

유리렌즈 성형 금형의 나노 경면가공

곽태수*, 김경년**, 이용철#

Study on nano-level mirror surface finishing on mold core to glass lens molding

Tae Soo Kwak*, Gyung Nyun Kim**, Yong Chul Lee#

ABSTRACT

ELID(Electrolytic In-process Dressing) grinding is an excellent technique for mirror grinding of various advanced metallic or nonmetallic materials. A polishing process is also required for elimination of scratches present on ELID grinded surfaces. MAP(Magnetic Assisted Polishing) has been used as polishing method due to its high polishing efficiency and to its resulting in a superior surface quality. This study is describing an effective fabrication method combining ELID and MAP of nano-precision mirror grinding for glass-lens molding mould. It also presents some techniques for achieving the nanometer roughness of the hard metals, such as WC-Co, which are extensively used in precision tooling material.

Key Words: ELectrolytic In-process Dressing grinding(ELID 연삭), Magnetic assisted polishing(자기연마), Mirror surface(경면), Finishing efficiency(가공효율), Spherical radius(구면반경)

1. 서론

최근 디지털 카메라를 비롯하여 영상기기, 광픽업, 프로젝터, 휴대전화, 복사기 및 프린터 등의 초정밀 광학부품에 대한 수요가 매우 높다. 초정밀 경면가공법은 고품질 광학소자 부품의 제조를 위해 활발히 적용되고 있으며 경면정밀도와 함께 효율적인 가공법에 대한 요구가 날로 높아지고 있다. 경면 가공은 구면/비구면 렌즈를 비롯하여 렌즈 금형의 코아, 반사경, 픽업 렌즈 제조 등에 적용되고 있는 고부가가치 가공 기술로써, 가공시간을 단축하고 가공효율을 향상하기 위해 많은 노력을 기울

이고 있다.

렌즈는 일반적으로 유리, 결정재료, 수지 등을 이용하여 제조되고 있으며 높은 형상정밀도가 요구되는 렌즈에는 치수와 광학적 물성이 우수한 유리재료 또는 결정재료가 이용되고 있다. 유리 렌즈는 여러 공정을 거쳐 제작되고 있다. 대별하면 유리블록을 제작하는 공정과 렌즈의 형상을 만드는 공정, 그리고 코팅 공정으로 나뉘어 진다. 렌즈의 형상을 만들기 위해서는 광학적 요구성능에 따라 설계된 렌즈의 기능면을 구현하는 것과 안정적으로 생산이 가능하도록 내마모성이 확보된 금형을 제작해야 한다.

접수일: 2005년 7월 12일; 게재승인일: 2005년 11월 23일

* 요업(세라믹)기술원

** 거제대학

교신저자: 연암공업대학

E-mail yclcc@yc.ac.kr Tel. (055) 751-2071

유리렌즈 성형 금형의 코아에 주로 적용되고 있는 초경합금(WC)은 고경도로 내식성이 높으며, 내마모성과 함께 고강도 장수명을 요하는 다양한 공구재로서 널리 사용되고 있다. 근래에는 서브미크론의 입자를 이용한 초미립자 초경합금이 개발되는 등, 응용성이 매우 높은 재질이다. 그러나 초경합금은 난가공성 재질로서 렌즈형상과 경면을 생성하는데 많은 어려움을 겪고 있는 한편, 가공품질과 가공효율을 동시에 만족시키기가 어렵다. 초경합금의 경면가공을 위한 대표적인 가공 방법은 고정(固定)지립을 이용한 연삭으로 렌즈 형상을 만든 후 유리(流離)지립을 이용하여 폴리싱 또는 랩핑에 의해 경면이 완성된다. 최근에는 폴리싱 또는 랩핑 공정을 생략하고 연삭에서 렌즈형상과 경면을 동시에 얻을 수 있는 가공법으로서 ELID 연삭법¹이 주목 받고 있다.

ELID 연삭법은 많은 가공사례를 통해 난삭성 경질재료 및 기능성 재료의 고품질가공에 우수한 가공법으로서 실용화되고 있다. 도전성 결합재와 미세지립으로 구성된 슷돌을 이용하여 나노 경면연삭이 가능하여 광학기능을 필요로 하는 고품질의 가공면 형상을 생성할 수 있는 경면 가공법이다. ELID 연삭법은 금속재 가공표면의 내식성 향상과 내마모성을 향상시키는 등 피가공물의 표면에 기능을 부과하고 있음이 최근 연구에 의해 밝혀지고 있다.² 연삭공정으로 렌즈의 형상가공과 함께 렌즈 금형에 요구되는 2-3nmRa 이하의 경면을 얻기 위해서는 복수의 슷돌교환을 필요로 하며 슷돌 교환 시에는 슷돌과 피가공물의 위치를 다시 맞춰주는 작업이 필요하다.

