

# 마이크로 비구면 유리렌즈 성형틀의 초정밀 가공 기술

글/Suzuki Hirofumi, Okino Tadashi  
Yamamoto Yuji, Shibutani Hideo\*

디지털카메라, 카메라폰, DVD 픽업 등의 수요가 증가하고 있고, 유리 성형 기술의 자동화가 진보하고 있기 때문에 유리 성형 프로세스의 동아시아 이전·전개가 진행되고 있다. 최근 동아시아에서도 단순한 축대칭비구면의 성형틀은 정밀가공이 가능해져, 더욱 부가가치가 높은 광학부품을 생산해내기 위해, 복잡형상 세라믹틀의 연삭가공기술의 개발이 반드시 필요하다. 그래서 본고에서는 마이크로 복잡형상 광학부품 성형틀의 초정밀 미세가공기술의 일부를 소개하겠다.

## 1. 서론

광통신용 마이크로 디바이스, 기억 디바이스, 표시 디바이스 등의 필요성이 증가하면서 디지털 카메라, 카메라폰, DVD 픽업 등의 수요가 급격히 증가하고 있다. 특히 최근의 디지털기기의 약진에 따라 이후에도 유럽, 인도, 중국, 남미의 시장 확대가 예상되고 있다. 그리고 이들 디지털기기에 사용되는 광학부품은 플라스틱 렌즈에서 유리 렌즈로 옮겨가고 있다. 1980년대부터 1990년대에 걸쳐 시장의 대부분을 차지하고 있던 플라스틱 렌즈는 동아시아에서의 제조 확대에 따라 총 생산수가 계속 증가하여 단가가 계속 내려가면서 이익이 현저히 감소되고

있는 상황이다. 그러나 블루 레이저를 대상으로 한 고Sag형상으로, 표면 거침이 뛰어난 축대칭비구면 렌즈나 회절광학격자(Fresnel lens) 등은 고도의 가공기술을 필요로 한다는 점이나 고기능성 때문에 비즈니스 면에서 우위성을 갖는다. 2초점형의 회절형 프레넬렌즈의 절삭기술<sup>1)</sup>이나, 표면 거침이 우수한 도금기술<sup>2)</sup> 등, 새로운 기술개발에 의해 부가가치를 유지함으로써 국내 생산을 유지하고 있는 예도 적지 않다. 그러나 대체로 (a) 고굴절률, (b) 저복굴절 특성, (c) 내고온강도, (d) 블루 레이저 등의 단파장광에 대한 집광성, 그리고 (e) 이것들에 수반되는 설계의 높은 자유도 때문에 유리 렌즈의 우위성은 높아지고 있다. 그리고 광학·전자 디바이스의 소형화나 고기능화를 위해 광학부품의 초정밀 기계가공기술의 마이크로화, 미세화, 복잡형상화가 한층 요구되고 있다.

종래의 플라스틱 렌즈는 무전해 Ni도금 등의 연질금속틀을 이용한 사출성형에 의해 양산되고 있다. 그리고 최근에는 도금 강도, 성형틀 구조, 성형기술의 개량 등에 의해 100만 shot의 성형도 가능해졌다는 보고도 있다. 한편, 광학 특성이 우수한 유리 렌즈를 양산하기 위해서는 고온 프레스성형법이 필요한데, 틀 재료로는

코베대학 공학부 기계공학과  
657-8501 Hyoko-ken, Kobe-shi, Nada-ku,  
Rokkodai-cho, 1

\* 사이타마대학 대학원 이공학 연구과  
338-8570 Saitama-ken, Saitama-shi, Sakura-ku  
Shimookubo, 255

연질금속을 대신 초경합금이나 CVD-SiC 등의 세라믹들이 필요하다. 이런 단단한 비구면 세라믹들을 초정밀가공하기 위해서는 다이아몬드호일을 이용한 초정밀 연삭기술이 반드시 필요하다. 앞서 설명했듯이 디지털카메라, 카메라폰, DVD 픽업 등의 수요가 증가하고 있고, 유리 성형 기술의 자동화가 진보하고 있기 때문에 유리 성형 프로세스의 동아시아 이전·전개가 진행되고 있다. 그러나 성형들의 연삭기술은 기능적 수요도 많기 때문에 자동화가 진척되고 있지 않아 해외 이전이 보다 어려워, 그 연삭기술의 중요성이 점점 증가하고 있다. 디지털 디바이스의 유럽, 인도, 중국, 남미 등으로의 급격한 보급에 따라 유리 성형 비즈니스의 성장이 진척될 것으로 생각되고, 틀 기술(연삭기술)의 비즈니스 기회도 증가한다고 예상된다.

그러나 최근 동아시아에서도 단순한 축대칭비구면의 성형들은 정밀가공이 가능해져, 더욱 부가가치가 높은 광학부품을 생산해내기 위해, 복잡형상 세라믹들의 연삭가공기술의 개발이 반드시 필요하다. 그래서 본고에서는 마이크로 복잡형상 광학부품 성형들의 초정밀 미세가공기술의 일부를 소개하겠다.

