

## 곡선궤도에서 캔트 및 레일편마모에 따른 탈선계수 분석

## Analysis of Derailment Coefficient according to Cant and Rail Side Wear in Curved Track

성덕룡\*, 박용걸†, 유필재\*\*, 백인철\*\*\*, 이재익\*\*\*\*

Deokyong Sung\*, Yonggul Park†, Piljai Yu\*\*, Inchul Back\*\*\*, Jaek Lee\*\*\*\*

**초 록** 본 논문은 곡선부 궤도에서 레일마모한계치에 도달한 레일을 열차가 주행할 때 발생하는 탈선계수에 대한 분석을 수행하였다. 곡선반경 600m에 대한 차량/궤도 상호작용해석을 수행하였으며, 레일마모한계치에 도달한 레일을 모델링하였다. 레일종류에 따라 마모한계치가 상이하기 때문에 레일종류별 마모한계치를 달리 적용하였으며, 곡선부 캔트량에 따른 탈선계수를 분석하였다. 레일마모한계치가 다른 50kg/m 및 60kg/m 레일의 경우, 현재 적용되고 있는 레일마모한계치를 적용할 경우 레일종별 탈선계수의 차이는 거의 없었으나, 열차속도가 증가함에 따라 탈선계수는 크게 증가하였다. 또한, 초과캔트가 발생하는 경우에 비해 부족캔트가 발생할 경우, 탈선계수의 증가폭은 컸고, 열차속도가 증가할수록 더욱 증가하였다.

**주요어** : 곡선부, 캔트, 레일편마모, 탈선계수, 차량/궤도 상호작용해석

## 1. 서 론

열차가 곡선구간을 주행할 때 차륜이 외측 레일에 충격을 가하는 각도(attack angle)가 형성되고, 설계속도와 운행속도의 차이로 인해 곡선부 레일에는 편마모(45° wear)와 직마모(vertical wear)가 발생하게 된다. 이러한 곡선부 레일마모로 인한 레일교체는 많은 선로유지보수비용을 발생시킨다.

본 연구에서는 차량/궤도 상호작용해석을 통해 레일마모량 및 캔트량에 따른 탈선계수를 분석하였다. 해석결과는 열차가 주행할 때 발생하는 윤중과 횡압을 Nadal식[1-4]을 이용하여 탈선계수로 분석하였다.

## 2. 본 론

## 2.1 곡선부 차량/궤도 상호작용해석

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수(ygpark@seoultech.ac.kr)

\* 대원대학교 철도건설과 교수

\*\* 한세이엔시

\*\*\* 한국철도공사

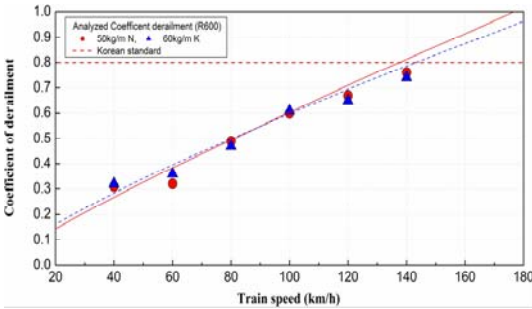
\*\*\*\* 서울과학기술대 철도전문대학원 철도건설공학과

곡선부 차량/궤도 상호작용해석은 다중 본체 동역학 시뮬레이션프로그램인 VI-Rail을 이용하였다. 차륜과 레일의 상호작용에 의한 접촉조건[1, 5-6]을 부여하였고, 마모된 레일을 모델링하기 위해 Flexible track system model[5] 기능을 사용하였다. 차량과 궤도의 상호작용해석모델은 열차에 의한 이동하중이 궤도에 전달될 수 있도록 탄성기초 위의 유연한 이산지지 보로 구성된 3차원 유한요소모델을 적용하였다. 차륜-레일 접촉은 헤르츠 스프링요소로 모델링하였다[1, 5-6].

본 연구에서 차량 모델은 국내 운행열차 중 축중이 가장 큰 디젤기관차 1량을 모델링하였으며, 열차속도는 일반철도 곡선통과 제한속도[7]를 참조하여 열차속도를 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 km/h로 모델링하였다. 또한, 곡선반경 600m에서 열차속도와 레일마모 유무에 따른 탈선계수를 분석하기 위해 곡선부 외측레일에 대하여 레일마모가 없는 신폼레일의 경우(Case 1), 국내 레일마모한계치를 적용한 경우(Case 2), 국내 레일마모한계치 보다 작은 마모량을 가지는 경우(Case 3)로 구분하였다.

