

멀티 스케일 모델을 적용한 선재 공정의 미세결함 형상 변화 예측

곽은정¹· 강경필¹· 이경훈[#]· 손일현²

Prediction of defect shape change using multiple scale modeling during wire rod rolling process

Eunjeong Kwak, Gyeongpil Kang, Kyunghoon Lee, Il-Heon Son

Abstract

Multiple scale modeling has been applied to predict defect shape change during the wire rod rolling process. The size difference between bloom and defect prevent using usual FEM approaches due to the enormous number of elements required to depict the defect. The newly developed multiple scale model can visualize defect shape changes during the multi stands rolling process. The defect positioned at the top and side of bloom are smoothed out but the one at the middle evolved as folding or remained as crack. This approach can be used for defect control with roll shape design and initial bloom shape.

Key Words : multiple scale, micro defect, wire rod, FEM

1. 서론

유한요소법에 기초한 시뮬레이션(전산모사) 기법은 현재 자동차/ 조선/ 철강 등의 전 산업체 분야에서 널리 적용되고 있다^(1,2). 유한요소법은 복잡한 형상의 제품을 단순한 형상의 요소로 분할하여 수치해석방법을 적용하여 해석함으로써 실제 공정과정에서의 다양한 분석을 가능하게 한다. 시뮬레이션은 제품 개발 또는 문제 해결 시에 요구되는 오류의 발생을 최소화함으로써 인적, 물적 비용을 절약할 수 있게 해준다.

주조 소재 내에 존재하는 미세결함은 압연/ 단조 등의 소성가공 공정을 거치면서 제거되어야 하나 경우에 따라 제거되지 못하고 제품의 결함 형태로 남을 수 있다. 가공된 판재 선재 등에 잔존한 결함은 최종 제품(볼트, 자동차 외판 등)의 결함으로 나타나게 되어 이의 예측 및 회피는 소재 생산 공정에서의 가장 중요한 요소라 할 수

있다. 그러나 소재 가공 산업의 특성상 실험적 접근이 제한적이고 결함과 제품간의 엄청난 크기 차로 인하여 수치 해석적인 접근 역시 한계점을 보이고 있다.

이번 연구에서는 유한요소법에 기반한 전산모사에 거시-미시 모델을 결합한 멀티스케일 해석을 적용함으로써, 초기 소재 내에 존재하는 미세 결함이 압연 과정을 거치면서 어떻게 진화하는지 정량적으로 예측하고자 한다. 멀티 스케일 모델링은 복합재 등의 제품과 결함의 스케일 차이가 큰 영역에서 일반적으로 많이 적용되어 왔다^(3, 4).

2. 결함예측 모델 유한요소해석

2.1 해석 개요

유한 요소의 접근 방법은 제품의 크기와 요구되는 제품의 결함크기의 차이가 를 경우에 문제가 발생한다. 제품 전체의 해석을 위해서는 제품

1. 쿠슬루션랩

2. 포스코 기술연구소 선재연구그룹

교신저자: 쿠슬루션랩, E-mail: klee@deform.co.kr

전체를 적당한 크기의 요소로 분할하여야 하나 그 요소의 크기는 관찰하고자 하는 결함을 나타내기에는 부적합하다. 선재 압연의 경우 소재의 직경이 100mm인 경우 적합한 하나의 요소크기는 1~5mm 내외이나 발생하는 결함의 크기는 0.1mm 미만이 일반적이다. 하지만 이러한 결함의 크기를 고려하기 위해서는 0.01mm크기의 요소가 필요해 전체 부분을 표현하기 위해서는 요소의 개수가 수십만 개 이상에 달해 방대한 계산시간을 요구하게 되어, 현재 가능한 소프트웨어 및 하드웨어로는 비현실적이다.

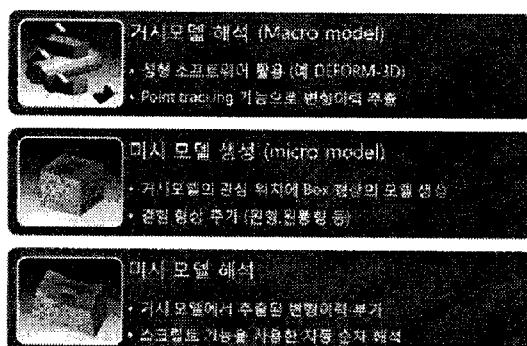


그림 1. 결합예측 해석순서

이러한 문제점으로 인해 현재까지는 거시적인 변수(변형률, 응력)을 사용하여 미시적인 결과(결함의 변화)를 예측하려는 시도가 많이 이루어졌다⁽⁵⁾. 이번 연구에서는 해석모델을 거시와 미시적 모델로 분리하여 다른 스케일을 사용하여 해석함으로써 현실적인 결함의 거동을 보다 정밀히 예측하고자 한다[그림1].

