

# 초정밀 롤 금형 가공기 설계 Design of Ultraprecision Roll Die Machine

\*.#오정석<sup>1</sup>, 송창규<sup>1</sup>, 박천홍<sup>1</sup>

\*.#J. S. Oh(ojs6114@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, C. K. Song<sup>1</sup>, C. H. Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부

Key words : ultraprecision roll die machine, optical film, hydrostatic bearing

## 1. 서론

대면적 미세가공 시스템은 대면적 초정밀 미세 가공장비를 이용하여 대면적 미세형상의 금형을 가공하고 이 금형을 이용한 사출, 엠보싱 등의 성형공정을 통해 대면적 미세형상 제품을 양산하고 최종적으로 제품의 양부를 검사하는 일련의 공정을 의미한다.

최근 들어 LCD TV의 추세로부터 쉽게 알 수 있듯이 디스플레이를 중심으로 대면적 또는 대화면 제품의 수요가 급증하고 있으며 이에 따라 도광판 및 광학필름 등 주요 미세형상 부품의 생산공정에도 대면적화 요구가 증대되고 있다. 또한 3D 프로젝터용 렌티큘러 렌즈, 초고휘도 반사필름, 의료/정밀기기용 초정밀 금형 및 부품, 연료전지 분리판 등 미세형상제품의 산업화 수요가 꾸준히 증가하고 있으며 이들 제품 역시 고기능화, 고부가가치화를 위해 대면적화 요구가 증대되고 있다. 특히 1m 이상의 크기가 요구되는 LCD BLU용 광학필름 등을 중심으로 대형화 및 저가양산에 적합한 연속성형 형태의 롤 성형기술이 주목받고 있으며 이에 따라 대면적의 롤 금형에 미세한 패턴을 정밀하게 가공할 수 있는 초정밀 롤 금형 가공기에 대한 수요 역시 점점 증가하고 있다.

한국기계연구원에서는 전략기술개발사업의 일환으로 진행 중인 “대면적 미세 가공장비 및 측정/검사 원천기술 개발” 과제에서 대면적 미세 가공장비의 원천기술 확보 및 이를 통한 2m급 초정밀 롤 금형 가공기의 개발을 추진하고 있다. 본 논문에서는 현재까지 진행된 초정밀 롤 금형 가공기의 설계 및 해석결과에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 초정밀 롤 금형 가공기의 설계

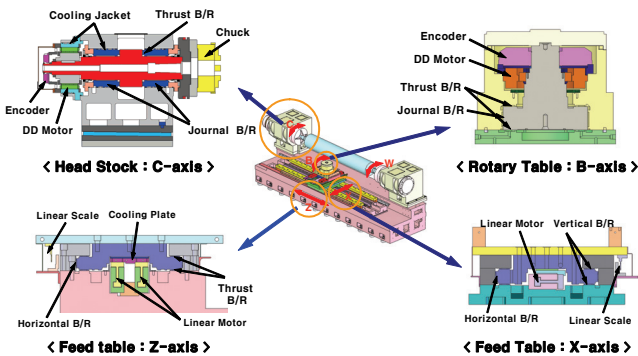


Fig. 1 Layout of ultraprecision roll die machine

Fig. 1은 설계가 완료된 2m급 초정밀 롤 금형 가공기의 구성을 보여 준다. 대면적 미세형상의 롤 금형을 정밀하게 가공하기 위해서는 롤 금형을 회전시키는 주축(C축)과 이에 대응하여 공구를 롤 금형의 길이방향으로 이동하는 직선축(Z축)을 매우 높은 정밀도로 동기 제어해야 하며 이외에도 절삭 깊이를 정밀하게 조절하는 X축과, 공구의 각도조절 및 복수공구의 사용을 가능케 하는 B축, 그리고 롤 금형의 길이에 맞추어 금형을 가공기 상에 양단 지지하기 위해 사용되는 심압대(W축) 등이 핵심적인 요소이다.

롤 금형 가공기의 모든 축에는 유정압베어링 및 리니어모터/벌트인모터 등의 무마찰 요소를 적용하여 평균화 효과에 의한 높은 운동정밀도를 실현하도록 설계하였으며 아울러 고분해능 엔코더와 리니어 스케일을 채택하여 인덱스 정밀도 및 X축의 운동분해능을 향상시킬 수 있도록 하였다. 회전수가 높은 주축의 모터와 유정압베어링에는 냉각재킷을 설치하여 구동 시 온도 상승에 의한 열변형을 최소화하였으며 Z축에도 듀얼 리니어모터 및 냉각판을 채용하여 피라미드 패턴 가공 시의 발열에 대비하였다. 구조적으로는 베드 지지부를 강화하여 Z축 이동에 따른 변형을 방지하였으며 배유/배선 구조를 단순화하여 향후 실용화 시에도 높은 신뢰성을 기대할 수 있도록 하였다.