## 2.2 레일종류 및 캔트량의 영향

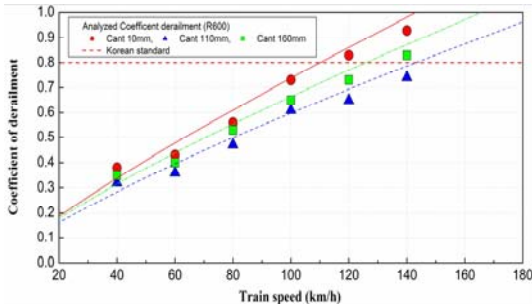
Fig. 1은 곡선반경 600m에 대하여 50kg/m 레일과 60kg/m 레일에 따른 열차속도별 탈선 계수를 분석한 결과이다.



**Fig. 1.** Analysis of derailment factor according to train speed at curved track that have reached rail wear limits by rail type (cant 110mm)

Fig. 1로부터 50kg/m 레일의 마모한계치(직마모 12mm, 편마모 13mm)와 60kg/m 레일의 마모한계치(직마모 13mm, 편마모 15mm)를 적용하였을 때, 레일종류별 탈선계수 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다.

Fig. 2는 R600에 대하여 캔트량 10mm(최대 부족캔트량 100mm 적용 시), 110mm(균형캔트), 160mm(최대설정캔트)에 60kg/m 레일 마모한계치(직마모13/편마모15mm)를 적용하여 수행한 차량/궤도 상호작용해석결과이다.



**Fig. 2.** Analysis of derailment factor according to train speed at curved track that have reached rail wear limits by cants

Fig. 2를 보면 최대부족캔트(100mm)가 발생할 경우, 탈선계수는 약 30%(부족캔트 10mm 당 약 3%) 증가하며, 열차속도가 증가할수록 탈선계수 증가폭은 더욱 커지는 것으로 분석되었다. 또한, 초과캔트가 발생할 경우(최대 설정캔트 160mm 적용 시)에는 약 10%(초과캔트 10mm 당 약 0.5%) 탈선계수가 증가하며, 열차속도가 증가할수록 탈선계수 증가폭도 증가하는 것으로 분석되었다.

### 3. 결론

레일마모한계치가 다른 50kg/m 및 60kg/m 레일의 경우, 현재 적용되고 있는 레일마모한계치를 적용할 경우 레일종별 탈선계수의 차이는 거의 없었으나, 열차속도가 증가함에 따라 탈선계수는 크게 증가하였다. 또한, 곡선궤도에서 초과캔트가 발생하는 경우에 비해 부족캔트가 발생할 경우, 탈선계수의 증가폭은 컸고, 열차속도가 증가할수록 더욱 증가하였다.

### 후 기

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 철도기술연구사업(19RTRP-B113566-04)에 의해 수행되었으며, 관계자분들께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] P. Yu, D. Sung, J. Lee, Y. Park (2018) Effect of high rail wear on derailment coefficient in curved track, *Journal of the Korean Society for Railway*, 21(4), pp. 373~380.
- [2] C. Esveld (2001) *Modern Railway Track*, MRT-Productions, pp. 23~33, pp. 59~60, pp. 71~90.
- [3] J. Zeng and Q. H. Guan (2008) Study on flange climb derailment criteria of a railway wheelset, *Vehicle System Dynamics*, 46(3), pp. 239~251.
- [4] H. Ishida, T. Miyamoto, E. Maebashi, H. Doi, K. Iida, and A. Furukawa (2006) Safety assessment for flange climb derailment of trains running at low speeds on sharp curves, *QR of RTRI*, 47(2), pp. 65~71.
- [5] Y. Bezin, S.D. Iwnicki, M. Cavalletti, E. de Vries, F. Shahzad, and G. Evans (2009) An investigation of sleeper voids using a flexible track model integrated with railway multi-body dynamics, *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: J. Rail and Rapid Transit*, 223(6), pp. 597~607.
- [6] K. Popp, H. Kruse, and I. Kaiser (1999). "Vehicle-track dynamics in the mid-frequency range", *Vehicle System Dynamics*, 31( 5~6), pp. 423~464.
- [7] 한국철도공사 (2011). "열차운전시행세칙", 대전, 대한민국.  
(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper -Template 작성일: 2019.2.8)