

유정압베어링 이용 초정밀 롤 금형 가공기의 열적 특성 평가 및 분석 Hydrostatic Bearing Guided Precision Roll Machining Machine : Thermal Characteristics Experiment and Analysis

*#심종엽¹, 오정석¹, 송창규¹, 박천홍¹

*#Jongyoup SHIM (jyshim@kimm.re.kr)¹, Jeong-Seok OH¹, Chang-Kyu SONG¹, Chun-Hong PARK¹
¹ 한국기계연구원

Key words : Hydrostatic Bearing, Roll Machining, Thermal, Precision

1. 서론

최근들어 디스플레이의 대화면화는 빠르게 진행되고 있으며 2015년 60" 이상의 TV 수요는 전체 평판 TV 시장의 2.6%를 차지할 것으로 전망되고 있다. 또한 150인치 슈퍼하이비전 디스플레이를 준비하는 등 대면적 대응 생산기술의 필요성은 더욱 커지고 있다. 대면적 롤 금형 가공기는 대면적 미세형상을 롤 금형에 가공하는 것을 의미하며 성형공정을 통하여 대면적 미세형상 필름 등의 제품의 대량 생산을 가능하게 한다. 이러한 롤 금형으로는 광학적 도광판 및 필름 등에서 미세형상을 구현할 수 있으며 응용 제품으로는 렌티큘러 렌즈, 초고휘도 반사필름, 의료/정밀기기용 초정밀 금형 및 부품, 연료전지 분리판 등이 있다. 1m 이상의 크기가 요구되는 LCD BLU 용 광학필름 등을 중심으로 대면적화 및 대량생산에 적합한 연속성형 형태의 롤 성형기술이 주목받고 있으며 이에 따라 대면적 롤 금형에 미세 패턴을 가공할 수 있는 초정밀 롤 금형 가공기에 대한 요구는 점점 커지고 있다.

국가 전략기술개발사업으로 한국기계연구원이 진행중인 "대면적 미세 가공장비 및 측정/검사 원천기술 개발"과제로써 대면적 초정밀 롤 금형 가공기를 개발하고 있다. 현재 1m급 가공기의 가공 실험 단계에 있으며 2m급 가공기의 설계/제작 단계에 있다. 가공기의 크기가 대형화 되고 요구되는 금형 패턴이 더욱 미세해짐에 따라서 가공기의 가공 정밀도에 대한 요구 정도는 더욱 높아지게 된다. 이러한 정밀도 요구에 부합하기 위해서는 열과 온도에 대한 보상이 필수불가결하다. 본 논문에서는 롤 금형 가공기의 열적 보상을 위한 기초 실험 및 분석 결과를 보인다.

2. 롤 금형 가공기 열 특성 실험 및 분석

그림 1에서 롤 금형 가공기의 구성도를 보이고 있다. 롤 금형을 회전시키는 주축(C-axis)과 이와 동기화되어 롤의 길이방향으로 이송되는 Z-축이 있고 절삭깊이를 조절하기 위한 X-축, 공구의 회전을 가능하게 하는 B-축이 존재한다. 주축, 직선 운동계, 심압대에 모두 유정압베어링을 채용하여 고강성, 고감쇄 및 고정밀도의 특성을 구현한다.

