# 초정밀 롤 금형 가공기의 열특성에 관한 연구

# A Study on the Thermal Characteristics of Ultra Precision Roll Lathe

*,#오정석 [1], 심종엽 [1], 박천홍 [1]
*, #J. S. Oh(ojs6114@kimm.re.kr)[1], J. Y. Shim[1], C. H. Park[1]
[1] 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부

Key words : ultra precision roll lathe, thermal characteristics, hydrostatic bearing, optical film

## 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 TV 의 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. 특히 1m 이상의 크기가 요구되는 LCD BLU 용 광학필름 등을 중심으로 대형화 및 저가 양산에 적합한 연속성형 형태의 롤 성형기술이 주목 받고 있으며 이에 따라 대면적의 롤 금형에 미세한 패턴을 정밀하게 가공할 수 있는 초정밀 롤 금형 가공기에 대한 중요성 역시 점점 커지고 있다.

한국기계연구원에서는 산업원천기술개발사업의 일환으로 진행 중인 “대면적 미세 가공장비 및 측정/검사 원천기술 개발” 과제에서 대면적 미세 가공장비의 원천기술 확보 및 이를 통한 2m 급 초정밀 롤 금형 가공기의 개발을 추진하고 있다. 2m 급 롤 금형 전 영역에 50μm 이하의 미세패턴을 결함 없이 가공하기 위해서는 가공기 및 주변환경의 안정적인 열특성 확보가 무엇보다도 중요한 과제이다. 본 논문에서는 제작이 완료된 2m 급 초정밀 롤 금형 가공기의 기초적인 열특성 평가결과에 관해 소개하고자 한다.

## 2. 초정밀 롤 금형 가공기 및 실험장치 개요

Fig. 1 Picture of ultra precision roll lathe

Fig. 1 에 제작이 완료된 초정밀 롤 금형 가공기의 사진 및 실험장치 구성을 나타내었다. 초정밀 롤 금형 가공기는 크게 주축(C 축), 심압대(W 축), 공구회전축(B 축), 공구이송축(Z 축) 및 공구절입축(X 축)으로 구성되어 있으며 모든 축에는 유정압 베어링 및 리니어모터/빌트인모터 등의 무마찰 요소를 적용하여 평균화 효과에 의한 높은 운동정밀도를 실현하도록 하였다. 아울러 고분해능 엔코더와 리니어스케일을 채택하여 인덱스 정밀도 및 X 축의 운동분해능을 향상시킬 수 있도록 하였다. 최대 가공 가능한 롤 크기는 ϕ600 x 2,500 mm 이며 유효 가공길이는 2,000 mm 이다. 각 축의 자세한 구성은 참고문헌 [3]을 참조하기 바란다.

열특성을 관찰하기 위한 열전대는 Fig. 1 에서 알 수 있듯이 총 8 개소에 설치되었다. 스핀들의 온도특성을 파악하기 위하여 주축대에 2 개의 열전대(1, 2 번), 심압대에 2 개의 열전대(3,4 번)를 각각 설치하였으며 주축 모터 브라켓(5 번)과 베드(6 번)에도 열전대를 설치하였다. 대기 온도변화를 측정하기 위하여 주축대와 심압대 위에 각각 열전대를 설치하였으며(7 번, 8 번) 동시에 레이저 간섭계를 이용하여 주축대와 심압대의 상대변위를 관찰하였다.

## 3. 기초 열특성 실험결과

초정밀 롤 금형 가공기의 기초적인 열특성 분석을 위해 정지상태에서 유압유니트 및 쿨러 가동 전후의 온도특성 및 주축대/심압대 간의 상대변위를 측정하였다.

