

# 볼스크류용 초정밀 전조다이스 가공 시뮬레이션 Machining Simulation of Ultra Precision Form-Rolling Dies for Ball-Screw

\*윤일채<sup>1</sup>, #고태조<sup>2</sup>, 송태성<sup>3</sup>

\*I.C. Yoon<sup>1</sup>, #T. J. Ko<sup>2</sup> (tjko@yu.ac.kr), T.S.Song<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 영남대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 영남대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 경북하이브리드부품연구원

Key words : Ball Screw, Form Rolling Dies, Finite Element Analysis

## 1. 서론

볼스크류는 위치결정 장비에 필수적인 부품으로 다른 이송기구에 비해 동적 구름저항, 백래쉬 그리고 마모특성이 우수해 공작기계의 이송시스템, 정밀측정기의 이송시스템, 자동차부품, 로봇등에 널리 이용되고 있다. 또한 공장자동화가 이루어지면서 자동화를 구성하는 장비로서도 그 수요는 날로 증대하고 있다. 늘어난 수요에 발맞춰 외국제품에 크게 의존해오던 볼스크류를 국내제품으로 대체하는 것이 필요하며 국내에서 생산되고 있는 볼스크류에 대한 품질향상이 시급한 실정이다. 또한 기존의 연삭가공을 이용한 볼스크류는 많은 공정수로 인하여 고가의 생산비용이 소요되고 있다. 또한, 연삭 볼스크류는 가공시간도 많이 소요되므로 소비자들에게 공급이 늦어지는 단점이 있다. 이러한 연삭 볼스크류의 단점을 극복하고자 전조가공을 이용한 볼스크류의 개발이 절실히 필요한 상황이다. 이번 볼스크류용 전조다이스 제작기술 개발에 있어 다이스 소재에 따른 구조해석, 열응력 및 피로해석을 위하여 다이스의 2차원 CAD도면을 바탕으로 3차원 모델링을 완성한 후, 성형해석 프로그램인 SIMUFACT를 활용하여 가공 시뮬레이션을 실시하였다.

## 2. Roll-Dies 3차원 모델링

본 연구에 앞서 개발과제를 함께 진행중인 한국OSG에서 완성한 다이스의 2D도면을 바탕으로 3D 모델링을 완성하였다. 모델링에 사용된 다이스의 상세 제원은 아래의 표1과 같다. Fig. 1은 완성된 3차원 모델링의 측면 형상이다. Fig. 1을 통하여 식부구배각이 주어진 만큼 부여된 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Specification of Roll-dies

재질	SM45C
직경	150mm
피치	9.9848mm
리드각	2.6°
식부구배각	2.3°
주축경사각	0.5°

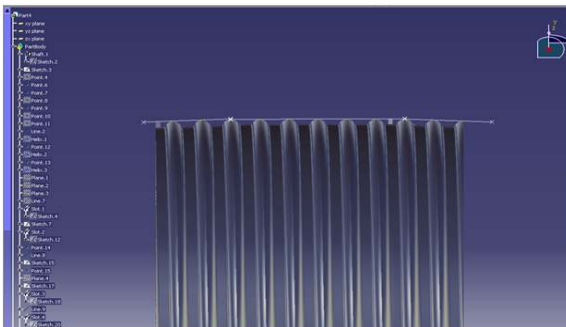


Fig. 1 3D-Modeling from 2D-CAD with

## 3. FEM analysis by SIMUFACT

앞서 완성된 3차원 모델링 자료를 바탕으로 FEM 가공 시뮬레이션을 실시하였다. 해석에 사용된 프로그램은 소성 및 단조

해석 프로그램인 SIMUFACT 8.0 이 사용되었다. 해석 시뮬레이션에 있어 제작품인 볼스크류에 두고 볼스크류가 받는 잔류응력이나 변형을 분석에 초점을 맞추었다. Table 2 는 해석시 프로그램에 입력된 물성과 가공 조건들이다. Fig. 2은 볼스크류의 Mesh를 수행한 결과이다. Mesh의 사이즈와 개수는 각각 0.9mm, 41846개이며, Mesh의 형상은 사각, 삼각이 혼합된 형상이다. Fig. 3는 해석프로그램에서 해석이 진행 중인 다이스와 볼스크류의 모습이다.

