

대차 주행시험대상에서의 차륜/궤조륜 접촉특성 해석

*허현무¹, 유원희¹

¹ 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

Wheel/Roller Contact Geometry Analysis of Railway Roller Rig

*H. M. Hur¹, W. H. You¹

¹ Railway System and Safety Research Department, Korea Railroad Research Institute

Key words : Bogie Roller Rig, Wheel/Rail Contact Geometry

1. 서론

철도차량의 동역학적 특성은 차륜과 레일의 접촉에 의한 영향이 크다. 차륜과 레일간의 접촉은 차륜, 레일을 강체로 가정하여 레일에 대한 차륜의 기하학적 접촉 특성 해석을 수행한 후, 접촉점에서 탄성학적 접촉이론을 적용하여 접촉형상, 면적, 접촉응력을 구하고 동역학 방정식을 구성하여 해를 구하는 것이 일반적인 해석 방법이다. 따라서 차륜/레일간 기하학적 접촉해석 결과는 철도차량 동역학 해석의 핵심 요소이자 출발점이라 할 수 있다.

한편, 철도차량의 임계속도, 진동, 승차감과 같은 운동특성을 분석하고 수준을 평가함에 있어서는 각 인자의 특성을 시험할 수 있는 시험선로를 확보하여 시험을 수행하는 것이 이상적이라 할 수 있다. 그러나 주행선로의 영향을 배제한 차량의 고유한 특성을 시험하기에는 시험선로에서의 시험보다는 실험실 환경하에서 시험조건을 임의로 부여할 수 있는 전용시험기를 활용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 이러한 목적으로 철도차량에서는 차량동특성시험기와 대차동특성시험기와 같은 주행시험대(roller rig)를 활용하고 있으며 차륜과 주행시험대의 회전하는 레일에 상응하는 궤조륜(roller)간의 기하학적 접촉특성을 이해하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 우리 연구원에서 구축중인 대차 동특성 시험기의 차륜과 궤조륜(roller)간 기하학적 접촉특성을 해석 연구를 수행함으로써 레일 위를 주행하는 일반적 차륜/레일 기하학적 접촉특성과의 차이점을 분석하고자 한다.

2. 차륜/궤조륜 기하학적 접촉 해석

차륜과 궤조륜간의 기하학적 접촉 해석을 위하여 Fig. 1과 같이 한 쌍의 차륜과 차축으로 구성된 윤축과 한 쌍의 궤조륜과 축으로 구성된 궤조륜축으로 모델링하였다. 윤축은 궤조륜축에 대하여 Y축 방향으로 병진 운동(y_w)하고 Z축에 대하여 요(ψ_w) 방향으로 회전 운동하고 Y축에 대하여 롤(ϕ_w)방향 회전 운동할 수 있다고 가정하였다. 또한, 윤축은 궤조륜축에 대하여 윤축의 운동에 대하여 좌우 양측의 접촉점에서 항상 접촉한다고 가정하였다. Fig. 2 및 Fig.3은 접촉점 해석을 위하여 적용한 차륜, 궤조륜 좌표계와 접촉점의 위치 벡터를 나타낸다.

접촉점 위치를 구하는 방법은 다음과 같다. 궤조륜은 고정시킨 후 윤축을 주어진 요각, y축 변위만큼 요잉, 병진 운동시킨다. 윤축의 중심에 대하여 초기 롤각(0°) 만큼 롤링 운동시킨다. 궤조륜 XY평면을 일정 간격으로 등분한 후, 각 각의 점들에 대하여 병진, 요방향, 롤방향 회전 이동한 차륜의 XY평면상의 Z축 좌표계상의 위치와 궤조륜 평면상의 Z축좌표상의 위치를 구하고 차륜과 궤조륜간의 높이를 구한다. 좌우측 궤조륜에 해당하는 점들에 대하여 좌우측 차륜과 궤조륜간의 높이의 최소값을 구한다. 좌우측 최단거리의 차가 수렴기준치 ϵ 이하가 될 때까지 윤축의 롤각을 증가시켜 가면서 newton법을 이용하여 반복 계산 한다. ϵ 이하로 수렴하면 이에 해당하는 양 차륜/궤조륜간 접촉점위치를 구하고 구름반경(rolling radius), 접촉각(contact angle), 윤축롤각(wheelset roll angle), 접촉면적(contact area), 접촉타원상 장반경과 단반경간의 비(A/B)등과 같은 기하학적 접촉과라메터를 산출한다.[1][2]

