

차륜-레일 구름접촉시험기의 구름접촉 특성 해석 Rolling Contact Characteristics at Full Scale Test Rig

*#이동형¹, 서정원², 권석진¹, 최하영¹

*#D. H. Lee(dhlee@krri.re.kr)¹, J. W. Seo², S. J. Kwon¹, H. Y. Choi¹

¹ 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

² 한국철도기술연구원 시험인증안전센터

Key words : Rolling contact, Contact pressure, Stick, Slip, Radius of curvature

1. 서론

철도차량 차륜과 레일에서 발생하는 마모 및 피로손상을 연구하기 위하여 실험실 또는 현장에서 많은 실험이 행해지고 있다. 이 중에서 대형 시험기(full scale wheel rail test rig)를 이용한 실험실 시험이 여러 가지 하중, 미끄럼 등의 입력 조건을 다양하게 변화시킬 수 있기 때문에 많이 이용되고 있다. 물러를 이용한 대형시험기는 레일 시험편의 구름 방향 곡률반경이 실제 레일의 곡률 반경과 차이가 발생하기 때문에 접촉압력 및 미끄럼 등의 접촉 특성이 실제와 차이가 발생하게 된다. 따라서 구름접촉에 의한 손상을 정확하게 시험하기 위하여 대형시험기의 시험조건에 따른 접촉특성을 정확하게 파악할 필요가 있다.

본 논문에서는 대형시험기에서 차륜 및 레일 시험편이 구름접촉 할 때 슬립율에 따른 접촉특성의 변화를 해석하였다. 구름접촉 해석은 Kalker의 Contact 프로그램을 이용하여 접촉압력 및 접선방향 트랙션(tangential traction), 점착/미끄럼 영역 등을 해석하였고, 슬립율 변화에 따른 접촉변수의 변화를 분석하였다.

2. 구름접촉해석

실물시험기는 2원통 rolling 접촉시험기이며, 최고 속도 445km/h 까지 시험이 가능하다. 본 해석에 사용한 차륜 및 레일 시험편은 최대 직경 900 mm를 시험할 경우를 대상으로 하였다.

실제 고속철도(KTX)의 직경 920 mm 차륜이 직선구간에서 UIC 60 레일 위(레일 접촉면의 반경 300mm)를 구름접촉 할 때, 최대하중 하중 42,500 N 작용시 Hertz 이론에 의한 최대 접촉압력은 1,160 MPa 이다. 이 때 이론적인 접촉면적은 구름 방향 반경 68 mm, 폭 방향 반경 5.1 mm 이다. 실물시험기

의 경우 실제 상태와 동일한 하중 작용시 최대 접촉압력이 1,468 MPa 이고, 접촉 길이는 구름방향 반경이 4.8 mm, 폭 방향 반경이 5.8 mm 이다.

이와 같은 최대 접촉압력 및 접촉면적의 차이는 실제 차륜-레일 접촉시 레일의 구름방향 곡률반경은 무한대인데 반하여, 시험기의 경우 곡률반경이 450 mm 이기 때문에 같은 하중이 작용하더라도 시험기의 접촉압력이 더 크게 나타나고 접촉면적은 더 작게 된다. 따라서 같은 하중을 작용하여 구름접촉 해석을 하였을 경우 시험기가 실제와 접촉압력 차이가 크게 발생하므로 실제의 손상도 다르게 나타날 것으로 예상된다. 그러므로 시험기의 구름접촉 해석은 최대 접촉압력이 실제 차륜-레일 접촉상태와 동일하게 되도록 하중을 조정하여 수행하였다.

최대 접촉압력이 실제 차륜-레일 접촉상태와 같이 되는 하중 조건은 41,960 N 이고, 이때의 접촉면적은 구름방향 길이 3.8mm, 폭 방향 길이 4.56 mm 이다. 해석에 적용한 차륜과 레일 시험편의 재료상수는 프아송 비 0.3, 탄성계수 207,000MPa이고, 차륜과 레일 시험편 간의 마찰계수는 0.3을 적용하였다.

3. 해석결과 및 검토

차륜-레일 구름접촉 시험기에서 차륜-레일 시험편이 구름접촉할 경우 접촉압력은 Hertz 이론에 의하여 접촉중심이 가장 큰 타원형의 분포를 나타내며, 정지상태 및 슬립율 변화에 따라 거의 변화하지 않는 일정한 값을 나타낸다.