2.2. 해석 조건 및 순서

해석공정은 선재 압연 해석, 결합예측 부위 포인트 트래킹, 미시모델 해석으로 진행하였다

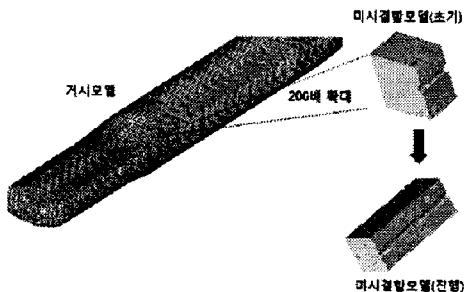


그림2. 결합예측 모델

2.2.1 선재 압연 해석

선재 압연 공정해석은 포스코 3선재 압연공정의 조압연 공정시 5번째 틀 이후에 결함이 발견되는 것을 확인한 바 6번째 틀부터 15번째 틀까지의 압연해석을 DEFORM-3D V10.0 압연템플릿을 이용하여 라그랑지안으로 거시모델 해석을 진행하였다. 해석을 용이하게 하기 위하여 1/4대칭모델을 사용하였고, 초기 소재의 온도는 1050도로 설정하여 열전달을 고려하였다. 소재의 재질은 SCM435이다. 틀의 온도는 150도로 고정하였다. 해석시 소재와 틀사이의 마찰은 0.7로 하였다. 압연이 진행됨에 따라 길이방향으로 소재가 늘어나기 때문에 해석시간 절감을 위해 변형이 없는 소재의 앞뒤 부분은 잘라주는 DEFORM의 불린 기능을 이용하였다.

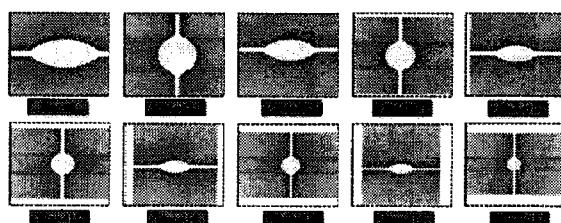


그림3. 압연 공정 해석시 틀형상

2.2.2 결합예측부위 변형 이력 추출

압연 해석 후, 실제 공정시 발생하는 결함이 있는 부위를 포함하는 미소 영역의 DEFORM 후처리기의 포인트 트래킹 기능으로 관심 위치[그림4]를 포함한 영역에 압연방향으로 약 1mm정도의 크기를 가지는 육면체 형태로 변형이력을 추출하였다.

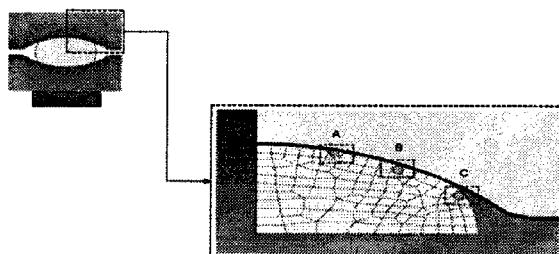


그림4. 결합예측부위 포인트 트래킹 위치

2.2.3 미시모델 해석

실제 압연공정에서 보여지는 표면 결함은 압연

방향에서 보면 약 0.1mm정도의 반경을 가진 반원 형태[그림5]의 결함이 압연방향으로 길게 늘어져 있다.

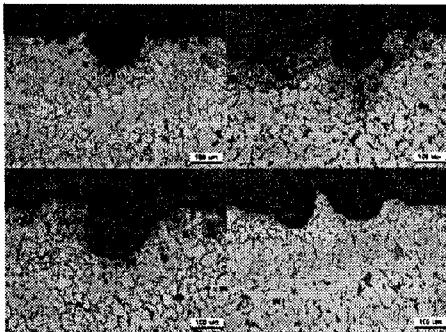


그림5. 5번 를 패스 후 소재표면의 결함

관심위치의 박스형상의 모델에 결합형상[그림6]을 추가한 미시모델을 생성한다. 거시 모델에서 추출한 변형 이력 값을 스크립트 기능을 사용하여 미시모델에 부가하는 자동 순차 해석을 시행하였다.

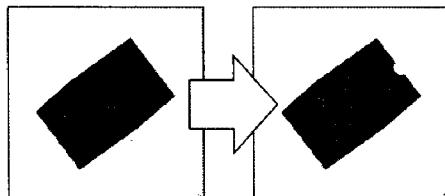


그림6. 미시모델에 결합 형상 부과

3. 결과

선재 압연해석 및 결합부위 미소영역 유한요소해석을 DEFORM 3D V10.0을 이용하여 수행하였다. 그림 6은 각각의 관심위치에서의(측정위치에 따른) 초기 결함이 공정이 진행됨에 따라(결합의) 형상이 어떻게 변하는지 중심부위 단면을 잘라 압연 방향에서 살펴 본 결과이다.

측정 부위(B)에서의 초기 결함은(이) 공정이 진행됨에 따라 접힘이 발생하고 측정 부위(A, C)에서는 미세 결함이 사라지는 것을 확인 할 수 있다. 초기에 압하가 되는 부위 A에서는 첫 번째 를을 통과한 후 결합 형상이 제거되었고, 두 번째 수평 를에서 닿는 부위인 부위 C는 를을 5개 통과한 후에 제거되는 것을 확인 할 수 있다.