## 2. 각종 마이크로 비구면 연삭법

### 2.1 마이크로 축대칭 비구면 연삭

외경과 근사곡률 반경이 큰 오목면 형상의 가공물을 연삭가공할 경우, 중형 연삭 스펀들에 주판알 형상의 미세한 지석(숫돌)을 설치하여 가공하는 것이 일반적이지만, 근사곡률 반경이 2mm 이하의 경우, 경면 연삭가공이 어렵다.

이 경우, 그림1(a)와 같이 지석회전축을 가공물의 회전축에 대해 45° 기울이는 방식의 연삭 시스템(사축연삭법)이 효과가 있다. 그리고 지석의 직경이 매우 작아, 지석 주축을 보통 수준으로 가까이 하기 위해, 연삭 스펀들에 최대 회전수 15×104rpm인 고속회전의 공기정압축수(에어베어링)를 개발하여 탑재하였다. 지석의 위치결정 계산은 지석회전축이 45° 기울어져있기 때문에 복잡하지만, 벡터해석과 Newton-Raphson법에서 수치 계산할 수 있다. 비구면(오목면)의 근사곡률반경 및 유효직경이 약 250μm의 초경합금들을 그림1(b) 약 Ø300μm의 축이 붙은 형상의 레진본드·다이아몬드호일에 의해 연삭된 결과는 그림1(c)이다. 연삭가공에 의해서도 마이크로 비구면의 초정밀가공이 가능하다.

### 2.2 프레넬형상의 연삭법

그림2(a)와 같이 Y축(종축), Z축의 동시 2축가공기에 의한 연삭가공법을 제안하였다. 맨 끝이 뾰족한 나이프엣지 형상의 지석을 사용하여, Y축과 Z축을 동시 2축 제어하면서 연삭가공을 하는 것이

