwon-gu, Seongnam, Gyeonggi-do, Korea; 2009.
- [7] Bathe KJ, Wilson EL. Numerical methods in finite element analysis. Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall; 1976.
- [8] Desai CS, Siriwardane AM. Numerical models for track support structures. *ASCE J Geotech Eng* 1982;108:461–80.
- [9] Dinkel J, Grundmann H. Winkler parameters for railway dynamics derived from 3-D half space analysis. In: *Proceedings of EURO-DYN-99*; 1999. pp.831–6.
- [10] Li D, Ernest T. Wheel/track dynamic interaction—track substructure perspective. *Vehicle Syst Dyn* 1995;24:183–96.