

## 광 정보저장용 픽업 렌즈의 다이아몬드 터닝 가공

박순섭\* (한국광기술원), 김대중(전남대 전기공학과 대학원),  
이봉주(조선대 기계공학과 대학원), 김상석, 김정호, 유영문, 김주하(한국광기술원)

### Diamond turning of pick-up lens for optical application

S. S. Park\*(KOPTI), D. J. Kim(CNU),  
B. J. Lee(CSU), S. S. Kim, J. H. Kim, Y. M. Yu, and J. H. Kim(KOPTI)

#### ABSTRACT

The aspherical lens are used as objective lens of optical pickup. The sample product is made before manufacturing the injection mould of lens to examine the design factor. The optimum cutting conditions of the main spindle speed, the depth of cut, the feed rate are found when we cut PMMA and PC lens sample with ultra-precision SPDT. The demanded surface roughness 10 nm Ra, aspherical form error 0.5  $\mu$ m P-V for aspherical lens of optical data storage device are satisfied for PMMA, but not satisfied for PC.

**Key Words** : Aspheric (비구면), SPDT (단 결정 다이아몬드 선반: Single Point Diamond Turning), Surface Roughness (표면 거칠기), Aspherical Form Error (비구면 형상오차), PMMA (메타 크린 수지: Poly Methyl Meth Acrylate), PC (폴리 카보네이트 수지: Poly Carbonate)

#### 1. 서론

정보 산업의 급속한 발전에 따라 많은 정보를 기록하고 재생하는 매체에 대한 수요가 증가함에 따라 광 정보저장장치의 고용량화 분야에서도 초정밀 가공기술이 적용되고 있다. 단일 파장의 광원을 집속시켜 정보를 기록하고 재생하는 광 정보저장장치의 고용량화를 위한 개발은 1970년대에 CD(Compact Disk)가 출현한 이후 최근의 HD-DVD(High Density-Digital Versatile Disk)까지 디스크의 기록 밀도를 증가시키는 방법에 대한 연구를 중심으로 이루어져 왔다. 이러한 광 정보저장장치 요소 중 광학 픽업(Pick-Up)을 구성하는 핵심 부품인 비구면 렌즈는 레이저 다이오드(Laser Diode)와 더불어 디스크의 기록밀도를 결정하는 중요한 역할을 한다.

비구면 렌즈는 다수의 구면 렌즈를 하나의 비구면 렌즈로 대체할 수가 있어서 픽업 액추에이터 및

픽업 광학계를 소형화할 수 있을 뿐만 아니라, 비구면 형상 변수 조절을 통해 보다 적은 수차의 집속 빔이 가능 할 수 있게 한다. 그러나 광 정보저장장치에서의 비구면 렌즈는 표면의 형상 정밀도를 서브 마이크로(Sub-micron) 수준으로 요구하는 것 외에도 저 가격으로 양산해야 하는 어려움이 가장 큰 문제점으로 인식되어져 있다. 이를 해결하기 위하여 제안된 방법이 금형을 이용하는 것으로 높은 정밀도의 금형을 먼저 제작하여, 사출 또는 압축성형을 통해 그 형상을 전사하는 방법이다<sup>1,2)</sup>.

본 연구에서는 고밀도화 및 경량화를 위한 광학 픽업의 대물렌즈(Objective Lens)용 비구면 렌즈 금형 개발을 최종목적으로 하여 초기 개발 단계로서 비구면 렌즈 여러 가지 설계변수를 검증하기 위한 시제품을 제작하였다. 시제품 제작을 위해 광학 응용 재료인 PMMA와 PC에 대한 초정밀 절삭특성을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 픽업 렌즈 제작을 위해 다이아몬드 터닝 머신(Nanoform 200, Precitech사)을 이용하여 Glass와 거의 유사한 재질인 PMMA(Poly Methyl Meth Acrylate)와 PC(Poly Carbonate)에 대한 초정밀 가공을 수행하였다. 사용된 공구는 형상정밀도(윤각 정도: 원형날끝공구 모서리 윤곽의 Waviness)가 2  $\mu\text{m}$ 와 0.05  $\mu\text{m}$ 이고, 공구 노즈 반경 R 0.2 mm인 단결정 천연 다이아몬드 바이트 두 종류를 사용하였으며, 표면 거칠기를 고찰하기 위해 비접촉 광학식 표면 조도 측정기(New-View 5000, zygo社)와 비구면 형상 측정기(Form Talysurf Series2, RTH社)를 사용하였다.

