

유한요소법을 이용한 나사전조 공정의 해석

장수진¹· 이민철²· 한승상³· 윤덕재⁴· 전만수[#]

Finite Element Analysis of a Screw Rolling Process

S. J. Jang, M. C. Lee, S. S. Han, D. J. Yoon, M. S. Joun

Abstract

In this paper, three-dimensional finite element analysis of screw rolling process of a long shaft bolt is conducted by using a rigid-plastic finite element method based metal forming simulator AFDEX 3D. A whole sequence of cold forming processes of a long shaft bolt composed of forging and screw rolling processes is simulated to reveal the mechanism of screw formation. A mesh density control function is applied near the major plastic deformation region to achieve computational efficiency.

Key Words : Screw Rolling(나사전조), Finite Element Method(유한요소법), Intelligent Remeshing(지능적 요소망재구성), Mesh Density Control(요소밀도제어)

1. 서 론

수나사를 생산하는 대표적인 공법으로 절삭과 전조가 있다. 절삭공법은 생산성과 품질 양면에서 불리하기 때문에 비규격품 또는 대형 나사의 생산에 주로 활용되고 있다. 반면, 전조는 소재 수율, 양호한 제품의 표면, 고생산성, 고강도 등의 장점이 있기 때문에 대부분의 규격 나사의 생산 목적에 이용되고 있다. 전조공법에서는 축류의 소재를 상대 운동하는 전조금형 사이에 넣고 접촉압을 가함으로써 소재에 전조금형에 새겨진 나사 산을 점진적으로 성형시킨다. 나사전조용 금형에는 평금형과 틀금형이 있다.

최근 고강력강, 스테인레스강, 내열강, 선조질강 등의 고강도 재료로 만들어진 나사의 수요가 증가하고 있고, 나사에 대한 내구성 및 신뢰성의 요구가 점점증하고 있다. 이러한 시대적 요구에 부응하기 위하여 종래의 고속도공구강 또는 합금공구강을 초경과 금형강이 접합된 복합재료로의 대체가 이

루어지고 있다[1]. 나사 생산 공정의 성패는 정확도를 포함한 품질과 금형 수명에 달려 있다. 따라서 난성형 소재 및 신소재의 나사전조를 위한 역학해석의 필요성이 대두되고 있다.

나사의 전조는 역학적으로 비교적 복잡한 문제에 속한다. 따라서 해석적 방법의 적용에는 많은 한계를 내포할 수밖에 없다. 역학적 및 수치해석적 관점에서 볼 때, 평금형에 의한 나사의 전조는 공정 해석의 관점에서 크로스웨이틀링과 유사하다. 일반적으로 나사전조 공정 해석 문제는 타 소성가공 공정보다 더 악조건인 경우가 대부분이다. 따라서 수치적 접근 방법에도 많은 한계점을 안고 있다. 즉, 점진 성형 공법이 가지고 있는 공통적인 문제인 과도한 해석스텝으로 인하여 발생하는 계산 효율의 문제를 안고 있다. 이러한 문제는 컴퓨터 하드웨어 발전과 더불어 다소 개선이 되었고, 앞으로도 지속적인 개선이 이루어질 것이다. 나사전조 공정의 특징은 형상이 규칙적으로 변하지만 공정 중 형상은 매우 복잡하여 이를 효율적으로 표현하는데 한계가 있으며 전체 모델을 대상으로

1. (사)경상대 수송기계부품 기술혁신센터
2. 경상대학교 공학연구원
3. 영신금속공업(주)
4. 한국생산기술연구원
경상대학교 기계항공공학부/항공기술부품기술연구소
E-mail : msjoun@gnu.ac.kr

해석을 실시할 경우 계산시간 측면에서 문제가 매우 많다는 점이다. 이러한 이유로 타 분야에서 널리 사용되고 있는 소성가공 공정 시뮬레이션 기술의 접목 속도가 비교적 늦다.

전술한 난관에도 불구하고 다수의 연구자들이 소성가공 공정 시뮬레이션 기술의 접목을 시도하였다. Domblesky와 Feng [2]은 평면변형의 가정하에서 공정 변수가 나사전조에 미치는 영향에 관한 연구를 실시하였다. 3차원 해석 기술의 응용에 관한 연구도 최근들어 활발하게 이루어지고 있다. Kao 등[3]은 나사못 생산 공정 설계 시스템의 개발에 활용하였고, Pater 등[4]은 피치와 깊이가 큰 단열 나사인 슬리퍼 고정나사(sleeper fixing screw)의 신제조공정인 일종의 크로스웨이롤링 공정의 개발에 활용하였으며, Kim 등[5]은 리드 스크루의 초기 소재 반경의 결정에 활용하였다. 그러나 이들이 적용한 문제는 나사산이 치밀하지 않아 타 소성가공 공정의 시뮬레이션과 큰 차별성이 없다고 사료된다.

