손상레일의 구름접촉 피로수명평가

Rolling Contact fatigue analysis of damaged rail

*서정원[1], #함영삼[2], 전현규[2], 권석진[2], 이동형[2]

* #J. W. Seo[1](jwseo@krri.re.kr)[1] , Y.S.Ham[2] , H.K.Jun[2], S.J.Kwon[2], D.H.Lee[2]

[12]한국철도기술연구원 차륜궤도연구실

Key words : Rail, Rolling Contact

1. 서론

레일 표면에서 발생하는 접촉피로손상인 Squat, Head check 등은 중요한 문제로 대두되고 있다[1,2,3].현재 고속선에는 Ballast imprint에 의한 표면손상이 발생하고 있다. 주로 겨울철에 많이 발생하고 있으며 이에 대한 보수를 실시하고있다. 보수방법으로는 육성용접 후 열처리를 실시하고 있으며 이에 대한 비용이 증가하고있다. UIC의 결함코드에서 Ballast imprint에 의한 Bruising 로써 이러한 손상은 날카롭게 되어있을 경우에는 노치효과를 발생시켜 균열의 원인이 될 수 있으며 파단에 이를 수도 있다고 보고하고 있다. 또한 표면손상의 크기에 따라서 충격하중이 발생하고 차량안전성에 영향을 줄것으로 예상되나 실제적인 연구자료가 없는 실정이다. 본 논문에서는 레일에서 발생하는 Ballast imprint 의 하중변동에 따른 거동을 평가하기 위하여 유한요소모델을 개발하였다.

2. 유한요소모델

2.1 해석방법

자갈 등이 레일 표면에 소성변형을 발생시키는 현상을 모사하기위하여 Indenter simulation을 수행하였으며 차륜이 손상된 레일을 주행하는 현상은 Rigid body를 이용하여 접촉해석을 수행하였다.

2.2 Indenter simulation 해석모델

그림 1은 Indenter simulation을 위한 유한요소모델을 보여주고 있다. Indenter는 하중을 부가하였을 때 깊이가 0.5㎜ 너비가 10㎜가 되도록 강체(Rigid body)로 모델링하였다. 레일의 경우에는 Indenter와 접촉하는 부위인 요소크기가 세밀한 부분은 탄·소성으로 모델링하였고 그 외 부분은 탄성체로 모델링하였다.

2.3 구름접촉 해석모델

Indenter에 의해 형성된 Dent 주위의 차륜/레일 구름접촉에 의한 잔류응력 및 내부응력의 변화를 조사하기 위하여 구름접촉 해석을 수행하였다. 차륜/레일의 구름접촉은 Rigid body를 이용하여 접촉해석을 수행하여 차륜이 연속적으로 레일 위를 지나도록 모델링하였다.

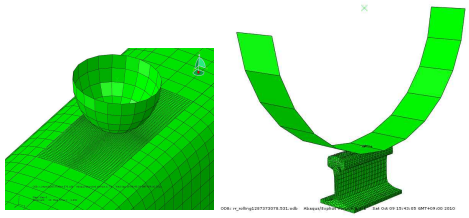

Fig. 1 F.E. Model for Indentation and Rolling contact

3. 해석결과

3.1 Indentation 해석결과

하중조건으로는 Indenter에 변위를 0.5㎜가 되도록 부가하였다. 그림 2는 하중이 부과된 상태에서 Indenter에 의하여 변형된 모습을 나타내고 있다. 접촉면은 탄.소성으로 모델링 되었기 때문에 하중 제거 후 접촉표면에 변형된 모습이 그대로 남아있고 항복강도를 넘어서기 때문에 잔류응력이 형성되었다.