Table 1 Material property of PC, PMMA

	PMMA	PC
Refractive index	1.491	1.586
Transillumination	93%	87%
Heat conduction	유리보다 낮다	
Workability	기계가공성이 좋다	유동성이 나빠 성형성이 좋지 않다
Endurance impact	강화유리 56배	강화유리 150배

Table 1과 같은 PMMA와 PC의 초정밀 최적가공 조건을 찾기 위해 시편을 제작하여 Table 2와 같이 다양한 가공 조건 하에서 초정밀가공을 행한 후 표면 거칠기를 측정하였다. 절삭유의 급유 방식은 압축공기와 방전유를 혼합하여 분사하는 세미 드라이 방식을 사용하였다. 본 연구를 통하여 광 정보저장용 시제품 수지의 최적 초정밀 가공조건을 구하고, 그 가공조건을 이용하여 비구면 픽업 렌즈의 시제품을 제작하였다.

Table 2 Basic set of cutting condition.

Material	PMMA, PC
Tool nose radius	0.2 mm
Profile accuracy	2 $\mu\text{m}$
Spindle speed (rpm)	1200, 1400, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2200
Feed rate (mm/min)	2, 4, 6, 8, 10
Cutting depth ( $\mu\text{m}$ )	1, 2, 4, 6, 8, 10
Diameter of workpiece	$\Phi$ 10 mm

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3. 1 주축회전수 변화에 따른 표면 거칠기

주축회전수의 변화에 따라 표면 거칠기를 측정하여 주축회전수에 따른 영향을 고찰하였다. 공작물 속도를 절삭속도로 나타내지 않고 주축회전수로 나타낸 것은 공작물을 정면 절삭하기 때문에 절삭속도는 지름의 변화에 따라 변화하기 때문이다. 본 실험에서 얻어진 데이터는 5회의 반복 실험의 평균값이다. Fig. 1은 주축회전수 변화에 따른 PMMA와 PC의 표면 거칠기를 나타내고 있다. 측정 결과 주축회전수가 1900 rpm까지는 표면 거칠기가 양호해지다가 2000 rpm 이상으로 빨라질 경우 표면 거칠기는 나빠지고 있음을 알 수 있다. PMMA는 주축회전수 1400~2000 rpm 일 때 Ra 4 nm, PC의 경우 1800~2000 rpm에서 Ra값이 16 nm로 가장 좋은 측정결과를 나타낸다. 이러한 결과를 통해 PMMA와 PC는 주축회전수 최적조건이 1800~2000 rpm임을 알 수 있었다. 고속에서 표면 거칠기가 나빠지는 것은 플라스틱이 가공온도 상승에 따라 칩 배출이 불량해지고, 빌트-업 에지(Built-up Edge)가 생기며, chatter 진동이 발생하기 때문인 것으로 사료된다. 가공면을 확대하여 보면 PMMA의 가공면에 비해 PC의 가공면은 뜰김의 흔적이 있고, 거친 것을 알 수 있다<sup>(5)</sup>. 이것은 PC가 용융상태에서의 유동성이 좋지 않은 성질이 있는 것으로 추측할 때 전단면에서의 슬립이 잘 일어나지 않는 이유일 것으로 추론할 수 있다. 또한 뜰김이 일어난다는 것은 확인 할 수 없었지만 공구의 표면에 빌트-업 에지가 생기는 것으로 사료된다.

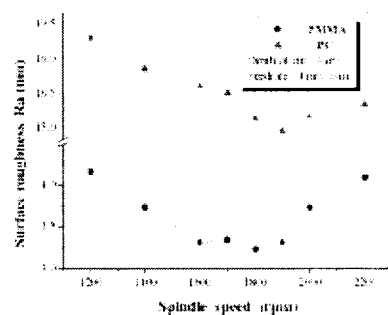


Fig. 1 Experimental result of roughness(Ra:nm) versus spindle speed conditions.

### 3. 2 절삭 깊이 변화에 따른 표면 거칠기

절삭 깊이 변화에 따른 표면 거칠기의 영향에 대하여 고찰하였다. Fig. 2는 주축회전수 1800 rpm, 이송속도 4 mm/min으로 일정하게 유지한 후 절삭

깊이 변화에 따른 PMMA와 PC의 표면 거칠기의 측정 결과를 나타낸다. 절삭 깊이가 4  $\mu\text{m}$  일 때 두 시편 모두 가장 좋은 표면 거칠기 값이 나타났으며, PMMA의 경우 Ra 3.24 nm의 표면 거칠기를 얻을 수 있었으며, PC의 경우 Ra 15.425 nm의 표면 거칠기를 얻을 수 있었다.

한편, 4  $\mu\text{m}$  이하의 절삭 깊이에서 거칠기가 나쁘게 나타나는 이유는 Size Effect의 영향으로 생각된다. 즉 날 끝의 절삭날 모서리의 등급의 영향에 의하여 절삭이 되지 못하고 소성유동만이 일어나기 때문이다.