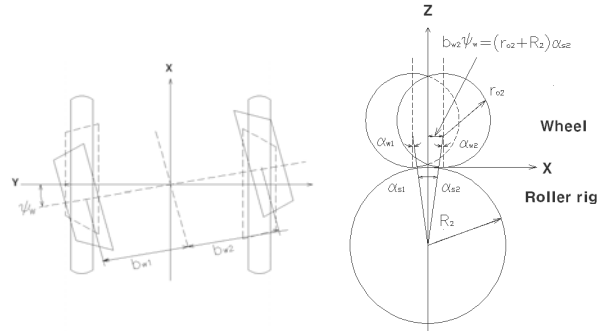


Fig. 1 Wheelset and roller model

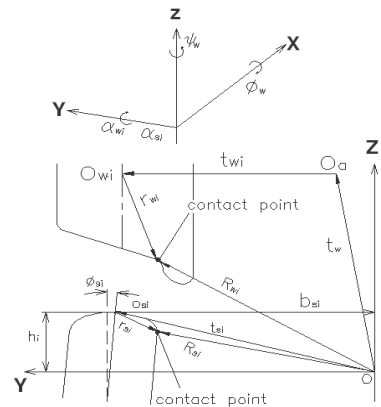


Fig. 2 Position vectors of contact points

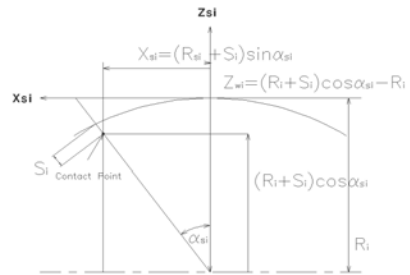


Fig. 3 Contact point at roller

3. 기하학적 접촉특성 해석

차륜/궤조륜간 기하학적 접촉특성 분석을 위하여 차륜/레일 간 기하학적 접촉해석 결과와의 비교 분석을 수행하였다. 본 해석에 적용한 차륜, 궤조륜 단면형상 및 주요 파라메터는 Table 1과 같다. 차륜단면형상의 고속철도차량에 적용하고 있는 GV40 단면형상을 적용하였으며 레일 및 궤조륜 두부형상은 UIC60 레일 두부형상을 적용하였다. 차륜 직경은 920mm, 궤조륜 직경은 1376mm로 하였다. 레일의 경좌는 1/20 임에 반하여 궤조륜의 경좌는 0로 하였고 레일, 궤조륜의 궤간은 1435mm로 하였다.

해석결과는 Fig. 4 ~ Fig.8과 같다. Fig. 4와 같이 구름반경은 585 차륜/레일 접촉에 비하여 플랜지접촉영역인 6mm 이후에 다소

증가함을 보이고 있다. Fig. 5에서와 같이 좌우 접촉점에서의 구름반경의 차이인 구름반경차도 같은 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 6의 접촉점에서의 접촉각도 플랜지 접촉영역에서 다소 증가함을 보이고 있다. 윤축의 물각도 Fig. 7에서와 같이 플랜지 접촉영역에서 다소 증가하는 같은 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 차륜/레일 접촉이 윤축의 요각이 0°로 가정하였고 레일의 경도가 1/20로 가정한 해석결과값에 비하여 차륜/레조륜 접촉은 윤축의 요각이 3°, 레일의 경도가 0로 가정한 결과에 기인한 결과로 판단된다.

한편 접촉점에서의 접촉면적은 Fig. 8과 같이 차륜/레일 접촉에 비하여 차륜/레조륜간 접촉이 감소하고 있음을 나타내고 있다. 이는 Hertz 접촉이론을 적용한 접촉면적 계산시 레일의 길이방향 반경이 무한대임에 비하여 레조륜은 1376/2임에 비롯된 결과라 할 수 있다.

따라서 차륜/레조륜간 기하학적 접촉특성은 차륜/레일간 기하학적 접촉특성에 비하여 윤축 요각 변위에 따른 플랜지 접촉이 플랜지 접촉영역 부분에서 다소 일찍 발생하고 이로 인한 기하학적 접촉 파라미터에 영향을 미침을 알 수 있다. 그 중 특히 가장 큰 영향은 접촉점에서의 접촉면적으로 차륜/레일간 접촉에 비하여 약 20% 정도 저감하는 경향을 나타내고 있다.