Table 1 Specifications of roll die machine

가공가능 물 직경		210 - 600 mm
유효 가공길이		~ 2000 mm
물 중량		~ 600 kg
베어링		유정압 베어링(C, B, Z, X, W)
회전축 동심도		2 μm / 2000 mm
구동원		리니어 모터(L) + DD 모터(R)
C축	회전수	~ 600 rpm (인덱스 : ~ 3 rpm)
	분해능	≤ 0.04 arcsec, ≤ 0.06 μm (at φ 600 mm)
B축	회전수	~ 3 rpm
	분해능	≤ 0.01 arcsec
Z축	이동거리	2220 mm
	최대속도	10 m/min
	분해능	~ 1 nm
X축	운동정밀도	2 μm / 2000 mm
	이동거리	260 mm
	최대속도	10 m/min
X축	분해능	~ 1 nm
	운동분해능	10 nm

롤 금형 가공기의 제원을 Table. 1에 나타내었다. 가공가능 물 직경의 경우 최대 600 mm, 유효 가공길이는 최대 2000 mm로 설정하였으며 가공정밀도에 가장 큰 영향을 주는 성능지표인 주축과 심압대 간의 회전축 동심도와 Z축 운동정밀도의 경우 각각 2 μm/2000 mm의 사양을 설정하여 롤 금형의 원통도 품질을 극대화할 수 있도록 하였다.

## 3. 롤 금형 가공기의 해석

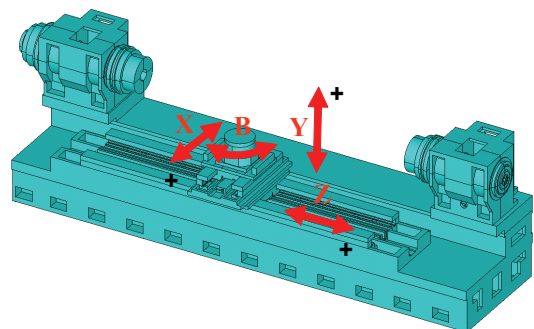


Fig. 2 Finite element model of roll die machine

롤 금형 가공기의 유한요소 모델을 Fig. 2 에 나타내었다. 총 552,336 개의 요소가 사용되었으며 이에 대하여 구조 및 동특성 해석을 실시하였다.

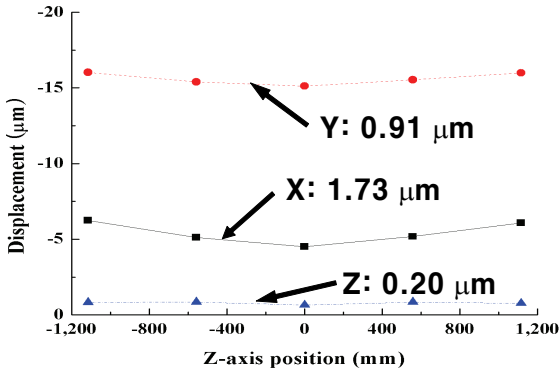


Fig. 3 Displacement of B-axis top plate according to the Z-axis position

Fig. 3 은 구조적으로 가장 중요한 Z 축 이동에 따른 B 축 상면의 변위를 해석한 결과를 보여 준다. B 축 상면의 변위는 X 축 방향이 1.73  $\mu\text{m}$  으로 가장 컸으며 Y 축, Z 축 방향으로는 각각 0.91  $\mu\text{m}$ , 0.20  $\mu\text{m}$  의 변위를 보였다. 이 수치는 Z 축의 운동정밀도에 영향을 주게 되나 가공 및 조립 시 스크래핑 및 래핑으로 상쇄 가능한 수준으로 판단된다.

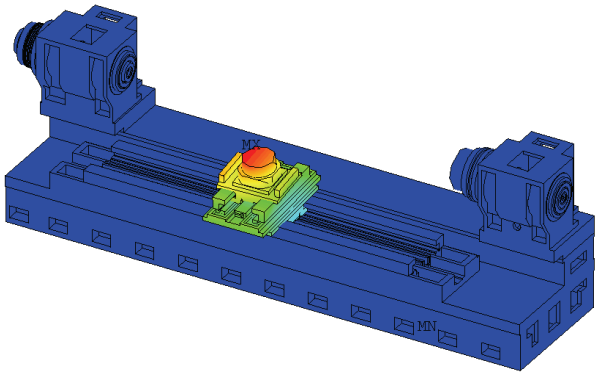


Fig. 4 1<sup>st</sup> vibration mode of roll die machine

Fig. 4 는 롤 금형 가공기의 1 차 진동모드를 보여 준다. 1 차 고유진동수는 74.3 Hz 로 예측되었으며 방향은 Z 축의 롤 방향이었다. 2 차 진동모드는 Z 축 피치방향의 진동모드이며 진동수는 77.1 Hz 로 예측되었다. 이 진동모드들은 유압 베어링의 강성 한계에 기인한 것으로 주축 최대 회전수 600 rpm 에 해당하는 진동수인 10 Hz 에 대해서 문제 없는 수준으로 판단된다.

