

고화소 디지털 카메라 비구면 Glass 렌즈 초정밀연삭 특성에 관한 연구

현동훈*, 이승준⁺

(논문접수일 2002. 11. 26, 심사완료일 2003. 2. 24)

A Study on Grinding Characteristics of Aspherical Glass Lens core of High-pixel Digital Camera in Diamond Grinding Process

Hyun Dong-Hun*, Lee Seung-Jun⁺

Abstract

Electronic or measuring instruments equipped with aspherical lens have recently been used since aspherical lens is more effective than spherical one. For the mass production of aspherical lenses, specific molds with precisely machined cores should be prepared. Some researches on the aspherical lens machining have been carried out to date. However, ultra-precise grinding of aspherical or mold core has not been fully studied. In this study, the ultra-precise grinding and evaluating system were established to investigate the grinding characteristics of aspherical lenses. Unlike conventional grinding process, since a highly-precise lathe were operated in a clean room without vibration, the experimental results can be very useful for further studies on ultra-precise grinding process.

Key Words : Non-spherical lens, Ultra-precision grinding, Glass lens, Diamond tool

1. 서론

최근에 IT, BT, NT 등 신산업의 핵심부품¹⁾으로 비구면 렌즈가 급속하게 적용되고 있다. 기존의 구면렌즈를 여러개 사용하던 것을 비구면렌즈를 사용하여 렌즈 사용갯수를 줄이고 광학효율을 높이기 위해 비구면 렌즈가 전자 및 계측

제품에 많이 사용되고 있다. 비구면렌즈는 대량생산을 위하여 금형이 제작되고 금형의 코어를 초정밀연삭으로 처리하지 않으면 안된다.

비구면 렌즈의 가공에 대한 연구들은 실행된바 있으나^{1)~4)} 초정밀연삭가공에 대한 연구가 부족하여 본 연구에서는 초정밀연삭가공 및 평가 시스템을 구성한 후 비구면 연삭

* 주저자. 한국산업기술대학교 (hdh@kpu.ac.kr)
주소: 429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121번지

+ 한국산업기술대학교 대학원

가공의 특성에 대해 고찰하고자 한다. 기존의 연삭가공과는 달리 초정밀선반을 클린룸안의 무진동실에서 실험하여 나온 결과를 초정밀연삭가공의 기초 데이터로 활용할 수 있을라 기대된다.

2. 비구면 초정밀연삭 시스템

2.1 시스템 개요

외경 12mm 비구면 렌즈의 비구면 형상 가공물을 연삭가공할 경우 시스템을 Fig. 1에 표시한다. 주축에 진공으로 비구면 피삭재를 고정한 후 공구대에 연삭숫돌을 설치한다. 공작기계는 다이아몬드 초정밀선반을 사용한다. 공작물을 잡아주는 주축은 Z축으로 이동하여 비구면 형상으로 가공되도록 제어되면 이 경우 X축도 동시에 제어해야 한다. Y축은 연삭숫돌의 센터를 맞추기 위해 축제어를 하며 피삭재의 정확한 센터 작업을 위해 CCD카메라를 이용하여 50~100배 확대한다.

NC컨트롤러의 최소설정단위는 1nm이며 PC에서 RS232C를 통해 NC 데이터를 입력하게 되어 있다. 측정 데이터는

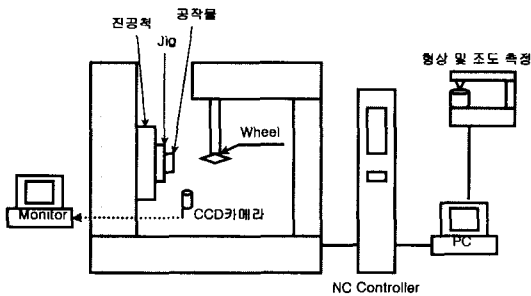


Fig. 1 비구면 초정밀연삭가공 시스템 개략도

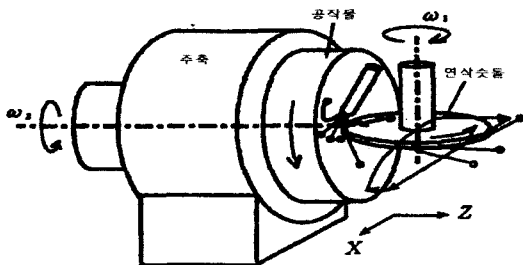


Fig. 2 비구면 연삭의 종축 연삭법

형상과 표면 거칠기를 동시에 측정하여 공작기계에 보정가공을 자동으로 할 수 있게 시스템을 구성하였다. 이러한 장비는 온도 $23^{\circ}\pm 1^{\circ}$, 습도 $42\%\pm 2\%$ 진동최소화 된 10,000class 크린룸에서 작동을 한다.