한편, 자기연마법은 입상(粒狀)의 자성연마입자에 자장을 인가하여 수직력을 부여하고, 공구를 회전시켜 접선력을 부여하여 연마하는 방법이다. 단 시간에 효율 높은 연마가공이 가능하므로 절삭공구의 날세움 등, 고경도 재료의 표면 품질을 높이기 위한 마무리가공에 적용되고 있다.³ 특히 코발트(Co)를 결합재로 하는 초경합금은 자성을 띠므로 자기연마를 비교적 용이하게 적용할 수 있다.

본 연구는 구면/비구면 유리 렌즈 성형용 금형재로서 활용도가 높은 초경합금을 대상으로, ELID 연삭법을 이용하여 렌즈 면을 가공하고 ELID 연삭과 자기연마를 조합하여 형상정밀도와 가공효율, 그리고 고품질의 경면을 얻기 위한 복합가공을 제안하였다. 복합가공을 평가하고 공정조건을 결정하기

위한 기초실험으로서 평면의 경면가공을 수행하였으며, 기초실험에서 얻어진 결과는 렌즈 금형의 코아 가공에 적용하였다.

2. 실험장치 및 방법

렌즈 금형의 경면가공에 있어서 구면/비구면 형상가공은 슷돌을 이용한 연삭가공 방식이 주로 사용되고 있다. 렌즈 형상을 금형에 구현하기 위해서는 구면/비구면 형상을 근사화한 다항식을 적용할 수 있는 초정밀 비구면 가공기가 필요하다. 연삭 슷돌은 가공방식에 따라 형상을 구분하여 사용한다. 본 연구에서는 렌즈면 형상가공을 위해 Fig. 1 과 같이 연삭스�돌의 일부에 전해 드레싱용 (-)전극을 설치하고 연삭스�돌 고정부에 (+)전극을 설치하여 ELID 연삭 시스템을 구성하였다.

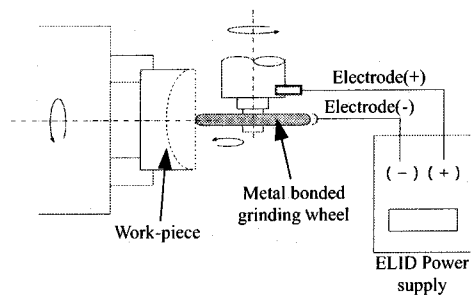


Fig. 1 Schematic diagram of ELID grinding system

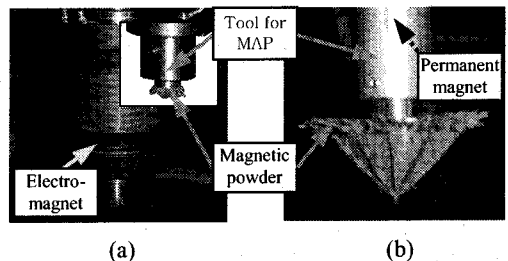


Fig. 2 Tools of magnetic assisted polishing for plane mirror surface(a) and spherical mirror surface(b)

자기연마 실험은 3 축 머시닝 센터에 피가공물을 고정 또는 회전시키고 Fig. 2 와 같이 자기연마 공구를 이용하였다. 가공압력은 자성지립이 자극으로 흡인하는 자력과 공구의 고속회전에 의한 원심력의 합벡터에 의해 생성된다. 자력은 입경의 3 승과

자화율과의 곱에 비례하여 증가한다.⁴ Fig. 2 의 (a) 는 평면연마를 위해 사용된 전자석용 자기연마 공구이며, Fig. 2 의 (b)는 구면연마를 위해 사용된 영구자석용 자기연마 공구이다.