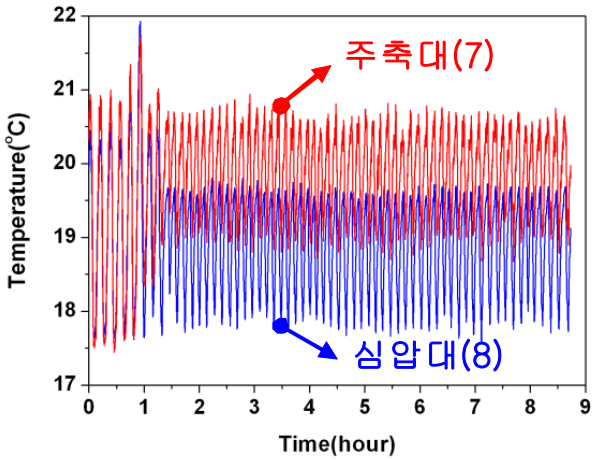


Fig. 2 Variation of environmental temperature

Fig. 2 는 주축대 및 심압대 부위의 대기온도 변화를 나타낸다. 측정시간은 약 9 시간이며 측정 시작 약 1 시간 후에 유압유니트 및 쿨러를 가동하였다. 가동 전 주축대와 심압대의 온도는 거의 동일하나 설치된 항온항습기의 온도제어특성으로 인해 주기적인 온도변화가 약 3.5°C 로 매우 큼을 알 수 있다. 가동 후에는 주축대 부근의 경우 약 0.65 °C 정도 온도가 상승하였고 심압대 부근의 경우 약 0.27 °C 정도 온도가 하강하였다. 따라서 주축대와 심압대 부근의 대기온도편차는 0.92°C 정도임을 알 수 있으며 이는 열원으로 작용하는 쿨러 및 유압유니트가 주축대 부근에 상대적으로 집중되어 있는 현상에 의해 발생한다. 가동 시 불균일한 대기온도분포가 발생할 경우 열용량이 큰 베드가 온도변화에 따라서 정상상태로 도달할 때까지 많은 시간이 소요되므로 쿨러와 유압유니트에 의한 온도변화를 차단할 필요가 있다. 이를 위해서는 유압유니트 및 쿨러를 별도의 독립된 공간에 설치할 수도 있으나 이보다는 가공기 본체

를 별도의 단열커버를 씌워 내부를 정밀하게 온도제어하는 방법이 항온항습기의 온도제어특성에 의한 영향을 줄일 수 있으므로 더 유리할 것으로 판단된다.

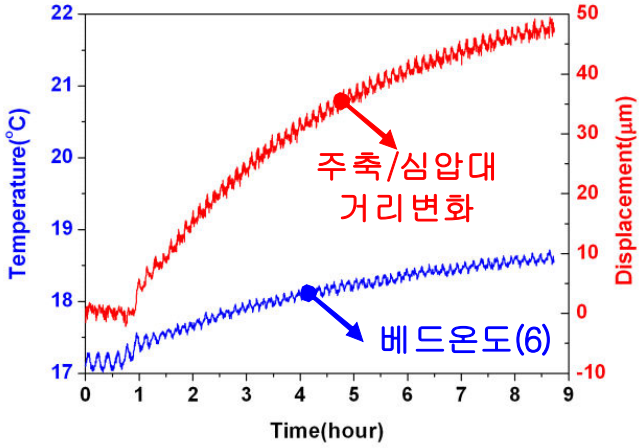


Fig. 3 Measurement of bed temperature and relative displacement between head stock and tail stock

Fig. 3 는 베드의 온도변화 및 주축대/심압대간의 상대변위 측정결과를 보여 준다. 초기 베드온도의 경우 대기온도에 비해 약 2°C 낮았으며 8 시간 동안 약 1.5°C 증가하였다. 이와 같은 베드온도의 상승량은 Fig. 2 의 대기온도 상승량에 비해서도 크며 단순히 대기온도의 상승에 의한 영향뿐만 아니라 Z 축 유정압 베어링 오일의 제어온도 설정이 베드온도에 비해 높은 것에 의해 나타나는 현상으로 판단된다. 베드의 경우 열용량이 커서 8 시간 경과 후에도 열적으로 안정되지 않고 있으며 이로부터 베드온도의 조기 안정을 위해서는 Z 축 유정압 베어링 오일의 적절한 온도설정이 매우 중요함을 알 수 있다. 베드온도 상승에 따라 주축대, 심압대 간의 상대변위도 8 시간 동안 약 48 μm 정도 증가하였다. 베드의 열팽창 계수 12 ppm 및 주축대와 심압대 간의 거리 2.5 m, 온도상승 1.5°C 를 고려하면 주축대와 심압대 간의 상대변위는 온도상승에 의한 선형팽창임을 알 수 있다.

