

# 구름접촉시 접촉응력 변화에 대한 3차원 유한요소해석 Three-Dimensional Contact Stress Analysis of Rolling Contact With The Finite Element Method

\*\*이동형<sup>1</sup>, 서경원<sup>1</sup>, 권석진<sup>1</sup>, 함영삼<sup>1</sup>, 최하영<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 철도시스템연구센터 차륜궤도연구실

Key words : Rolling contact, Contact stress, Finite element method, Elastic cylinder

## 1. 서론

철도차량 차륜과 레일은 반복적인 구름접촉에 의해 마모와 피로손상이 발생하며, 이와 같은 손상은 차량의 주행안정성 등에 큰 영향을 미친다. 따라서 차륜과 레일의 구름접촉에 의한 피로, 마모 손상을 저감하기 위하여 많은 연구[1]가 수행되었고, 이 중 차륜-레일 상호작용에 의한 접촉응력의 평가는 차륜-레일 인터페이스 연구에서 가장 중요한 연구 분야 중 하나이다[2].

본 논문은 두 개의 원통이 구름접촉 할 때 발생하는 마모를 정확하게 예측하기 위한 전단계로 구름접촉 시 접촉영역에서의 접촉응력 및 미끄럼 량 등을 해석하고자 하였다. 마모 시험을 수행할 두 개의 원통형 시험편을 대상으로 구름접촉 시 폭방향 및 구름방향으로의 접촉응력을 해석하기 위하여 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 구름접촉이 발생하기 전과 구름접촉이 일어난 후 정상상태가 되었을 때의 접촉응력 해석결과를 비교하였다.

## 2. 유한요소해석

구름접촉 해석은 상용 유한요소프로그램인 ABAQUS[3]를 이용하였다. 해석대상은 직경 50 mm, 접촉부 접촉반경 125 mm 의 롤러 1 과 직경 50 mm 이고 접촉부가 편평한 롤러 2 를 대상으로 하였다.

롤러의 폭방향 및 구름방향의 접촉응력을 해석하기 위하여 3차원 유한요소 해석 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 영역

은 접촉영역에서 접촉변수가 급격히 변화하므로 구름 방향으로 최소 요소의 크기가 0.05 mm 가 되도록 조밀하게 분할하였고, 그 이외의 영역은 듬성하게 분할하였다. 각 롤러의 탄성계수는 207 GPa, 포아송 비(Poisson's ratio)는 0.3을 적용하였다. 마찰해석은 미끄럼 및 점착현상을 정확하게 해석할 수 있는 라그랑지 방법(Lagrange multiplier friction formulation)을 적용하였다. 접촉영역은 접촉쌍(contact pair)으로 지정하였고, 접촉면의 마찰계수는 0.1 을 사용하였다.

실제 두 개의 롤러 회전하면서 회전력을 전달하는 조건을 부여하기 위하여 각 롤러의 회전 중심 위치에 기준 절점을 설정하고 시편의 6 자유도에 대하여 kinematic coupling 조건을 적용하였다. Fig. 1 은 완성된 원통형 롤러의 유한요소해석 모델이며, 접촉영역의 조밀한 요소를 함께 나타내고 있다.

해석방법의 검증은 한 개의 원통에 수직하중이 작용하고 미끄러지지 않을 정도의 접선방향 하중 작용 시 접촉압력과 접선방향 트랙션 분포를 해석하였고, Cattaneo-Mindlin 해법[4]과 비교 하여 유한요소 해석결과는 이론 해와 잘 일치하였다.

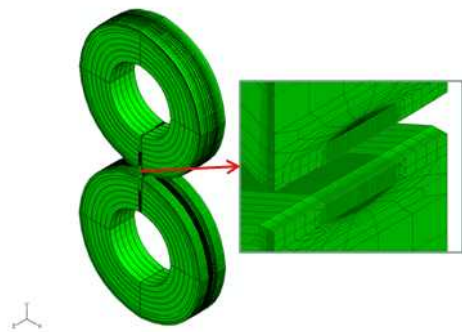


Fig. 2 FE model for rolling contact analysis of similar roller

### 3. 해석결과 및 검토

두 개의 원통이 구름운동을 하지 않은 정지 상태에서 수직하중(P)과 미끄러지지 않을 정도의 접선방향 하중(Q=0.75uP)이 작용할 때, 접촉압력의 분포는 접촉 중심이 가장 큰 타원형의 분포를 나타낸다. 또한 접선방향 트랙션의 분포는 Fig. 2와 같이 접촉중심이 작고 바깥쪽으로 갈수록 커졌다가 작아지는 분포를 나타낸다. 이와 같은 현상은 접촉면 중앙에는 점착현상이 발생하고, 바깥쪽에는 미끄럼 현상이 발생하기 때문이다. 따라서 점착영역과 미끄럼영역의 경계면에서 접선방향의 트랙션이 가장 큰 값을 나타낸다.

