

# 차륜-레일 구름접촉시험기에서의 레일 마모특성 해석 Wear Prediction of Rail Profile in Full Scale Wheel-Rail Contact Simulator

\*#이동형<sup>1</sup>, 서정원<sup>2</sup>, 권석진<sup>1</sup>, 최하영<sup>1</sup>

\*\*D. H. Lee(dhlee@krri.re.kr)<sup>1</sup>, J. W. Seo<sup>1</sup>, S. J. Kwon<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 고속철도인터페이스연구실

<sup>2</sup> 한국철도기술연구원 시험인증안전센터

Key words : Rolling contact, Wear, Rail profile, High speed rail

## 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[1-2]. 롤러를 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 실제 차륜-레일 접촉시 발생하는 레일의 마모와 대형시험기에서 시험한 레일의 마모 특성차이를 검토하고 대형시험기에서의 마모 시험 기준을 정립하기 위하여 유한요소법 및 수치해석을 통하여 차륜-레일 구름접촉시험기에서의 레일의 구름접촉 마모예측 방법을 개발하고 레일의 마모를 예측하였다. ABAQUS를 이용하여 유한요소해석을 실시하고 마모 수치해석 모델을 구축하여 구름접촉시 레일의 마모를 예측하였다.

## 2. 마모예측 방법

실물시험기의 차륜과 레일 시험편이 구름접촉(rolling contact of dissimilar rollers)을 할 경우는 차륜 직경 900 mm와 레일 직경 900 mm 를 대상으로 하였다.

차륜 시험편의 유한요소해석 모델은 먼저 2차원 축대칭 모델을 만들고 symmetric model generation 방법을 사용하여 2차원 모델을 회전시켜 3차원

모델을 구축하였다. 요소와 절점의 수를 최소화하기 위하여 접촉이 발생하지 않는 영역의 경우 원통형 요소(CCL12)를 사용하였고, 접촉이 발생하는 영역은 3차원 육면체 요소(C3D8)를 사용하였다. 접촉이 일어나는 영역은 접촉영역에서 접촉변수가 급격히 변화하므로 구름 방향으로 조밀하게 분할하였고, 그 이외의 영역은 듬성하게 분할하였다.

차륜 시험편의 접촉영역을 master 접촉 요소로 하고, 레일 시험편의 접촉면을 slave 접촉요소로 하여 가능한 접촉영역을 접촉쌍(contact pair)으로 지정하였다. 차륜 및 레일 시험편의 탄성계수는 207 GPa, 포아송 비(Poisson's ratio)는 0.3을 적용하였고, 접촉면의 마찰계수는 0.3을 사용하였다.

마모해석 절차는 기존연구[3]와 같고, 마모해석은 Archard 마모 모델을 이용하였다. 마모상수는  $k=10 \times 10^{-4}$ 을 적용하였고, 재질의 경도는 250 Hv를 사용하였다. 레일의 마모는 주로 곡선부에서 많이 발생하기 때문에, 고속철도 차량이 곡선반경  $R=7,000$  m, 캔트 130 mm 조건을 주행할 경우 동역학 해석 결과를 반영하여 윤중 86kN, 횡압 50kN 를 하중조건으로 설정하였다. 슬립양은 전체 접촉면적의 약 75%에서 미끄럼이 발생할 때(creepage=0.3%)를 기준으로 하였다.

## 3. 해석결과 및 검토

마모가 발생하기 전 초기상태에서 레일에 발생하는 최대 접촉압력은 Fig. 1과 같이 코너(gage corner)부위에서 약 1,570 MPa 이었고, 레일 두부(head)에서는 1,170 MPa이었다. Fig. 2는 마모가 진행된 상태의 레일 접촉면의 접촉압력 분포를 나타낸 것으로 코너부위에서 약 710 MPa 이었고, 레일

두부에서는 730 MPa이었다. 레일의 마모가 진행될수록 레일 코너 부위 및 두부의 최대 접촉압력이 작아지고 접촉면적은 증가되었다. 마모 초기에는 코너 부위의 접촉압력이 크기 때문에 코너부위의 마모가 급격히 발생하며, 코너 부위와 헤드 부위의 접촉압력이 비슷해지는 시점부터는 비슷한 경향으로 마모가 발생하였다.

