

초정밀가공기를 이용한 광 저장용 렌즈의 절삭특성

김건희*, 홍권희, 김효식, 박지영(한국기초과학지원연구원),
박원규, 박순섭(충남대 원), 원종호(충남대 기계공학과)

A study of Pickup Lens manufacturing in diamond turning machine

G. H. Kim, K. H. Hong, H. S. Kim, J. Y. Park(Korea basic science institute),
W. K. Park, S. S. Park(CNU), J. H. Won(Mech. Eng. Dept., CNU)

ABSTRACT

The aspherical lenses are used as objective lens of optical pickup. To examine the design factor the sample product is made before manufacturing of injection mould of lens. The optimum cutting condition of PMMA lens sample with ultra precision SPDT, the main spindle speed, the depth of cut, the feedrate are found. The demanded surface roughness 10nm Ra, aspherical form error $0.5\mu\text{m}$ P-V for aspherical lens of optical data storage device are satisfied.

Key Words : aspheric(비구면), SPDT(단결정 다이아몬드 선반), aspherical Form error(비구면 형상오차), surface roughness(표면 거칠기), PMMA(Poly methyl meth acrylate), MQL(Minimum Quantity Lubrication, 극미량 윤활)

1. 서론

다이아몬드 터닝머시인은 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 초정밀 부품을 가공하는 공작기계이다. 초정밀 가공 기술은 광학부품 가공에 있어서, 이 기술은 많은 생산비용의 절감과 가공부분의 정밀도를 향상시켜 왔다. 다이아몬드 터닝의 중요한 연구 과제는 가공면의 표면 거칠기와 원하는 치수형상의 정밀도를 향상시키고 가공물의 새로운 재질에 응용하는 기술을 개발하는 것이다.^{(1),(2)}

정보 산업의 급속한 발전에 따라서, 많은 정보를 기록하고 재생하는 매체에 대한 수요도 날로 증가하고 있다. 따라서, 단일 파장의 광원을 집속 시켜서 정보를 기록하고 재생하는 광 정보 저장 장치분야에서도, 고 용량화의 요구는 필수적이다. 따라서, 광 정보 저장 장치에서의 고용량화 과정은 1970년대에 CD (Compact Disk)가 출현한 이후, 최근의

HD-DVD(High Density-Digital Versatile Disk)까지 디스크(Disk)의 기록 밀도를 증가시키는 방법에 대한 연구를 중심으로 이루어져 왔다. 한편, 비구면(Aspherical) 렌즈(Lens)는 광 정보 저장 장치의 광학픽업(Pickup)을 구성하는 핵심 부품으로서, 레이저 다이오드(Laser Diode)의 파장과 더불어 디스크의 기록 밀도를 결정하는 주요 역할을 하고 있다.

비구면 렌즈는 다수의 구면 렌즈를 하나의 비구면 렌즈로 대체할 수가 있어서, 픽업 액추에이터(Actuator) 및 픽업 광학계를 소형화할 수 있을 뿐만 아니라, 비구면 형상 변수 조절에 따른 렌즈면 형상 설계의 자유도를 증가 시켜서, 보다 적은 수차(Aberration)의 집속 빔(Beam)을 얻는 것이 가능하게 한다. 그러나, 광 정보 저장 장치에서의 비구면 렌즈는 표면의 기계적인 형상 정밀도를 서브미크론(Sub-micron) 수준으로 요구하는 것 외에도 저가적으로 양산해야 하는 어려움이 있어 왔다. 따라서, 높은 정밀도의 금형을 먼저 제작하

여, 사출 또는 압축성형이나 복제의 방법으로 그 형상을 전사하는 방법을 주로 이용하고 있다.^{(3),(4)}

본 논문에서는 고밀도화와 경량화 진전에 따라 광학 픽업(Pickup)의 대물 렌즈(Objective Lens)로서 비구면 렌즈의 사출에 사용되는 금형을 제작하기 전에 비구면 렌즈 여러 가지 설계변수를 검증하기 위한 시작품을 제작하였다. 따라서 사출 재료인 PMMA의 시작품제작을 위하여 초정밀 절삭특성인 주축속도, 이송속도, 절삭속도에 대한 초정밀 가공조건을 찾아내었으며, 비구면 렌즈의 시작품 가공을 통하여 광픽업 렌즈의 초정밀가공 DB를 구축 하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 재료

본 연구는 초정밀가공기인 RTH사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)을 이용하였다. 사용 공구는 R0.2의 form accuracy $2\mu\text{m}$ 와 $0.05\mu\text{m}$ 인 Single Crystal Natural Diamond Bite를 사용하였으며, 측정장비로는 WYKO사의 비접촉 광학식 측정기(NT2000)와 Laser interferometer WYKO6000 및 RTH사의 비구면 측정기인 Form Talysurf series2를 사용하였다. Fig.1은 초정밀 가공 시스템을 나타낸다.

