

국제규격의 차륜 피로시험장비와 유사시험장비 사용의 연관성 비교

Association compare between wheel fatigue test equipment of international standards and similar test equipment

*박일¹, #함영삼¹, 이강호¹

*I. Park¹, #Y. S. Ham¹, K. H. Lee¹

¹한국철도기술연구원 시험인증안전센터

Key words : Rolling Contact Fatigue(RCF), Wheel/Rail Contact

1. 서론

현재 열차 차량의 고속화로 인한 차륜의 피로 및 열화손상 관련 연구의 필요성이 커지고 있다. 열차 차륜 및 레일은 열차의 이동에 따라 반복적인 구름 접촉 피로(rolling contact fatigue: RCF)를 받고 있으며 담면에 과도한 소성변형이 누적되면 균열이 발생한다. 이때 발생한 균열의 성장속도가 차륜과 레일의 접촉에 따른 마모속도보다 크면 균열은 수직 또는 수평방향으로 성장하며, 마모 속도가 크면 균열은 소멸한다. 균열크기로 균열을 분류한다면, 마이크로 크기의 균열은 소성변형의 누적으로 인하여 변형된 조직과 조직사이에서 발생한 통상 0.1mm 이하의 균열로 정의 되며, 짧은 균열은 마이크로 균열이 성장한 것으로 통상 0.5mm이하, 긴 균열은 통상 0.5mm이상으로 정의할 수 있다.[3] 차륜 및 레일 담면에서 구름 접촉 피로에 대한 연구는 해석적 방법과 실험적 방법으로 수행된다. 해석적 방법에서는 유한요소법을 이용하여 시뮬레이션하는 방법으로 미소균열에 대한 응력확대계수 계산 및 균열 성장해석 등에 대한 연구가 수행되고 있으며 시험적 방법에서는 차륜과 레일 간 회전마찰시험으로 미소균열의 진전 등의 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 시험장비를 사용한 실험적 연구방법으로서 국제규격에서 제시하는 피로시험장비와 실물 차륜을 사용한 유사시험장비를 비교해 보았다.

2. 시험장비 및 시험방법 개요

국제규격인 EN 13979-1의 차륜의 구름 접촉 피로 시험장비는 채취한 시험편을 시험 장비에 장착

하여 모터로 시험편을 회전시켜 회전마찰로 균열 발생 및 진전을 관찰하는 장비이다.[2] 비교할 유사 시험장비는 실물 차륜과 레일을 직접 접촉시킴으로 차륜과 레일을 회전시켜 반복적인 접촉피로를 발생시켜 차륜의 균열발생을 유도하고 관찰하는 방식의 대형시험기(full scale rail test rig)로서 한국철도기술연구원에 보유중인 차륜탈선 시험설비(derailment test facilities)를 활용하였다.[1]

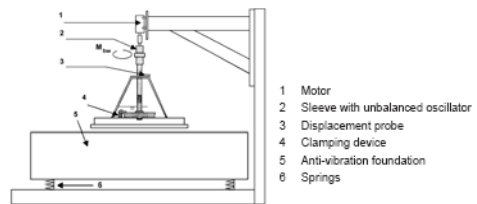


Fig. 1 Example of fatigue test bench(EN 13979-1)



Fig. 2 Derailment test facilities

3. 시험조건

국제규격인 EN 13979-1에서는 차륜의 피로 시험에서 마이너 법칙(Miner's rule) 및 마르코프 원칙(MARKOV principle)을 바탕으로 대략 10,000 km의 수명(service life)에 대해 10⁷ 사이클로 응력을 가해

서 1mm를 초과하는 균열발생이 없도록 규정하고 있으며 시험방법으로 피로시험 전 정적시험을 실시하여 하중과 응력의 관계를 확립한 뒤, 동적시험을 시작하도록 한다.[2-5] 이에 대해 유사시험장비에는 축중 72 kN 이 부가되는 상태로 레일을 회전시켜 차륜에 2×10^6 사이클의 응력을 반복적으로 가해 추가 균열발생을 관찰 하였다.[6] Fig. 3은 차륜 및 레일에 스트레인 게이지를 붙여 측정된 피로시험동안 시험편에 가해지는 하중을 보여준다.

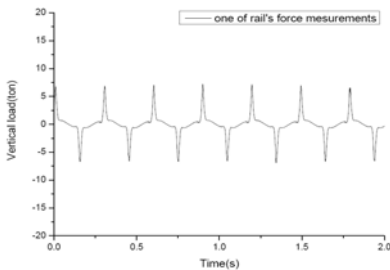


Fig. 3 Load of vertical components imposed of similar test equipment for RCF test

4. 시험결과

유사시험장비에 구름접촉피로시험 전후 차륜 답면에 각각 자분탐상검사를 실시하였다. 자분탐상검사 결과 시험 후 전체 답면에 걸쳐 미세균열 및 1mm 이하의 균열이 발생하였음을 확인하였다. 미세균열은 표면과 일정한 각도를 이루면서 균열이 성장하였으므로 라체팅에 의해 발생한 균열의 특징이라 판단된다.



Fig. 4 Crack initialed at the surface of test wheels

5. 시험장비에 대한 영향

유사시험장비로 구름접촉피로 시험 진행 도중 레일 표면에서 30mm 이상의 긴 크랙이 다수 발생

하였다.



Fig. 5 Crack initialed at the surface of rails of derailment test facilities

5. 결론

유사시험장비로 차륜에 대한 구름접촉피로시험을 실시할 경우 마이너 법칙(Miner's rule)을 바탕으로 피로수명 평가를 할 수 있도록 접촉피로시험 동안 해당 시험편에 지속적이고 반복적인 응력을 가할 수 있으며, 발생한 균열형상은 라체팅에 의해 발생한 균열의 특징을 보이고 있다. EN 13979-1에서 제시된 시험편 채취 방식에 준하는 시험장비로 1.2×10^6 사이클로 응력을 가했을 경우 0.25mm 균열까지 발생한 결과[5]를 비교하면 유사시험장비의 균열발생 경향은 비슷하다고 할 수 있다.

시험장비에 발생한 특기사항으로 시험 도중 레일에 30mm 이상의 크랙이 발생하였으므로 차후 유사한 시험을 실시할 경우 시험조건에 따른 레일의 내구성을 고려해야 할 필요성이 있다.

참고문헌

1. 함영삼, 유원희, “차륜탈선 시험설비 활용 방안”, 한국철도학회, 1128-1133, 2011
2. EN 13979-1 "Railway application-Wheelsets and bogies-Monobloc wheels-Technical approval procedures"
3. 전현규, 유원희, “RCF에 의한 횡방향균열 응력 확대 계수 계산”, 한국자동차공학회, 2007
4. 이동형 외3인, “차륜-레일 구름접촉시험기에서의 레일 마모특성 해석”, 한국정밀공학회, 2012
5. 권석진 외3인, “전자기센서를 이용한 고속철도용 차륜재의 구름접촉피로 손상 모니터링”, 한국정밀공학회지, pp600-606, 2012
6. 이강호 외3인, “차륜탈선 시험설비를 활용한 RCF 실험용 하중 프로파일 설계”, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 2012