Table 2 Conditions for FEM analysis

회전속도	20RPM
회전수(해석상)	1 Rotation
마찰계수	0.1 (Coulomb friction)
가공온도	26 °C

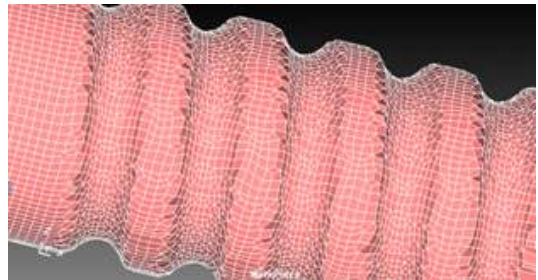


Fig. 2 Finite Elements of Ball-Screw

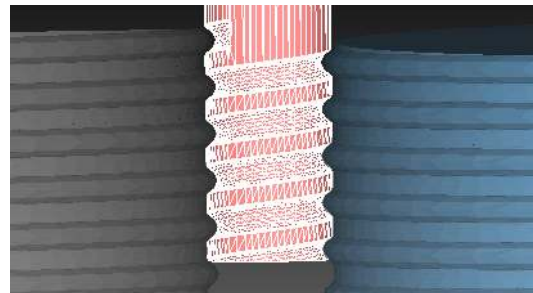


Fig. 3 Figure of initial step in analysis

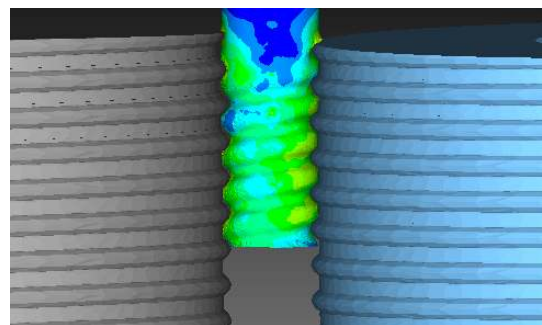


Fig. 4 Figure of end step in analysis

Fig. 4는 해석이 주어진 조건만큼 모두 끝났을때 모습을 나타낸 것이다. 최적의 해석조건을 모르는 상태이어서 입력조건들을 많이 바꿔가면서 해석을 실시하였다. 해석프로그램특성과 해석

시간을 고려하여 해석을 1회전만 실시하였다. 양쪽 다이스 1회전만 해석을 실시하였기 때문에 볼스크류 역시 해석이 진행된 부분이 일부분임을 알 수가 있다. Fig.5 과 Fig. 6은 해석이 끝난 스크류의 응력, 변형률의 분포를 나타내고 있는 그림이다.

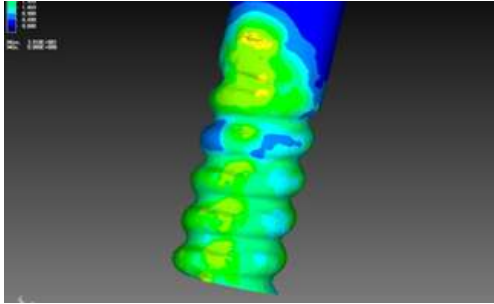


Fig. 5 Figure of end step in analysis

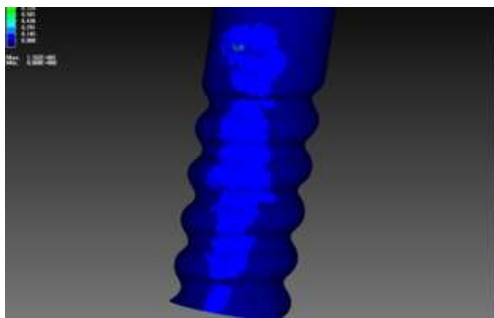


Fig. 6 Figure of end step in analysis

성형해석을 실시한 결과 볼스크류의 최대응력과 변형은 다이스의 나사산부분과 접촉하는 부분에서 발생하였고 각각의 수치는 최대응력 2.939kgf/mm<sup>2</sup>, 최대 변형을 0.436 의 값을 얻을 수 있었다. 하지만 볼스크류의 경우 다이스의 첫 번째 나사산을 지나고 난 다음에는 더 큰 응력을 받는 구간은 없는 것으로 나타났다. 결국 다이스의 경우에도 마찬가지로 첫 번째 나사산이 가장 큰 응력과 변형을 가지게 되며 이 부분의 수명이 곧 다이스 전체의 수명으로 이어진다는 것을 해석 결과로 다시 확인할 수 있었다. 하지만 해석결과와 같이 볼스크류의 첫 번째 끝 부분이 가장 큰 응력을 받기는 하지만 다른 쪽도 끝고루 응력을 받기 때문에 실제로 여러 차례 가공 실험을 마친 시제품과 해석결과를 비교해 보기로 하였다. Fig. 7은 실제 수많은 가공실험을 마치고 수명이 다된 다이스의 표면을 관찰한 사진이다. 사진의 표시된 부분이 표면에서 크랙이 생기며 균열이 발생한 곳을 나타낸다. 역시 나사산 부분에서 크랙들이 많이 발생한 것을 확인하였고 가공이 시작되는 곳에서 가까운 나사산일수록 더 많은 곳에서 균열들이 발견되었다.