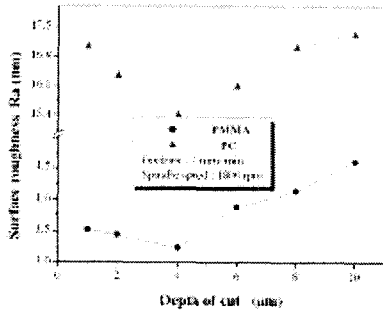


Fig. 2 Experimental result of roughness(Ra:nm) versus depths of cut conditions.

### 3.3 이송속도 변화에 따른 표면 거칠기

이송 속도 변화에 따른 표면 거칠기의 영향에 대하여 고찰하였다. Fig. 3은 주축회전수 1800 rpm, 절삭 깊이 4  $\mu\text{m}$ 로 일정하게 유지한 후 이송속도 변화에 따른 PMMA와 PC의 표면 거칠기의 측정 결과를 나타낸다. 이송속도 2 mm/min에서 표면 거칠기가 가장 양호한 값을 나타내고 있다. 그림에는 나타내지 않았으나 2 mm/min 이하의 속도에서는 표면 거칠기 값이 오히려 좋지 않았고, 가공능률을 고려하여 2 mm/min 이상부터 Data 값으로 하였다. PMMA와 PC의 경우 각각 Ra 3.11 nm와 11.36 nm의 값을 얻을 수 있었다.

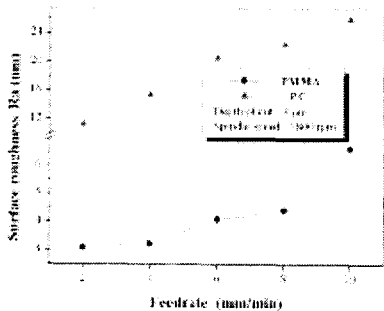


Fig. 3 Experimental result of roughness(Ra:nm) versus feed rate conditions.

### 3.4 광 정보저장용 비구면 렌즈 가공 및 측정

광 정보저장용 비구면 렌즈의 가공 요구 정밀도는 표면 거칠기가 Ra 10 nm, 형상정밀도 P-V 0.5  $\mu\text{m}$  이하의 정밀도를 요구한다. 본 연구에서는 두께 2 mm, 직경  $\Phi$  5 mm, 곡률 반경은 약 R 0.9 mm의 규격으로 비구면 렌즈를 가공하였다.

비구면 렌즈의 형상가공은 일차적으로는 비구면 가공프로그램(Ultra-Path)을 이용하여 NC 프로그램을 작성하고, 최적곡률 반경(Optimum Radius)을 찾아 구면을 가공한 후 비구면 프로그램을 이용하여 가공하였다. Table 3은 앞 절에서 실험을 통해 구한 PMMA, PC의 초정밀 최적 절삭조건이며, Fig. 4는 광 정보저장용 비구면 렌즈의 초정밀가공 사진이다.

Table 3 Best cutting condition.

Material	PMMA, PC
Tool nose radius	0.2 mm
Tool profile accuracy	2, 0.05 $\mu\text{m}$
Spindle speed	1800 rpm
Feed rate	2 mm/min
Cutting depth	4 $\mu\text{m}$
Diameter of workpiece	$\Phi$ 5 mm

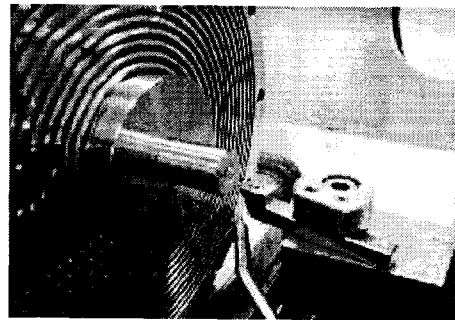


Fig. 4 Diamond turning process of pick-up lens.

비접촉식 표면 거칠기 측정기(New-View 5000, Zygo社)를 이용하여 초정밀 가공한 렌즈의 조도를 측정하고 그 결과를 Fig. 5에 나타낸다. 이때 사용된 초정밀 가공조건은 PMMA에 대한 초정밀 최적 절삭조건을 이용하였다. 회전속도 1800 rpm, 이송속도 2 mm/min, 절삭 깊이 4  $\mu\text{m}$ 로 가공한 표면의 측정 결과 Ra 2.32 nm 값을 나타낸다.

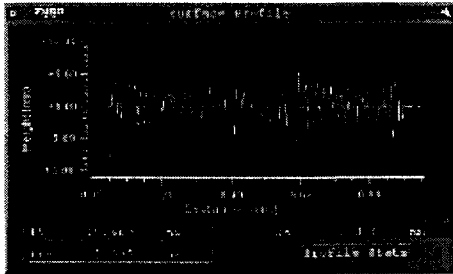
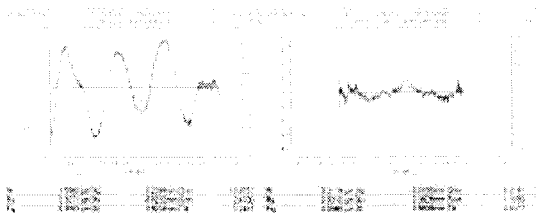


Fig. 5 Measurement result of surface roughness.