실험에서 피가공재로 사용된 초경합금(WC)은 Co 함유량이 18%와 6%인 재료를 사용하였으며, 평면 및 구면의 경면가공 실험에 각각 적용하였다. 연삭 스톨은 ELID 연삭을 위해 개발된 도전성 미립 다이아몬드 스톨을 이용하였다. 가공면의 표면 거칠기는 3 차원 표면구조 해석 현미경(NewView 5032, Zygo)을 이용하여 측정하였으며, 피가공 금형의 구면반경 R 은 AFP(Atomic Force Probe) 3 차원 표면형상 측정기를 이용하였다. 측정 Probe 는 팁반경이 0.5mm 인 루비이며 측정력은 0.3mN 이다.

한편, 렌즈 금형에서 요구되는 가공표면의 거칠기는 2-3nmRa 수준이므로 경면가공 후 요구정밀도의 기준으로 설정하였다.

2.1 ELID 연삭 실험

ELID 연삭가공 기술은 주철을 본드재로 한 연삭 스톨과 펄스파형을 발생하는 전원장치, 비선형 전해현상을 동반하는 수용성 연삭액을 이용하여 스톨표면에 산화피막을 형성시키므로써 스톨의 다이아몬드 입자와 피가공물 간의 피삭특성을 향상시키는 기술로서 나노 경면연삭에 활용되고 있다.

본 실험에서는 ELID 연삭공정과 복합가공의 가공효율을 정량화하기 위한 방법으로 평면의 기초 실험을 통해 경면가공 시간을 산출하였다. 기초 실험에서 얻어진 결과는 렌즈 면의 경면가공에 적용하였다. ELID 연삭과 자기연마를 조합한 가공공정을 결정하기 위한 예비실험으로서, 수평형 평면연삭기와 동일입도의 연삭 스톨을 이용하여 가로 이송거리를 변화시켜 연삭 속도에 따른 표면거칠기를 측정하였다. 가로 이송거리 이외의 조건은 Table 1 과 같다.

또한, 연삭스톨의 입도는 연삭면의 표면거칠기를 결정하는 주요 변수이므로 가공효율과 관련이 깊다. 로터리 평면연삭기에서 입도에 따른 연삭면 시편을 만들었다. 경면가공의 요구수준인 2-3nmRa 에 도달하기까지 연삭 조건과 자기연마 조건을 선정하고, 연삭시간과 연마시간을 합산하는 방법으로 가공효율을 평가하였다. 구면형상은 Table 2 의 초정밀 비구면 가공기에서 코어 직경 20mm 와 30mm 의 구면 금형을 입도 #4000 의 스톨로 연삭하여 시

편을 제작하였다.

Table 1 Surface grinding machine and experimental conditions

Grinding machine	Surface grinding machine (GS-CHF, KURODA co.ltd)	Rotary surface grinding machine(HGS-10A, HUIKOSHI.co.ltd)
Grinding Wheel	Cast iron bonded diamond grinding wheel φ150mm×width10mm: #325, #1200, #4000	Cast iron bonded diamond grinding wheel(cup type) φ143mm×width3mm: #1200, #2000, #4000, #8000
ELID conditions	Ip10A, Eo90V, ton/off 2μs	Ip10A, Eo60V, ton/off 2μs
Grinding conditions	Grinding wheel revolution: 1200/2000 min ⁻¹ , feed rate: 0.5-3.0μm/round,	Grinding wheel revolution: 1500 min ⁻¹ , Workpiece revolution: 500 min ⁻¹ , feed rate: 1.0-3.0μm/min

Table 2 High-precision aspheric grinder and experimental conditions

Grinding machine	High-precision aspheric grinder (ULG-100, Toshiba machine.co.kr)
Grinding Wheel	Cast iron bonded diamond grinding wheel: φ 75mm×W3mm: #1200, #4000
ELID conditions	Ip10A, Eo60V, ton/off 2μ s
Grinding conditions	Grinding wheel revolution: 3000 min ⁻¹ , Workpiece revolution: 500 min ⁻¹ , feed rate: 1.0μm/min

Table 3 Magnetic abrasive and MAP conditions

Surface profile	Flat (using electro magnet)	Spherical (using permanent magnet)
Tool shape	φ 12mm, Flat/Slit Type	Conical type with slit
Magnetic abrasive	Fe powder(φ 38μm/75μm under): 2g Diamond paste(#8000/#14000): 0.4g	
Polishing conditions	Tool revolution: 2000rpm Gap(tool and workpiece): 1.0mm Feed rate: 100mm/min	Tool revolution: 1442/1465rpm Gap(tool and workpiece): 0.8mm Workpiece revolution: 1020rpm

2.2 자기연마 실험

연삭 실험에서 얻어진 평면 및 구면의 시편을 자기연마하기 위해 Table 3 과 같이 자기연마 조건을 선정하고 연마재를 구성하였다. 철 분말은 입경 38 마이크로와 75 마이크로 이하, 다이아몬드 입자는 #8000 과 #14000 으로 각각 구분하여 연삭 시편의 표면거칠기에 따라 사용하였으며 일정량의 오일을 혼합하였다.