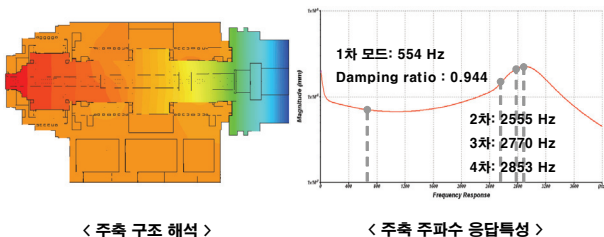


Fig. 5 Analysis of head stock

Fig. 5 는 주축계만의 구조 및 동특성 해석결과를 보여

준다. 주축 선단의 강성은 482  $\text{N}/\mu\text{m}$  로 예측되었으며 자중 및 척 선단에 1500N 의 하중이 작용했을 때의 저어널 베어링의 처짐량은 약 4  $\mu\text{m}$  로 베어링 간극에 비해 안정적인 수준을 보였다. 척 선단의 처짐량은 약 20  $\mu\text{m}$  로 예측되었다. 주축계의 주파수 응답특성을 해석한 결과 주축계의 1 차 고유진동수와 감쇠비는 554 Hz 와 0.944 로 매우 크게 나타났으며 1 차 진동모드에서 주축 선단의 진폭이 매우 작은 것으로 나타났기 때문에 주축계의 구조 진동에 대한 문제는 없을 것으로 판단된다.

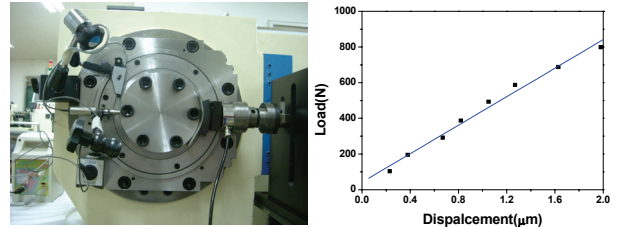


Fig. 6 Evaluation on the stiffness of head stock

초정밀 롤 금형 가공기의 주축은 현재 기계적 조립이 완료된 상태이며 주축의 선단강성을 평가한 결과를 Fig. 6 에 나타내었다. 주축의 선단강성은 로드셀 및 정전용량형 센서를 이용하여 측정하였으며 약 400  $\text{N}/\mu\text{m}$  로 측정되었다. 이는 수치해석 예상치인 482  $\text{N}/\mu\text{m}$  에 비해 약 20 %가 떨어지는 수치이며 선단강성의 저하는 스티스트 베어링의 간극 과다에 의한 것으로 현재 파악되고 있다. 향후 스티스트 베어링의 보완 후 선단강성을 재측정하여 검증할 예정이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 대면적의 롤 금형에 주기적인 미세패턴을 정밀하게 가공할 수 있는 2 m 급 초정밀 롤 금형 가공기를 설계하고 해석하였다. 설계된 시제품은 건축에 무마찰 요소를 채용하여 운동정밀도 및 제어성능 향상을 꾀하였으며 특히 장축에서의 열변형에 따른 가공성능 저하에 대비하여 냉각 및 열변형 방지에 가장 역점을 두어 설계하였다. 설계안에 대한 구조 및 동특성 해석을 실시한 결과 현 단계에서는 큰 문제점이 없는 것으로 파악되며 향후 제작/평가과정에서 해석모델의 지속적인 보완을 실시할 예정이다. 현재 롤 금형 가공기는 제작 과정에 있으며 설계/해석/제작/평가에 거친 일련의 과정을 통해 국내 대면적 미세 가공장비의 원천기술을 확보하는데 일조할 것으로 기대된다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부의 전략기술개발사업 “대면적 미세 가공장비 및 측정/검사 원천기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- 오정석, 황주호, 박천홍, "초정밀 롤 금형 가공기 개발," 한국정밀공학회 2007 년도 추계학술대회 논문집, 465-466, 2007.
- 오정석, 황주호, 김병섭, 송영찬, 박천홍, "1m 급 초정밀 롤 금형 가공기의 성능평가," 한국정밀공학회 2008 년도 추계학술대회 논문집, 85-86, 2008.