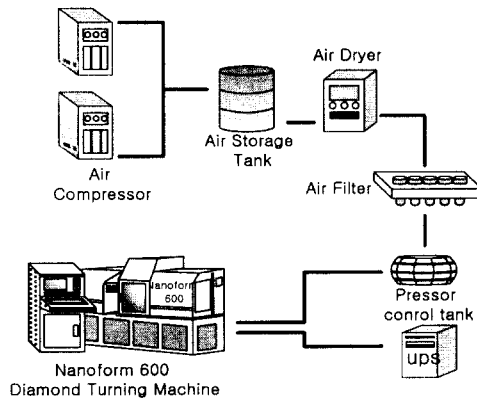


Fig. 1 The system of ultra precision lathe

초정밀 가공실은 온도 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $40 \pm 5\%$, Clean Room class 10,000인 항온항습의 크린룸이며, 장비의 진동방지를 위한 독립지반구조로써 장비 하부는 3Point Air Bag으로 지지된다. 초정밀 가공기는 X·Z축의 테이블 이송부는 유정압 베어링, 주축은 공기 정압베어링으로 100~3,000RPM, Feedback System Resolution은 1.25nm 로 Zygo Laser Interferometer System을 사용하였다.

사용재료는 광 정보 저장용 시작품 제작용인 PMMA(Poly methyl meth acrylate)를 사용하였으며, 본 재질은 굴절률

1.56으로 유리계열에 근접하는 광 마우스에 사용되는 소재를 사용하여 본 연구를 수행하였다.

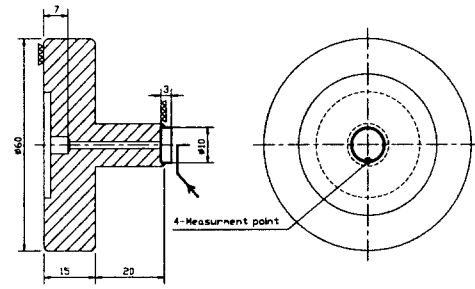


Fig. 2 Shape of test workpiece

2. 2 실험방법

시작품 재료인 고굴절 수지의 초정밀 최적가공조건을 찾기 위하여 Fig. 2와 같이 시편을 제작하여 주축회전속도와 절삭 깊이, 이송속도에 대하여 표면거칠기를 측정하였다. 이때 사용되는 절삭유의 급유방식은 압축공기만을 사용하는 건식과 압축공기와 절삭유인 방전유를 혼합하여 분사하는 극미량(MQL)분사방식을 사용하였다. 본 실험을 통하여 광 정보저장용 시작품 수지의 최적초정밀 가공조건을 찾아내었으며, 그 가공조건을 이용하여 비구면 Pickup lens의 시작품을 제작하였다.

시제품 제작은 선반에서 일차 외각을 가공 후 지그를 이용하여 제품을 고정하고, 비구면 계수 수식을 적용하여 비구면 가공 경로의 프로그램을 작성한 후 요구 정밀도에 이내로 가공하였다. 사용된 공구는 천연다이아몬드 공구로써 1차 황삭 가공에는 공구형상정도(Tool form accuracy) $2\mu\text{m}$ 인 공구를 사용하였으며, 정삭 가공시에는 $0.05\mu\text{m}$ 의 형상정밀도를 갖는 공구를 사용하여 공구형상정밀도에 따른 가공형상오차를 분석하였으며, 광 정보저장용 비구면 렌즈를 제작하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 주축회전수 변화에 따른 표면 거칠기

Fig. 3은 주축회전수 변화에 따른 DRY방식(A)과 MQL방식(B)일 때의 표면 거칠기를 나타내고 있다. 주축회전수가 2000rpm까지는 표면 거칠기가 급격히 양호해지다가 2000rpm 이상으로 증가할 경우 표면 거칠기는 불량해지고 있음을 볼 수 있다. 주축회전수 1800rpm~2000rpm일 때 PMMA는 A, B 모두 Ra값이 4nm 이하의 경면을 얻을 수 있었다. 따라서 주축회전수는 1800rpm에서 2000rpm으로 하는 것이 표면 거칠기 향상에 도움을 줄 수 있다. 주축회전수에 대해서 A, B방식엔 별 영향이 없는 것으로 사료된다.