또한, 가공면의 비구면 형상 오차를 측정하였다. Fig. 6(a)은 NCD bite R 0.2 mm, 윤곽형상정밀도 2  $\mu\text{m}$ 인 공구로 비구면 형상 가공 후 측정한 결과이며, Fig. 6(b)은 NCD bite R 0.2 mm, 윤곽형상정밀도 0.05  $\mu\text{m}$ 의 바이트를 사용하여 비구면 가공 후 형상 측정 결과를 나타낸다. 측정결과에서 나타내는 바와 같이 공구의 윤곽형상정밀도가 제품의 가공형상 결과 값이 그대로 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 초정밀 가공기의 기구학적 메커니즘이 X축과 Z축의 2축 제어만으로 곡면을 가공하게 됨으로써 공구의 정밀도가 제품에 전사되어 나타난다.

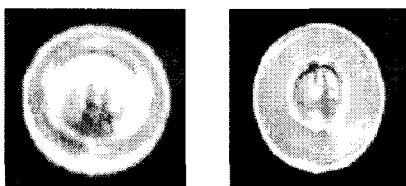


a) Profile accuracy 2  $\mu\text{m}$  b) Profile accuracy 0.05  $\mu\text{m}$

Fig. 6 Measurement result of form error.

이상의 측정결과로부터 광 정보저장용 비구면 렌즈의 가공결과 요구되는 정밀도인 표면 거칠기 Ra 10 nm는 Ra 2.32 nm, 형상정도 P-V 0.5  $\mu\text{m}$ 이하는 P-V 0.2119  $\mu\text{m}$ 로써 가공을 완료하였다.

Fig. 7은 광 정보저장용 비구면 렌즈의 실제 가공 제품을 나타낸다.



a) PMMA

b) PC

Fig. 7 Aspherical pick-up lens.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다이아몬드 터닝 가공을 통한 광 정보저장용 렌즈 개발을 위한 시제품 제작을 위하여 PMMA와 PC의 최적 초정밀 절삭조건을 구하고, 최적조건으로 광 정보저장용 렌즈를 가공한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) PMMA의 초정밀 최적가공조건은 주축속도 1800 rpm, 이송속도 2 mm/min, 절삭 깊이가 4  $\mu\text{m}$ 일 때 Ra 3.11 nm 정도의 양호한 표면 거칠기를 얻었다.
- (2) PC의 경우 위와 같은 조건에서 Ra 11.36 nm 정도의 표면 거칠기를 얻을 수 있었으나, PC의 경우 Ra값이 비구면 렌즈 가공 요구 정밀도에 미치지 못하였다.
- (3) PMMA를 공구의 노즈 반경이 0.2 mm이고, 형상정밀도가 2  $\mu\text{m}$ , 0.05  $\mu\text{m}$ 인 공구로 가공하였을 때, 비구면 윤곽형상 가공정밀도는 각각 Rt 1.5960  $\mu\text{m}$ , Rt 0.2119  $\mu\text{m}$ 의 값을 얻을 수 있었다.
- (4) 광 정보저장 렌즈의 PMMA의 초정밀 가공 결과 가공면은 표면 거칠기 Ra 2.32 nm, 윤곽형상정밀도는 0.2119  $\mu\text{m}$ 로써 요구정밀도의 요구 조건 이내로 제작하였다.

#### 참고문헌

1. 이재경, 이응숙, 제태진, 심충건, 종동우, 고태조 "초정밀 경면 절삭 가공 기술 개발" 과학기술처 최종보고서, 1992.
2. D. Visser, T. G. Gijbbers, and R. A. M. Jorna, "Molds and measurements for replicated aspheric lenses for optical recording," Applied Optics, Vol. 24, pp. 1848 - 1852, 1985.
3. E. DA. Antonov and N. M. Burdina, "Manufacture of optical elements by molding methods," Sol. J. Opt. Techol., Vol. 57, pp. 672 - 679, 1990.
4. 平川健治, 河西敏雄, 小林 昭, 다이아몬드工具によるプラスチックの鏡面加工, 日本精機學會秋季大會講演會前刷, Vol. 41, 1983.
5. 平川健治, 河西敏雄, 小林 昭, 플라스틱의超精密切削, オプトメカトロニクス時代の超精密切削技術, 日本オプトメカトロニクス協會, pp. 42 - 48, 1991.