

분기구간에서의 차륜/레일 접촉특성 해석에 의한 탈선안전 연구 Analysis of Wheel/Rail Contact Characteristics on a Turnout

한형석* 김만철** 허현무** 허영철***

Han, Hyung Suk Kim, Man Chul Hur, Hyun Moo Hur, Young Chul

ABSTRACT

The characteristics of geometric contact between the wheel and rail on the turnout must be precisely investigated to limit the speed of trains at a turnout. The characteristics of the contact have an effect on the derailment of trains at a turnout and maintenance of a turnout. In this paper, an analysis program for characterization of the contact on a turnout is first developed. With the developed program, the characteristics of geometric contact, including the contact during steady state running, were analyzed and discussed for improving the safety of trains.

1. 서론

철도차량의 탈선의 원인은 다양하나 기본적으로 외란에 따른 차륜과 레일간의 접촉 불안정에 의하여 발생한다. 그렇기 때문에 일반적인 주행 상태에서의 탈선에 대한 안전을 향상시키기 위해서는 기본적으로 차륜과 레일의 형상에 따른 접촉 특성에 대한 분석이 요구된다. 접촉각, 접촉점 위치 등과 같은 접촉특성 해석을 통하여 차량의 탈선 가능성을 사전에 감소시킬 수 있다. 특히, 분기기에서는 차량 주행 선로를 변경하기 위하여 텅레일을 사용하기 때문에 불안정한 운동이 발생할 가능성이 있다. 이 불안정한 운동은 탈선을 야기할 수 있고 분기기의 마모를 일으켜 유지보수 비용이 증가할 수 있다. 때문에 분기기에서는 주행 속도를 제한하고 있다. 그러므로 분기구간에서의 차륜 형상 종류에 따른 접촉 특성에 대한 분석이 요구된다. 일

본 논문에서는 분기기에서의 차륜/레일 접촉특성을 분석하는데 목적이 있다. 이를 위하여 분기기에서의 차륜/레일 접촉특성 해석 프로그램이 개발되었다. 개발된 프로그램을 이용하여 국내에서 사용 중인 고속분기기에서의 기하학적 접촉 특성을 우선 분석하였다. 다음으로 정상상태 곡선주행 가정하에서의 접촉위치를 분석하였다. 여기서, 차륜 및 차종은 국내에서 운행 중인 것으로 하였다. 이러한 연구 결과는 분기기나 일반적인 구간에서의 차륜별 접촉특성을 이해하고 탈선을 예방하는데 기본 자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

* 책임저자, 정회원, 한국기계연구원, 시스템엔지니어링연구본부

E-mail : hshan@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7814 FAX : (042)868-7418

** 한국철도기술연구원

*** 한국기계연구원

2. 프로그램 개발

2.1 기하학적 접촉 해석

차륜과 레일의 접촉해석은 그림 1 ~ 그림 3과 같은 좌표계와 기하학적 구속조건을 이용하여 접촉 위치를 찾는 것으로부터 시작된다. 일단, 접촉위치가 결정되면 그로부터 접촉특성인 차륜회전 반경, 레일 접촉점 위치, 차륜 곡률반경, 차륜 접촉각 등과 같은 12종의 접촉특성을 얻을 수 있다. 이에 대하여는 참고문헌 [1-3]을 참조바란다.