Fig. 3 는 수직하중과 접선방향 하중이 작용한 상태에서 구름운동을 시작하여 정상상태(steady state)가 되었을 때 접촉면의 접촉응력 해석결과를 나타낸다. 접촉압력 분포는 정지 상태와 동일하게 접촉 중심이 가장 큰 타원형의 분포를 나타내며, 구름접촉이 발생하더라도 접촉압력은 큰 변화가 없다. 접선방향 트랙션 분포는 구름접촉 영역의 전부(leading edge)에서 작고 후부(trailing edge)에서 크게 나타난다. 이 결과는 구름접촉이 발생할 경우 접촉영역의 전부에서는 점착현상이 발생하고, 후부에서 미끄럼이 발생하기 때문이다. 구름접촉 시 접촉응력(von Mises stress)의 분포는 접촉영역 전부에서 가장 큰 값을 나타낸다. 구름접촉이 발생할 경우 정지 상태와 비교하여 접촉영역 전부의 접촉응력은 약 9 % 증가하며, 접촉영역 후부의 접촉응력은 약 9 % 감소하게 된다.

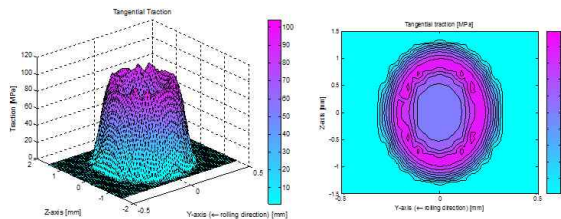
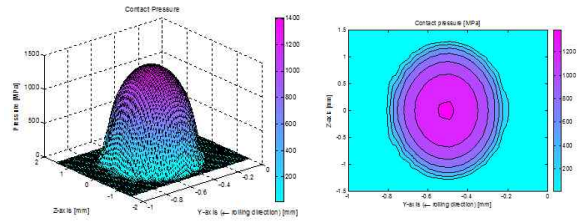


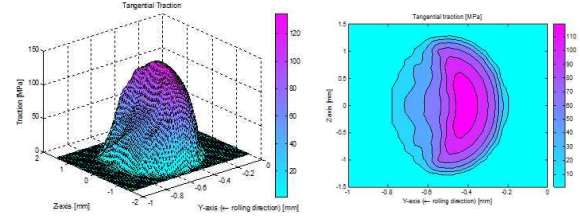
Fig. 2 Tangential traction distribution on contact surface with constant tangential load ratio  $Q/uP=0.75$  and stationary contact.

### 4. 결론

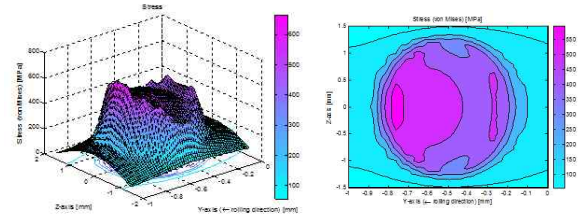
구름접촉시 정상상태에서의 접촉압력 및 접촉응력 등을 해석하기 위하여 3차원 유한요소해석을 수행하였고, 정지상태의 해석결과와 비교하였다. 두 개의 원통이 구름접촉을 할 경우 접촉압력은



(a) Contact pressure distribution



(b) Tangential traction distribution



(c) Contact stress (von\_Mises) distribution

Fig. 3 Three-dimensional stress on contact surface with constant tangential load ratio  $Q/uP=0.75$  and steady state rolling contact.

Hertz 이론과 같이 타원형의 분포를 나타낸다. 접선방향 트랙션 분포는 접촉영역의 전부에는 점착현상이 발생하기 때문에 작아지고, 후부에는 미끄럼이 발생하기 때문에 커지게 된다. 접촉응력은 접촉영역 전부에서는 증가하고 후부에는 감소하게 된다.

### 참고문헌

1. 전현규, 이동형, 서정원, 권석진, “차륜-레일 구름접촉에 의한 피로손상 연구동향”, 한국철도학회지, 제11권, 제4호, pp.35-41, 2008.
2. M. Pau, F. Aymerich, F. Ginesu, “Distribution of contact pressure in wheel-rail contact area”, Wear, 253, pp. 265-274, 2002.
3. ABAQUS user's and theory manual, Version 6.4, Hibbit, Karlson & Sorensen, Inc., 2003
4. Johnson, K.L., 1985, Contact Mechanics, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.