

레일내부 균열의 경사각에 따른 응력확대계수 분석

Analysis of Stress Intensity Factor according to Slope Angle of Crack inside Rail

김선석*, 성덕룡†, 박용걸**, 황성준**

Seonseok Kim*, Deokyong Sung†, Yonggul Park**, SeongJun Hwang**

초 록 본 논문에서는 차륜과 레일의 3차원 탄소성 유한요소모형을 통해 레일내부 균열이 경사각을 가지고 존재할 경우 차륜하중에 의한 균열전단의 응력확대계수를 분석하였다. 레일내부 균열의 응력확대계수는 차륜이 균열을 모두 포함하는 위치에 존재할 때와 레일내부 균열이 수평(0도)에서 수직방향(90도)으로 존재할수록 증가하였다. 따라서 수직방향 레일내부 균열의 진전은 수평방향 균열보다 크게 증가하며, 이에 대한 관리가 매우 중요하다.

주요어 : 레일, 균열, 경사각, 응력확대계수, 유한요소해석

1. 서 론

열차의 반복운행과 통과톤수 증가는 레일에 반복적인 피로하중이 작용하여 변형이 발생하고, 레일내부 균열은 반복적인 피로하중으로 인해 진전되어 파단이 발생하게 된다. 이를 예방하기 위해 정기적인 사전점검과 예방보수를 통해 안전사고에 대비하고 있으나, 최근 철도 운송수요 증대로 인한 철도 총연장의 증가와 고속화, 레일탐상장비 부족 및 탐상범위 한계, 판독오류 등으로 부설된 레일에 대한 품질관리의 어려움이 존재하고 있다.

본 연구에서는 차륜과 레일에 대한 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석은 차륜과 레일을 모사하였고, 레일내부 균열의 경사각이 존재할 경우에 대해 모사하였다. 국내 철도유형별 최대 동적윤중에 의한 레일내부 균열 경사각($0^\circ / 45^\circ / 90^\circ$)에 따른 응력확대계수를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 유한요소해석

차륜/레일 접촉문제의 실제적인 모델링을 위해 3D 탄소성 유한요소모델[1]을 적용하였다. 이 모델은 재료적이고 기하적인 비선형성을 포함하고 접촉영역에서 3D 응력응답을 정확하게 계산할 수 있다. 최종적으로 접촉영역에서 fine Meshing 기술을 통하여 제안된 모델은 Global size 20mm, 두부면(차륜과 접촉면) 2mm를 반영하였다. 균열을 모사할 경우에는 균열면 주변의 Meshing은 Global size 0.5mm를 적용하였다[2-4].

국내 철도설계지침(KR-C 14030)[5]에는 여객화물 혼용선의 경우 KRL-2012하중을 기준으로 정적윤중을 110kN을 표준하고 있으며, 여객전용선의 경우 정적윤중을 82.5kN을 표준으로 하고 있다. 본 연구에서는 국내 일반철도 여객화물혼용선을 기준으로 화물열차 최고속도 140km/h, 정적윤중 110kN에 대한 유효윤중 132.0kN을 고려하여 동적할증계수 2.089에 대한 동적윤중 275.7kN을 레일에 적용하였다.

† 교신저자: 대원대학교 철도건설과
(dysung@daewon.ac.kr)

* 철도시설연구소

** 서울과학기술대 철도전문대학원 철도건설공학과

2.2 유한요소해석 결과

본 연구의 레일내부 균열 경사각에 따른 발생응력결과는 Fig. 1과 같다. 해석조건은 균열깊이(D) : 7.5mm, 균열폭(W) : 2mm, 균열길이(L) : 5mm이며, 이에 따른 균열경사각 0, 45, 90도를 다음과 같이 확인하였다.

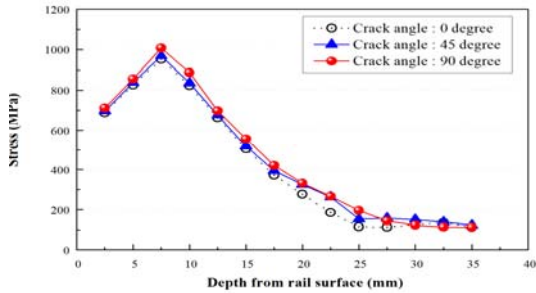


Fig. 1. 균열 경사각에 따른 해석결과

균열경사각이 0° / 45° / 90° 일 때 해석결과 모두 유사한 경향을 나타나고 있으며 레일두부표면에서 약 7.5mm 깊이에서 최대응력이 발생하였다.

2.3 응력확대계수 분석

Fig. 2는 최대응력이 발생하는 균열위치 7.5mm, 고속철도 동적운중 256kN의 조건의 균열 경사각에 따른 하중재하위치별 응력확대계수를 분석한 결과를 나타낸다. 응력확대계수는 균열 경사각이 수직에 가까울수록 응력확대계수는 증가하였고, 차륜이 균열 전체를 포함하는 균열 외측점에 위치할 경우 가장 큰 응력확대계수가 나타났다.

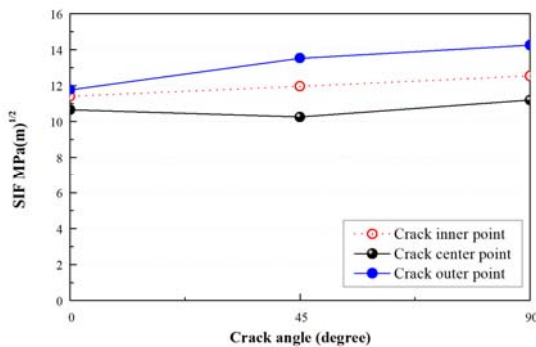


Fig. 2. 균열경사각에 따른 응력확대계수

3. 결론

3차원 유한요소해석을 통해 레일내부 균열의 경사각에 따른 응력확대계수를 분석한 결과, 균열경사각이 증가할수록 응력확대계수는 점차 증가하고, 차륜이 균열 전체를 포함할 때와 균열경사각이 90도(레일 횡단면의 수직방향)일 때 응력확대계수는 가장 큰 것으로 분석되었다.

후 기

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 철도기술연구사업(19RTRP-B113566-04)에 의해 수행되었으며, 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Y. Liu, B. Stratman, S. Mahadevan. (2006) Fatigue crack initiation life prediction of railroad wheels, *International Journal of Fatigue*, 28, pp.747-756.
- [2] S.S. Kim and Y.G. Park (2018) Fracture Mode Analysis according to Inclination Angle of Rail Internal Crack, *Journal of the Korean Society for Railway*, 21(7), pp. 671-678 (in Korean).
- [3] T.G. Yang and D.Y. Sung. (2017) Effects of train braking force on the degradation of rail surface, *Journal of Korean Society for Urban Railway*, 5(1), pp. 811-818 (in Korean).
- [4] D.Y. Sung. (2017) Analysis of rail wear rate according to wheel/rail contact pressure on curved track, *Journal of the Korean Society for Railway*, 20(4), pp. 512-520 (in Korean).
- [5] Korea Rail Network Authority (2014) KR-C 14030, Ballast track structure, Daejeon, Korea, pp. 22-25 (in Korean).
- [6] D.Y. Sung and S.C. Han. (2018) Fatigue life evaluation of continuous welded rails on concrete slab track in Korea high-speed railway, *Advances in Structural Engineering*, 21(13), pp.1990-2004.

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper
-Template 작성일: 2019.2.8)