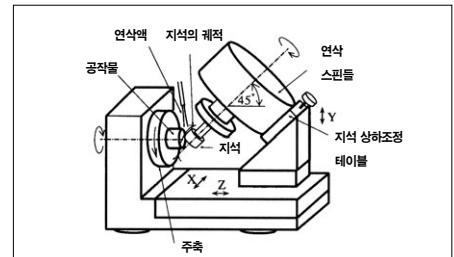


그림 1(a) 사축마이크로비구면 연삭법

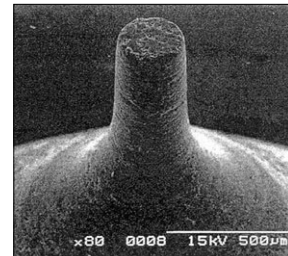


그림 1(b) 마이크로 다이아몬드 지석의 SEM 사진

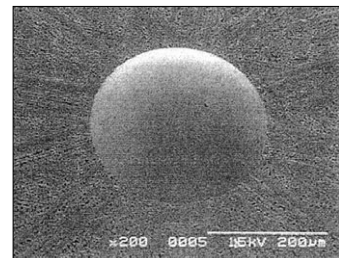


그림 1(c) 마이크로비구면들의 SEM 사진

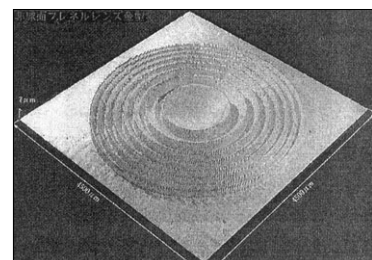


그림 2(b) 연삭가공 후의 형상

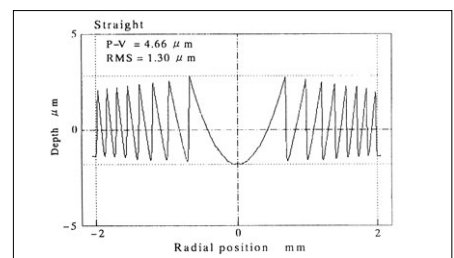


그림 2(c) 단면 형상

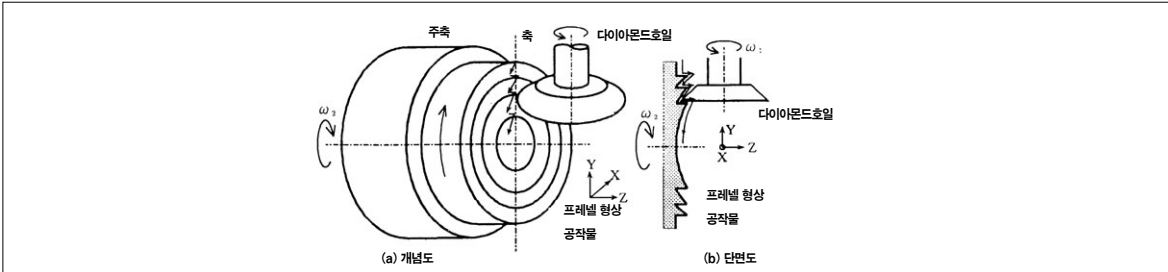


그림 2(a) Y-Z동축 2축 제어에 의한 마이크로 프레넬 형상 연삭법

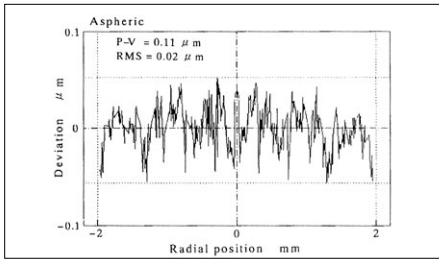


그림 2(d) 형상 오차 곡선

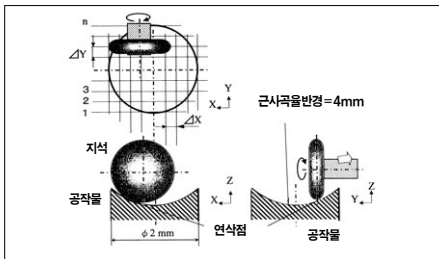


그림 3(a) 공작물 형상과 지석의 수사 방식

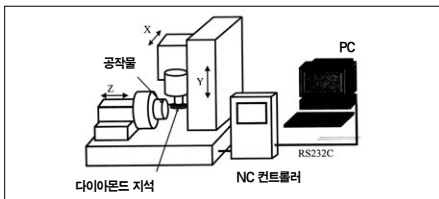


그림 3(b) 마이크로 비축대칭 비구면 연삭 시스템

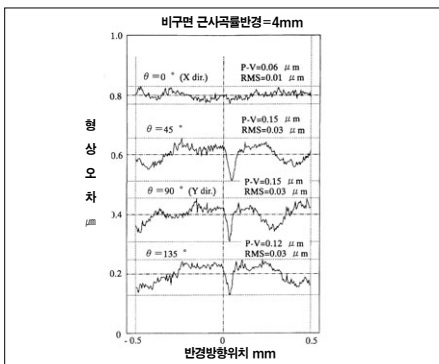


그림 3(c) 보정가공 후의 형상 오차 곡선

다. 연삭 장치로는 리니어스케일 피드백 계층제어방식의 동시 4축(X, Y, Z, C) 제어가공기 [Toshiba기계(주)의 ULG100D(H3)]를 사용하였다. 지석에는 나이프엣지 형상의 레진본드·다이아몬드호일을 사용하였다.

호일은 기기 위에서 #200의 다이아몬드호일에 의해 트루잉(Truing)하고 이 호일 끝으로 프레넬 형상을 창성한다. 연삭 후 측정형상(미타카광기(주)의 NH-3로 측정)을 그림2(b)에, 그 단면형상(마츠시타전기(주)의 UA3P로 측정)을 그림2(c)에 나타냈다. 이 결과를 기초로 단차부 근접을 제거하고 계산한, 목표 형상과의 차를 그림2(d)에 나타냈다. 약 0.1μm의 형상 정밀도를 얻을 수 있다.<sup>3)</sup>

### 2.3 마이크로 비축대칭 비구면의 연삭가공

DVD·CD 픽업 계열이나 광통신용 LD 모듈에서는 비축대칭 비구면형상의 광학소자의 필요성이 증가하고 있다. 반도체 레이저 광은 엄밀하게는 타원형상의 분포를 가지고 있어, 종래의 축대칭 형상에 비축대칭 보정량(AS)을 더한 회전 비축대칭 비구면일 필요가 있다. 이러한 복잡 형상을 연삭가공하기 위해서는 다이아몬드 연삭을 이용한 다축 제어 연삭가공이 필요하다. 공작물의 피가공면을 그림3(a)와 같이 ΔX, ΔY의 피치에서 바둑알 모양으로 분할하고 각각의 점을 통과하도록 직선 보간하면서 원반 모양의 지석을 Y축 방향으로 구동시킨다. 그리고 ΔX의 피크 필드를 주고, 이들 일련의 지석의 움직임에 의해 자유 곡면을 창성한다. 이

$$\begin{aligned}
 X_0 &= X_g + \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \cdot r + \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \cdot R \\
 Y_0 &= Y_g + \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \cdot r \\
 Z_0 &= Z_g + \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \cdot r + \frac{c}{\sqrt{a^2 + c^2}} \cdot R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

때 지석의 궤적은 다음과 같다. 연삭점을  $G(X_g, Y_g, Z_g)$ , 연삭점의 법선 벡터를  $n(a, b, c)$ 라고 하고, 지석 끝의 곡률반경  $r$ , 지석반경  $(R+r)$ 에서 원반 모양 지석의 기점인 회전 중심의 좌표  $O(X_o, Y_o, Z_o)$ 는 다음 식으로 나타난다.

