마이크로 패턴이 형성된 글래스 몰드의 이형성과 투과율 향상을 위한 MR 연마공정의 적용

Application of MR polishing to improve the transmittance and separation of glass molds with micro patterns

*이정원[1], #김동우[1], 신봉철[1], 조명우[2], 제태진[3]
*J. W. Lee[1], #K. D. Kim(kdw525@gmail.com)[1], B. C. Shin[1], M. W. Cho[2], T. J. Je[3]
[1] 인하대학교 기계공학과, [2]인하대학교 기계공학부, [3]한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : MR Polishing, Glass mold, Surface roughness, Transmittance

1. 서론

나노 임프린트 리소그래피 공정은 마이크로 스케일의 패턴을 갖는 제품의 대량 생산에 사용되는 기술로 컴팩 디스크(CD) 제작부터 최근에는 의료용 및 반도체 분야등의 다양한 분야에 적용을 위한 연구가 진행 중이다. 나노 임프린트 공정에는 여러 가지 타입으로 그 중 UV 나노 임프린트 리소그래피 기술은 광경화성 소재를 마스터 mold를 통해 광경화 반응으로 형상을 제작하는 방법으로 상온 저압에서 수십 마이크로에서 수십 나노의 채널 및 형상을 제작할 수 있는 기술이다.[1] UV 나노 임프린트 리소그래피 공정에서의 핵심은 나노 단위의 형상 정밀도를 가지는 mold의 제작이 중요하다. 마스터 mold 표면 상태에 따라 형상이 성형품에 전사되어 나타나는 최종성형품의 품질에 큰 영향을 미친다.[2] 마스터 mold의 재료로는 크게 폴리머와 glass 재료로 나뉜다. 폴리머 mold는 가공이 용이하나 표면 경도가 낮음에 따른 파손 및 내구성이 떨어져 투과성이 저하됨에 따라 사용상 제한이 있다. 그러나 glass mold의 경우에는 투과성 및 내구성이 뛰어나지만 가공이 어려우며 가공 후 표면 및 투과율 저하의 단점을 지니고 있다. 따라서 본 논문에서는 glass mold 제작시 발생되는 문제를 해결 하기위해 전자기적으로 유체의 농도를 조절하는 자기유변유체를 이용한 연마을 통하여 glass mold의 제작 후 저하되는 표면거칠기 및 투과율 회복에 관한 연구를 수행하였다.

2. MR polishing 공정 및 시스템

자기유변유체(MR 유체)는 자기장에 민감한 철(Fe) 성분 입자들이 떠다니는 현탁액이며 자기장의 세기에 따라 유동 특성이 실시간으로 제어되는 스마트(smart) 재료 중 하나이다.

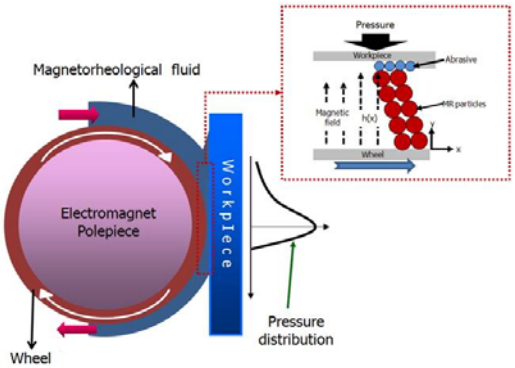

Fig. 1 The figure of polishing principle using a Magnetorheological

Fig. 1 와 같이 MR유체는 2~6㎛의 직경의 자성입자, 연마입자 그리고 운반유체인 DI-water로 구성되어 있으며, 여기에 소량의 분산안정제가 첨가된다. 첨가되는 분산안정제로서 MR 유체의 점성을 증가시켜 혼합을 조절해주는 글리세롤(glycerol)과 부식방지의 역할을 하는 Na_2CO_3를 첨가한다.[3] MR 유체를 이용한 연마는 자장의 분포 및 세기에 따라 MR 유체의 항복응력을 상승시켜 가공물의 재료를 제거하는 원리이다. 따라서 MR 유체를 이용한 연마공정 중 재료제거율은 유체윤활의 기본적인 방정식인 프레스톤 방정식(1)과 같다.

$$R = kPVU \qquad (1)$$

Fig. 2는 연마 시스템의 그림으로 MR 유체가 자기장의 영향을 받는 휠에 부착이 되어 회전하는 동안 연마가 진행이 되고 휠 위로 순환 Pump에 의해 DI-water와 연마 슬러리를 공급한다. Table 1과 같이 X-Y 축 및 가공물이 고정되는 로테이션 축으로 구성되어 각각 리니어 스테이지로 구현되었다. 가공물은 로테이션축 스테이지에 진공 흡착 방식으로 고정되고 polishing 공정초기 set-up에 대한 정밀도는 연마공정의 효율성을 좌우되기 때문에 레이저 센서를 사용하여 가공물의 고정 중에 생기는 틸팅(Tilting)을 측정 및 보정하였다.