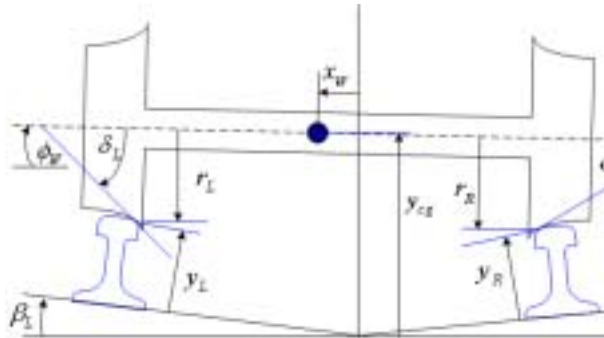


그림 1. 차륜/레일 접촉

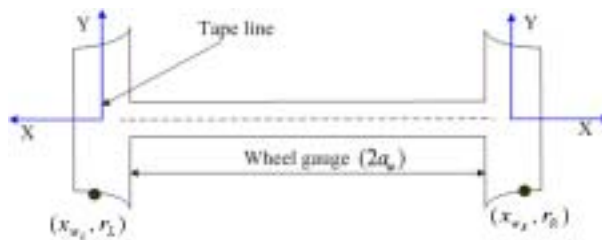


그림 2. 차륜 형상 정의

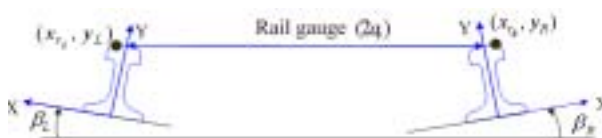
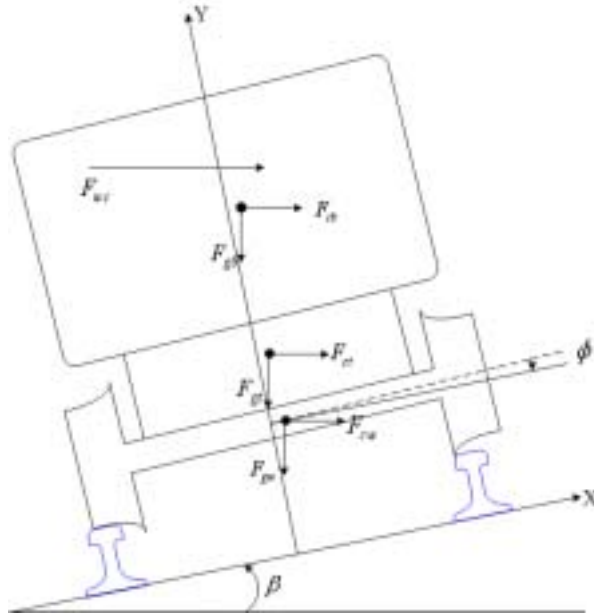


그림 3. 레일 형상 정의

2.2 정상상태 접촉 해석

기하학적 접촉에서는 힘이 고려되지 않는다. 기하학적 접촉 특성을 이용하여 물리적 의미를 부여하기 위하여 차량의 질량과 정상상태 곡선 주행을 고려할 필요가 있다. 정상상태 주행을 고려하면 곡선 궤도에서의 운측의 위치 즉 접촉 상태와 차륜에서의 수직, 횡하중을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 곡선궤도에서의 캔트 량, 곡률 반경, 차량의 운행 속도 결정에 이용 가능하다. 본 논문에서는 정상상태에서의 접

측 특성을 찾기 위하여 그림 4와 같은 차량은 가정한다. 차량의 1, 2차 현가장치는 강체로 가정한다. 정상상태 접촉 특성 해석에서는 현가장치를 고려하지 않고 단지 질량과 질량 중심을 고려한다. 정상상태에서의 접촉위치는 기하학적 접촉해석 결과와 힘의 평형 조건으로부터 얻을 수 있다. 즉, 기하학적 접촉 해석에서 구한 접촉위치와 접촉점에서의 접촉각을 힘의 평형방정식에 삽입한 후 반복적으로 평형방정식을 만족하는 접촉 위치를 찾을 수 있다.



- N_{zl}, N_{zr} : 좌우 차륜에서의 수직 접촉력
- F_{wl}, F_{wr} : 좌우측 차륜에서의 접촉력
- F_{gb} : 중력 가속도에 의한 차체 작용력
- F_{gt} : 중력 가속도에 의한 대차 작용력
- F_{gw} : 중력 가속도에 의한 윤축 작용력
- F_{cb} : 원심력에 의한 차체 작용력
- F_{ct} : 원심력에 의한 대차 작용력
- F_{cw} : 원심력에 의한 윤축 작용력
- F_{wc} : 바람에 의한 차체 작용력

그림 4. 정상상태 주행

2.3 프로그램 개발

전절에서 설명한 접촉해석 알고리즘을 이용하여 차륜/레일 접촉해석 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 구조와 기능은 그림 5와 같다. 주 기능은 다음과 같다.