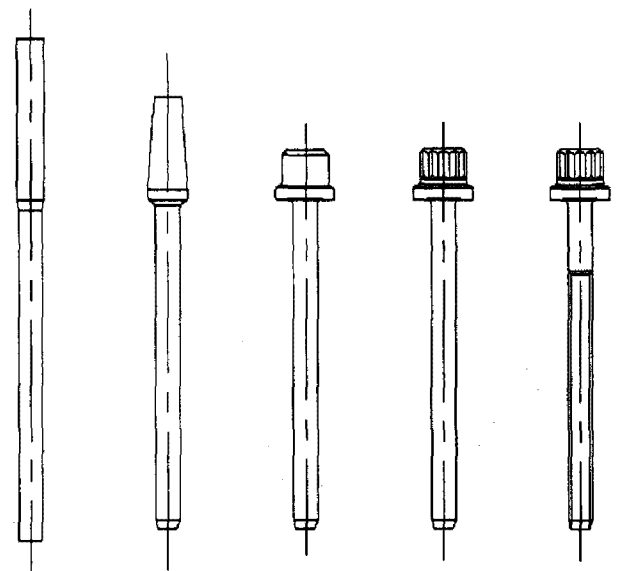
본 연구에서는 나사전조 공정에 초점을 맞추되 장축볼트의 전체 제조 공정을 대상으로 소성가공 공정 시뮬레이션을 실시하고자 한다.

2. 나사제조 공정의 설명

Fig. 1은 나사 제조공정도를 나타내고 있다. 제4단까지는 자동다단단조 공정에 의하여 생산이 되며, 마지막 단에서 나사전조가 실시된다.

제1단과 제2단은 각각 압출공정과 업세팅 공정으로써 소재의 대략적인 형상을 성형한다. 제3단과 제4단은 각각 헤딩공정과 후방압출공정이며, 이 두 공정은 나사의 머리를 성형하는 역할을 한다. 단조가공이 완료된 소재는 열처리 등의 후처리를 거치지 않고 전조공정으로 이송되어 나사산 가공으로 연결된다.

강소성 유한요소법에 근거한 AFDEX 2D와 AFDEX 3D를 사용하여 Fig. 1의 나사제조 전체공정의 시뮬레이션을 실시하였다. 유동응력은 선조질강인 ESW105의 압축시험으로부터 구하여 사용하였고, 제4단까지의 단조 공정에서의 마찰조건으로 쿨롱마찰법칙과 마찰계수 0.05를 사용하였다. 전조공정의 해석에서는 접촉절점이 매우 작은 관계로 접촉조건을 사용하였다.



Stage 1 Stage 2 Stage 3 Stage 4 Screw rolling
Fig. 1 A sequence of screw manufacturing processes