비축대칭 비구면 연삭 시스템의 개략은 그림3(b)과 같다. 공작물로 외경  $\varnothing 2\text{mm}$ (유효직경  $\varnothing 1\text{mm}$ )의 초경합금(WC)의 틀을 사용하였다. 지석으로 외경이  $\varnothing 4\text{mm}$ , 끝의 곡률반경이  $0.4\text{mm}$ 의 레진본드·다이아몬드호일을 사용하였다. 알의 직경은 #2000인 것을 사용하고, 원추형의 단결정 다이아몬드제 트루어에 의해 기기 위에서 원호를 그리듯이 왕복 요동시켜 정밀한 원호가 되도록 트루잉하였다. 식(1)의 비구면형상의 공작물을 연삭가공한 결과를 나타냈다.

마감 가공에서는 전송 분할 폭  $\Delta Y = 13\mu\text{m}$ , 피크 필드  $\Delta X = 18\mu\text{m}$ , 절단면  $\Delta Z = 1\mu\text{m}$ 로 하였다. 마감 가공 후의 형상 오차 곡선은 그림 3(c)과 같다. 지석의 성형 오차를 고려하여 보정 가공한 것이다. X축을 기준으로 하는 각도( $\theta$ )를  $45^\circ$ 마다 회전시켜 측정하여 표시했다. X축 방향에서 약  $0.06\mu\text{mP-V}$ , Y축 방향에서 약  $0.15\mu\text{mP-V}$ 의 형상 정밀도를 얻었다.

### 2.4 마이크로렌즈 어레이용 성형틀의 연삭가공

마이크로구면 렌즈 어레이 성형틀의 연삭의 원리는 그림4(a)와 같다. 공작물을 회전 스피들에 설치하고, 그 회전 스피들의 회전축에 대해 경사지게 설치한 회전 지석을 공작물에 밀어붙이고, 회전 스피들의 회전축과 공작물의 가공점의 중심과의 거리를 일정하게 유지하면서 회전하는 공작물의 회전과 같은 방향으로, 그리고 같은 속도로 회전 지석을 선회시켜 오목면의 구면형의 구멍을 정밀가공하고, 공작물 위의 위치를 바꾸어 위에 설명한 일련의 동작을 몇 번 반복하는 것을 특징으로 하는 정밀연삭방법이다. 본 제안의 가공법에서는 X, Y, Z, C의 4축을 복잡하게 동시 구동할 필요가 있다. 상한 돌기가 적은 리니어 모터 구동의 굴림 안내면을 갖는 연삭 장치를 사용하였다. PC로 지석의 궤적을 계산하고, 그것을 NC 프로그래밍하여 DNC 모드로 축차 NC 컨트롤러에 방대한 NC 프로그램을 전송하여 지석의 궤적을 제어한다. 마이크로렌즈 어레이의 형상은 그림4(b)와 같다. 곡률반경이 약  $1.1\text{mm}$ 의 구면으로, 약  $700\mu\text{m}$ 의 피치로  $5 \times 3$ 개 배열한다. 틀 재료로는 유리상태의 카본을 사용하였다. 연삭가공 후의 사진은 그림4(c)와 같다. 형상 정밀도의 측정 결과는 그림4(d)와 같다. 15개의 형상을 표시한다. 맨 끝의 곡률반경이  $2\mu\text{m}$ 인 다이아몬드 스타일러스를 가지고 있는 형상 측정기 UA3P(마츠시타 전기 제품)를 사용하여 측정하였다. 약  $0.09 \sim 0.16\mu\text{mP-V}$ 의 형상 정밀도를 얻을 수 있다. 같은 방법으로

