반사 광학 표면의 회전대칭형 형상 오차 수정 연마 방법에 관한 연구

Correction Method of Axis-symmetric Type of Form Error of Reflective Optical Surface

*#이호철[1], 김도현[1], 송창규[2], 박천홍[2], 이후상[3]

*#H. C. Lee(hclee@hanbat.ac.kr)[1], D. H. Kim[1], C. K, Song[2], C. H. Park[2], H. S. Lee[3]

[1] 한밭대학교 기계공학부, [2]한국기계연구원 지능생산시스템연구본부, [3]대구기계부품연구원

Key words : Optical surface, Form error, Correction method, Axis-symmetric type, Polishing

1. 서론

초정밀급의 경면을 필요 하는 광학 부품 등에서는 표면거칠기와 더불어 그 형상에 있어서도 나노급의 정밀도를 요구하고 있다. 특히 대구경의 반사광학계에 사용되는 부품의 형상정밀도는 수십㎚ RMS 이하를 요구하고 있고, 그 크기에 있어서도 직경 10m 까지 도달하고 있다. 따라서 이와 같은 수준의 형상정밀도를 달성하기 위해서는 위치 제어에 의한 절삭 및 연삭가공의 재료제거 메카니즘(mechanism)으로는 한계가 있고, 형상을 반복적으로 수정 가공하는 것이 필수적이다. 그러나 작업자의 경험과 숙련도에 의존하는 방법으로는 그 제조 생산성이 없어 해외 각국에서는 자동화에 의한 형상수정기술을 확보하려고 경쟁적으로 노력하고 있다[1-2]. 한편, 형상 수정 방법으로 제시되고 있는 것으로는 연삭 및 연마단계에 있어서는 가공시간에 따라 형상 제거량을 조절하는 방법이 일반적이다. 즉, 연삭 및 연마공구를 위치제어가 아닌 압력제어를 통해서 특정 위치에서 체재하면서 가공하는 것이다. 본 논문에서는 반사 광학면에서 회전대칭의 형상오차가 잔류하고 있을 때, 이를 제거하는 방법에 대해 제안하고 그 기초실험 결과를 제시하였다.

2. 반사 광학 표면의 형상오차

반사 광학 표면의 형상오차는 크게 회전대칭형 형상오차와 비대칭 형상오차로 구분할 수가 있다. 회전대칭형 형상오차로의 추출 필요성은 대부분의 가공물이 회전대칭형상이고 연삭 또는 연마 메카니즘에 있어서 회전대칭 형상으로 연마 가공되고 있다. 따라서 회전대칭 형상의 가공오차가 먼저 공정과정 중에 크게 잔류하여 나타나는 것이 일반적이다. Figure 1은 회전대칭의 형상오차를 보여주는 예로서 직경 100㎜의 평면유리의 가공오차로서 PV 6.5㎛ 수준이다. 직경의 다른 방향으로도 측정결과 비대칭성은 PV 6.5㎛ 대비 거의 나타나지 않았다.

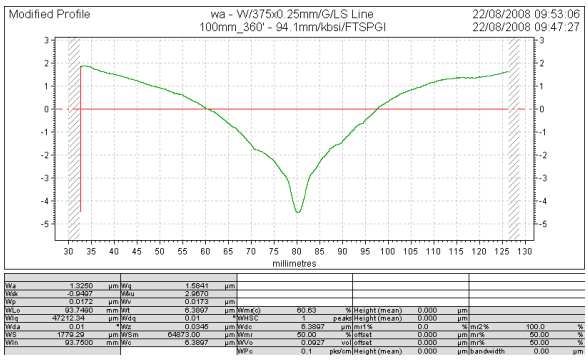


Fig. 1 Forma accuracy of diameter 100㎜ of flat optical surface by Formtalysurf measurement

본 연구에서는 위의 PV 6.5㎛의 회전대칭오차를 갖는 시편을 대상으로 회전대칭의 형상오차를 수정하는 방법을 수행하기 위하여 압력제어에 의해 연마되는 수정 연마 장치를 구성하였다. 연마장치는 수직방향으로 연마헤드는 압력으로만 제어되고 자체 회전 가능한 구조이다. 또한 특정 연마 위치로의 이동을 위해서는 X, Y, Z 이송축을 가지고 있다. 회전대칭의 가공물 회전을 위해서는 회전테이블을 부착하였다. 연마압력은 직경 100㎜에 대하여 3 - 6 ㎏f 범위의 연마력을 가하도록 에어압력으로 조절되는 구조이다. 회전대칭오차의 수정에 있어서 중점 고려사항으로는 특정 위치의 선택적 형상오차의 제거 방법, 연마 패턴(pattern)의 확보, 수정연마 전후의 표면거칠기 변화 여부가 있다. 다음 Fig.2는 본 실험에 사용된 형상 수정연마 장치이다.

