

## 충돌 댐퍼 부착에 따른 레일 체결구 진동 피로 수명 향상 효과 분석

## Analysis of the effect of improving the vibration fatigue life of rail fasteners by installation of particle impact damper

정호연\*, 최찬용\*<sup>†</sup>, 고효인\*Ho Yeon Jung\*, Chanyong Choi\*<sup>†</sup>, Hyo-In Koh\*

**초 록** 본 논문에서는 충돌댐퍼의 진동 저감 효과가 레일 체결구의 피로 수명에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다. 열차 통과 시 레일 체결구에서 계측된 가속도 데이터를 이용하여 충돌 댐퍼 설치 전후 진동 가속도를 비교하고 충돌 댐퍼가 레일 체결구 피로 수명에 미치는 영향을 진동 피로 해석 기법을 이용하여 비교하였다. 가속도 데이터 분석 결과 충돌 댐퍼 설치 시 최대 가속도는 85% 이상 감소하였으며 RMS 가속도는 60% 이상 감소하였다. Dirlik 기법을 이용하여 레일 체결구의 피로 수명 분석을 수행하였다. 피로 수명 분석 결과 충돌 댐퍼를 설치하는 경우 피로 수명이 큰 폭으로 증가 하는 것을 확인하였으며 충돌 댐퍼 설치 시 레일 부속품의 피로 수명 향상을 기대할 수 있음을 확인하였다.

**주요어** : Particle Impact Damper(충돌 댐퍼), Vibration Fatigue(진동 피로)

## 1. 서 론

철도 시설물의 수가 증가함에 따라 철도시설물의 안전성 및 유지관리의 중요성 역시 증가하고 있다. 본 논문에서는 충돌댐퍼의 진동 저감 효과가 레일 체결구의 피로 수명에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다. 레일 체결구의 경우 열차 통과 시 발생하는 가진 성분에 의해 공진이 발생할 수 있으며 레일 체결구의 피로 수명 평가 시 이를 고려할 필요가 있다. 따라서 이러한 공진 효과를 고려하기 위하여 본 논문에서는 진동피로 해석 기법을 이용하여 레일 체결구의 피로 수명 평가를 수행하였으며 충돌 댐퍼의 진동저감 효과가 레일 체결구의 피로수명에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다.

## 2. 진동 피로 분석

차량이 주행함에 따라 철도 레일 부속품들은 다양한 성분의 진동 가진을 받게 된다. 공진주파수 이하의 저주파 성분에 대해서는 시간열 데이터를 통해 응력 범위를 확인하고 시간열 기반의 피로 수명 기법을 통해 피로 수명 예측이 가능하다. 차량 통과시 레일 체결구에 작용하는 하중은 다양한 주파수 성분을 포함하고 있으며 고주파 성분과 공진 성분을 모두 포함하고 있기 때문에 레일 체결구의 피로 수명 예측 시 레일 체결구의 동적인 특성을 모두 고려해야 한다. 레일 체결구의 동적인 특성을 고려한 피로 수명 예측을 위하여 구조물 power spectrum density(PSD) 기반의 피로해석 방법을 이용하였다. 광대역 랜덤 하중에 적용 가능한 Dirlik 방법은 Monte Carlo 기반의 경험식으로 Eq.1과 같은 식을 제안하였다.

<sup>†</sup> 교신저자: 한국철도기술연구원(cychoi@krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원

$$N(S) = E[P] \cdot T \cdot p(S) \quad (1)$$

### 3. 충돌 댐퍼 진동 저감 효과 분석

레일 체결구 진동 저감에 대한 충돌댐퍼의 성능검증을 위하여 레일 댐퍼 설치 전후에 대한 레일 체결구 진동 가속도 계측을 수행하였다. (가진 조건 추가)

Fig.1에서 확인 할 수 있듯 레일 체결구 진동 가속도는 충돌 댐퍼 설치 시 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 레일 체결구의 순간 가속도는 댐퍼 설치 전 27.41g에서 3.70g로 85% 이상 감소하였다. RMS 가속도의 경우 0.85g에서 0.30g로 60% 이상 감소하였으며 시간열 데이터 상에서 충돌 댐퍼가 레일 체결구 진동 가속도 감소에 큰 효과가 있음을 확인할 수 있다.