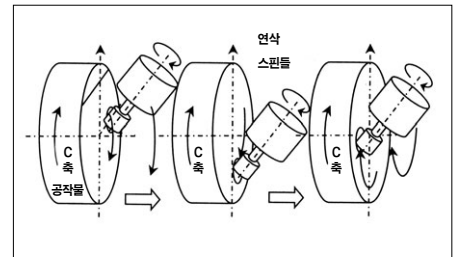


그림 4(a) 마이크로구면 렌즈 어레이 연삭가공의 원리

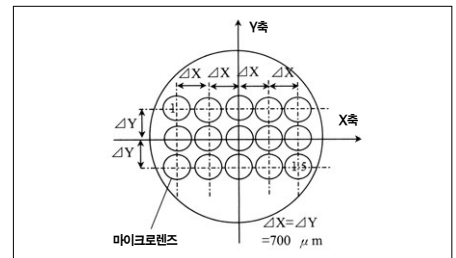


그림 4(b) 마이크로렌즈 어레이 성형틀

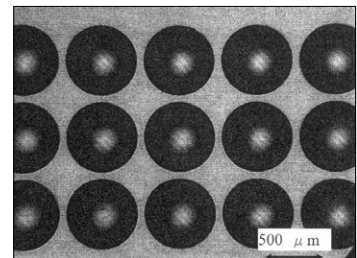


그림 4(c) 연삭가공 후의 마이크로렌즈 어레이 틀

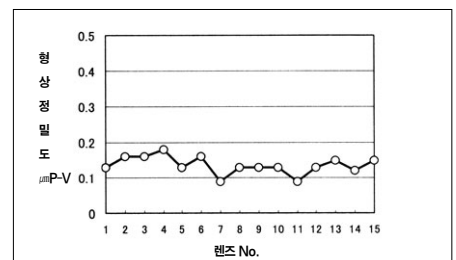


그림 4(d) 가공 후의 형상 정밀도

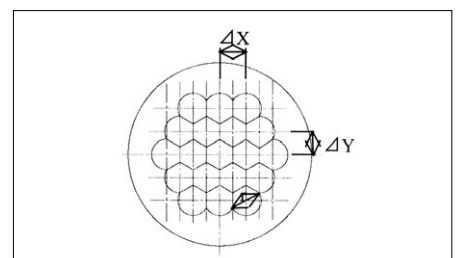


그림 5(a) 마이크로 어레이 금형(초경질)의 형상

표1. 마이크로어레이(초경질) 사양

X방향의 피치 ΔX	1732μm
Y축방향의 피치 ΔY	1500 μm
렌즈 개수	19개
렌즈 곡률반경 R	5mm
렌즈 유효직경 r	2mm

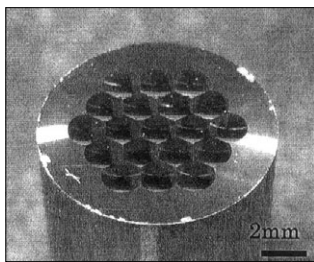


그림 5(b) 마이크로 어레이 금형(초경질)의 외관

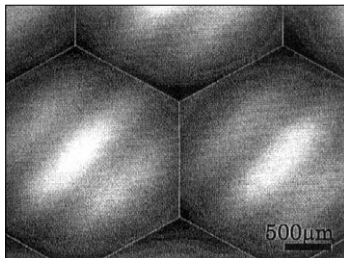


그림 5(c) 마이크로 어레이 금형(초경질) Nomarski 현미경 사진

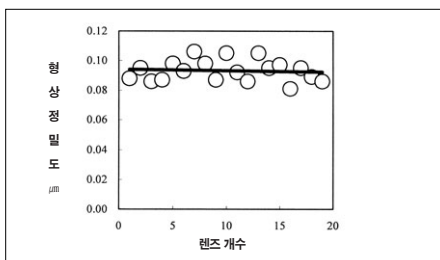


그림 5(d) 렌즈 어레이 금형(초경질)의 형상 정밀도

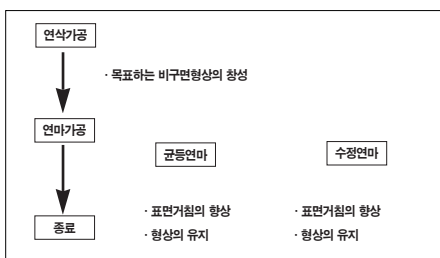


그림 6 세라믹틀의 가공 프로세스

곡률반경이 5mm이고 19개로 구성된 마이크로어레이렌즈 금형(미립자 초경합금제)의 가공 사례를 그림5에 나타냈다.

가공조건은 표1과 같다. 어느 것이나 약 0.1μmP-V의 형상 정밀도를 얻을 수 있다.

**3. 초음파원용 연마법에 의한 마이크로 비구면 연삭**  
필자가 앞서 설명했듯이 여러 가지 마이크로 비구면의 초정밀 연삭·절삭 가공 시스템이나 가공기술을 개발하고, 광통신, 광 픽업, 기타 마이크로 디바이스용 렌즈를 성형하기 위한 틀에 정밀가공을 적용해왔다. 한편 광학계의 최근 사용과장의 단과장화나 집광특성의 향상에 관한 요구 등을 위해 절삭·연삭가공 후에 연마가공하고, 그림6과 같이 표면 거칠을 더욱 향상시키거나, 형상 정밀도를 더욱 개선시킬 필요가 생기고 있다. 그러나 그림7과 같이 종래의 미소회전공구에 의한 연마법에서는 구경이 Ø0.5 ~ Ø3mm의 렌즈를 적용하는 것은 어렵다. 그래서 이러한 마이크로 렌즈들의 마감 연마를 하기 위해 그림8과 같이 매우 작은 폴리샤를 피가공면에 일정 하중으로 눌러, 유리지립을 공급하면서 초음파를 가하는 것에 의해 연삭가공면을 마감 가공하는 새로운 방법을 제안, X, Y, Z, C축 구동의 동시3축제어의 초음파원용 마이크로 연삭장치를 개발하였다.

**3.1 가공원리**

본 제안의 연마법을 종래의 방법과 비교하여 설명하겠다. 종래의 미소회전공구 연마법에서는 그림7과 같이 경질의 공구를 경사각θ으로 기울여 회전시켜 가공 하중W를 부하하고 유리지립 현탁액을 공급하면서 진송 속도를 제어하면서 형상 창성하는 것이다. 가공량을 δ, 가공압을 P, 공구와 공작물의 상대속도를 V, 연마시간을 t라고 하면, δ는 Preston의 법칙에 의해 다음 식으로 나타난다.

$$\delta = k \cdot P \cdot V \cdot t \tag{2}$$

여기에서 k는 워크 재료나 지립 등의 연마조건으로 정해지는 정수이다.

