

유한요소해석을 이용한 마이크로 스크류의 전조금형 설계

Design of Thread Rolling Die for Micro Screw using FE-Analysis

*박기동^{1,4}, 이해진¹, 나승우², 정재용², 김세호³, #송정환¹

*K. D. Park^{1,3}, H. J. Lee¹, S. W. Ra², J. Y. Jung², S. H. Kim³, #J. H. Song(jhsong@kitech.re.kr)¹

¹ 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부, ²(주)서울금속, ³대구대학교 자동차·산업·기계공학부, ⁴대구대학교 대학원 기계공학과

Key words : Micro Screw, Flat Die Type Thread Rolling, Finite Element Analysis

1. 서론

최근 각종 기계 및 통신, 전자제품의 소형화 및 집적화로 인해 부품에 체결되는 스크류 역시 정밀화 되고 있는 추세이다. 스크류 치수가 미세해질 경우 형상 및 치수공차 유지가 어려우며, 작은 공정조건에도 쉽게 반응하여 불량률이 발생되기 쉽다. 이러한 미세 체결부품의 생산을 위해 부품소재 선진국인 일본, 독일, 미국 등은 지속적인 전조 기술개발과 성형 시스템 구축투자를 실시하여 현재 SUS계열 직경 1mm이하 급의 마이크로 스크류를 생산 중이다.

각종 체결부품에 전조공정을 적용하는 이유는 기존 절삭나사와 비교해 소재의 치형의 섬유조직이 나사산을 따라 연속되어 강도는 약 20% 높으며, 균일하고 우수한 나사산 생산이 가능하기 때문이다. 현재 스크류 생산의 90% 이상이 전조성형과정을 통해 제작되고 있다. Domblesky 등은 유한요소해석을 이용해 전조성형 방법을 정량적으로 분석하였으며, Kao 등은 3D CAD와 유한요소해석을 연동하여 성형된 스크류를 실제 제품과 비교하여 전조성형과정 검증하였다.[1~2] 그러나 국내의 경우 전조에 관한 연구결과 진행이 미비하다. 스크류 생산방법의 대다수는 현장 작업자의 경험에 의해 생산되는 경우가 다수이며, 불량 및 문제 발생 시 반복적인 T/O 통해 불량을 해결하는 경우가 대부분이다.

본 연구에서는 실제 현장에서 생산되는 스크류의 전조성형방법의 정량화를 위해 유한요소해석을 적용하여 분석하였다. FE-Simulation을 통해 스크류가 전조금형 내 성형되는 양상을 규명하며, 성형조건에 따른 성형결과를 분석하여 경험에 의해 생산되던 스크류 전조성형의 D/B화를 구축한다. 본 논문에서는 전조성형 공정구축에 앞서 실제 현장에서 제작되고 있는 직경 1.4mm 피치0.3mm 스크류에 유한요소해석을 적용하여 전조공정의 FE-simulation 적용 가능성을 검증하였으며, 향후 전조 공정조건 및 형상, 치수변화에 따른 전조공정설계에 관한 연구를 진행할 계획이다. Fig.1은 본 연구의 대상인 M1.4p0.3 전조금형 및 전조기계를 도시하였다.

2. 유한요소해석조건

마이크로 스크류 전조해석을 실시하기 위해서는 스크류 원소재의 기계적 물성 평가와 실제 전조생산과 동일한 분위기의 해석조건이 요구된다. Fig 2는 압축시험을 통한 마이크로 스크류 원소재의 물성평가 결과이다. 시편의 초기 직경은 1.14mm 이며, 높이는 세장비 약 1.5배인 1.6mm 이상으로 시편을 제작하여 압축시험을 실시하였다.

