

유한요소법을 이용한 구름접촉 마모 예측 Finite Element Simulation of Rolling Contact Wear of Elastic Cylinder

*#이동형¹, 서경원¹, 권석진¹, 최하영¹

*#D. H. Lee(dhlee@krri.re.kr)¹, J. W. Seo¹, S. J. Kwon¹, H. Y. Choi¹

¹ 한국철도기술연구원 철도시스템연구센터 차륜궤도연구실

Key words : Rolling contact, Wear, Finite element method

1. 서론

차륜-레일 또는 기어, 베어링, 타이어 등에서 발생하는 구름접촉 마모는 기계 구조물의 진동 및 소음 발생, 수명 감소, 성능 저하 등 여러 가지 악영향을 미친다. 따라서 이를 방지하기 위하여 마모 메커니즘의 정량적 분석 등 많은 실험적, 해석적 연구가 진행되어 왔다. 구름접촉에 의한 마모 손상은 여러 가지 물리적, 화학적 메커니즘이 동시에 작용하여 발생하고, 구름접촉에 의한 마모 손상은 접촉 피로와 동시에 발생하기 때문에 피로와 마모 메커니즘 사이의 관계 등은 아직도 많은 연구가 필요한 부분이다.

구름접촉시 발생하는 마모는 Kalker[1], Jendel[2], Telliskivi와 Olofsson[3] 등이 수치해석적으로 예측하였다. 대부분의 기존연구는 Hertz 이론에 기초한 접촉해석을 수행하였다. 그러나 구름접촉에 의한 소성변형을 고려하고 반 무한체라는 가정(half-space assumption)을 극복하기 위하여 유한요소법을 이용한 마모해석 방법을 구축할 필요가 있다.

본 연구는 유한요소법 및 수치해석을 통하여 구름접촉에 의한 마모를 예측하는 방법을 구축하는 것이 주목적이다. ABAQUS를 이용하여 3차원 유한요소해석을 실시하고 Archard 마모모델을 적용한 수치해석 모델을 구축하여 구름접촉시 마모에 의한 접촉 프로파일의 변화를 예측하였다.

2. 마모예측 방법

구름접촉시 발생하는 접촉압력과 슬립 등의 접촉해석은 두 탄성체 접촉의 3차원 유한요소해석 모델을 사용하였다.

마모예측 절차는 Fig. 1 과 같이 크게 네 가지 부분으로 나누어진다. 첫 번째 부분은 프로파일

형상, 하중 조건, 요소분할 등 유한요소해석 모델링 부분이며, 모델링 방법 및 경계조건 등은 이전 연구 [4]와 동일하다. 두 번째 부분은 두 개의 물리학적 구름 접촉하여 정상상태가 되었을 때 접촉압력, 슬립 등을 해석하는 부분이다. 세 번째 부분은 구름 접촉해석에서 계산한 각 절점별 접촉압력, 슬립량 등을 이용하여 마모량을 계산하는 부분이며, ABAQUS의 subroutine인 UMESHMOTION내에 마모해석 방법을 프로그래밍 하였다. 각 절점별로 계산한 마모량은 한 사이클 회전 시 동일한 회전 streamline은 합산하여 전체 물리의 마모량을 계산하였다. 각 마모 예측 단계에서 마모량이 과도하게 예측될 경우 비현실적인 마모형상이 되거나 접촉 해석의 수렴이 어렵기 때문에 최대 마모량을 0.01 μm 로 제한하였다. 네 번째 부분에서는 유한요소 해석의 수렴 및 정확도를 높이기 위하여 마모된 영역의 메쉬를 재 배치 하는 부분이며 adaptive mesh smoothing 기능을 사용하였다.

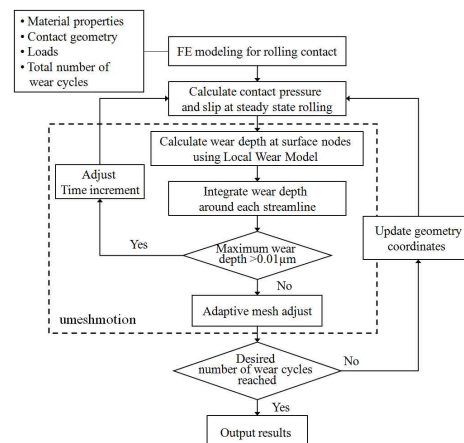


Fig. 1 Flowchart of rolling contact wear simulation

구름접촉 마모예측에 사용한 마모 모델은 트라이볼로지 분야에서 많이 사용되고 있는 Archard 마모 모델[5]을 기초로 하였다.

