

DTM가공을 위한 2축 Stage의 정밀 이송특성연구

이응석 (충북대학교기계공학부), 박종진*(충북대학교대학원 기계공학과),
이민기(충북대학교대학원 기계공학과)

Positioning control error of 2-Axis Stage for Diamond Turning Machine

E. S. Lee (Mech. Eng. Dept., CBNU), J. J. Park (Mech. Eng. Dept., CBNU),
M. K. Lee (Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

DTM (Diamond Turning Machine) is using for ultra precision manufacturing such as, plastic lens, die or aspherical optics. This study is on a design of precision 2-axis stage for DTM. We designed and manufactured a backlash free stage using different weights and measured the positioning accuracy using Interferometer. Also, the 2-D moving accuracy is measured using the high magnification CCD technique. Then, the stage is tested with the machining of spherical and aspherical lens in a DTM with air bearing spindle. It was shown that the backlash free stage is effective for improving the positioning accuracy. Also, positioning control errors in motion control board were able to be found using the proposed stages system.

Key Words : Backlash, CCD machine vision, DTM(Diamond Turning Machine)

1. 서론

최근 산업의 발달과 함께 부품의 초소형화와 고정밀화가 여러 분야에서 요구되어지고 있다. 고정밀 가공기술은 비디오 카메라, 휴대폰 카메라 등에 사용되어지는 거울이나 렌즈와 자기디스크용 기관, 스캐너에 사용되어지는 다면경(Polygon)등의 공학 부품과 고정밀 연삭가공이 필요한 실리콘 웨이퍼 등의 반도체 부품 제조 기술로 발달해 왔다. 현재 고정밀가공의 형상 및 가공물 그 자체의 마이크로화가 진행되고 있는 상황이다. 또 가공물의 고정밀화와 초소형화에 따라 그 가공기의 위치 정밀도는 나노미터 단위의 정밀도를 요구하게 되었다. 앞으로는 많은 종류의 가공기나 이송장치도 마이크로 단위의 위치 정밀도에서 나노 단위의 위치 정밀도, 더 나아가서는 피코 단위의 이송 정밀도를 갖는 장치로 개발될 것이다. 그리고 최근 유전 공학과 생명 공학의 급속한 발전으로 유전 의학 장비 또한 나노 단위나 피코 단위의 정밀도를 필요로 하고 있다. 앞으로 고정밀 이송장치의 필요성은 더욱 가중

될 것이다. 정밀 이송을 하기 위해서는 획기적인 이송방법의 개발도 필요하다. 그리고 이송장치의 문제점을 파악하고 개선 방법을 찾는 것이 같이 병행되어야 한다.

본 연구에서는 DTM (Diamond Turning Machine) 가공을 위한 2축 stage의 이송특성으로 첫째, 이송장치의 Error 원인 중 대표적인 backlash를 현저히 줄이기 위해 Backlash free mechanism 설계로 이송장치(Fig.1) 한쪽 방향으로 일정한 load를 주었다. 이 load는 이송량에 관여하지 않도록 추를 사용하였다. 둘째, 오차분석은 CCD machine vision을 이용한 2축 원 운동 오차실험을 한다. 이 실험은 이송장치의 이송궤적을 2D 좌표로 얻는다. 이 Data로부터 contouring 해석을 한다. 그리고 2축 이송 stage의 상태 및 특성을 파악하여 최적화 가공 시스템을 구축한다. 셋째, DTM 가공 실험 및 분석으로 실제 사용되고 있는 Air Bearing spindle에 가공을 하여 가공물의 형상 정밀도를 분석하였다.

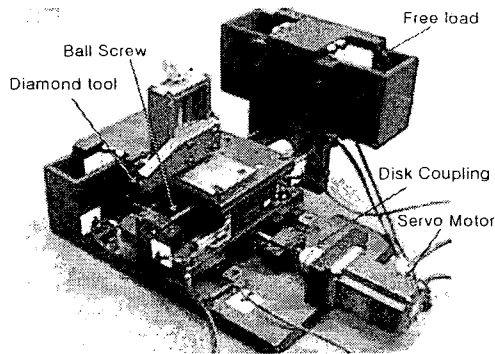


Fig.1 Back-lash 2-axis stage

2. Backlash free mechanism 설계

Backlash를 제거하기 위해서 한쪽으로 Load를 주는 방법을 선택하였다. Load를 주는 방법으로는 일반적인 강성 스프링으로 Load주는 것과 유 공압 장치로 Load를 주는 것 등 여러 방법이 있다. 본 설계에서는 장비의 이송중에서도 동일한 Load를 받을 수 있도록 와이어의 한쪽 끝을 이송장비에 연결하고 다른쪽에는 정육면체의 Steel추에 연결하였다.