평면 연삭 시편의 자기연마는 1 회에서 6 회까지

연마하고 매회 표면거칠기를 측정하였다. 구면연마의 경우 연마 시 일정한 연마 압력을 유지하기 위해 공구와 피가공물을 같은 방향으로 회전시키고 공구의 원추면에 곡률을 주어 상대속도가 100mm/s로 일정하게 유지하도록 공구와 피가공물의 회전수를 조정하였다. 자기연마 공구는 금형의 구면형상반경 100mm에 대해 곡률 반경을 99.2mm로 설계하여 제작하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 평면 경면가공 실험

가공시간을 산출하고 연삭조건에 따른 가공면의 기초데이터를 얻기 위해 평면 연삭 및 연마 실험을 수행하였다. 수평형 평면연삭기에서 연삭속도를 나타낼 수 있는 연삭 조건은 가로이송 속도와 좌우 왕복이송 속도, 절입량 등이 있다. 좌우왕복이송 속도는 슷들의 원주속도에 따라 결정되는 것이 일반적이며, 절입량은 주로 슷들의 입도에 따라 설정되므로 연삭시간의 지표로서 가로 이송거리를 선정하였다. 연삭의 경우, 다듬질 면의 최대높이(PV, Peak to Valley)는 연삭방향의 산높이 h 와 연삭방향에 수직인 연삭흔의 깊이 h' 의 합으로 나타낼 수 있다.⁵

$$PV = h + h'$$

$$h = \frac{1}{4} \left(\frac{v}{V} \right)^2 \frac{(n_0 w)^2}{D}, h' = \frac{1}{4d_0} \left(\frac{w}{n_0} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 v 는 공작물속도, V 는 슷들의 원주속도, D 는 슷들의 직경, d_0 지립의 직경이다. $n_0 w$ 는 연삭방향으로 피가공재와 접하는 슷들의 접촉길이를 의미하고, w/n_0 는 연삭면 최소 가공흔의 폭을 의미한다. (1)식에서 연삭방향의 산높이 h 는 좌우 왕복속도에 의존하며, 연삭방향에 수직인 연삭흔의 깊이 h' 는 슷들의 입도 간격에 의해 결정된다. 실제의 평면연삭 작업에서는 연삭스틀의 폭에 비해 공작물의 폭이 큰 경우가 많으므로 가로 이송거리를 설정하여 한 지점에 대해 수회 반복하여 연삭하게 된다. 따라서 일정한 폭을 가진 슷들에 대해 가로 이송거리로 반복 연삭횟수를 설정할 수 있다. 이론적으로 동일 면을 9회 반복하도록 가로 이송거리를 설정하게 되면 1회 연삭한 표면에 비해 표

면거칠기 Ra 는 1/2로 줄어든다.^{5,6} Fig. 3은 가로 이송거리에 따른 Ra 와 PV값의 변화를 보여주고 있다. 실험에서 사용된 슷들은 폭 10mm, 입도 #1200였다. 가로 이송거리를 0.5mm에서 3.0mm까지 0.5mm 간격으로 변화시켰을 때 표면거칠기 Ra 는 $0.062\mu mRa$ 에서 $0.102\mu mRa$ 로 변하는 것을 확인할 수 있었다. PV값은 $1.57\mu mPV$ 에서 $1.98\mu mPV$ 사이의 분포를 보였다.