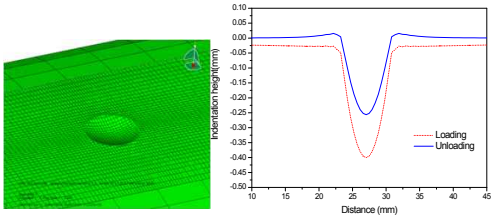

Fig. 2 F.E. Analysis result for indentation

3.2 구름접촉해석결과

그림 3와 4는 차륜이 구름접촉하면서 Dent를 통과 시에 접촉압력분포를 나타내고 있다. Dent 통과 전의 접촉압력분포로써 타원형의 접촉압력 분포가 형성되었고 최대 접촉압력은 800 MPa이 발생하였다. Dent 시작부분 통과시 발생한 접촉압력분포는 Dent 부분에서는 접촉압력이 작용하지 않고 있으며, 시작부분에서 1050 MPa이 발생하고 있다. Dent 중앙부를 통과 할 때 발생한 압력으로써 최대크기는 850 MPa이 발생하고 있으며, Dent 끝단부 통과시 발생한 압력분포로써 최대 크기는 1050 MPa이 발생하고 있다. 접촉압력은 Dent 시작부분과 끝단부 통과시에 가장 크게 발생하고 있다.

그림 5는 차륜이 접촉에 의해서 Dent를 반복적인 통과시 잔류응력 분포를 나타내고 있다. 하중이 Dent를 통과 전에는 Dent의 끝단부에서 큰 잔류응력이 발생하고 있으며 접촉하중에 의해서는 표면 밑에서 큰 응력이 발생하고 있다. Dent 통과 후에는 Dent의 시작부분과 끝단부분에서 큰 잔류응력이 발생하고 있다. 초기에 Indenter에 의해 형성된 잔류응력은 반복적인 구름접촉으로 인해 재 분포를 하게 된다. 잔류응력분포은 Dent의 시작부분과 끝단부분에 큰 접촉압력이 작용하기 때문에 잔류응력이 재 분포되에 크기가 커졌으며 최대 크기는 500 MPa이상이 발생하고 있다. 또한 Dent 경계에 하중이 통과하는 시작부분보다 끝단부분에서의 잔류응력의 크기가 더 크게 변화하였다.

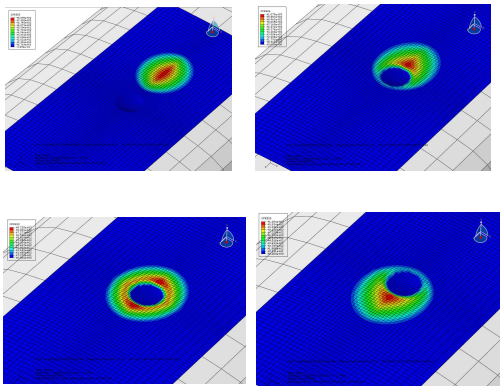

Fig. 3 Contact pressure for Rolling contact

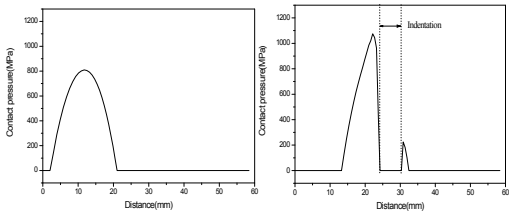

Fig. 4 Contact pressure comparison

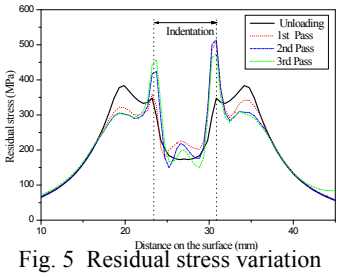

Fig. 5 Residual stress variation

결론

유한요소법을 이용하여 레일의 표면결함에 따른 접촉응력 해석 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다

1. Indenter simulation을 통하여 Indenter 모양과 동일한 표면결함인 Dent가 형성되었으며 소성변형에 의하여 잔류응력이 발생하였다.
2. 구름접촉 해석으로부터 Dent 시작부분과 끝단부분에서 접촉응력 및 잔류응력이 크게 발생하고 있으며 Dent 주위에 균열이 발생할 경우에는 Dent의 끝단부에서 발생할 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 고속화 인터페이스 기반기술 개발의 일환으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. K. Kondo, K. Yoroizaka, Y. Sato:Wear,“Cause, increase, diagnosis, countermeasures and elimination of Shinkansen shelling” Wear 191,199-203,1996.
2.UIC leaflet 712, 2002,"Rail defects"
3 D. F. Cannon, H. Pradier,“Rail rolling contact fatigue Research by the European Rail Research Institute”, Wear 191, 1 - 13,1996.