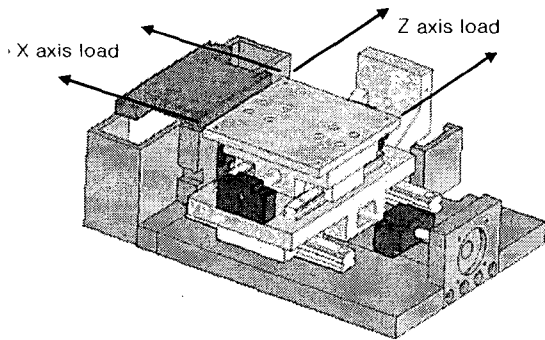
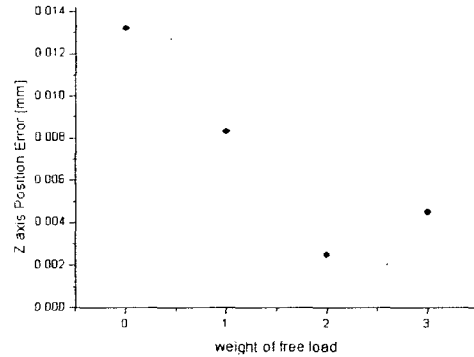


Fig.2 Back free load mechanism of 2-stage

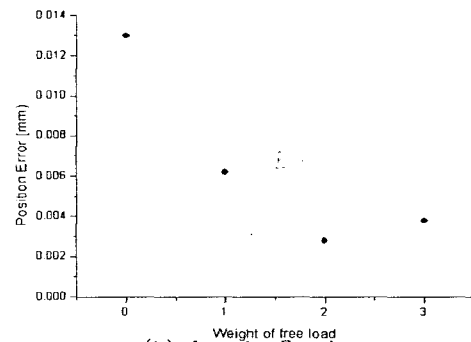
3. 2-Axis Stage의 이송 특성

3.1 Positioning error 분석

Load를 처음 무부하 상태에서부터 3(추의수)까지 변경하면서 이때의 Position error를 얻은 결과 Fig.3와 같다. 이를 보면 추가 2개일 때의 error가 가장 적음을 알 수가 있다.



(a) for the X-axis



(b) for the Z-axis

Fig.3 Axis positioning errors for different weights

3.2 CCD machine vision

CCD machine vision은 Fig.4로 실제 이송하는 이송장치를 Zoom lens를 설치한 CCD Camera로 확대 촬영하고 이때 2D 이송 궤적을 얻는다.

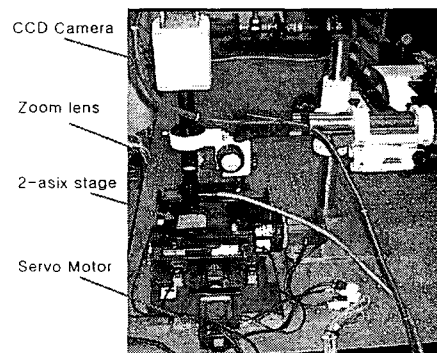


Fig.4 CCD machine vision

Fig.5는 CCD machine vision으로 실제 0.001mm/s의 이송속도로 원운동 하는 이송장치의 이송 좌표를 2D로 얻고 이를 나타내었다 이를 보면 이송 장치의 상태를 한눈에 알아 볼 수가 있다. Backlash

는 거의 나타나지 않았고 이송과정에서 x축과 Z축 모두 약±3 μm 의 error를 가지고 이송을 했다는 것을 알 수 있다. 그리고 평균원의 중심은 (X,Y) : (-0.3 μm ,0.09 μm), 평균원 R = 50.2 μm 가 나왔다.