Table 1 Input data for wheel/roller geometrical contact analysis

parameter	part	wheel	roller	rail
profile		GV40	UIC60 rail	UIC60 rail
diameter(mm)		920	1376	∞
axle load(ton)		15	0	-
rail/roller inclination(deg)		-	0	1/20
flange back distance(mm)		1356	-	-
gage(mm)		-	1435	1435
yaw angle between wheel/rail or wheel/roller(deg)			3	0

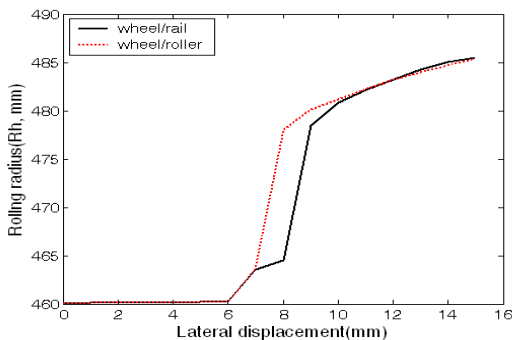


Fig. 4 Roller radius(Rh)

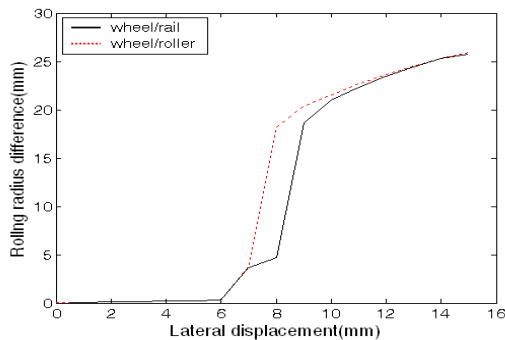


Fig. 5 Roller radius difference

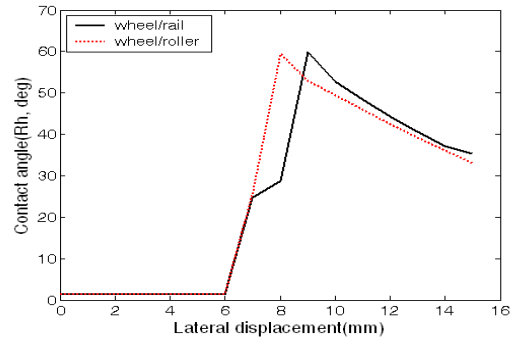


Fig. 6 Contact angle(Rh)

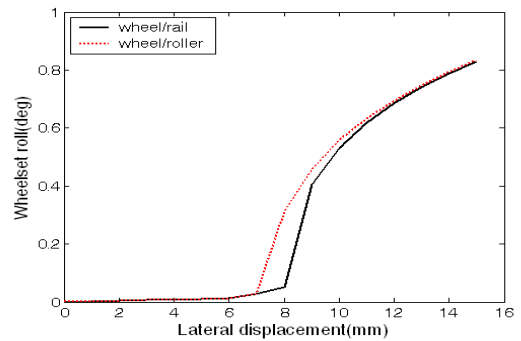


Fig. 7 Wheelset roll angle

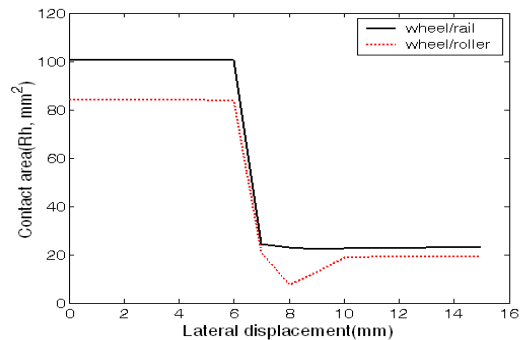


Fig. 8 Contact area(Rh)

4. 결론

차륜/레조륜간 기하학적 접촉특성은 차륜/레일간 기하학적 접촉특성에 비하여 윤축 요각 변위에 따른 플랜지 접촉이 플랜지 접촉영역 부분에서 다소 일찍 발생하고 이로 인한 기하학적 접촉 파라미터에 영향을 미침을 알 수 있다. 그 중 특히 가장 큰 영향은 접촉점에서의 접촉면적으로 차륜/레일간 접촉에 비하여 약 20% 정도 저감하는 경향을 나타내고 있다.

따라서 본 연구 결과는 향후 대차 동특성시험기를 이용한 차량 동특성 해석과정에서 차륜/레조륜간 크립력 해석을 위한 접촉 기하로 활용될 수 있으며 또한 대차시험기를 위한 검증 연구과정이 후속적으로 진행될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 허현무, "경제적 차륜담면관리기술 개발," 철도청, 2004
2. "Calclaton of Equivalent Conicities for the S1002 Wheel Profile on UIC60 Rails", ERRI Report, DT54/E