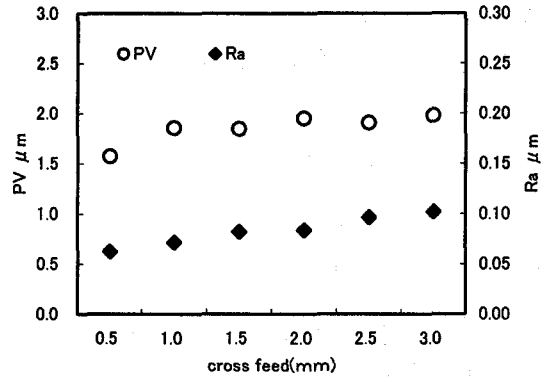


Fig. 3 Relation between cross feed and surface roughness

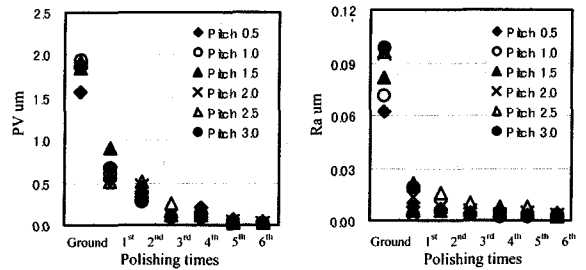


Fig. 4 Relation between polishing times and surface roughness

자기연마 효율은 연마재의 구성성분과 공구의 회전속도 및 자력, 연마시간에 따라서 변한다. 연마시간은 피가공물의 연마횟수를 기준으로 산출하였다. Table 3의 평면 연마조건에서 최적 연마횟수를 선정하기 위해서 가로이송 속도를 변화시켜 연삭면에 대한 자기연마 실험을 실시하였다. 원형의 자기연마 공구로 연마하는 경우 공구의 끝단부에서 자력이 집중되고, 공구의 원주속도 또한 끝단부에서 빨라지므로 연마율은 공구의 회전중심과 끝단부 간에 차이가 나게 된다. 표면거칠기는 회전

연마공구의 중심부와 외곽부에 대해서 각각 측정하고 측정데이터는 각 시편에 대해 평균하였다. 가로이송 속도를 0.5mm 에서 3.0mm 까지 변화시켜 얻은 연삭 시편에 대해서 6 회 연마하고 매회 측정하였다. Fig. 4 는 자기연마 횟수에 따른 표면거칠기의 변화를 보여주고 있다. 자기연마 전의 표면거칠기는 평균 1.8 μ mPV, 0.084 μ mRa 이었으나 6 회의 자기연마 후 평균 0.029 μ mPV, 0.003 μ mRa 의 경면을 얻을 수 있었다. 여기서, 가로 이송거리를 변화시켜 얻어진 연삭면에 대해서 연마면의 표면거칠기 PV 와 Ra 에 대해 최대 및 최소값의 차이를 각각 Δ PV 와 Δ Ra 로 정의하여 연마효율을 분석하였다. Fig. 5 는 Δ PV 와 Δ Ra 의 변화를 보여주고 있다.

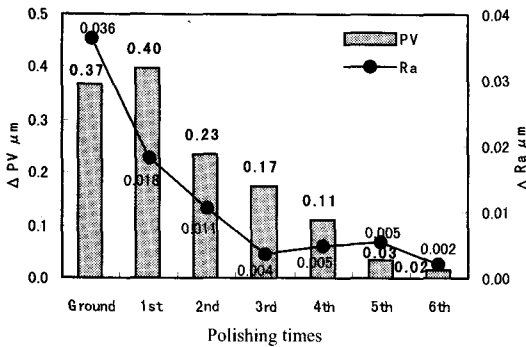


Fig. 5 Variation of Δ PV and Δ Ra to polishing times

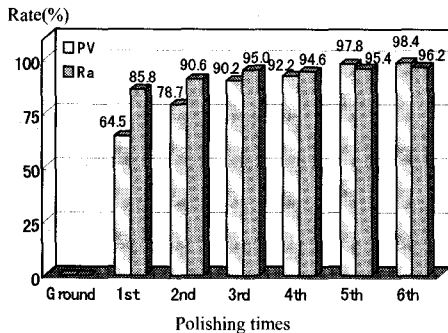


Fig. 6 Relation between polishing rate and polishing times

연마시간이 길어질수록 각 시편간의 표면거칠기 차이는 줄어들었다. Fig. 6 은 연마횟수에 따른 연마율을 백분율로 나타낸 그래프이다. 연마전 시편의 Δ PV 와 Δ Ra 는 각각 0.37 μ m 와 0.036 μ m 로 편차가 큰 반면 6 회 연마 후에는 Δ PV=0.016 μ m , Δ Ra=0.002 μ m 로 편차가 줄어드는 것을 알 수 있었

다. 또한 3 회 연마후 연마율은 90%이상이 되는 것을 확인할 수 있었으며, 3 회 이상 연마할 경우에 연마율의 변화는 미미하였다.