이 경우 가공점에서 회전공구와 공작물의 상대속도V는 다음 식과 같다.

$$V = 2\pi r\omega \cdot \sin\theta \tag{3}$$

여기에서 ω는 회전수, r은 폴리샤 반경이다. 그러나 고정밀도의 회전과 최적의 연마압력 1kPa정도의 제어가능한 폴리샤의 외경은 종래의 회전공구에서는 최소한 Ø2mm

정도이다.<sup>7-9)</sup> 그 결과 비구면 가공물의 근사곡률반경은  $\varnothing 2\text{mm}$ 가 한계이다. 그리고 그 경우 가공의 최소단위인 단일가공흔(痕)의 직경은 겨우  $1\text{mm}$  정도로, 수정 연마할 수 있는 한계는  $\varnothing 3\text{mm}$  외경의 공작물이기 때문에 그 이하의 치수에서는 충분한 연마가 어렵다. 그래서 본 제안 방법에서는 이 공구와 공작물의 상대운동을 그림 8과 같이 초음파 진동으로 바꾸어 놓았다. 이러한 움직임으로 하면 공구를 회전시킬 필요가 없기 때문에, 공구의 미소화가 가능해지고, 가공압의 제어가 쉬워진다. 본 제안의 초음파 진동 원용 연마법의 경우, 공구의 평균상대속도  $V$ 는 다음 식으로 나타난다.

$$V = 2\lambda \cdot \nu \quad (4)$$

여기에서  $\lambda$ 는 초음파의 진폭,  $\nu$ 는 진동수이다. 이렇게 연마공구는 비회전이기에 때문에 가공흔의 미소화가 실현된다고 생각할 수 있다. 그리고 종래의 연마법과의 주속 차이에 대해서 설명하겠다. 예를 들면 종래의 법에서 연마공구의 회전수  $\omega = 10,000\text{min}^{-1}$ , 공구 반경  $r = 1\text{mm}$ 인 경우 (3)의 식으로 주속  $V = 0.7\text{m/s}$ 가 된다. 한편 본 제안법에서는 진동수  $\nu = 24\text{kHz}$ , 진폭  $\lambda = 40\mu\text{m}$ 인 경우,  $V = 1.9\text{m/s}$ 가 되어, 공구 직경이 작아지면 작아질수록 본 제안의 초음파 원용 진동연마법 쪽이 유리해진다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 초음파원용 연마 장치

본 연구에서 시도한 연마장치의 개략도는 그림 9, 그 외관은 그림 10과 같다. (X, Y, Z, C)축 동시3축제어 NC제어장치에 초음파진동자를 탑재하였다. 초음파진동자에 봉 모양의 스테인레스제 Arm을 설치하고, 그 끝에 작은 폴리샤를 접착하여 연마 가공하였다. 초음파 연마 헤드는 1점의 지점으로 유지되고 있어, 그 점을 중심으로 균형이 잡히고 있다. 연마하중은 연마공구 위쪽에 추를 고정함으로써 조정하였다. 그리고 본 해설에서는 축대칭비구면을 연마하기 위해 C축을 일정 속도로 회전시키면서 (X, Z)의 동시2축제어로 연마했다.

테이블 구동용 모터에는 서브모터를 사용하였다. 공구의 위치 결정은 다음과 같이 하고 있다. PC로 공구 흔적 및 공구의 최적 전송속도를 계산하여 그에 따라 공구 구동용 NC 프로그램을 작성하였다.

### 3.3 연마방법

연마조건은 표2와 같다. 미리 전가공한 가공물을 워크 지그에 설치하고, 유리지립의 현탁액을 공급하면서 연마가공했다. 폴리샤에는 연질폴리우레탄(경도90)을 볼 상태로 가공하여 사용하였다.