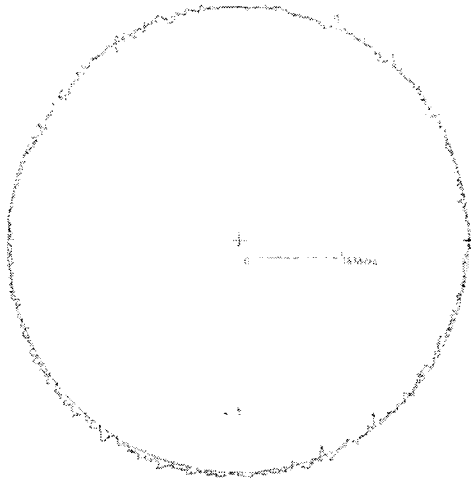


Fig.5 Contouring motion obtained from CCD vision method

실제 1mm/s의 이송속도로 원이송할 때 서보모터 엔코더의 Encoder값을 Fig.6 에 나타내었다. 이를 보면 모터의 실제 구동 상태를 알 수 있다. x축과 Z축 모두 약±3 μm 의 error를 가지고 이송을 했다는 것을 알 수 있다. 그리고 평균원의 중심 (X,Y) : (0.16 μm ,0.25 μm) 평균원 R = 49.82 μm 가 나왔다.

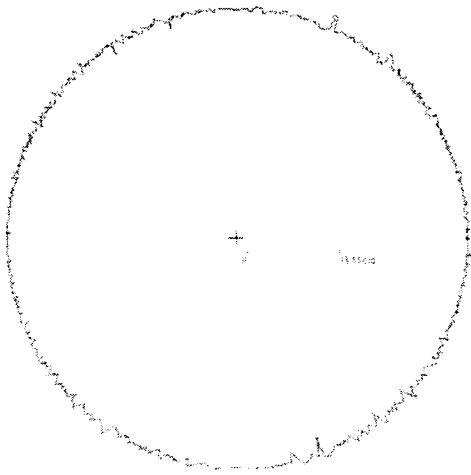


Fig.6 Contouring motion obtained from encoder signal

CCD로 얻은 이송좌표와 모터 Encoder를 통해 얻은 좌표를 같이보면 Fig.7과 같이 된다. 이것을 보면 두 값들이 거의 비슷한 모양과 예러형태도 비슷하다는 것을 알 수 있다.

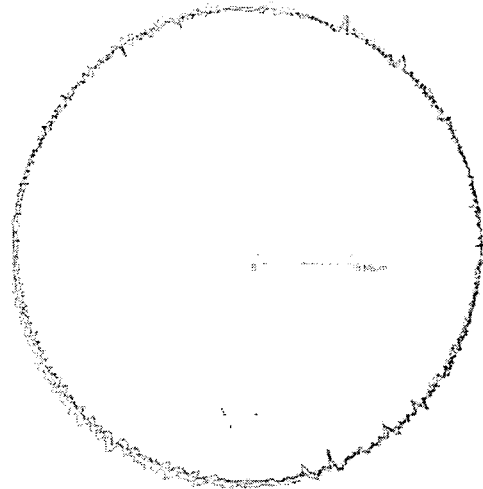


Fig.7 Compared with CCD machine vision with encoder signal

4. DTM 가공 및 분석

실제 가공에 적용하였을때 가공상태를 알기 위해 Air bearing spindle을 이용하여 Feed = 1mm/min, spindle = 1,500rpm, R=12.5의 구면을 가공해보았고 실제 가공물은 Fig.8 과 같다.



Fig.8 Machined spherical surface by DTM

Fig.8의 구가공시 이송방식은 Fig.9(a)와 같이 이송 하였다. Diamond Tool의 형상을 보면 실제 가공이 이루어지는 부분에 원형이다. 이렇게 되면 가공물이 tool의 형상에 많은 영향을 받는다. 그래서 이를 줄이기 위해서는 Fig.9(b)와 같이 Tool을 가공물의 법선의 수직인 방향으로 이송을 하면서 가공을 해야만한다. 그래서 2-Axis stage 위에 회전을 할 수 있는 또 하나의 B축이 필요하다.