PC에서 비구면 형상계수를 입력하면 공작물의 비구면 형상이 2차원으로 생성되고 자동으로 NC데이터로 변환되어 RS232C를 통해 공작기계 서보제어계를 이동시켜 비구면 황삭 및 정삭가공을 하게 된다.

2.2 비구면 초정밀 연삭 Model

구동장치는 리니어 스케일 피드백 계측제어방식의 동시 3축(X, Y, Z)제어 다이아몬드 초정밀선반(도시바JULG100H3)를 사용하였다. X, Z축 테이블은 V-V 수평면 안내방식을 채택하였고 스텝이송의 반복성은 3nm의 정도를 유지한다. 주축(Z축)의 최대회전수는 3,000rpm이고 연삭 주축(Y축)의 최대회전수는 40,000rpm X, Y, Z축의 최소 분해능은 10nm이다. 비구면 렌즈의 연삭가공은 Fig.2와 같이 종축으로 고정된 종축연삭법을 사용한다. 이 방법은 주축은 회전하면서 비구면 형상을 따라 Z축이 이동하며 연삭 주축은 공작물 외경으로부터 내경 방향으로 이송을 하게 된다.

공작물의 반경 방향 위치를 $r(\text{mm})$, 연삭숫돌 회전수를 $w_1(\text{rpm})$, 공작물의 회전수를 $w_2(\text{rpm})$ 으로 하면 연삭숫돌 1회전당의 공작물 원주방향 이송량 $F_c(\text{mm/min})$ 은 다음과 같다.

$$F_c = \frac{(2\pi r \cdot W_2)}{W_1} \quad (1)$$

공작물의 1회전당 연삭숫돌이 공작물의 반경방향으로 이동하는 거리 $F_r(\text{mm/rev})$ 는 다음과 같다.

$$F_r = \frac{F_c}{W_2} \quad (2)$$

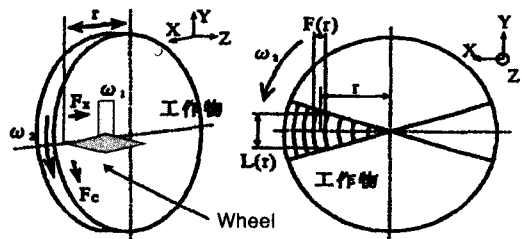


Fig. 3 연삭이송속도 제어

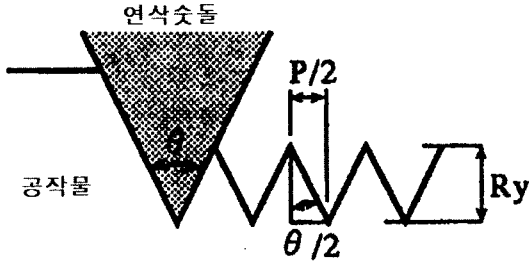


Fig. 4 이송과 표면조도의 관계

단, F_x (mm/min)연삭숫돌의 이송속도이다.

다음으로 공작물과 접촉기능영역에 있는 작용 연삭숫돌 입자수를 N , 1입자에 의한 평균 연산흔적의 길이를 l_w 라 하면, 공작물상의 원주방향에 미치는 연삭입자(abrasive)흔적의 피치 P 는 다음과 같다.

$$P = \frac{F_c \cdot F_r}{N \cdot l_w} \quad (3)$$

식 (1), (2), (3)으로부터 다음식을 얻는다.

$$P = \frac{2\pi \cdot F_x \cdot r}{N \cdot l_w \cdot W_1} \quad (4)$$

여기서 연삭날 수 N 은 연삭표면의 작용하는 연삭입자 밀도 δ (입자수/mm²), 공작물과 연삭숫돌의 접촉면적을 A (mm²)라 하면 다음과 같다.

$$N = \delta \cdot A \quad (5)$$

δ 는 연삭숫돌의 인자 중 집중도로 결정되어지며, δ 와 A 가 연삭가공중에 일정하면 N 도 일정하게 된다.