3. 결과 및 검토

Fig 2 는 최대 접촉압력 1,400 MPa 일 때 마모를 예측하고, 마모가 진행될 때 구름방향의 접촉압력 변화를 나타낸 그림이다. 마모가 진행될수록 구름 방향 최대 접촉압력이 작아지고 접촉길이도 줄어들을 알 수 있다. Fig 3 은 마모가 진행됨에 따라 폭방향 접촉압력의 변화를 나타낸 그림이다. 폭 방향의 최대 접촉압력도 마모가 진행됨에 따라 감소한다. 그러나, 폭 방향의 접촉길이는 마모가 진행됨에 따라 더 커짐을 알 수 있다. 접촉면적은 마모 초기에 타원형의 접촉형상을 나타내다가, 마모가 진행될수록 타원형 접촉에서 선접촉으로 변화하였다.

마모깊이가 변화하는 기울기는 초기에 급속한 마모가 발생하다가, 마모가 발생함에 따라 점차 감소하는 양상을 나타내었다.

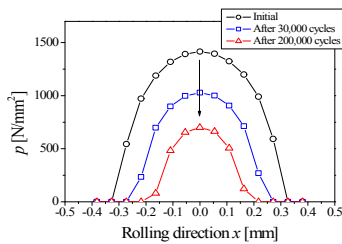


Fig. 2 Evolution of contact pressure as wear progresses for nodes located along rolling direction x-axis

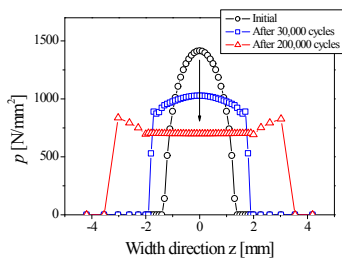


Fig. 3 Evolution of contact pressure as wear progresses for nodes located along contact width direction z-axis

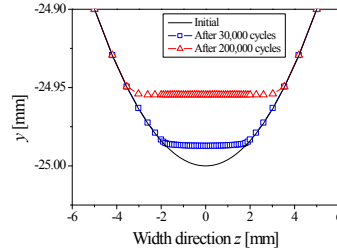


Fig. 4 Evolution of surface profile as wear progresses

Fig. 4는 시험편 폭방향으로의 초기 프로파일과 마모가 발생하여 변화한 프로파일을 나타낸 그림이다. 마모가 발생할수록 폭 방향의 곡면형상이 대체로 완만해지는 형상으로 변화하였다.

4. 결론

3차원 유한요소법 및 수치해석을 통하여 구름접촉시 발생하는 마모를 예측하였다. 마모해석 결과, 두 개의 원통이 구름접촉 할 경우 마모에 의해 최대 접촉압력은 작아지며, 접촉면적은 초기에 타원형의 접촉형상을 나타내다가, 마모가 진행되면 선형접촉으로 변화한다. 마모에 의해 초기 프로파일의 곡면 형상이 완만한 형상으로 변화하였으며 실험과 일치된 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. Kalker, J.J., "Simulation of the development of a railway wheel profile through wear," *Wear*, 150, pp. 355-365, 1991.
2. Jendel, T., "Prediction of wheel profile wear-comparisons with field measurements," *Wear*, 253, pp. 89-99, 2002.
3. Telliskivi, T., Olofsson, U., "Wheel-rail wear simulation," *Wear*, 257, pp. 1145-1153, 2004.
4. 이동형, 서정원, 권석진, 함영삼, 최하영, "구름접촉시 접촉응력변화에 대한 3차원 유한요소해석," 한국정밀공학회 2010년도 추계학술대회 논문집, 2010.
5. Archard, J. F., "Contact and Rubbing of Flat Surfaces," *J. Appl. Phys.*, 24, pp.981-988, 1953.