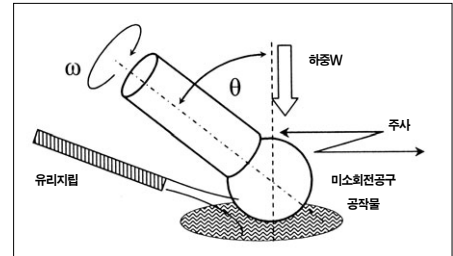


그림 7 종래의 미소회전공구연마법

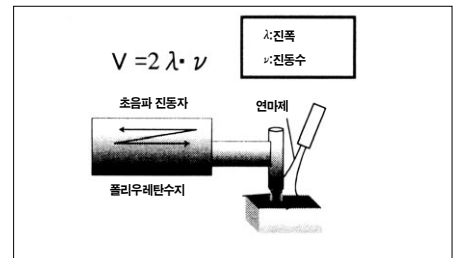


그림 8 초음파진동 연마법

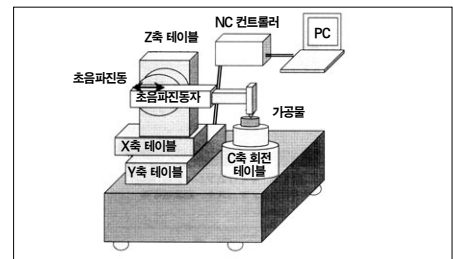


그림 9 연마실험장치

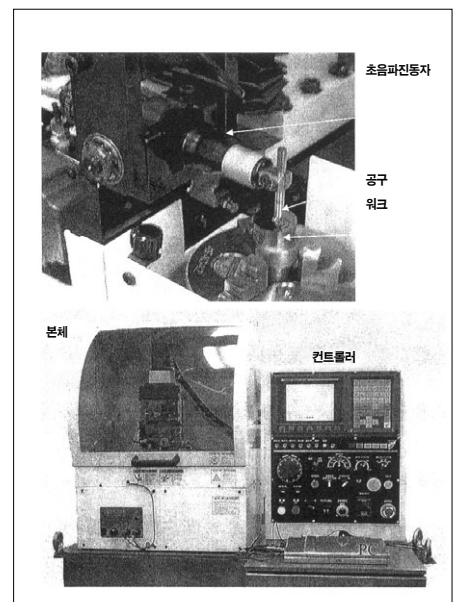


그림 10 초음파원용 마이크로비구면 연마장치의 외관

표 2. 연마조건

위 크	미립자 초경합금
폴리샤 경도 공구 선단반	폴리우레탄공구 90 600 $\mu\text{m}$
지립 입도 농도	다이아몬드 1 $\mu\text{m}$ 이하 1wt%
연마하중	0.049 ~ 0.196 {5 ~ 20gf}
연마시간	5, 10, 15, 20분

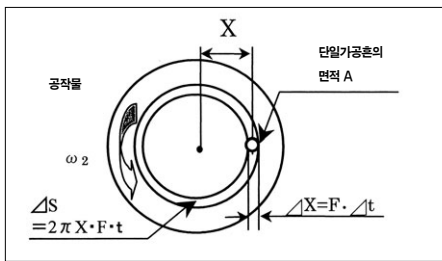


그림 11 마이크로 연마공구의 흔적

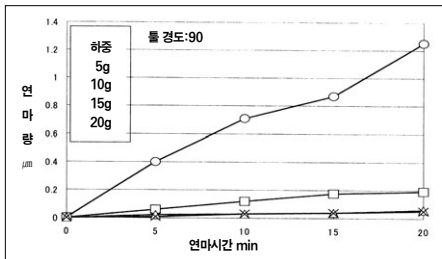


그림 12 가공시간과 가공량의 관계

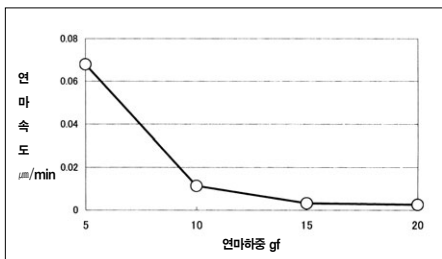


그림 13 가공압력과 가공속도의 관계

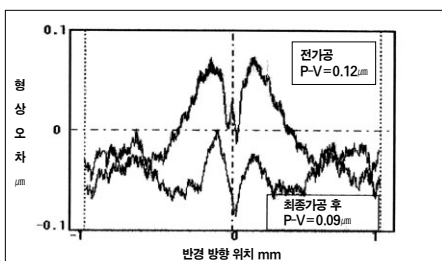


그림 14 형상 정밀도의 변화

형상수정연마법의 원리에서, 가공점의 연마량은 공구의 체류시간에 따라 결정된다. 공구를 공작물에 밀어붙일 때 생기는 단일가공흔의 면적이 공작물의 굴곡보다도 충분히 작다고 하면, 그림11과 같이 선회하는 공작물에 반경위치X에서 미소공구를 밀어붙일 경우, 그 가공점에서의 공구 체류시간은 공구주사속도F(X), 가공흔의 면적A를 이용하여 다음 식으로 나타난다.

$$t = A/[2\pi X \cdot F(X)] \quad (5)$$

그러므로 필요한 연마량 분포를  $\delta(X)$ 라고 하면, 요구되는 공구주사속도는 다음 식으로 나타난다.

$$F(X) = k \cdot W \cdot V/[2\pi X \cdot \delta(X)] \quad (6)$$

w는 연마하중으로, 본 제안의 초음파 진동 원용 연마법의 경우, 공구의 평균주속도V는 다음 식으로 나타난다. 본 제안의 연마법에서는 공구가 비회전이기에 때문에 가공흔의 미소화를 실현할 수 있다.

### 3.4 연마특성

#### (a) 평면연마실험

처음에는 초경평판을 연마하여 얻어진 기초실험의 결과에 대해서 설명하겠다. 연마시간과 가공량의 관계는 그림12와 같다. 가공하중을 5~20gf로 변화시켜, 다이아몬드 지립을 사용하여 표2의 연마조건으로 가공했다. 어느 가공압에 대해서도 가공량은 시간의 경과와 함께 거의 비례하여 증가하고 있다. 이것으로 본 연마법에서도 형상수정연마를 하고난 뒤에 형상정밀도가 향상되기 쉽다는 것을 알 수 있다. 다음으로 이 결과를 기초로 계산한 연마압력과 연마속도의 관계는 그림13과 같다. 본 연마법에서는 연마압력과 연마속도는 비례관계가 없다는 것을 알 수 있다.