- 차륜, 레일 형상 관리: 차륜과 레일의 형상을 입력, 수정, 편집, 저장
- 접촉해석: 해석 조건을 정의하고 12종의 기하학적 접촉특성 해석
- 결과분석: 2차원 그래프, 2차원 애니메이션에 의한 해석 결과 분석
- 정상상태 해석: 차량 제원 입력 받고 기하학적 접촉해석 결과를 이용하여 정상상태 접촉특성 해석

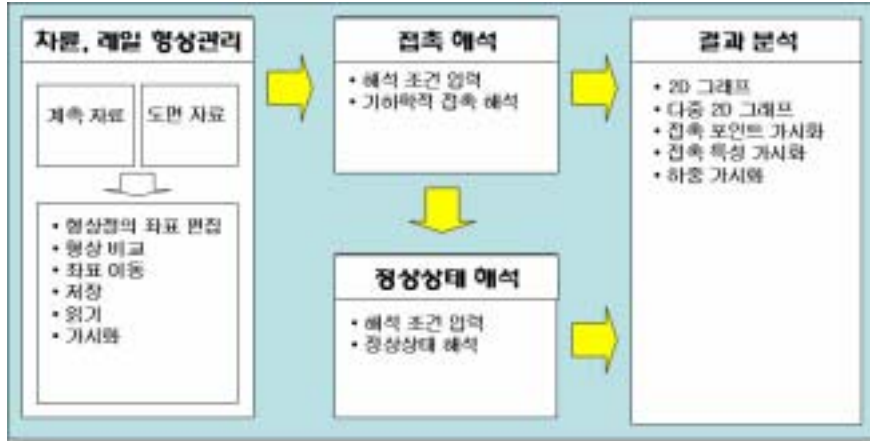


그림 5. 차륜/레일 접촉해석 프로그램 구조 및 기능

3. 분기기 접촉 해석

3.1 기하학적 접촉

본 논문에서 대상으로 하는 분기기는 고속분기기(F26)로 부기구간에서의 텡레일의 단면 형상 일부를 그림 6에서 보여주고 있다. 본 논문에서는 단면 형상 중 차륜과의 접촉이 본격적으로 발생하는 침단부로부터 2000 mm 구간에 대하여 적용하였다. 차륜은 국내에서 사용되는 원추형(1/20), 원추형(1/40), 원호형(1/20), KTX의 XP(1/20), GV(1/40)들이 있다. 그림 7은 해석 결과 중 차륜의 접촉각을 보여주고 있다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 윤축 횡변위에 대하여 플랜지 접촉은 원호형 1/20(3.4 mm) → 원추 1/40(6.0mm) → 원추 1/20 (6.0mm) → XP 55(7.4mm) → GV 50(7.8mm) 순으로 발생하는 것을 알 수 있다. 특히 사향으로는 원호형의 경우 접촉각의 크기가 다른 차륜과 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 접촉각이 상대적으로 작은 윤축 변위에 대하여 변화가 먼저 일어나는 것을 볼 수 있다. 접촉각의 최대 크기는 전 차륜이 비슷한 크기를 보이고 있다.