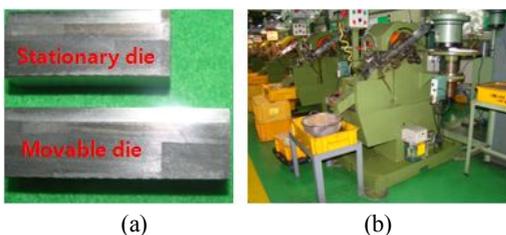


Fig. 1 Shape of the tools: (a) flat dies; (b) rolling machine

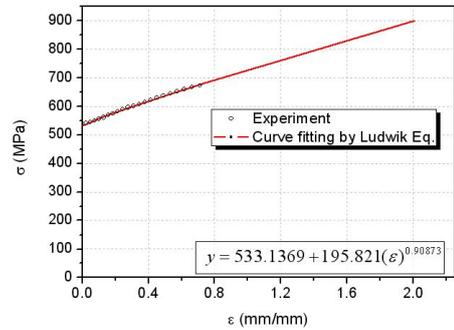


Fig. 2 Comparison between model prediction and experiments

압축시험의 결과[3] 소재는 약 70%의 변형되었으며, 유한요소해석에 적용하기 위해 Curve-fitting을 실시하였다. 개략적인 사전 해석결과 전조성형 시 요구되는 유효변형률이 약 2mm/mm 이상 될 것으로 판단하여 Curve-fitting을 실시하였으며, 응력-변형률 선도 예측은 일반적으로 잘 알려진 Ludwik 식을 사용하였다. 전조성형해석을 위한 해석조건은 경우 Fig. 3과 Table 1에 도시하였다. 조건은 실제 전조공정과 동일하며 사용된 물성은 앞서 도출된 응력-변형률 선도를 사용하였다. 실제 나사전조 시 발생할 수 있는 공정변수를 고려하기 위한 추가해석을 실시하였으며, 그 결과[3] 마찰계수의 경우 0.9, 전조금형 배치의 경우 축방향으로 동작부 금형을 피치/2 mm 이동하여 성형을 실시하여야 올바른 치형이 생성된다는 것을 확인 할 수 있었다.

유한요소해석에 적용된 실제 스크류 형상과 3D CAD 모델링형상을 Fig. 4에 비교 도시하였다. 해석 시 메쉬 개수가 늘어날 경우 해석소요시간이 많이 소요되므로 단조공정에 해당되는 스크류 머리부는 간략하게 형상화 하였다. 물성평가와 검증된 공정변수, 모델링된 형상을 기초로 전조성형해석을 실시하였다.

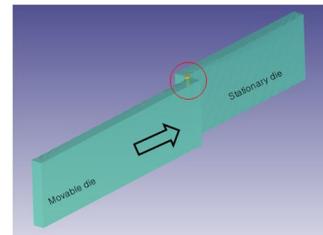


Fig. 3 Finite element model of thread rolling process

Table 1 Analysis condition for the FE simulation for thread rolling process

Specification	Description
S/W	Deform-3D
Rolling speed	245mm/s
Shear friction factor(m)	0.9
Material	Compression Test Mat.
Number of mesh / size	60000 / 0.02mm
Analysis scope	Cold Thread Rolling

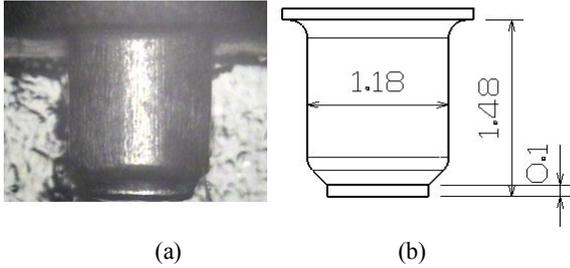


Fig. 4 Specimen of thread rolling: (a) experiment (b) analysis model

3. 전조 성형해석 결과분석

전조 성형 시 최초 1회전 사이에 대부분의 치형이 생성되고, 뒤의 회전은 나머지 부풀어 오른 치수의 정도를 내기 위한 과정이다. 그러므로 최초 1회전 시 치형의 정도 및 연속성이 양호할 경우 최종 전조형상이 원활하리라는 예측이 가능하다. Fig. 5는 최초 소재의 표면에 치형이 생성되는 과정이며, 동작부 금형이 6mm 이동 시 소재 외곽형상을 따라 전체적인 초기 치형이 생성되었다. 9mm 이동 시 연속된 치형이 매우 원활히 성형됨을 확인할 수 있으며, 초기 치형의 양호한 성형형상을 기초로 최종 치형의 성형성 또한 양호하리라 예상가능하다.

소재 성형 시 금형에 발생하는 반력의 경우 소재에 초기외곽 치형을 형성하는 6mm까지 반력이 가장 높게 나타났다.[4] (Fig. 6) 이는 앞선 언급처럼 최초 1회전시 대부분의 치형이 생성되기 때문이다. 스크류 전조 시 고찰된 현상을 적용하여 최초 1회전 시 금형에 발생하는 반력을 분석한다면, 스크류 생산 시 금형의 마모 및 변형현상을 감소시킬 수 있으며, 그에 따른 스크류의 불량 생산률을 감소시킬 수 있다.