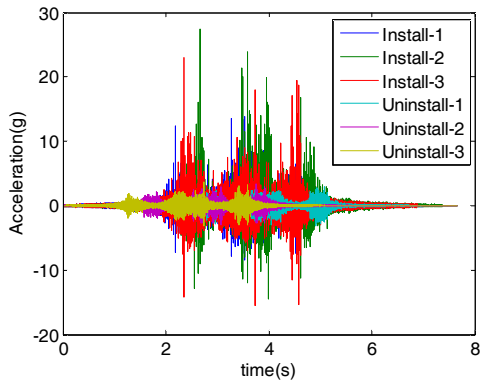


Fig. 1 Rail fastener acceleration before/after particle impact damper installation

Fig.2는 Dirlik기법을 이용하여 산정한 레일 체결구의 stress cycle histogram을 나타낸다. 충돌 댐퍼 설치 시 대부분의 stress cycle에서 반복 횟수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 일부 stress에서는 댐퍼 설치 시 cycle 반복 횟수가 증가하기도 하지만 이는 매우 낮은 stress range이기 때문에 수명으로 환산 시 그 효과가 미미하다. 뿐만 아니라 대부분의 stress range에서 댐퍼를 설치하지 않았을 경우 반복 횟수가 상대적으로 더 크기 때문에 충돌 댐퍼를 설치하는 경우 레일 체결구와 같이 레일 주변 부속품들의 피로 내구 수명 증가를 기대할 수 있다.

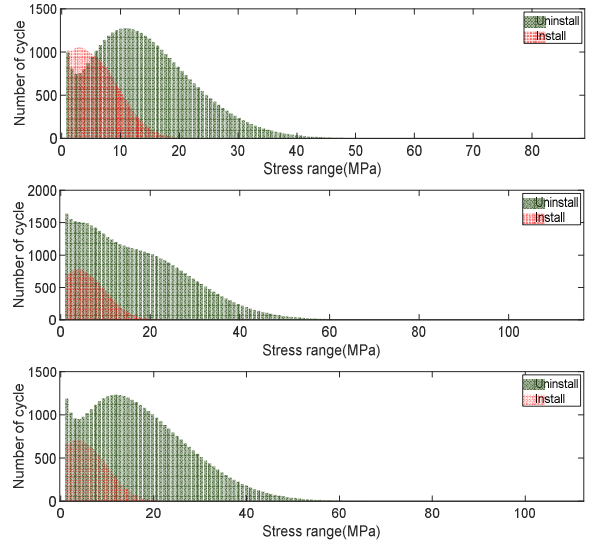


Fig. 2 Stress cycle histogram

### 3. 결론

본 연구에서는 충돌 댐퍼의 진동 저감 효과에 대한 분석을 수행하였다. 절대적인 수명의 관점으로 볼 경우 댐퍼 설치 전/후 모두 매우 높은 피로 수명을 보이는 것을 확인하였다. 댐퍼를 설치하지 않는 경우 최소 수명이 현장 계측 시 열차의 통과 속도는 시속 약 30km/h로 매우 낮은 속도로 운행되었다. 실제 운행 속도는 더 높은 속도로 운행하기 때문에 이번 계측을 통해 얻은 피로 수명보다는 더 낮은 피로 수명을 보일 것으로 예상된다. 레일 댐퍼를 설치하는 경우 댐퍼를 설치하지 않은 경우에 비하여 수명이  $10^3$ 배 이상 증가하는 것을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] Jin, J., Yang, W., Koh, H. I., & Park, J. (2020). Development of tuned particle impact damper for reduction of transient railway vibrations. *Applied Acoustics*, 169, 107487.
- [2] 장준, 조재명, 이광희, 이원웅, 최우천 (2019). 주파수 영역 피로해석에서 PSD 분석 방식 비교, *한국정밀공학회지*, Vol.36, No.8, pp. 737-743