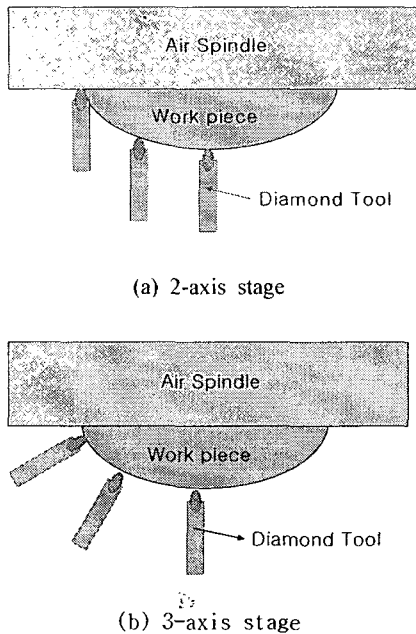


Fig.9 Tooling method difference using 2 or 3 axis of stage

Fig.10을 보면 평균원의 R을 기준으로 $\pm 5\mu\text{m}$ 의 값을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig.11은 실제 구를 가공 할 때의 서보모터 Encoder값을 구의 중심 방향으로만 확대해서 그린 것이다. 이것을 보면 원하는 Command 값으로 이송하지 않았다는 것을 한눈에 알 수가 있다. Fig.10,11을 같이 보면 두 그림이 비슷한 경향을 가지고는 있지만 정확히 일치하지는 않다. 그 원인으로는 가공과정에서의 확실한 chip 제거, 가공 Tool의 형상, 이송 속도의 불규칙성 등의 여러 가지로 생각해볼 수 있다.

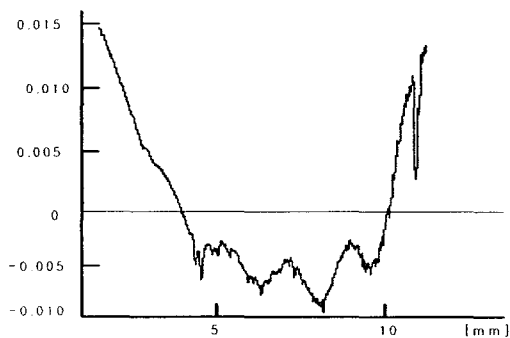


Fig.10 Machined surface roughness for a spherical lens

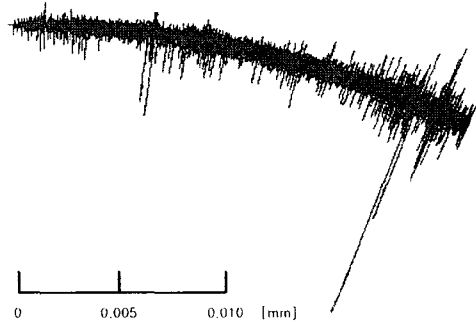


Fig.11 The encoder signal during the spherical lens machining

5. 결론

2-Axis stage로는 정밀한 구의 형상 가공이 불가능 하며, 공구를 가공면에 수직으로 하기 위한 B-Axis가 필요하다. 서보 모터의 Encoder값과 CCD machine vision 값을 보면 이것들의 일치성을 알 수 있다. 즉, 서보모터의 구동으로 본 연구에서 설계된 Back lash free mechanism의 기계적 이송장치의 오차가 적은 것을 알 수 있다. Contouring Motion에서 보면 측정된 Command 신호를 만족시키지 못하고 이송했다는 것도 알 수 있다. 그 원인은 서보 모터의 구동을 제어하는 2축 Motion board (Ajin Extek SMC-2V54)의 위치제어 성능이 문제시 된다. 따라서, DTM 가공을 위한 정밀이송을 하기 위해서는 기계적 이송 장치 보다는 Motion board의 성능향상이 필요함을 알 수 있다.

참고문헌

1. 박준호, "정밀 측정 시스템공학", 야정출판사, pp. 221-242, 2001
2. 한철호, 김수현. "계측공학". 피어슨 에듀케이션 코리아, pp. 50-62. 2002
3. 안동을, "초정밀 위치제어를 위한 마찰구동장치 특성연구", 충북대학교, 석사논문. 2002
4. Ernest O.Doebelin. "Measurement system". McGraw-Hill Publishing Company, pp.295-315. Fourth Edition