최종 성형이 완료된 형상을 Fig. 7에 도시하였다. 스크류의 형상측정결과 해석된 스크류와 실제 스크류의 치수가 거의 흡사하였다. 이는 앞서 예상한 최초 1회전 시의 양호한 치형생성의 결과로 사료되며, 1회전 시의 치형의 형상이 최종형상에 영향을 끼침을 확인할 수 있었다. 이는 유한요소해석을 적용하는 엔지니어 입장에서 매우 큰 장점이 될 수 있다. 실제 현장에서 평다이 스크류 전조생산 속도는 200rpm 이상이다. 그러나 유한요소해석을 적용할 경우 점진성형방법 특성상 성형해석 시 많은 시간이 소요된다. 그러므로 최초 생성되는 소재의 치형을 분석할 경우 보다 신속하게 최종형상을 유추할 수 있다.

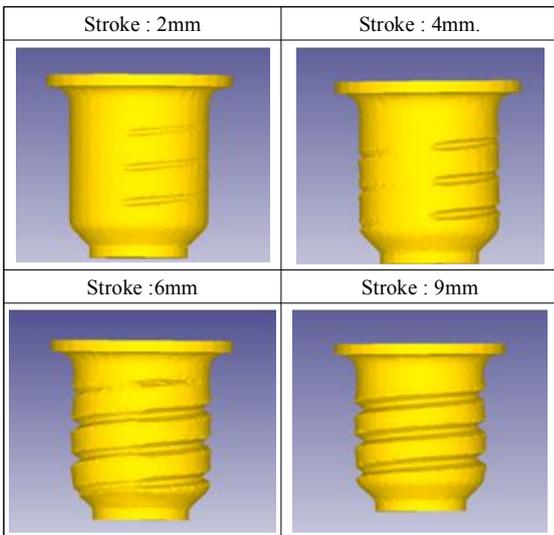


Fig. 5 Thread deformation with different strokes during the process

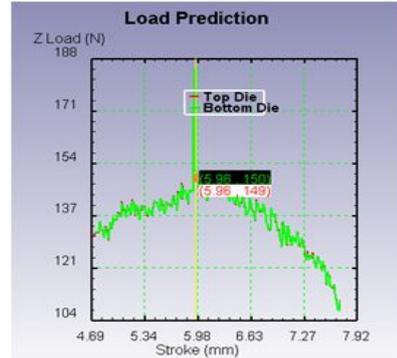


Fig. 6 Load prediction versus stroke during 1 cycle forming

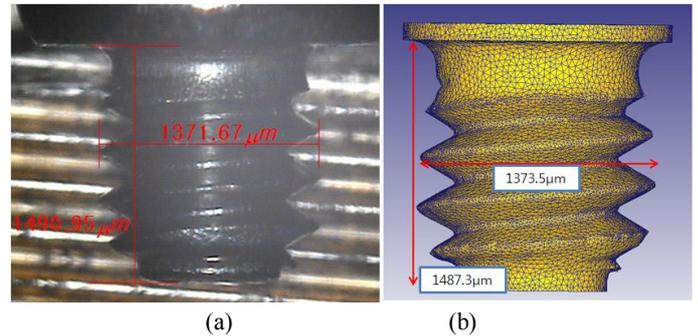


Fig. 7 Comparison of the thread rolling result: (a) experiment (b) simulation

4. 결론

유한요소해석을 이용한 스크류 전조성형을 실시하였다. 해석 결과 최초 1회전 성형 시 양호한 치형 생성 및 연속성을 가질 경우 원활한 최종형상 생성이 가능하다. 이는 해석시간이 많이 소요되는 전조해석 과정에서 최초 1바퀴 성형 결과를 기반으로 최종형상의 성형성을 유추하여 해석시간을 단축시킬 수 있다.

성형 시 금형에 부과되는 반력은 초기 1회전 성형 시 가장 높으며, 점진성형방법 특성상 전조력은 차츰 감소됨을 확인할 수 있다. 향후 이를 기반으로 최초 1회전 시 금형에 걸리는 반력을 분석하여 스크류를 생산 할 경우 금형의 마모 및 변형을 감소시킬 수 있다.

후기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 "마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반기술개발"의 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사드립니다

참고문헌

1. J.P. Domblesky and F. Feng, "A parametric study of process parameters in external thread rolling," Journal of Materials Processing Technology, 121, 341-349, 2002.
2. Y. C. Kao, H. Y. Cheng and C. H. She, "Development of an integrated CAD/CAE/CAM system on taper-tipped thread-rolling die-plates," Journal of Materials Processing Technology, 177, 98-103, 2007.
3. 박기동, 송정환, 이혜진, 이근안, 이낙규, 이형욱, 나승우, "마이크로 스크류의 해석기반 판형 전조성형공정 연구," 한국소성가공학회 추계학술대회논문집, 62-65, 2009.
4. 전인찬, "기계공작법," 청문각, 2006