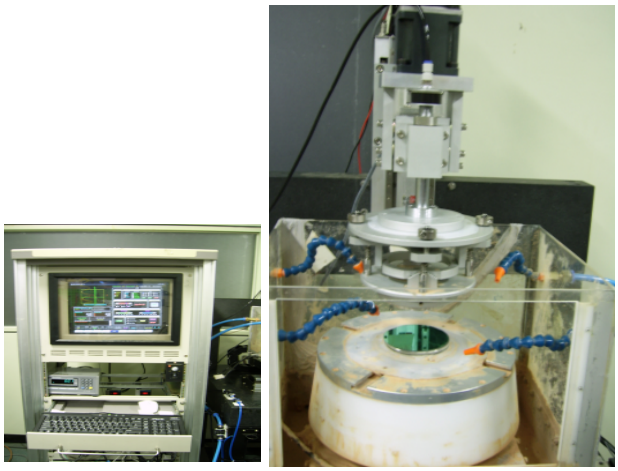


Fig. 2 Computer-controlled polishing machine for form accuracy compensation experiment

3. 회전대칭 형상오차 제거 방법

회전대칭의 형상오차를 제거하는 방법으로는 체재시간에 의한 특정위치에서의 연마공구 체재에 의해 연마량을 조절하는 방법이 제시되고 있다[3]. 다음 Fig.3은 소형의 연마공구가 회전하는 가공물 위래서 체재하여 특정위치 영역을 연마하는 과정을 묘사하는 것이다.

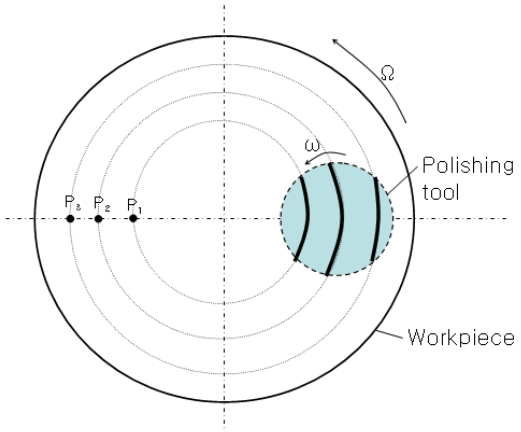


Fig. 3 Shape modification method by dwell time control at a fixed radial position for axis-symmetric optical surface

회전하는 가공물위에 공구가 회전하면서 체재하면 가공물에는 연마공구(polishing tool) 크기의 영역이 형성된다. 가공물은 회전하여 가공물상의 P_1, P_2, P_3 같은 점 들은 연마영역을 통과하게 된다. 즉 Fig. 3에서의 연마 호(arc)를 지나며, 가공물의 회전

중심에서부터 같은 반경의 모든 질점은 같은 연마량을 받게 된다. 연마호로만 보면 점 P_2 에 해당하는 부분이 연마량이 크고 연마 영역의 가장자리로 갈수록 연마량이 줄게 된다. 연마율과 연마형상(polishing profile)을 실험으로 확인하기 위해 증착된 옥사이드 웨이퍼를 이용하여 Fig. 4와 같이 관찰하였다.

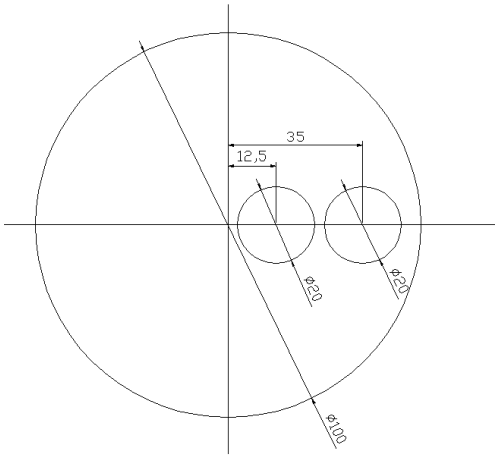


Fig. 4 Experimental configuration for confirm polishing profile by dwell time polishing at a fixed position

사용된 연마압력은 3㎏*f* 이고, 연마공구와 가공물의 회전속도는 20rpm, 연마 시간은 9min으로 하였다. 두개의 반경위치 12.5, 35㎜에 연마영역 직경 20㎜으로 하였고 연마입자는 1.5㎛의 세륨 옥사이드(CeO_2)를 사용하였다.