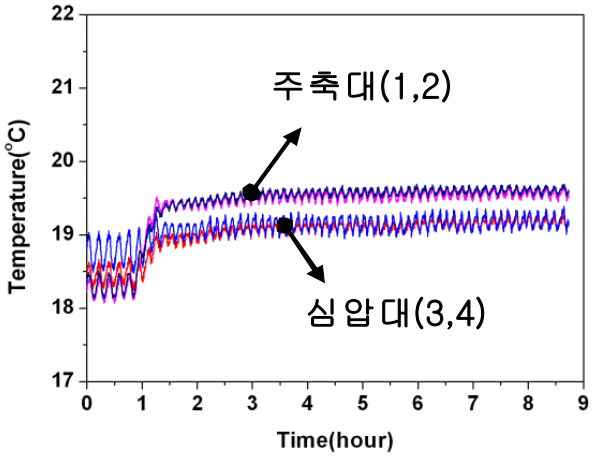


Fig. 4 Temperature measurement of head stock & tail stock

Fig. 4 는 주축대 및 심압대의 온도변화를 보여 준다. 주축대의 온도는 약 1°C 상승하였고 심압대는 약 0.5°C 상승하여 상대편차는 약 0.5°C 로 나타났다. 이는 대기온도의 편차 1°C 에 비해서는 상대적으로 작은 값으로 주축대 및 심압대의 유정압 베어링 오일에 의해 그 영향이 줄어든 것으로 판단할 수 있다. 온도안정시간 측면에서도 1 시간 이내에 안정됨을 알 수 있으며 이 역시 유정압 베어링 오일에 의한 것으로 판단된다. 다만 주축대, 심압대 공히 온도가 상승하고 있으므로 이 역시 유정압 베어링 오일의 제어온도 설정을 최적화할 필요가 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 2m 급 초정밀 롤 금형 가공기의 기초적인 열특성에 관해 실험적으로 분석하였다. 장비는 정지한 상태에서 유압유니트와 쿨러만을 가동하여 이에 따른 온도변화와 주축대/심압대 간의 상대변위를 관찰하였으며 열원(유압유니트, 쿨러)의 집중에 따른 가공기 온도분포의 불균일성을 관찰할 수 있었다. 열원이 집중된 주축대 부근의 대기온도가 심압대 부근의 대기온도에 비해 약 0.92°C 높았으며 이를 해결하기 위해서는 가공기 본체를 별도의 단열커버를 씌워 내부를 정밀하게 온도제어하는 방법을 채택해야 할 것으로 판단된다. 베드의 온도변화를 관찰한 결과 대기온도변화 및 Z 축 유정압 베어링 오일의 제어온도설정에 의해 큰 영향을 받고 있음을 확인하였으며 베드의 안정시간이 8 시간 이상으로 매우 긴 것을 확인하였다. 주축대 및 심압대의 경우도 베드와 마찬가지로 대기온도변화 및 유정압 베어링 오일의 영향을 받고 있음을 알 수 있었으며 이상의 결과로부터 빠른 열적 안정상태를 확보하기 위해서는 유정압 베어링 오일의 제어온도 설정을 최적화 하는 것이 무엇보다도 중요하다고 판단된다.

## 후기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 “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 추계학술대회 논문집, 465-466, 2007.
2. 오정석, 황주호, 김병섭, 송영찬 박천홍, "1m 급 초정밀 롤 금형 가공기의 성능평가," 한국정밀공학회 2008 년도 춘계학술대회 논문집, 85-86, 2008.
3. 오정석, 송창규, 박천홍, "초정밀 롤 금형 가공기 설계, " 한국정밀공학회 2008 년도 추계학술대회 논문집, 737-738, 2009
4. 오정석, 심종엽, 김병섭, 황주호, 송창규, 박천홍, "2m 급 초정밀 롤 금형 가공기 개발, " 한국정밀공학회 200 년도 추계학술대회 논문집, 663-664, 2009