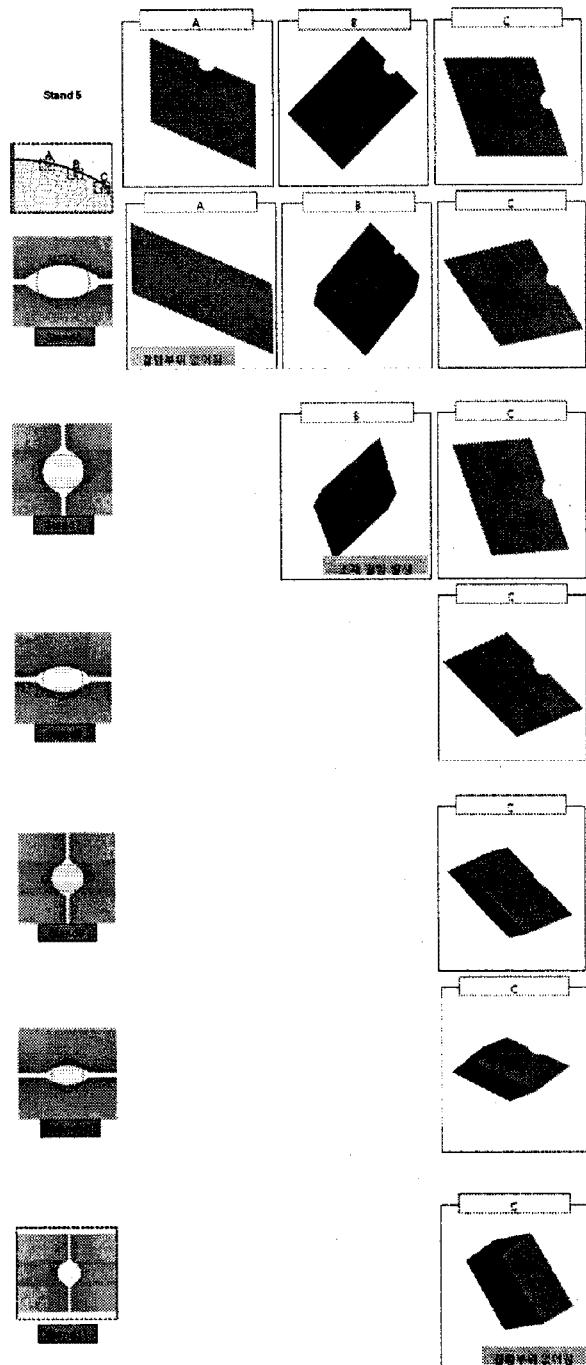


그림6. 각각 를 통과 후의 결합 단면 형상

4. 결론

이전의 연구에서는 초기 결함을 매크로 크기의 흄으로 인위적으로 만들고 소재의 표면 균열의 폭과 깊이가 어떻게 변화하는지 실험 및 유한요소 해석을 통해 연구를 하였다⁽⁶⁾. 실제 실험으로 압연시 발생하는 마이크로 크기의 결함에 대해서

압연이 진행됨에 따라 결함이 소멸 발전하는 것에 대한 확인은 많은 어려움이 있다. 이번 연구에서는 선재 압연시 발생하는 마이크로 단위의 결함을 미소 영역부위만 분리한 유한요소해석을 통해 거시-미시 모델간 염청난 배율차이를 극복하여 미세한 영역에서의 소재 거동을 분석할 수 있었다. 추후 연구에서는 공형의 형상이나 압하량, 공정온도에 따라서 초기 결함이 어떻게 진행되는지 예측하고자 한다. 이러한 기법은 다른 응용분야에 파급될 수 있는데, 현재 고려하고 있는 압연, 잉곳 자유단조 등 철강 분야 뿐만 아니라 복합재, 나노 성형 제품에서 발생하는 결함의 예측에도 적용이 가능하게 될 것이다.

참고문헌

- [1] G. P. Kang, K. H. Lee, S. U. Lee, Computer simulation of recrystallization and grain growth during hot forging process of waspaloy, *Transactions of Materials Processing*, Vol. 17, No. 2, pp.113-116.
- [2] K. J. Lee, W. B. Bae, J. R. Cho, D. K. Kim, Y. D. Kim, FE analysis for the prediction of void closure on the free forming process of a large rotor, *Transactions of Materials Processing*, Vol.16, No.2, pp.126-131.
- [3] Somnath Ghosh, Kyunghoon Lee, Prasanna Raghavan , A multi-level computational model for multi-scale damage analysis in composite and porous materials, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 38, Issue 14, April 2001, Pages 2335-2385
- [4] Kyunghoon Lee, Suresh Moorthy, Somnath Ghosh, Multiple scale computational model for damage in composite materials, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 172, Issues 1-4, 16 April 1999, Pages 175-201
- [5] D. H. Na, Y. Lee, Modeling and controlling of surface defect initiation and growth in groove rolling, *Transactions of Materials Processing*, Vol.17, No.8, 2008, pp.607-612.
- [6] C. Eriksson, Surface crack in wire rod rolling, *Steel Research Int*, vol.75, No.12, 2004, pp.818-828.