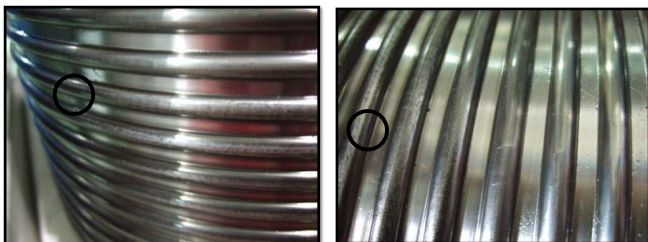


Fig. 7 Surface crack on used Dies

#### 4. 해석조건 최적화

본 연구의 다이스 해석의 경우 여러 가지 해석 조건들이 있어 입력조건만을 변경함으로써 각각 다른 결과가 나타났었다. Fig. 8, Fig. 9는 최적의 해석 환경과 신뢰성 높은 해석결과를 추구하기

위하여 본 모델의 최적화 된 가공조건을 찾기 위하여 입력조건을 달리하여 해석한 값들을 정리한 것이다. Fig. 9는 Mesh size와 마찰계수에 중점을 두고 정리한 표이고, Fig. 10은 해석프로그램에서 회전속도와 마찰계수에 중점을 두고 정리한 것이다.

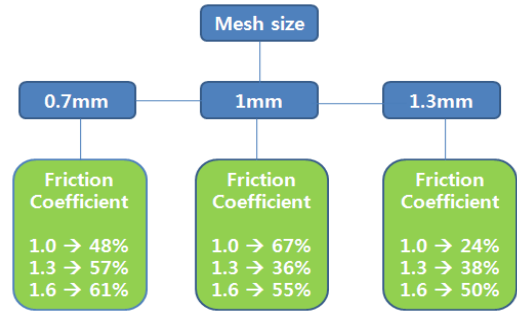


Fig. 8 Analysis results focused on mesh size & friction Co.

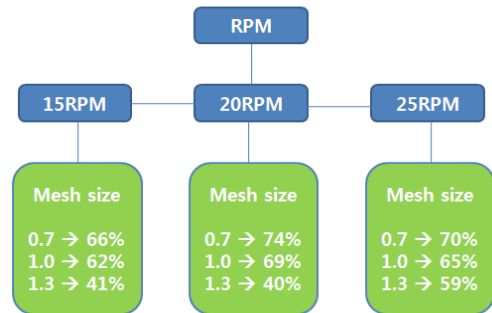


Fig. 9 Analysis results focused on RPM & mesh size

위에 표에서 백분율은 목표로 한 설정치에서 프로그램에서 해석이 진행된 수치를 나타낸 것이다. 100에 가까울수록 더 목표 값에 가깝게 해석이 진행된 것을 의미한다. 두 도표를 비교 분석하여 보면 Mesh size가 1mm 일때, 해석상의 다이스의 회전 RPM은 20RPM 이상일 때 결과가 더 양호하다는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 5. 결론

본 연구는 볼스크류용 초정밀 전조다이 개발과 가공시물레이션 구현을 위하여 여러 가지 조건들과 상용 FEM해석 프로그램을 활용하여 성형해석을 실시한 결과이다. 해석 시물레이션을 위하여 참여기업인 한국OSG에서 2D 도면을 완성하였고 본연구팀에서 3모델링을 제작한 후 해석을 실시하였다. 또한 다이스는 수명이 길고 여러 물성치를 바꿔가면서 여러번 실험을 하기 힘든 특성이 있었는데 시물레이션 상에서 최적의 가공 조건을 찾기 위해 많은 해석을 실시하였다. 그 결과 몇몇 최적화된 수치들을 확인하였지만 이 수치들에 검증과 보완은 좀 더 이루어져야 할 것이다. 이렇듯 시물레이션을 통하여 검증된 최적의 가공조건들이 실제 가공에 활용된다면 향상된 성능의 다이스의 제작은 물론이고 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

본 연구의 다음단계는 시물레이션에서 도출된 해석결과를 바탕으로 실제가공상의 조건과 환경들을 비교하고 문제점을 파악하여 분석 후 보완하는 단계가 될 것이다.

#### 참고 문헌

1. Ryuichiro Ebara, Katsuaki Kubota "Failure analysis of hot forging dies for automotive components" Engineering Failure Analysis 15(2008) 881-893
2. D.C. KO, J.M. LEE, H.K. KIM, B.M. KIM "FEM analysis for rolling of helical spline of start motor", KSPE 2004 spring conference
3. B-A. Behrens "Finite element analysis of die wear in hot forging processes" CIRP Annals-manufacturing Technology