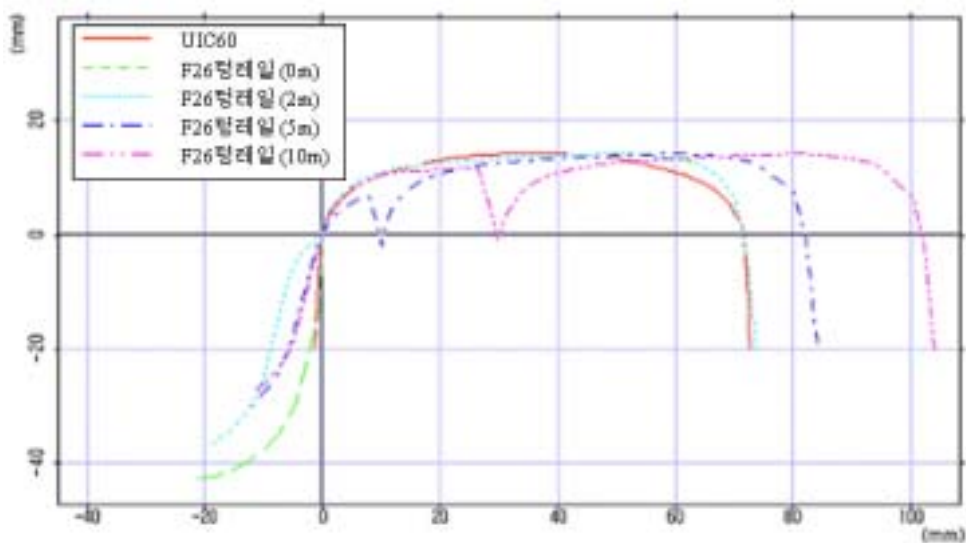


그림 6. 고속분기기 F26 텡레일 단면 형상

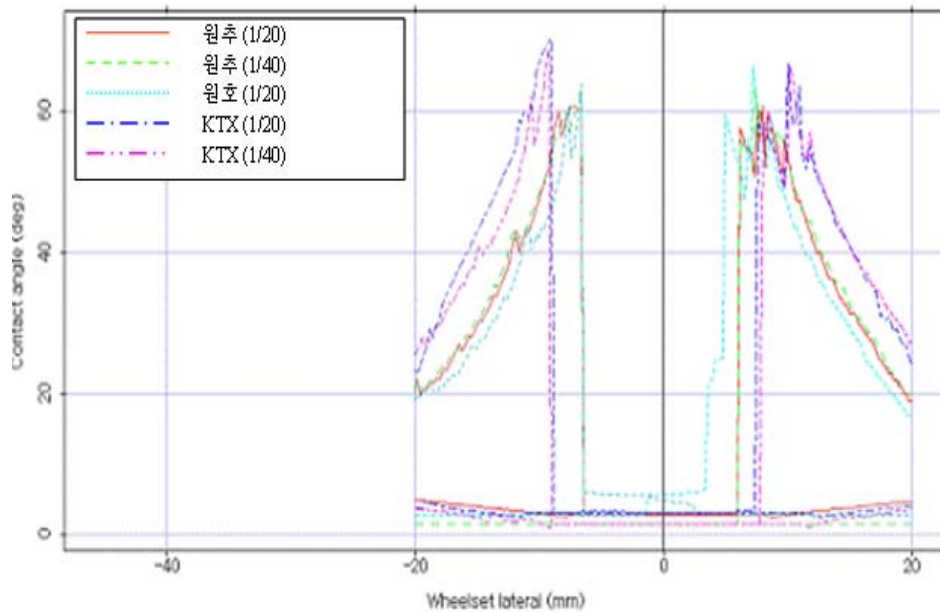


그림 7. 분기기에서의 차륜별 접촉각

3.2 정상상태 접촉

차종별 분기기구간에서의 속도와 곡선반경을 고려한 정상상태 접촉특성을 해석하였다. 정상상태는 그림 4와 같은 형상과 힘들이 고려된다. 표 1은 차종별 정상상태 접촉 특성 해석에 필요한 물성치를 보여주고 있다. 레일은 그림 7에서와 같은 F26 분기기이다. 상세한 분석은 텅레일 침단부로부터 2000 mm 구간에 대하여 이루어진다. 차량의 속도는 130 km/h이다. 130 km/h는 분기기에서의 규정속도이다. 그림 8은 이상의 조건에 대한 각 차종별 정상상태 접촉 위치의 가시화 결과를 보여주고 있다. 표 2는 각 차종에 대한 결과를 보여주고 있다. 접촉 위치는 화차, 무궁화, 새마을은 윤축의 횡변위가 약 6.4mm, KTX는 8.8 mm인 것을 알 수 있다. 즉, KTX가 윤축 변위가 큰 것을 알 수 있다. 탈선계수는 화차, 무궁화, 새마을은 거의 동일하게 0.149 이고 KTX는 0.153 인데 수치적 오차를 고려한다면 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 그림 8. 정상상태에서의 차륜별 접촉 위치를 가시적으로 보여주고 있다.