Fig. 1 은 0.1% 크리피지(creepage)일 때의 접선방향 트랙션과 점착 및 슬립영역의 분포를 나타낸다. 0.1% 크리피지일 때 접선방향 트랙션은 접촉영역의 전부(leading edge)에서 작고 후부(trailing edge)에서 높게 나타난다. 이것은 구름접촉이 발생할

경우 접촉영역의 전부에서는 점착(stick)현상이 발생하고, 후부에서 미끄럼(slip)이 발생하기 때문이며, 접선방향 트랙션이 가장 크게 나타나는 영역은 점착영역과 미끄럼 영역의 경계면이다. 0.1% 크리피지일 때 접촉영역에서 점착영역이 더 많이 분포하며, 미끄럼 영역은 전체 접촉영역에서 약 26%를 차지한다.

0.2% 크리피지일 때 접선방향 트랙션의 최대값은 슬립영역이 넓어짐에 따라 0.1% 크리피지일 때보다 증가한다. 또한 0.2% 크리피지일 때 미끄럼 영역이 전체 접촉영역의 약 50%를 차지한다.

Fig. 2는 0.3% 크리피지일 때의 접선방향 트랙션과 점착 및 슬립영역의 분포를 나타낸다. 크리피지가 증가함에 따라 슬립영역이 더욱 넓어져 접촉 중심에서 미끄럼이 발생하고, 접선방향 트랙션은 접촉 중심에서 전체 미끄럼이 발생했을 때와 같이 최대값을 나타낸다. 또한 점착영역이 감소하여 미끄럼 영역이 전체 접촉영역의 약 70%를 차지한다.

0.5% 크리피지일 때의 접선방향 트랙션은 접촉 중심에서 최대값을 나타내며, 접촉영역은 전체가 미끄럼 영역이 된다.

Fig. 3은 고속철도 차륜과 레일이 구름접촉 할 때 크리피지에 따른 접선력의 변화와 실험시험기에서 시험편이 구름접촉할 경우의 접선력 변화를 비교한 그림이다. 고속철도 차륜과 레일이 구름운동 할 때 최대 크리피지는 약 0.45% 이고, 시험기의 경우는 0.5% 이다. 따라서 실험 시험기의 경우 크리이프가 실제보다 더 커야 전체 슬립이 발생한다. 이와 같은 원인은 실제와 시험편의 접촉반경과 접촉 면적 차이 때문이며 시험조건 산정시 주의가 필요하다.

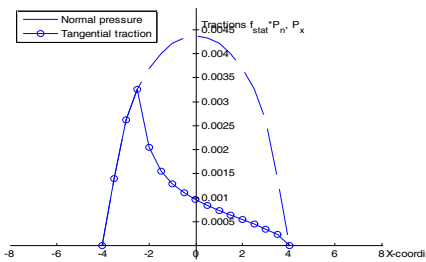


Fig. 1 Distribution of contact pressure and tangential traction at 0.1% of creepage.

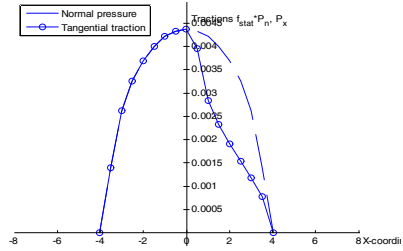


Fig. 2 Distribution of contact pressure and tangential traction at 0.3% of creepage

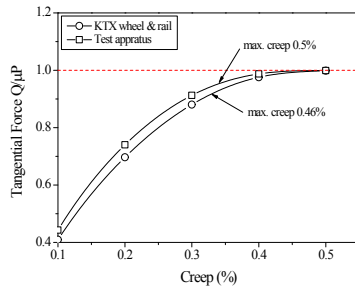


Fig. 3 Comparison of tangential force variation between test rig and wheel-rail contact depending on creepage

4. 결론

차륜 및 레일 시험편이 구름접촉 할 때 레일의 구름방향 곡률반경 차이 때문에 시험기의 접촉압력이 실제의 경우보다 더 크게 나타나고 접촉면적은 더 작게 된다. 또한, 시험편의 접촉반경과 접촉 면적 차이 때문에 실험 시험기의 경우 크리이프가 실제보다 더 커야 전체 슬립이 발생한다.

참고문헌

1. Carter, F. W. , Proceedings of Royal Society, Series A, 112, 760, 151-157, 1926.
2. Choi, J.Y., Choi, I.Y., Lee, J.S., Kim, T.W., Lee, D.H. and Seo, J.W., 9th World Congress on Railway Research, Lille, 2011.
3. Kalker, J.J., Three-Dimensional Elastic Bodies in Rolling Contact (Solid Mechanics and its Applications), Dordrecht/Boston/London, Kluwer Academic Publishers, 1990.