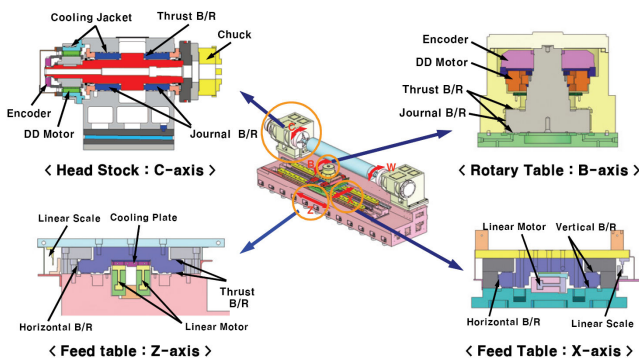


Fig. 1. Roll machining machine components and structure

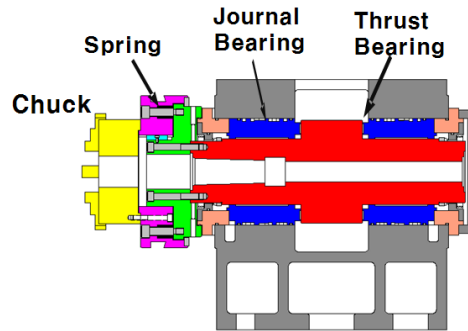
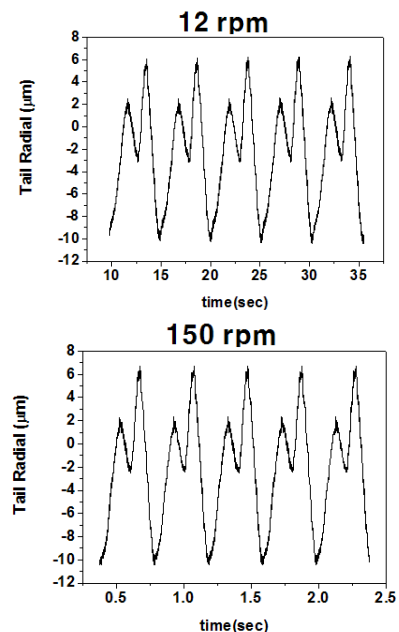


Fig.2. Tail-stock structure : compensation spring structure and hydrostatic bearing are shown

또한 구동기에는 리니어모터 및 DD(Direct Drive) 모터를 채용하여 무마찰 고정밀도 구동을 구현하였다. 주축의 모터와 유정압베어링에는 냉각 재킷을 설치하여 구동 시 온도 상승에 의한 열변형을 최소화하였으며 Z-축 리니어모터에도 냉각판을 채용하였다. 그림 2에는 심압대 구조를 보이고 있고 저널 베어링과 스러스트 베어링에 모두 유정압베어링을 채용하였고 독특하게 스프링을 이용하여 롤 금형과 베어링부를 커플링 시켰다. 이 커플링 스프링 구조의 역할은 롤 금형의 길이가 길어질수록 크게 발생할 열팽창에 의한 롤 길이의 변화를 흡수하는 역할을 수행한다. 롤 금형 가공기를 300 rpm ~ 600 rpm으로 구동하게 되면 모터 및 유정압베어링 면에서의 유체발열에 의한 열발생으로 인하여 주축 및 심압대에 온도가 증가하게 되고 이러한 영향은 롤과 공구대 간 상대 위치의 변화를 가져오게 되어 정밀도에 큰 영향을 주게 된다.



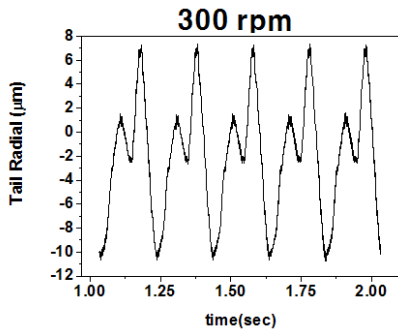


Fig. 3. Radial direction movement data of roll (close to tail-stock) when operating with different rotating speed.

따라서, 주축대 및 심압대 그리고 대기온도에 따른 롤 금형 가공기의 열팽창 양상 분석과 그에 따른 직선축 이송계의 보정 방법에 대한 연구가 필요하다. 이러한 목표에 대한 사전 검토 단계로서 여러가지 물리량을 여러 위치에서 측정하여 분석하였다. 그림 3 에서는 롤 금형 가공기에 롤 금형을 장착하고 rpm 을 변화시키면서 회전 5 주기 동안의 롤의 반경방향으로의 변동량을 비교한 결과이다. 측정면의 형상도 반영된 결과로서 rpm 이 변화함에 따라서 진폭 및 파형의 모양의 변화는 약 8% 이하로 나타나므로 회전에 의한 동적 특성은 변화가 작다고 할 수 있다. 이것은 회전수에 따라서 유정압베어링 특성이 잘 유지되고 있으며 주축 및 심압대의 설계가 타당하게 되었음을 의미한다.

그림 4 에는 롤 금형 가공기에서 데이터 취득을 위한 센서들의 배치를 보이고 있다. 여러 개의 capacitive sensor 및 eddy-current sensor 를 사용하였고 온도측정에는 T-형 열전대를 사용하였다. Agilent 사의 인터페로미터를 사용하여 주축-심압대 간 거리를 측정하였고 대기 압력 및 온도를 측정하는 센서를 설치하여 인터페로미터 값의 과장 보정에 사용하도록 하였다. 롤 금형 가공기가 설치된 공간은 측정의 결과로서 4 시간 동안 약 1 도 이내로 대기 온도 제어가 되었으며 베드의 온도는 0.1 도 이하로 제어가 되었다. 주축 및 심압대의 온도는 가동을 시작한 후 2 시간 동안 급격히 온도가 증가하다가 4 시간 정도 지나면 거의 수렴하는 모습을 보인다. 상대적으로 주축의 뒷부분이 제일 높은 온도를 가지며 주축의 앞부분이 제일 낮은 온도를 나타낸다. 주축의 앞/뒤의 온도차는 상대적으로 크게 나타나며 이것은 냉각장치의 비대칭성에서 기인한 것이라 판단되고 심압대의 경우 앞/뒤 부분이 거의 같은 온도를 나타내고 있다.