연삭숫돌 표면에 돌출된 연삭입자의 날 끝 평균 각도를 θ 라 하고 연삭입자의 형상이 공작물 표면에 그대로 전사되어 진다고 가정하면 Fig. 4와 같이 공작물의 표면조도 R_y 는 다음식으로 표시된다.

$$R_y = \frac{P}{2} \cot \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

식 (4) 및 식 (6)으로부터 다음과 같은 식을 얻는다.

$$R_y = \frac{\pi \cdot F_x \cdot r}{N \cdot l_w \cdot W_1} \cot \frac{\theta}{2} \quad (7)$$

즉, 종래와 같은 연삭 이송속도 F_x 가 고정되는 경우 공작물의 표면조도가 공작물의 반경 위치에 비례하여 영향을 받

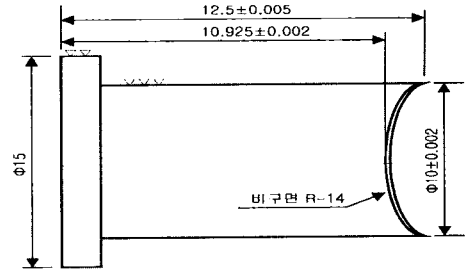


Fig. 5 연삭 비구면 형상 model

으므로 본 연구에서는 F_x 를 변화시켜 표면조도 및 비구면 형상에 미치는 영향을 검토하기로 한다.

3. 연삭실험

3.1 공작물

연구의 대상으로한 공작물의 비구면형상을 Fig.5에 표시하며, 이 경우 비구면 계산식은 다음과 같다.

$$X = \frac{CY^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)C^2Y^2}} + aY^4 + bY^6 + cY^8 + dY^{10}$$

여기서, $R=14$, $K=-0.5011300E+01$,
 $a=0.1813151E+03$, $b=0.1530400E-05$,
 $c=-0.2007260E-07$, $d=0.1153600E-09$

3.2 다이아몬드 휠

연삭숫돌은 직경 $\phi 15$ mm의 원추형 합성 다이아몬드 휠을 사용했다. 입자의 종류는 합성다이아몬드, 입도는 황사

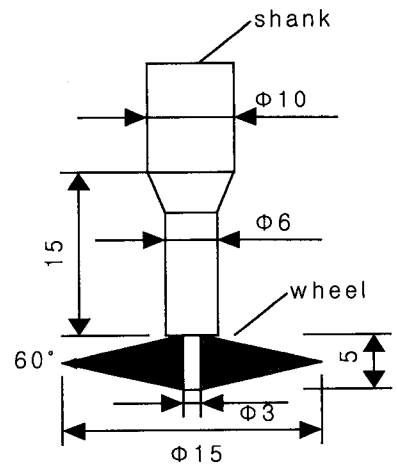


Fig. 6 Wheel model

의 경우 800메시, 정삭의 경우 1,500메시이며 결합도는 중간정도이고, 집중도는 880mg/cm³, 결합제는 레진본드를 사용했다. Fig. 6에 다이아몬드 휠의 형상을 표시한다.

Shank 부분을 콜렛에 끼운 후 공작 기계 연삭축에 고정한다. 이 때 연삭축 밀단과 연삭숫돌 중심의 돌출 길이를 17.5mm로 한다. 연삭숫돌 각도는 Fig. 4의 θ 값을 60°로 고정하여 실험을 한다.

3.3 비구면 측정

공작물을 비구면 계수식에 의해 가공한 후 렌즈 형상측정기로 측정하여 표면거칠기 및 형상정도를 평가할 수 있다. 본 연구에서는 KOSAKA(DSF-100)을 사용한다. Fig.7과 같이 접촉식 측정기도 2차원 및 3차원 형상측정이 가능하다. 측정기는 다이아몬드 스타일러스며 무게는 70mg짜리를 사용한다.

비구면 측정 후 설계 데이터와 비교하며 보정량을 자동계산하여 공작기계에 자동 이송할 수 있는 S/W를 개발 중이다.

측정위치를 Fig. 5의 공작물의 중심으로부터 좌우로 4mm까지 Ra값만을 측정한다.

Fig. 8은 XY scan 라인식으로 측정한 비구면 렌즈 금형 코어의 3차원 표면거칠기 측정결과이다.