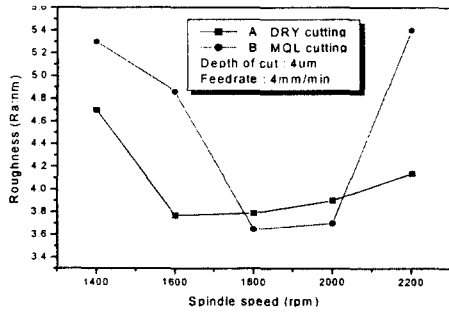


Fig. 3 Roughness(Ra:nm) versus of spindle speed

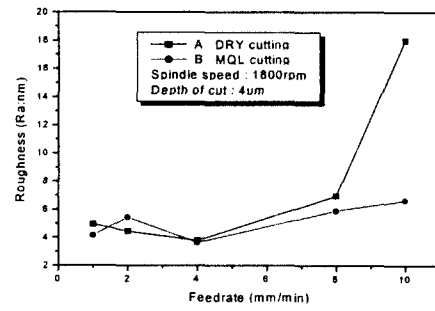


Fig. 5 Roughness(Ra:nm) versus of cutting condition

3.2 절삭깊이 변화에 따른 표면 거칠기

Fig. 4는 주축회전수 1800rpm, 이송속도 4mm/min에서 절삭깊이 변화에 따른 PMMA의 표면거칠기를 나타내고 있다. 절삭 깊이가 4 μ m 일 때 A, B방식 모두 가장 양호한 표면거칠기 결과값을 얻었으며, 절삭 깊이를 변화하면서 수행한 결과 DRY 방식 보다 MQL 방식 일 때, 표면 거칠기가 크게 향상되었다. 그리고 절삭 깊이가 4 μ m일 때 DRY방식과 MQL 방식에서 각각 Ra3.79nm와 Ra3.69nm의 값으로 측정되었다.

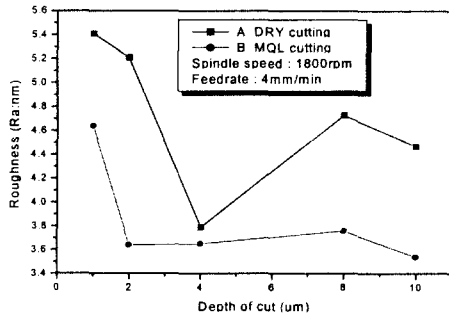


Fig. 4 Roughness(Ra:nm) versus of depth

3.3 이송속도 변화에 따른 표면거칠기

Fig. 5는 주축회전수 1800rpm, 절삭깊이 4 μ m에서 이송속도 변화에 따른 PMMA의 표면 거칠기를 나타내고 있다. Dry cutting과 MQL cutting 모두 이송 속도 1~8mm/min에서는 유사한 표면 거칠기의 경향을 볼 수 있다. 이송속도 4mm/min에서 표면 거칠기가 가장 양호한 값을 나타내고 있다. 건식절삭에서는 이송속도 8mm/min 이상에서 급격히 악화되는 현상이 나타나는데 이는 원활한 절삭칩의 배출이 이루어지지 않음으로써 발생하는 것으로 사료된다.

4. 광 저장용 비구면 렌즈 제작

4.1 광 저장용 비구면 렌즈가공

광 저장용 비구면 렌즈의 규격은 두께 2mm, 직경 ϕ 2.5mm 곡률 반경은 약 R0.9mm의 비구면 렌즈로, 가공 요구정밀도는 표면조도가 Ra10nm, 형상정도 P-V 0.5 μ m이하의 정밀도를 요구한다.

비구면 렌즈의 형상가공은 일차적으로는 비구면 가공프로그램을 이용하여 NC 프로그램을 작성하고, 최적곡률 반경(Best Radius)을 찾아 구면 가공한다. 곡률 반경과 형상정도를 측정하여 Bite의 높이와 X축의 영점을 잡아준다. 공작물의 중심을 1 μ m 이내로 맞추어 공구를 설치한다. 비구면 프로그램을 이용하여 가공한다. Table 1은 초정밀 절삭조건이며, Fig. 6은 광 정보저장용 비구면 렌즈의 초정밀가공 사진을 나타낸다.

Table 1 Basic set of cutting conditions

Material : PMMA	Tool Radius : 0.2mm
Spindle speed : 1800rpm	Feedrate : 4, 8, 12 mm/min
Cutting Depth : 4, 8, 10 μ m	Diameter of workpiece : ϕ 5mm



Fig. 6 Manufacture of Laser pickup lens

4.2 광 정보저장용 비구면 형상정밀도 평가

Fig. 7은 비접촉식 표면거칠기 측정기(WYKO NT2000)을 이용하여 렌즈의 평면부위를 측정한 결과를 나타낸다. 초정밀 가공조건은 PMMA에 대한 초정밀 최적절삭조건 실험을 통하여 찾아낸 회전속도 1800rpm, 이송속도 4mm/min, 절삭깊이 4 μ m로 가공한 표면의 측정결과이다.

