

철도차량의 고정축거가 곡선구간에서의 주행성능에 미치는 영향에 관한 연구

A study on effect that rigid wheel base of rolling stocks gets in running performance in curved line section

*,#함영삼¹

*,#Y. S. Ham(ysham@krii.re.kr)¹

¹한국철도기술연구원 차륜궤도연구실

Key words : Rigid Wheel base, Running Performance

1. 서론

철도차량에서 고정축거라 함은 중심회전이 가능한 주행장치에 부착된 1군의 고정축에서 맨 앞부분의 차축과 맨 뒷부분의 차축중심간 수평거리를 말한다.

한국철도공사에서 새롭게 구입하고자 추진하고 있는 화물용 전기기관차의 고정축거가 현재 코레일에서 운용중인 디젤전기기관차의 3,708 mm에서 4,250 mm으로 확대됨에 따라 화물용 전기기관차가 코레일 본선에서 운행될 때 철도안전법에서 요구하는 주행안전성 기준을 만족하는지 여부를 판단하기 위하여 고정축거가 주행성능에 미치는 영향을 검토하였다. 주행안전성 해석에는 철도차량 동특성 해석 프로그램인 VAMPIRE(Vehicle dynAmics Modeling Package In a Railway Environment)을 이용하였다.

2. 고정축거의 영향

2.1 차량 안정성

철도차량의 주행안정도 혹은 헌팅(Hunting)은 철차의 원추형 차륜과 밀접한 연관을 가지고 있다. 원추형 차륜은 횡방향으로 차량이 복원되도록 하는 일종의 안내기능 즉 차륜 플랜지(Flange) 쪽에서 담면쪽으로 이동하려는 중앙복원 작용을 한다. 이와 같은 현상에 의해서 차량의 대차, 휠셋(Wheelset) 시스템은 감쇄가 없는 상태의 주기적인 진동이 계속되는 상태가 발생할 수 있는데 이러한 현상을 Hunting이라 하고 그때의 속도를 임계속도라 하여 차량의 주행 안전성을 판단하는 기준이 된다. 대차의 기하학적인 설계변수인 고정축거(Wheel Base)는 크면 클수록 주행안정성의 판단기

준이 되는 헌팅 임계속도는 증가하여 주행안정성이 향상된다.

2.2 곡선구간 주행성능

곡선구간 주행성능에 미치는 인자로서는 휠셋에 작용하는 수직하중, 횡하중, 길이방향 힘에 의한 차륜의 탈선, 선로의 궤도 횡방향 변형 등이 있다. 이와 같은 것들은 대차의 차축에 작용하는 횡하중에 의해서도 영향을 받는다. 대차의 기하학적인 설계변수인 고정축거는 증가할수록 전방차축 외륜의 횡하중이 같이 증가되어 곡선주행성능을 저하시킬 수 있으나, 주행성능은 기하학적인 특성 외에 1차현수장치 등의 특성에 의해 조절 될 수 있다.

3. 주행안전성 검토

3.1 모델링 및 해석조건

차량의 동역학 해석을 위해서는 실제의 복잡한 차량 구조를 질량, 스프링 및 댐퍼의 Lumped parameter로 이루어진 수학적 요소로 모델링해야 한다. 차체와 2개의 대차 프레임, 6개의 윤축 질량요소 사이에 적절한 특성을 갖는 스프링과 댐퍼를 연결시켜 화물용 전기기관차를 모델링하였다. 차량 거동에 대한 좌표축은 전후방향을 X축, 좌우방향을 Y축, 상하방향을 Z축으로 설정하였으며, X, Y, Z축에 대한 회전 운동을 각각 roll, pitch, yaw 운동이라 한다. 선로조건은 코레일 선로의 본선 최소반경 R150 및 R300과 R600 곡선구간에서의 주행 안전성을 검토하였다. 곡선별 최고운행속도는 캔트 150mm에서 최대 캔트 부족량 100mm를 기준으로 선정하여 R150에서는 최고 52kph, R300에서는 75kph, R600에서는 120kph로 주행하는 경우에 대

한 주행성능을 검토하였다. 궤도 불규칙도 데이터는 VAMPIRE 궤도 데이터의 track160데이터의 0~680m 구간의 데이터를 적용하였다.

차량의 주행성능 평가 항목 중에서 차량의 고정축거 변경에 따라 가장 많은 영향을 받는 부분은 곡선구간에서의 차륜과 레일간에 상대변위 및 작용 하중에 의하여 결정되는 동적 탈선계수, 동적 윤증감소율, 횡압 등이다. 동적 탈선계수란 선로를 주행하는 동안에 차륜과 레일의 횡방향 작용력(Y)과 수직 방향 하중(Q)의 비로서 Y/Q로 나타내며, 동적 윤증감소율이란 감소된 윤증과 정적 윤증의 비로서 $\Delta Q/Q$ 로 나타낸다. 또한 횡압은 차륜과 레일사이에 횡방향으로 작용하는 힘으로 윤축 단위의 횡력으로 나타낸다. 이상의 주행 안정성 평가 지수에 대한 기준은 철도차량안전기준에 관한 규칙에 근거하였으며 표1과 같다.

Table 1 Standard of estimation for running safety

평가항목	허용한도
제30조 (윤증감소율) ($\Delta Q/Q$)	동적 윤증감소율 80% 이내
제31조 (횡압) 횡압 $Q = a * (W/3+10)$ 이내, W: 축중(kN), a: 1.0	$W = 22\text{ton} * 9.81 = 215.8\text{kN}$ $Q = 1.0 * (215.8/3 + 10) = 81.9\text{kN}$ 이내
제32조 (탈선계수) 빈도누적확률에 따라 0.8 ~ 1.1까지 허용	최대값 1.1 이하

3.2 해석결과

곡선반경별로 주행속도에 따라 각 휠에서 발생하는 탈선계수 최대값은 600R 선로에서 0.42, R300 선로에서 0.48, R150선로에서 0.67로서 동적 탈선계수 최대 허용치인 1.1이내에 있음을 알 수 있다.

곡선반경별, 하중조건별 동적 윤증감소율 최대치는 600R선로에서는 55%, R300선로에서는 42%, R150선로에서는 45%로, 동적 윤증감소율 최대 허용치인 0.8(80%)이내에 있는 것으로 계산되었다.

횡압은 2m sliding average 필터링이 적용된 VAMPIRE의 차륜 횡압 계산 결과의 최대값을 구하였으며, 최대치는 600R선로에서 35 kN, R300선로에서 38 kN, R150선로에서 46 kN으로서, 차륜 횡압 허용치인 81.9 kN 이내이었다.

4. 결론

지금까지 검토한 결과 고정축거를 크게 하였을 경우 차량의 주행안전성은 좋아지는 반면 기하학적으로 곡선주행성능은 약간 저하됨을 알 수 있다. 따라서 철도차량의 속도를 향상시키기 위해서는 고정축거를 크게 하는 것이 유리하며, 화물용 전기기관차에 대한 주행 안전성 해석 결과로부터 고정축거 4,250 mm인 경우에도 철도차량안전기준에 관한 규칙에서 요구하는 주행 안전성 평가항목을 만족할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. UIC CODE 518, 4th edition, September 2009, Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Running behaviour, International Union of Railways
2. Young-Sam Ham, Jai-Sung Hong, Taek-Yul Oh, A Study on the Evaluation Methods of Running Safety for Railway Vehicle, Key Engineering Materials, Vols. 321-323, pp. 1499-1502, 2006.