#### (b) 비구면 형상창성 실험

마지막으로 비구면 형상 유리 렌즈틀(미립자 초경합금)을 창성한 결과이다. 축대칭비구면의 창성실험을 하였다. 연마조건은 표2와 거의 같으며, 연마압력은 3gf로 하였다. 연마실험의 결과는 그림 14와 같다. 가로축은 반경 방향의 위치이고, 세로축은 목표하는 비구면에서의 편차량이다. 단면의 형상 정밀도를 측정하여 디지탈 데이터를 PC에 입력하여 평가했다. 연마 후에 0.1 $\mu\text{m}$ P-V 이하로 개선되어, 마이크로비구면의 형상수정에도 본 프로세스가 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 연마전후의 Normarski 현미경사진과 표면 거칠은 그림15와 같다. 약 20분으로 매우 평평한 표면 거칠을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본고에서는 광학부품의 복잡 형상화의 배경에 대해서 설명하고, 필자가 개발하고 있는 마이크로 복잡형상의 유리 렌즈 성형틀의 연삭가공법 및 초음파를 원용한 마이크로 비구면연마법에 대해서 소개했다. 이후에도 여러 가지 디지털기용 복잡형상의 마이크로 광학부품이 출현할 것으로 생각되며, 그에 따라 초정밀절삭, 연삭기술, 유리 성형기술 등의 초정밀 기계가공기술의 발전이 요구되어진다. 이를 위해서는 한층 고도의 초정밀 가공기계, 고경도 미세공구, 치밀한 세라믹재료, 가공기술(프로세스)의 발전이 반드시 필요하다.

본 연구는 (독)과학기술진흥기구(JST)·연구성과활용 프라자 토카이에서 사업화를 위한 육성연구 「마이크로·미세광학부품용 세라믹제 성형틀의 초정밀 연삭가공기술의 발전」(H15.3 ~ H17.9)에서 실시된 것이다. JST 프라자 토카이 여러분께 감사드립니다.

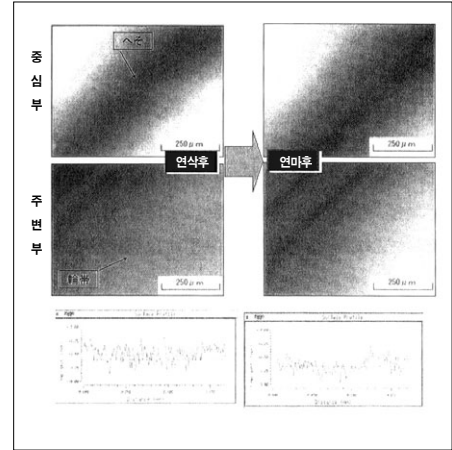


그림 15 가공면의 Normarski 현미경 사진과 표면 거칠

#### 참고문헌

- 1) 하쿠후지 카오노리 외 : 홀로그래프 비구면렌즈를 성형-DVD·CD를 병용 가능하게 한 금형기술-, Nikkei 메커니컬, 458, (1995) 40.
- 2) 호소가와 히데 : 광학소자 성형 금형 및 광학소자, 특허공개 2002-326825
- 3) 스즈키 히로부미 외 : 마이크로 프레넬 렌즈의 정밀유리 성형, 정밀공학회지, 67, 3 (2001) 438.
- 4) 스즈키 히로부미 외 : 마이크로 비구면의 초정밀 연삭에 관한 연구 (제3보)-사축연삭에서 비구면(오목면)의 미소화 검토-, 정밀공학회지, 64, 9 (1998) 1350.
- 5) 스즈키 히로부미 외 : 비축대칭구면도의 초정밀연삭(제2보), 2002년 정밀공학회 춘추대회 학술강연회 강연논문집, (2002) 577.
- 6) 스즈키 히로부미 : 마이크로렌즈 어레이 성형틀의 초정밀가공, 2002년 정밀공학회 춘추대회 학술강연회 강연논문집 (2002) 355.
- 7) 스즈키 히로부미, 코테라 나오시, 하라 세이이치, 마츠나가 히로카즈 : 비구면 창성연마에 관한 연구-연삭장치의 개발-, 정밀공학회지, 59, 10 (1993) 1713.
- 8) 스즈키 히로부미, 코테라 나오시, 시마노 히로키 : 비구면창성연마에 관한 연구(제2보)-비축대칭비구면형상의 연마가공-, 정밀공학회지, 60, 6 (1994) 827.
- 9) 스즈키 히로부미, 하구치 토시로, 기타지마 타카유키, 오쿠야마 시게키 : 마이크로비구면의 정밀연삭에 관한 연구-LiNbO3 단결정계 광도파로 렌즈의 형상창성-, 지립가공학회지, 44, 3 (2000) 131.