표 1 차량별 물성치

물성치	화차	무궁화	새마을	KTX
차륜	원추(1/20)	원추(1/20)	원추(1/20)	XP55(1/20)
대차질량(kg)	2325	2800	4400	6520
차체질량(kg)	2300	6650	13750	27500
차체질량중심 높이(mm)	840	1600	1410	1720

표 2 정상상태 접촉 특성

결과	화차	무궁화	새마을	KTX
접촉위치 (윤축변위,mm)	6.4	6.4	6.4	8.8
수직력(kN)	23	47	90	170
횡력(kN)	3.4	7.0	13.4	25.8
탈선계수	0.149	0.149	0.149	0.153

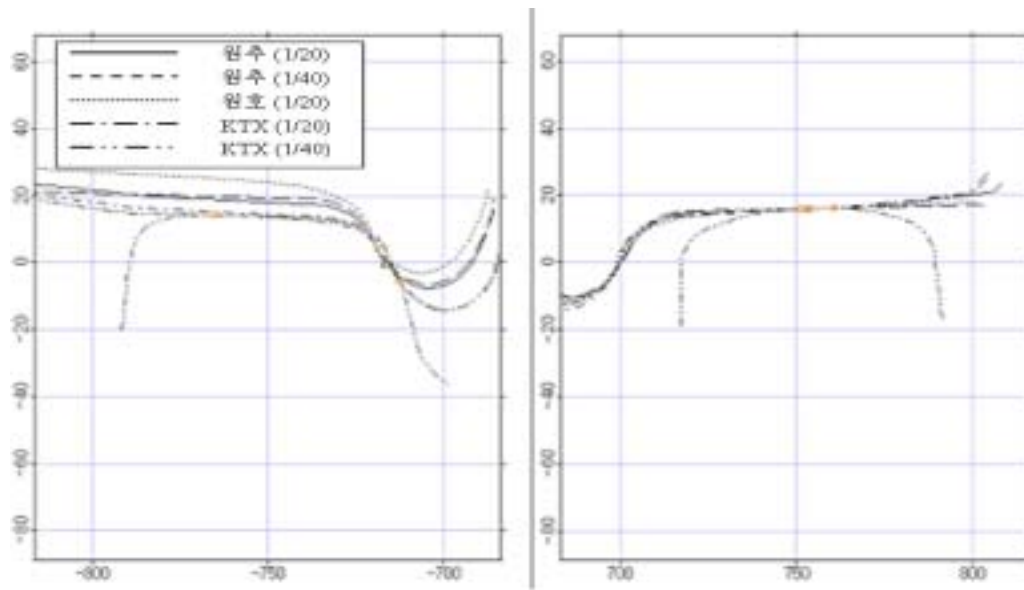


그림 8. 분기기에서의 정상상태 접촉 위치

4. 결론

이상과 같이 분기기에서의 차륜과 레일의 기하학적 접촉특성과 정상상태 접촉특성 해석 프로그램을 개발하고, 고속분기기(F26)에 대하여 국내에서 사용되는 5종의 차륜형상을 적용한 결과 차륜 횡변위에 대하여 플랜지 접촉이 3.4mm(원호형 1/20) → 6.0mm(원추 1/40) → 6.0mm(원추 1/20) → XP 55 (7.4mm) → GV 50 (7.8mm) 순으로 발생하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 분기기에서의 플랜지 접촉 가능성, 그로 인한 마모 및 탈선 가능성의 순서가 될 수도 있다. 정상상태 주행을 가정한 접촉특성 해석을 차량 속도가 130 km/h 일 때 표 1에서와 같은 차종에 대하여 해석을 수행하였다. 그 결과 접촉 위치는 화차, 무궁화, 새마을은 윤축의 횡변위가 약 6.4mm, KTX는 8.8 mm인 것을 알 수 있었다. 즉, KTX가 윤축 변위가 큰 것을 알 수 있다. 탈선계수는 화차, 무궁화, 새마을은 거의 동일하게 0.149 이고 KTX는 0.153 인데 수치적 오차를 고려한다면 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 이러한 접촉특성 분석은 간접적으로 탈선안전 연구에 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Burton, T. D. and Whitman, A.M.(1978), "Nonlinear Kinematics of Wheel-Rail Contact," J. of Applied Mechanics, Vol. 45, pp.664-668.
2. 박정훈, 임진수, 황요하, 김창호(199), "차륜/레일간의 접촉력 계산을 위한 접촉점 해석 알고리즘," 한국철도학회 논문집, 제2권 제3호, pp.1-8.
3. Cooperrider N. K., Law, E. H., Hull, P. S., Kadala, P. S., Tuten, J. M.(1975), "Analytical and Experimental Determination of Nonlinear Wheel/Rail Geometric Constraints", Report No. FRA-OR & D.