4. 실험결과

비구면 초정밀연삭 특성을 파악하기 위해 연삭숫돌은 정

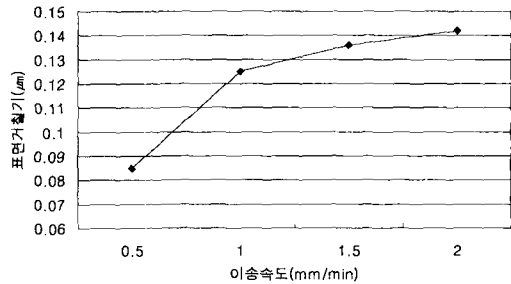


Fig. 7 비구면 형상측정기

삭의 경우 1,500메시 다이아몬드 휠만을 사용하여 실험하였으며 피삭재의 측정부위를 일정한 위치로 제한하였다. 연삭조건은 이송속도, 연삭주축의 회전수, 공작물의 회전수, 연삭깊이로 하였으며 이러한 인자들이 초정밀 연삭의 표면정도에 미치는 영향을 알아보았다. 식 (7)에서 보는 바와 같이 본 실험에서는 이송속도와 연삭주축의 회전수가 표면정도에 크게 영향을 미치는 것으로 보여진다.

4.1 이송이 표면거칠기에 미치는 영향

연삭 주축의 회전수, 공작물의 회전수 등을 고정하고 이송을 0.5mm/min, 1mm/min, 1.5mm/min, 2mm/min으로 변화시켜 연삭 후 표면거칠기를 측정한 data를 Fig. 9에 나



(T:150rpm, S:20,000rpm, Dp:1μm)

Fig. 10 연삭숫돌의 이송속도와 표면조도

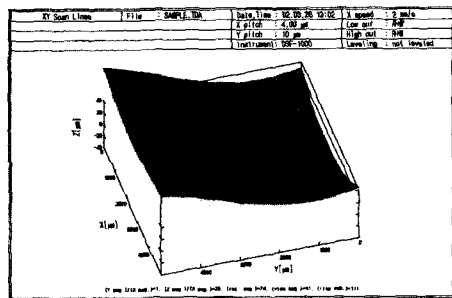


Fig. 8 비구면 형상측정(3차원)

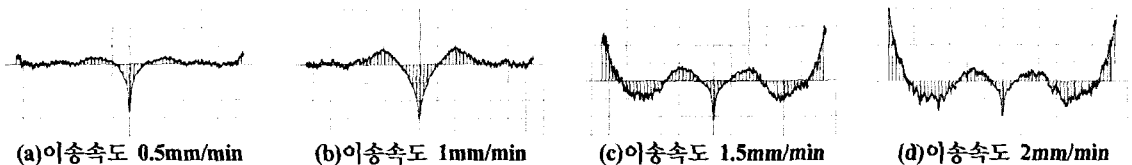
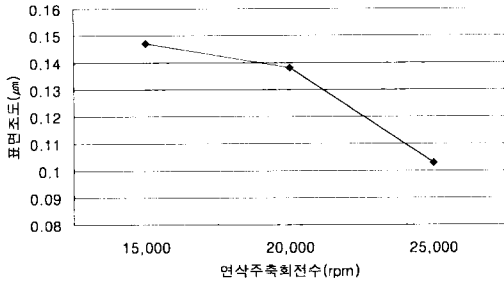
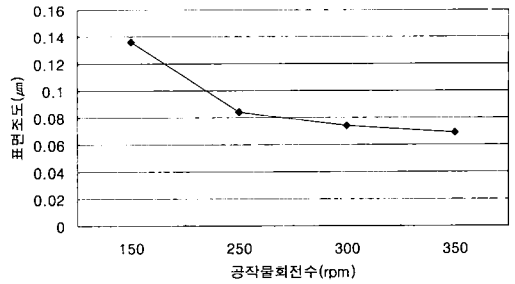


Fig. 9 연삭가공 후 표면거칠기 data



(T:150rpm, F:1mm/min, Dp:1μm)

Fig. 11 연삭주축의 회전수와 표면조도



(S:20,000rpm, F:1mm/min, Dp:1μm)

Fig. 12 공작물의 회전수와 표면조도

타내었다. 표면거칠기는 Ra값을 기준으로 하였으며 Fig. 10과 같이 이송속도가 증가하면 Ra값도 비례하여 커짐을 알 수 있다. 이것은 식 (7)과 잘 일치하고 있다.