Fig. 3은 레일 헤드부의 마모 형상 변화를 나타낸 그림이다. 초기에 차륜과 레일의 접촉이 레일 중앙에서 바깥쪽으로 치우쳐 발생하기 때문에 레일 두부의 마모도 레일 중앙을 중심으로 바깥쪽에서 많이 발생한다. 초기에 레일 두부에 큰 접촉압력이 발생하기 때문에 마모가 급속히 발생하지만, 마모가 발생하여 접촉면적이 커지게 되면 접촉압력이 감소하게 되어 마모의 진행속도가 낮아지게 된다. 또한 레일 두부의 마모 형상은 차륜의 답면부와 접촉하기 때문에 답면부의 형상과 같이 곡선부가 편평한 형상으로 변화하게 된다.

Fig. 4는 레일 코너 부위의 마모 프로파일 변화를 나타낸 그림이다. 코너 부위의 마모도 두부의 마모와 같이 초기에는 큰 접촉압력으로 인하여 마모가 급속히 발생하며, 마모로 인하여 접촉압력이 감소하게 되면 마모의 진행속도가 낮아지게 된다. 마모로 인하여 코너부의 형상은 차륜 플랜지부의 곡률 형상과 유사하게 변화한다.

실제 차륜-레일 접촉시와 같은 수직하중 및 수평하중이 작용할 경우라도 차륜-레일 구름접촉시험기에서의 접촉압력은 곡률반경 차이로 인하여 실제 차륜-레일 접촉보다 더 크기 때문에 마모도 더 크게 발생할 것으로 예측되기 때문에 향후 이와 같은 차이를 규명하고 적합한 시험기준을 정립할 예정이다.

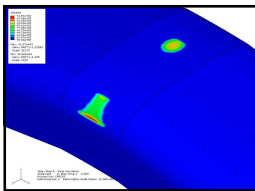


Fig. 1 Distribution of contact pressure on rail surface at initial contact.

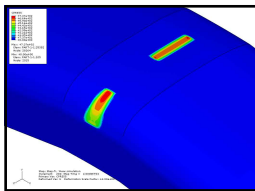


Fig. 2 Distribution of contact pressure on rail surface after 20,000 cycles wear.

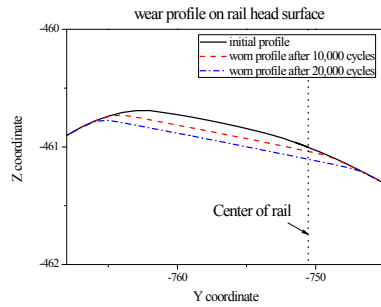


Fig. 3 Evolution of worn surface profile on rail head.

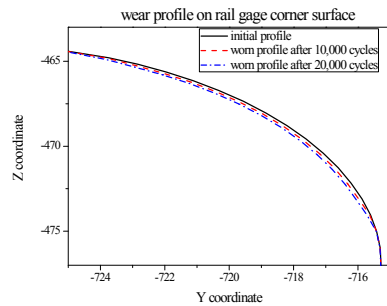


Fig. 4 Evolution of worn surface profile on rail gage corner.

#### 4. 결론

유한요소법 및 수치해석을 통하여 차륜-레일 구름접촉시험기에서의 레일의 구름접촉 마모예측 방법을 개발하고 레일의 마모를 예측하였다. 곡선부에서 레일 게이지 코너 부위와 레일 두부의 마모는 초기에 큰 접촉압력이 발생하기 때문에 마모가 급속히 발생하지만, 마모가 발생하여 접촉면적이 커지게 되면 접촉압력이 감소하게 되어 마모의 진행속도가 낮아지게 되며, 또한 레일 마모형상도 차륜의 형상과 유사하게 변화함을 해석적으로 검증하였다.

#### 참고문헌

1. A. Matsumoto, et al., Wheel/rail contact mechanics at full-scale on the test stand, *Wear* 191 (1996) 101-106.
2. W. Zhang, J. Chen, X. Wu, X. Jin, Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig, *Wear*, 253 (2002), pp. 82-88.
3. 이동형, 권석진, 서정원, 최하영, 유한요소법을 이용한 구름접촉마모 예측, 한국정밀공학회 2011년도 춘계 학술대회 논문집, 1549-1550, 2011.