주축 과 심압대 간의 거리는 레이저 인터페로미터로 측정하게 되는데 측정된 대기 온도/압력 데이터를 이용하여 Edlen's formula 에 적용하게 되면 보정된 거리변화를 얻을 수 있다. 이렇게 측정된 결과는 약 25 µm 의

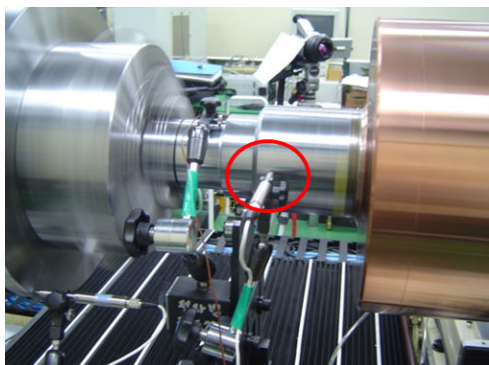


Fig. 4. Experimental setup is shown : position sensors

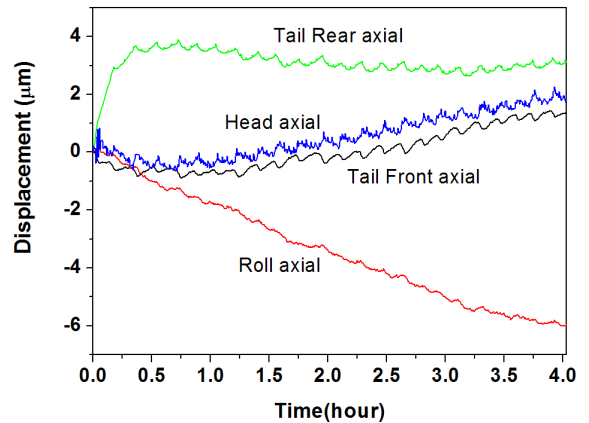


Fig. 5. Experimental data is shown. At each sensed position the axial direction displacement is plotted.

크기(4 시간 동안)로 상대거리가 변화 된 것을 알 수 있고 이러한 값은 주축 및 심압대 간의 거리변화 및 주축/심압대의 열변형에 의한 회전 영향도 포함된 것이라 판단된다. 그림 5 에는 롤 길이 방향으로의 각 측정 점의 이동량을 나타내고 있다. 롤 금형(심압대측)의 이동량에서 롤은 심압대 쪽으로 이동하고 있는 것으로 판단되며 심압대 척이 있는 부분도 심압대 방향으로 이동함을 알 수 있다. 주축의 척 부분은 주축방향으로 이동함을 볼 수 있는데, 이것은 열팽창에 의한 결과로 보면 반대 방향으로 이동한 것으로 보이는데 주축의 앞/뒤 온도차에 의한 주축회전이 원인이라고 판단된다.

온도 변화에 의한 열보상은 가공시작 기준점으로부터 온도변화가 생긴 순간에 기준점의 이동량이 결정되면 그 기준점으로부터 현재 가공할 보정위치를 판단할 수 있게 된다. 또한 주축/심압대의 온도 변화 뿐만이 아니라 대기 온도의 변화를 보정하려면 대기 온도 변화에 따른 열팽창에서 롤 금형의 기준점을 찾아야 한다. 현재로서는 심압대 스프링구조의 정상동작 여부 및 기초 실험을 수행하였으나 새로운 지그 설계 및 측정 실험/분석을 통하여 열보상의 기준을 마련할 것이다.

3. 결론

본 논문에서는 롤 금형 가공기의 온도 변화에 따른 정밀도 보정에 관한 실험에 대하여 소개하였다. 가공기는 구동시 동적인 영향이 크게 나타나지 않는 것으로 판단되며 이것은 유정압베어링이 유효하게 설계되었음을 나타낸다. 심압대측에 스프링을 이용한 열팽창 보상 구조를 채용하여 가공기의 롤 장착 동작시 온도상승에 대한 위치변화를 측정하였고 그 결과를 분석하였다.

후기

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

참고문헌

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