한편, 식(1)에서 h'는 스톨의 다이아몬드 입자간의 간격에 의해 발생하므로 입도 #1200, #2000, #4000, #8000 의 연삭스톨을 이용하여 로터리 평면연삭기에서 Table 1 의 조건에 따라 연삭하고, Table 3 의 조건에 따라 자기연마를 실시하였다. 렌즈 급형의 표면거칠기 요구수준으로 가정한 2-3nmRa 를 목표로 자기연마 회수를 설정하고 실험하여 Fig. 7 과 같이 경면가공 효율을 분석하는데 필요한 기초데이터를 얻을 수 있었다.

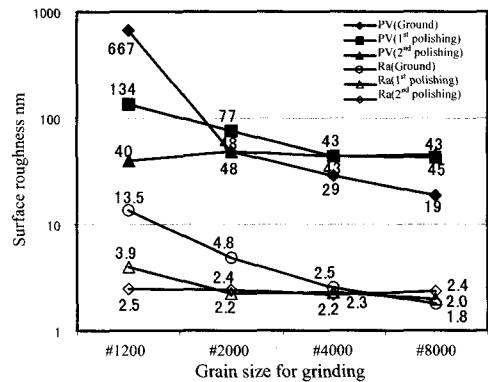


Fig. 7 Relation between surface roughness and grain size of grinding wheel

실험에서 연마재는 75 μ m 의 철분과 #8000 다이아몬드입자 및 오일을 섞어서 사용하였으며, 공작물과 연마공구간의 간격은 0.8mm 로 하였다. 연삭방식에 따라 입도 #1200 스톨을 사용한 경우, 수평형 평면연삭기는 1.5-2.0 μ mPV, 0.07-0.1 μ mRa, 로터리 평면연삭기는 0.67 μ mPV, 0.014 μ mRa 의 가공면을 얻을 수 있었다. 동일 입도의 연삭 스톨을 사용하는 경우에도 연삭 방식에 따라 연삭면의 표면거칠기는 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 스톨의 입도별로 연삭한 가공면에 대해 2 회의 자기연마를 수행한 후 측정된 결과, 0.02-0.05 μ mPV, 0.002-0.003 μ mRa 로 유리렌즈 급형에서 요구되는 수준의 경면가공이 가능하였다.

한편, Fig. 7 의 결과에서 #8000 다이아몬드입자를 이용한 자기연마는 입도 #4000 스톨을 사용한 연삭면에 대해서 표면거칠기의 개선이 미미하고,

#8000 슷돌을 사용한 연삭면은 자기연마 후 오히려 표면거칠기가 나빠지는 경향이 나타났다. 이것은 연마재 성분인 다이아몬드입자와 비교적 큰 입자의 철분 때문에 연마력에 의한 스크래치가 생성되는 것으로 추측되어 보다 미립의 다이아몬드입자와 철 분말을 사용하여 추가 실험하였다. 추가실험에서는 #14000 의 다이아몬드입자를 사용하고 38 μm 이하의 철분을 채로 걸러 연마재를 만들었다. 입도 #8000 을 이용한 연삭 시편의 경우 연삭 공정에서 2-3nmRa 의 경면이 형성되므로 실험대상에서 제외하고, 입도 #1200, #2000, #4000 의 연삭면에 대해서 연마재를 바꾸어 반복 실험하였다. 자기연마 조건은 앞선 실험과 동일하게 Table 3 의 조건에 따랐다. Fig. 8 은 추가 실험한 결과이다. Fig. 7 과 비교했을 때 다이아몬드 입자와 철분의 입자크기를 줄여도 표면거칠기의 변화는 관찰되지 않았다.

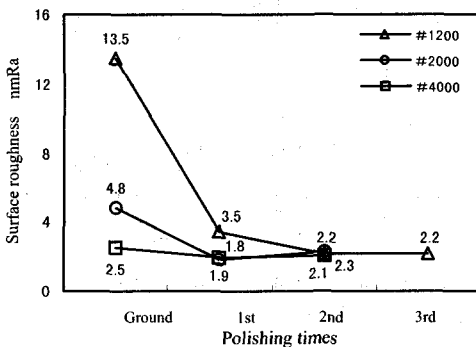


Fig. 8 Magnetic assisted polishing results in case of using smaller diameter of diamond particle and Fe powder than previous polishing experiment

3.2 경면가공 소요시간

ELID 연삭에 의한 경면가공과 ELID 연삭과 자기연마를 조합한 복합가공에 대해서 총 가공시간을 검토하였다. Table 4 는 2-3nmRa 의 표면거칠기를 얻기까지 두 공정의 순수가공 시간을 비교한 결과이다. 연삭스틀을 교체하는 등의 셋업 시간을 제외하고 입도 #325, #1200 또는 #2000, #8000 의 3 종류의 슷돌을 사용하였다. 한편, ELID 연삭과 자기연마를 이용하는 경우, Table 4 와 같이 A, B, C type 의 3 종류로 나누어 경면가공 시간을 산출하였다.