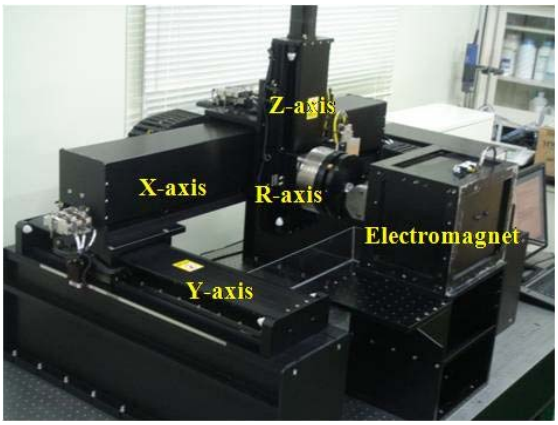

Fig. 2 An experimental set-up for MR polishing

Table 1 Specifications of MR polishing system

Axis	X-axis stage	Y-axis stage	Z-axis stage	Rotation stage
Travel	500mm	500mm	250mm	360°
Resolutions	1㎛/count		5㎛/count	1.2arcsec/cts
Accuracy	±15㎛/full travel		±10㎛/full travel	±15arc-ses
Repeatability	±2㎛/full travel		±2㎛/full travel	1.3arc-ses
Maximum Velocity	500mm/sec		50mm/sec	100rpm

3. Mold의 미세 패턴제작 및 연마 실험

3.1 파우더블라스팅을 이용한 미세패턴제작

실험을 위하여 미세 패턴 형상 가공에 많이 적용이 되는 파우더블라스팅을 이용하여 300㎛ 크기 마이크로채널패턴을 가지고 있는 glass mold를 제작하였다. 실험에 사용되는 glass mold재료로 광학적 특성 및 높은 투과율을 지니고 있는 가공 전 표면거칠기가 13nm인 fused silica glass로 45mm×45mm×2mm로 제작하여 실험을 수행하였다. Glass mold의 패턴 형상 및 표면 거칠기의 결과 분석은 비접촉식 3차원 형상 측정기(WYCO NT-2000)와 3차원 비접촉식 조도 측정기(ZYGO NV 6200)을 이용하여 측정을 통하여 분석하였다.

그 결과 Fig 4와 같이 가공 횟수가 증가할수록 폭과 가공깊이가

증가되나 glass mold의 표면거칠기는 더욱 거칠어짐을 확인하였다. 이러한 현상은 가공 시 분사재의 입자가 계속적인 충돌로 인하여 가공면에 발생되는 미세크랙이나 충격에 의해 발생된 잔류응력의 영향으로 볼 수 있으며 이로 인해 투과율의 저하되게 된다.

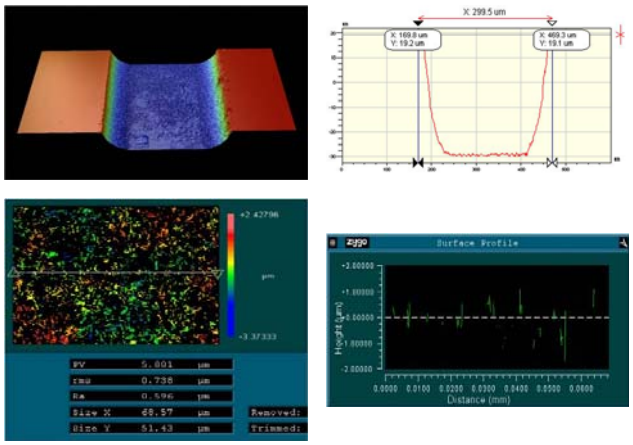

Fig. 4 3-dimensional shape and surface roughness of 300㎛ channels using powder blasting

파우터블라스팅으로 가공된 glass mold의 표면 및 투과율 향상을 위해 MR polishing공정을 수행하였다.

MR polishing에서 표면 향상과 투과율 회복을 위한 중요한 영향을 미치는 요소로 휠 회전속도와 자기장, 연마시간, 가공깊이의 변수 연마재의 종류 등이 있는데 본 연구에서는 연마시간에 따른 변화를 분석 하였다.

실험 조건은 Table 2와 같이 MR 유체를 조성하였고 나노입자들이 분포되어 있는 나노 세리아 슬러리 연마제를 사용하였다. 연마 조건으로 휠 회전속도는 250rpm, 자기장의 세기는 2A, 가공깊이는 0.5mm로 조건을 선정, 연마시간은 5분, 10분, 20분 간격으로 변경하여 표면 향상 및 투과율 회복을 위한 연구를 수행하였다.