Fig.8(a)는 NCD bite R0.2, 형상정밀도(form accuracy) 2 μ m인 공구로 비구면 형상 가공 후 접촉식 형상측정기인 Formtalsurf(Rank Taylor Hopson Co.)를 이용하여 측정한 결과이며, Fig.8(b)는 NCD bite R0.2, 형상정밀도0.05 μ m의 바이트를 사용하여 비구면 가공 후 형상측정 결과를 나타낸다. 비구면 측정에서 나타나는 결과와 같이 공구의 형상정밀도에 따라 제품의 가공형상 결과 값이 그대로 제품 곡률형상으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

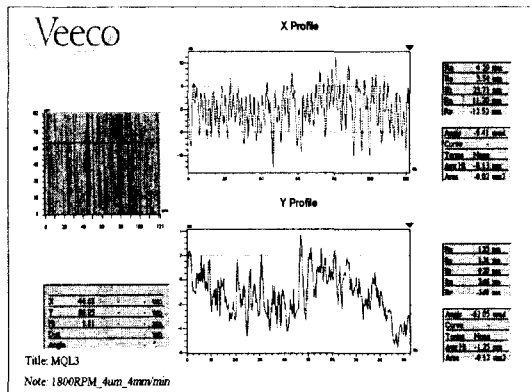
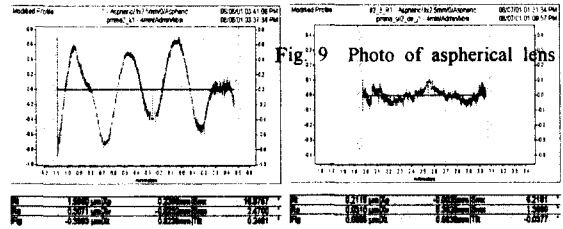
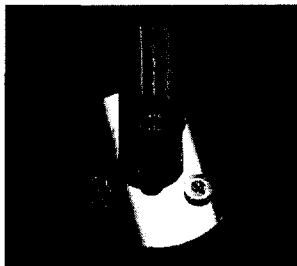


Fig. 7 Measure of Pickup lens by NT2000

이는 초정밀 가공기의 기구학적 메카니즘이 X축과 Z축의 2축 제어만으로 곡면을 가공하게 되므로써 공구의 정밀도가 제품에 전사되어 나타난다. 광 정보저장용 비구면 렌즈의 가공결과 요구되는 정밀도인 표면조도 Ra10nm는 Ra3.5nm, 형상정도는 P-V 0.5 μ m 이하는 P-V0.2119 μ m로 가공을 완료하였다.

Fig.9는 광 정보저장용 비구면 렌즈의 시험절삭과 실제 가공 제품을 나타낸다.



a) Form accuracy 2 μ m b) Form accuracy 0.05 μ m

Fig. 8 Measure of Pickup lens by Form Talsurf

4 결론

본 연구에서는 초정밀가공기(Nanoform600)로 천연다이아몬드 공구를 사용하여 광 정보저장용 렌즈 개발을 위한 시작품제작을 위하여, PMMA의 최적초정밀 절삭조건을 찾아내었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) PMMA의 초정밀 최적가공조건은 주축속도 1800rpm, 이송속도 4mm/min, 절삭깊이 4 μ m일 때 Ra3.22nm 정도의 표면거칠기를 얻을 수 있었다.
- (2) 공구의 형상정밀도에 따른 비구면 가공정밀도는 R0.2 form accuracy 2 μ m, 0.05 μ m에서 각각 Rt1.5962, Rt0.2119의 결과 값을 얻을 수 있었다.
- (3) 광 정보저장 렌즈의 초정밀 가공 결과 평면은 표면거칠기 Ra3.5nm, 형상정밀도 P-V 0.2119 μ m로써 요구정밀도 이내로 제작하였다.

References

1. 이재경, 이응숙, 제대진, 심충건, 종동우, 고태조, 초정밀 경면 절삭 가공 기술 개발, 과학기술처 최종보고서, 1992
2. Altmann, J., Egle, W. J., et al, Proc. SPIE, pp.559-566, (2000)
3. D. Visser, T. G. Gijsbers, R. A. M. Jorna, "Molds and measurements for replicated aspheric lenses for optical recording," Applied Optics, Vol. 24, pp. 1848 - 1852, 1985
4. E. DA. Antonov, N. M. Burdina, "Manufacture of optical elements by molding methods," Sol. J. Opt. Technol., Vol. 57, pp. 672 - 679, 1990.