4.2 연삭주축의 회전수가 표면거칠기에 미치는 영향

본 실험에 사용된 4축제어 다이아몬드 터닝선반의 최고 주축 회전수는 30,000rpm이다. 식 (7)에서 알 수 있듯이 실험에서도 주축의 회전수가 증가할수록 Ra값이 작아진다.

즉 주축의 회전수가 증가하면 공작물의 원주 방향에 미치는 연삭입자(abrasive)의 흔적의 피치가 작아지므로서 표면 거칠기가 좋아진 것이다.

4.3 공작물의 회전수가 표면거칠기에 미치는 영향

공작물의 회전수는 3,000rpm까지 가능하지만 일반적으로 이송속도와 상관계수에 의해 영향을 받으므로 이송속도를 1mm/min으로 고정하고 공작물 회전수를 150, 250, 300, 350rpm으로 변화시킨다. 공작물의 회전수가 증가할수록 표면거칠기가 줄어드나 350rpm이상이 되면 반대로 표면거칠기가 나빠진다. 이송속도와 공작물의 회전수비가 3이상을 넘으면 이러한 현상이 발생하므로 주의를 요한다.

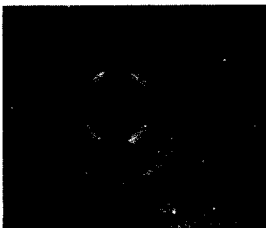


Fig. 13 절삭가공면

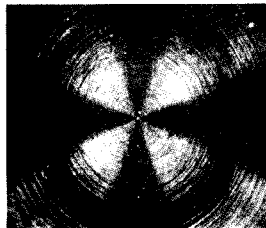


Fig. 14 연삭가공면

4.4 연삭면 상태

연삭면을 1,000배 현미경으로 관찰한 결과 Fig. 13, Fig. 14에서 보는 바와 같이 바이트에 의한 절삭가공에 비해 연삭가공쪽이 공구마크가 현저히 감소되어, 초정밀 Glass렌즈용 코어의 가공면 상태가 가공 후 glass 성형 후 렌즈 표면에 전사되어 광학적 특성을 떨어뜨리는 원인이 되므로 절삭가공보다 연삭가공이 유리함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 Diamond Turning Machine으로 diamond wheel을 이용하여 $\phi 12$ 초정 비구면 렌즈 코어를 연삭가공 하는데 있어 각각의 인자가 표면정도에 미치는 정도를 실험하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 이송속도를 0.5mm/min, 1mm/min, 1.5mm/min으로 증가시켜 가며 연삭가공 한 결과 표면조도는 이송속도에 반비례하여 나빠짐을 알 수 있었다.
- (2) 반면에 연삭 주축회전수가 높아짐에 따라 표면조도가 좋아짐을 알 수 있다.
- (3) 공작물의 회전수가 증가하면 표면거칠기가 좋아지나 이송속도와와의 비가 너무 작아지면 표면거칠기가 나빠지므로 주의를 요한다.
- (4) 바이트에 의한 절삭가공에 비해 Feed mark가 현저히 감소되어 초정밀 Glass lens용 코어 제작에 연삭가공이 유리함을 입증하였다.

참고 문헌

- (1) Shida, H., 1998, "Development of Machining

- Technology on High Precision Plastic Opto-Element”, *Rich Technical Rept.*, No. 24, pp. 99~105.
- (2) Suzuki, H., Kodera, S., Nakasuji, T., Ohta, T. and Syoji, K., 1998, “Precision Grinding of Aspherical CVD-SiC Molding Die”, *Int. J. JSPE*, No. 32, pp. 85~91.
- (3) McKeown, P. A., Carlisle, K., Shore, P. and Read, R. F. J., 1990, “Ultra-Precision, High Stiffness CNC Grinding Machines for Ductile Mode Grinding of Brittle Materials”, *J. of KSPE*, Vol. 56, No. 5, pp. 806~811.
- (4) Matsui, M. and Shoji, K., 1969, “Wear Estimation of Grinding Wheel”, *J. of JSPE*, Vol. 35, No. 4, pp. 235~241.
- (5) Lee, D.J., Lee, E. S., Jee, T. J. and Jung, J. Y., 2002, “A Study on Machining Characteristics of Micro-Lens Array Molding Die”, *Proc. of Korean Society of Machine Tool Engineers (2002-spring)*, pp. 370~375.