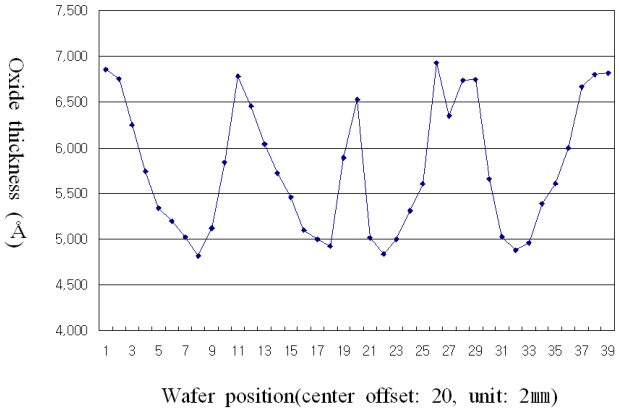


Fig. 5 Polishing profile by dwell time polishing at two fixed positions

연마된 형상 변화를 ellipsometry를 이용하여 옥사이드의 박막 두께를 측정하는 것으로 확인하는 방법을 사용하였다. 옥사이드의 웨이퍼 위의 초기 7,000Å 증착한 결과는 균일도 3%이내 범위에서 확인하였다. 따라서 연마 후의 두께 측정으로 연마형상을 파악 가능하였다. Fig. 5에서와 같이 먼저 좌우의 모양이 같아서 회전대칭성은 확보되었고 연마 패턴(pattern)이 가운데가 Fig. 3에서 예측된 바와 같이 가운데가 깊은 형상모양을 보이고 두개의 서로 다른 반경 위치에 따른 효과는 크지 않았다. 이것은 연마 호(arc)가 두 영역에 따라서 그 차이가 크지 않다는 점을 보여주는 것이다.

한편 연마 전후의 표면거칠기 변화를 관찰하는 실험을 수행하였다. 연마의 형상수정에서는 형상수정에서의 표면거칠기가 영역별로 크게 변하는 것은 형상 수정후의 스크래치(scratch) 또는 표면거칠기를 광학면 전체에 걸쳐 재연마를 해야 하는 문제가 발생한다. 따라서 표면거칠기 변화를 최소로 하는 것이 형상수정 연마에 있어서 바람직한 공정 목표가 된다. 본 연구의 실험에 앞서 경면 연마된 광학유리를 시편으로 사용하였다. 표면거칠기 변화 실험은 Fig. 6에서의 위치 1, 2에서 중점적으로 체재시간 연마를 수행하고서, 6개 위치에서의 표면거칠기를 백색광간섭계(white interferometer)를 이용하여 측정하였다. 표면거칠기 변화를 백색광간섭계로 6개의 위치에서 측정한 결과, 위치별로 표면거칠기 차이는 거의 없었다.

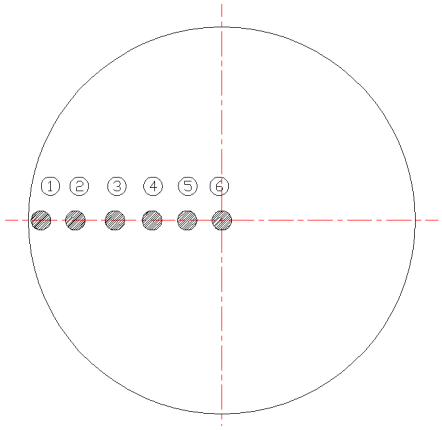
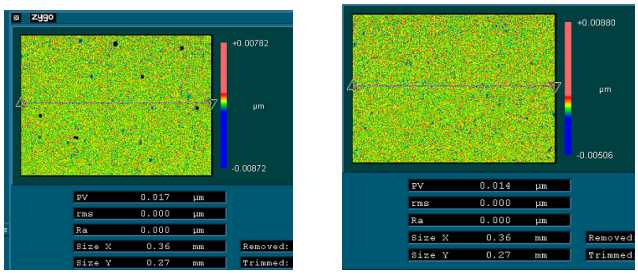


Fig. 6 Experimental configuration for confirm surface roughness change by dwell time polishing at a fixed position

Fig.7에 본 실험을 위해 연마된 곳과 연마되지 않은 곳의 표면상태를 보면 표면거칠기도 RMS 1nm 이하로 차이가 없고, 연마에 따른 특정 연마 패턴이나 스크래치가 없어 형상변화만 있고 표면거칠기 변화는 없다는 것을 확인하였다.



(a) position 1 by polishing (b) position 3 by no polishing

Fig. 7 Surface roughness by dwell time polishing at two fixed position

4. 결론

광학표면의 회전대칭형태의 형상오차를 수정하는 방법으로서 특정 위치에서 가공물 회전과 공구회전으로 형상수정방법을 제시하였다. 경면 연마된 광학유리와 증착된 옥사이드 웨이퍼를 이용하여 연마패턴과 표면거칠기 변화를 확인하였고 체재시간에 의한 형상오차 수정방법을 제시하였다.

후기

본 논문은 산업자원부 “중기거점기술개발사업”의 과제명 “대형광학계(반사경) 초정밀 연마·측정 장비 개발”의 지원에 의하여 수행되었습니다. (과제번호 10028206-2007-22)

참고문헌

1. Jones, R. A., "Computer-controlled optical surfacing with orbital tool motion," Optical Engineering, 25, 785-790, 1986.
2. 이호철, 송창규, 이후상, 박천홍, "초정밀 대구경반사경의 기술개발 현황," 한국공작기계학회지, 16, 12-18, 2007
3. Lee, H. and Yang, M., , "Dwell time algorithm for computer controlled polishing of small axis-symmetrical aspherical lens mold," Optical Engineering, 40, 1936-1943, 2001.