Table 2 Comparison of MR fluids

CI-powder	DI-water	Na_2CO_3	Glycerin
50wt.%	48wt.%	1wt.%	1wt.%

4. Mold의 표면거칠기 및 투과율 측정

4.1 Glass mold의 표면 거칠기

Glass mold의 MR polishing 공정 후 측정 결과 연마 시간이 증가 할수록 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있다. 초기에는 급격히 표면 거칠기가 회복되고 있지만 10분에서 20분 사이에서는 크게 변화가 없었다. 이러한 결과는 초기에 mold 표면의 크랙이 제거됨에 따라 표면거칠기가 향상 되나 이후에는 표면 내부에 잔류하고 있는 크랙이 조금씩 제거되는 것으로 사료된다.

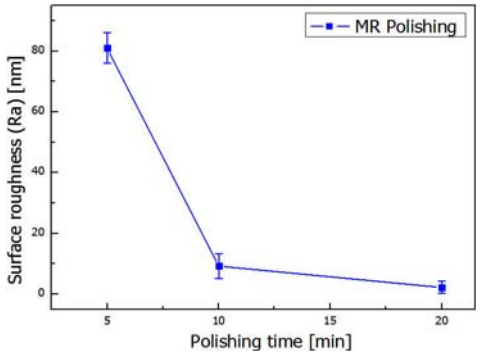

Fig. 5 Result of surface roughness according MR Polishing (Ra)

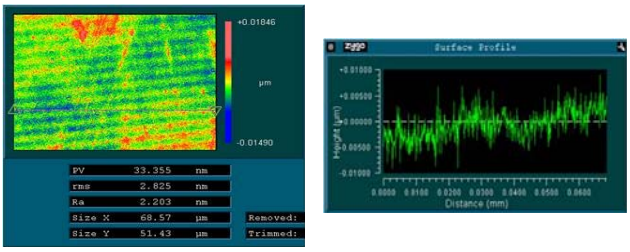

Fig. 6 Machined shape of fused silica glass surface roughness by MR polishing (Ra=2.203nm)

4.2 Glass mold의 투과율

Fig. 7은 MR polishing 공정 수행 후 glass mold의 투과율 측정 결과를 보여주고 있다. 측정 결과 미세 패턴 공정에서 MR polishing공정을 통해 가공 전 재료의 투과율까지 회복됨을 알 수 있다. 특히 자외선과 가시광선 대역에서 많이 향상이 됨을 알 수 있다. 이는 UV 나노임프린트에 사용되는 glass mold 제작 후 자외선과 가시광선 대역의 투과율 회복을 위한 공정으로 MR polishing 공정이 상당히 효과적임을 알 수 있다.

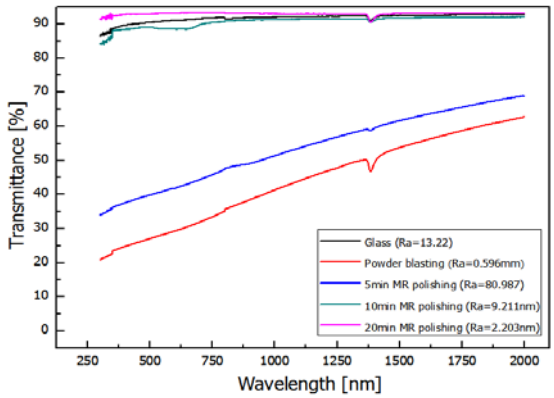

Fig. 7 Transmissivity of Fused silica glass

5. 결론

본 실험에서는 sub surface damage를 최소화 하며 mold의 표면 및 투과율 회복을 위한 공정으로 MR polishing을 활용하였다. 실험 결과 미세 형상 제작 후 미세크랙으로 저하된 mold의 표면거칠기 및 투과율을 연마시간에 따른 실험으로 가공전의 투과율까지 회복되었다.

향후 다양한 실험 변수와 지속적인 실험 및 분석을 통하여 연마조건을 도출한다면 다양한 마이크로채널 및 형상이 제작된 glass mold의 표면 및 투과율 회복이 충분히 가능하리라 예상된다.

후기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 “마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반기술개발”의 제 4세부 “기능성 초정밀 핵심 요소부품 제조 초정밀 금형 기반기술 개발”의 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 정준호, 신영재, 이응숙, 황경현, "나노임프린트 리소그래피 기술 동향," 한국정밀공학회지, 20, 15-22, 2003
2. 강신일, "Nanoimprint Lithography 기술의 이해," 대한전자공학회, 33, 39-48, 2006
3. Kim. D. W, Lee. J. W, Cho. M. W, Shin. Y. J, Xu. J, Lee. K. J, Shin. S. Y and Cho. W. S, "Ultra precision polishing of Si_3N_4 ceramics using magnetorheological fluids and diamond abrasive," Journal of Ceramic Processing Research, 10, 290-295, 2009.