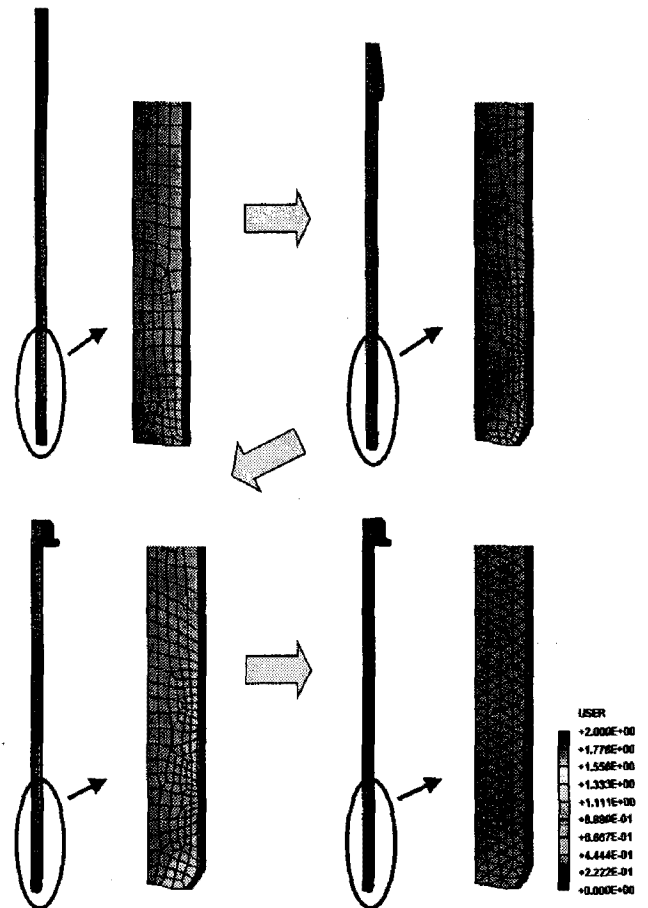


Fig. 2 Effective strain distribution

제3단까지는 2차원 해석을 수행하였고, 제4단에 대해서는 3차원 해석을 수행하였다. 예측된 소재의 변형 형상과 각 공정의 종료 순간의 유효변형률 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 전조공정 직전의 나사 성형 지점에서 유효변형률은 약 0.04로 나타났다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 전조금형은 두 개의 평금형으로 이루어져 있다. 하나의 평금형은 고정되어 있고, 다른 하나는 고정된 평금형에 평행하게 상대운동을 한다. 전조공정 초기에 그립퍼(gripper)가 성형이 완료된 볼트 머리를 잡아 고정 평금형 위에서 일정한 힘을 가하여 균형을 유지시켜 주고 난 이후 슬라이딩 평금형이 소재를 물고 들어가면서 나사전조가 이루어진다. 일단 그립퍼를 소재가 떠나면, 두 금형에 새겨진 나사산에 의하여 소재의 균형을 유지하면서 기울어짐이 없는 상태로 전조가 실시된다.

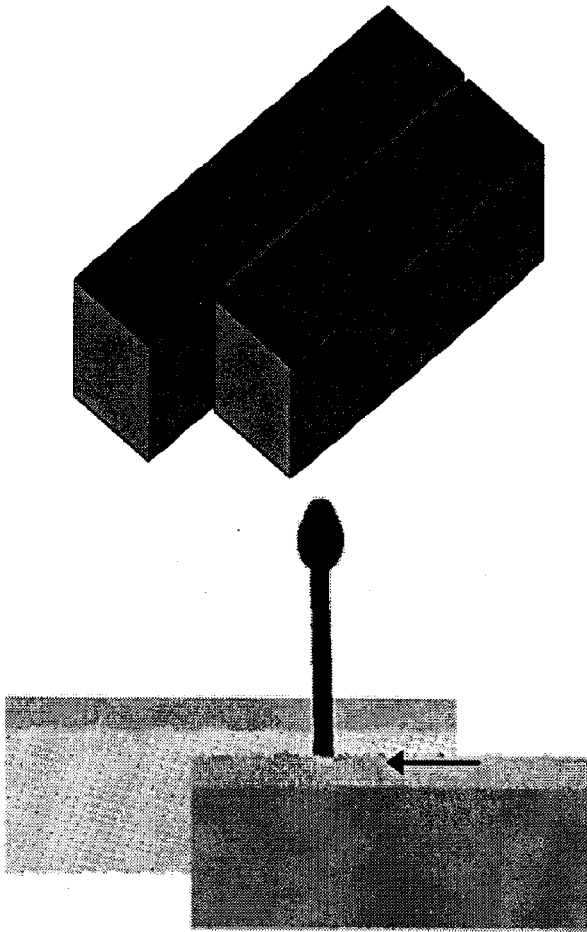


Fig. 3 Screw rolling flat die

Fig. 4에 나사전조 공정의 해석 결과를 나타내었다. 전체적으로 소재의 길이는 약 0.02% 증가하였으므로 길이변화는 무시 가능하다. 5 개의 시편에 대하여 나사 전조 전후의 길이를 측정하여 비교해 본 결과, 103mm의 길이의 단조 후의 볼트 소재가 약 0.04mm 늘어난 것으로 나타났다. 따라서 실험 결과와 해석결과는 늘어난 길이 측면에서는 유사하다.

나사의 형상 특징상, 나사 전체를 해석 대상 영역으로 삼았을 경우, 유한요소해석의 과정에서 절점의 수를 늘리는데 한계가 있을 수밖에 없다.