자기연마 시간은 ELID 연삭 시간에 비해 매우 짧은 시간(1%이하)에서 완료되었으며, ELID 연삭

단일공정에 비해 ELID+MAP 에 의한 복합가공의 가공시간이 짧은 것을 알 수 있다.

Table 4 Comparison of efficiency by mirror-surface machining process to 2 or 3nmRa

ELID grinding		ELID+MAP process	
#325/60 μm :20min. #2000/30 μm :15min. #8000/20 μm :15min. (grain size/total grinding depth: needed time)	50min.	A #325→#1200: 35 min. MAP 3 times: 3 min.	38min.
B #325→#2000: 35 min. MAP 2 times: 2 min.		37min.	
C #325→#1200→#4000: 45 min. MAP 2 times: 2 min.		47min.	

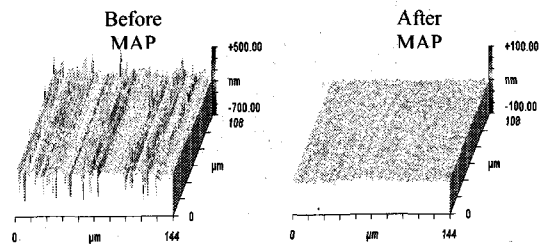


Fig. 9 ELID grinding surface using #1200 and magnetic assisted polished surface



Fig. 10 Magnetic assisted polished mirror surface to ELID grinded surface

따라서 높은 입도의 슷돌을 사용하지 않고 자기연마를 통해 경면가공을 마무리 하는 것이 연삭에서 소요되는 시간을 단축하여 보다 효율적인 가공방식이 될 것으로 판단된다. Fig. 9 는 입도 #1200

숫돌을 사용하여 ELID 연삭 시편에 대해 자기연마를 수행하고 3 차원형상측정기에서 측정한 결과이며, Fig. 10 은 자기연마 후의 시편 사진이다.

3.3 유리렌즈 금형의 경면가공

유리 렌즈 성형 금형의 제작에 있어서 곡면형상을 연삭 가공하는 데는 평면에 비해 상대적으로 장시간이 요구된다. 본 절에서는 앞서 제안한 복합가공을 적용하여 구면의 금형 코어를 가공하였다.

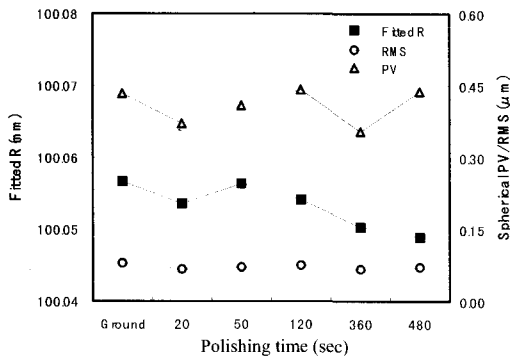


Fig. 11 Variation of spherical profile by polishing time for mold core of dia. 20mm

구면의 자기연마를 위해서는 연마면 전체에 균일한 연마력을 부여해야 한다. 구면의 피가공물을 공구의 회전축선상에 놓을 경우 연마시 구면형상의 변형을 피할 수 없다. 따라서 자기연마 공구를 Fig. 2(b)와 같이 설계하고 피가공재를 45도 기울여 회전시키고 피가공물의 회전중심축 및 원주에서 상대속도가 일정하도록 공구와 피가공물의 회전수를 구하여 자기연마 하였다.