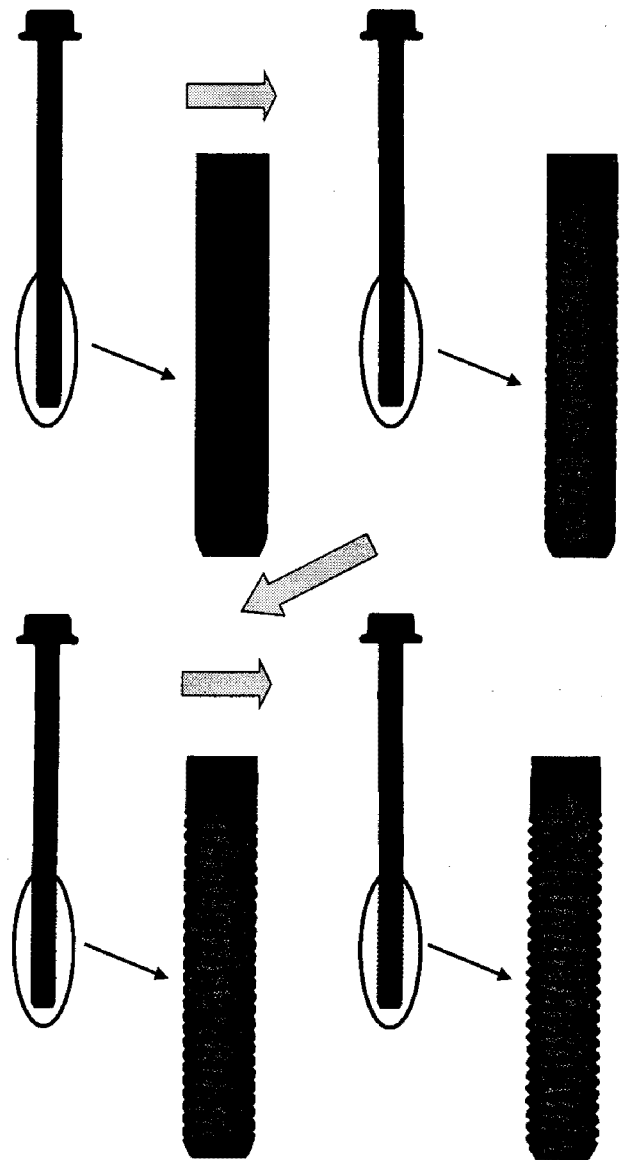


Fig. 4 Screw formation with effective strain distribution



Fig. 5 Finite element mesh system at the final stroke

Fig. 4의 해석 결과를 얻기 위하여 Fig. 5에서 보는 바와 같이 나사가 성형되는 지점의 요소망의 밀도를 크게 하여 해석의 정도를 높이려고 노력하였으나, 해석 중 하나의 금형에 접촉하는 절점의 수는 약 350개에 지나지 않았다. 따라서 나사산의 정확한 표현을 실현하기 위해서 전체의 소재를 해석하는 것은 공학적으로 타당하지 않다. 기본적으로 나사전조는 성형이 발생하는 주위에서 나사의 축방향 변위는 크게 구속되므로 대칭조건을 둔 두 개의 평판 사이에 들어와 있는 소재만을 해석 대상 영역으로 선정하여 상세해석을 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서는 4단의 단조공정과 나사전조 공정을 포함하는 장축12각 볼트의 전 제조공정을 시뮬레이션 하였다. 나사의 전조공정 해석이 강조되었으며, 계산의 효율과 정확도의 향상을 위하여 나사가 성형되는 부위를 조밀하게 모델링 하기 위하여 요소밀도 제어기능을 사용하였다. 해석 결과 나사의 길이변화는 무시할 정도로 작게 나타났으며, 이는 실험적으로도 확인되었다.

나사산을 비교적 정확하게 표현하기 위해서는 기본적으로 절점의 수가 많아질 수밖에 없다. 그리고 소재의 크기에 비하여 접촉영역이 작으면서 동시에 두 평판 사이에는 탄성력이 작용할 것으로 판단된다. 따라서 마찰조건 등의 설정과 적합한 유한요소해석 모델의 개발이 선행되어야 할 것으로

판단된다. 현실적으로 가능한 방안으로는, 해석과 실험 결과 모두 길이 방향의 변형이 거의 발생하지 않기 때문에, 소수의 나사산을 포함하고 양면에 대칭조건을 설정한 해석모델을 제안한다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 청정기반전력기술개발사업과 교육과학기술부의 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2009-0066590).

참 고 문 헌

- [1] 김정환, 2004, 이종재료 접합으로 만들어진 나사전조공구의 내마모성에 관한 비교 연구, 영남대학교 석사학위 논문.
- [2] J. P. Domblesky, F. Feng, 2002, A parametric study of process parameters in external thread rolling, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 121, pp. 341-349.
- [3] Z. Pater, A. Gontaz, W. Weron~ski, 2004, New method of thred rolling, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 153-154, pp. 722-728.
- [4] Y. C. Kao, H. Y. Cheng, C. H. She, 2006, Development of an integrated CAD/CAE/CAM system on taper-tipped thread-rolling die-plates, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 177, pp. 98-103.
- [5] K. H. Kim, D. H. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim, 2002, Characteristics evaluation of process parameters for improvement the precision of thread rolling in lead screw", Proc. KSPE 2002 Autumn Conf., pp. 312-315.