Fig. 11 은 코어직경 20mm, 구면반경 100.057mm의 시편을 자기연마 한 결과이며, 연마시간에 따른 구면반경 R 과 형상정밀도 PV 및 RMS(Root Mean Square)의 변화를 나타내고 있다. 연마시간이 길어짐에 따라 구면반경 R 의 값은 100.049mm 로 초기 연삭면에 비해 약 8μm 작아졌다. 연마시간이 길어짐에 따라 구면반경이 변하는 것은 피가공물의 회전중심축과 원주에서의 상대속도차가 존재하기 때문인 것으로 사료된다. 형상정밀도 PV 와 RMS 는 연마시간에 따라 큰 변화는 보이지 않았다. 직경 30mm 렌즈 금형 코어의 자기연마는 공구의 상대

속도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 공구의 원추형상을 보정하여 자기 연마하였다. Fig. 12 는 직경 30mm 의 금형 코어를 연마한 결과로, 연마시간이 길어져도 구면반경 및 형상정밀도는 거의 변함이 없었다. PV 와 RMS 는 연마가 시작된 직후에 약간의 변화를 보인 후, 연마시간이 길어짐에 따라서 더 이상의 큰 변화는 없었다.

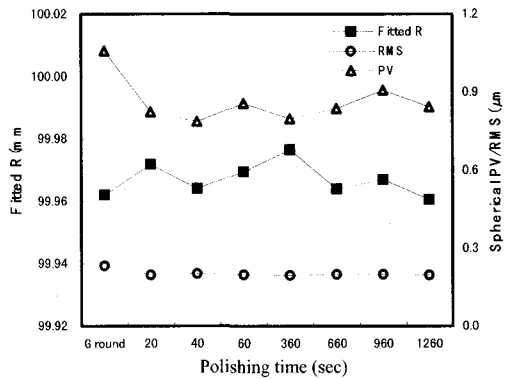


Fig. 12 Variation of spherical profile by polishing time for mold core of dia. 30mm

4. 결론

본 연구에서는 ELID 연삭법과 자기연마법을 이용한 복합가공을 제안하고 유리 렌즈 성형 금형에 적용하여 고효율, 고품질 경면가공 방법을 제안 및 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 입도 #1200 이상의 숫돌을 이용한 연삭 시편은 75 μm 이하의 철분과 #8000의 다이아몬드를 사용하여 자기연마 함으로서 0.048μmPV, 2.4nm Ra 이하의 경면을 얻을 수 있었다.

2) ELID 연삭에 의한 경면가공과 ELID+MAP 을 조합한 가공법을 평면의 경면가공에 적용하여 표면거칠기 2-3nmRa 까지 가공하는데 걸린 시간을 비교한 결과, ELID+MAP 을 조합한 복합가공으로 순수 가공시간을 26%까지 단축이 가능하였다.

3) 구면 금형의 경면가공에 있어서 금형의 구면형상을 전사하여 자기연마 공구를 설계하고, 구면 전체에 상대속도가 일정하도록 공구와 피가공재의 회전수를 계산하여 연마한 결과, 연삭공정에서 형성된 구면반경의 변화 없이 자기연마가 가능하였다.

후기

본 논문은 산업자원부 지역산업기술개발사업 (중점기술개발사업, 과제번호 10018016)의 위탁과 제인 “초정밀 자유곡면 가공을 위한 연삭공정 및 평가기술 개발” 사업결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Ohmori,H., Nakagawa,T.,“Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Materials by ELID (Electrolytic In-Process Dressing) Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels,” Annals of the CIRP,Vol.44,No.1,pp.287-290,1995.
2. Ohmori,H., Katahira,K., Nagata,J., Mizutani,M., Komotori,J.,“Improvement of Corrosion Resistance in Metallic Biomaterials by a New Electrical Grinding Technique,” Annals of the CIRP,Vol.51,No.1,pp.491-494,2002.
3. 安齋正博,須藤亨,大滝久規,尾花卓也,中川威雄, “ダイヤモンドペーストを用いた超硬合金の磁気研磨,”粉体および粉末冶金,Vol.39,No.6,pp.510-514, 1992.
4. 進村武男,浜野義高,山口ひとみ,“磁気研磨法による内面の精密バリ取りに関する研究,”日本機械学会論文集(C編),Vol.64,No.620,pp.1428-1434,1998.
5. 庄司克雄,“研削加工学,”養賢堂,pp.46-47,2004.
6. Lee,J.S., Saeki, M., Kuriyagawa, T., Syoji, K.,“A study on the mirror grinding for mold of a small aspherical lens,”Journal of the Korean Society of Precision Engineering,Vol.18,No.12,pp.82-87,2001.