

Powder Blasting을 이용한 유리의 미세 선형 홈 가공시  
노즐 주사 횟수의 영향  
Effect of the Number of Nozzle Scanning in Micro-Line Grooving  
of Glass by Powder Blasting

박 경호\*, 김 광현\*, 최 중순\*, 박 동삼\*\*

\*인천대학교 기계공학과 대학원, \*\*인천대학교 기계공학과

Abstract

The old technique of sandblasting which has been used for decoration of glass surface has recently been developed into a powder blasting technique for various materials, capable of producing micro structures larger than  $100 \mu\text{m}$ . This paper describes the performance of powder blasting technique in micro-line grooving of glass and the effect of the number of nozzle scanning on the depth and width of line groove. Experimental results showed that increasing the no. of nozzle scanning resulted in the increase of depth and width in grooves. Increase of width which may cause several problems in the precision machining results from wear of mask film.

Keywords : Powder blasting, Glass, Micro-line groove, Nozzle scanning, Masking process

1. 서 론

파우더 블라스팅(powder blasting) 혹은 미립 분사가공(micro abrasive jet machining)은 고압의 가스에 의하여 가속된 미소 입자들을 노즐로부터 고속으로 분사하여 입자들의 충격력에 의하여 재료를 가공하는 가공방법이다. 이와 유사한

가공방법으로서 샌드 블라스팅(sand blasting)이 오래 전부터 사용되어져 왔는데 주로 페인트의 제거, 스케일 제거, 버제거 등의 표면세정이나 표면 다듬질 및 유리 장식품 가공 등의 비교적 거친 가공 용도로 사용되어져 왔다.

최근 여러 종류의 평판 디스플레이 등이 개발됨에 따라 수십 혹은 수백 마이크로미터 단위의 구조물 성형을 위한 고정밀도의 기계적 에칭(etching) 기법이 연구되고 있는데 파우더 블라스팅 기법이 아주 효율적 방법으로 인식되기 시작했으며 연구 또한 활발히 진행되고 있다. [1]~[7] 유리에 대한 미세가공 기법의 개요를 Table 1에 나타내었는데 [7] 예를들어 얇은 유리기판에 수만 개의 미소구멍을 가공해야할 경우 이들 구멍의 고속 대량 가공에는 파우더 블라스팅 기법이 가장 효율적으로 응용될 수 있을 것으로 보인다.

따라서, 본 연구에서는 반도체나 전자제품 및 액정 등에 많이 사용되고 있는 유리의 미세 형상 가공을 목적으로 파우더 블라스팅 가공법을 도입하여 미세 선을 에칭하는 기법을 개발하고자 한다. 이때 파우더 블라스팅시의 공정제어 변수들, 예를들어 분사압력, 분사재의 재질, 분사재 입자의 크기, 분사재의 밀도, 노즐의 높이, 노즐의 주사(scanning) 횟수 등이 형상의 정밀도나 형상성형 과정에 큰 영향을 미치게 되는데 본 연구에서는 그러한 공정 변수들 중에서도 노즐의 피가공물에 대한 주사 횟수가 형상성형에 미치는 영향을 분석하는데 주안점을 두고자 한다. 파우더 블라스

팅용 유리시편을 준비하는 과정에서의 마스크 공정은 기존 화학적 에칭용 마스크 공정을 적절히 응용하였다.

Table 1 Glass micromachining techniques[7]

	Min. feature size	Max. depth	Aspect Ratio	Mask
Drilling	800 $\mu\text{m}$	>1mm	10	No
Milling	500 $\mu\text{m}$	>1mm	10	No
Laser	100 $\mu\text{m}$	>1mm	25	No
Ultrasonic drilling	75 $\mu\text{m}$	>1mm	10	No
Electrochemical discharge drilling	50 $\mu\text{m}$	>1mm	15	No
Photosensitive glass	50 $\mu\text{m}$	>1mm	20	Yes
Powder Blasting	<50 $\mu\text{m}$	>1mm	2.5	Yes
HF etching	1 $\mu\text{m}$	>1mm	1	Yes
RIE etching	0.5 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	5	Yes

## 2. 파우더 블라스팅의 기본원리

파우더 블라스팅에 의한 가공법은 고속의 공기나 가스에 의하여 가속된 수 $\mu\text{m}$  ~ 수십 $\mu\text{m}$ 의 미세 저립들이 80-200m/s의 고속 고밀도로 시편에 충돌되면서 미세가공을 하는 것으로 기본적으로는 기계적 에칭(mechanical etching)의 한 가공법이다. Fig. 1은 파우더 블라스팅의 기본 가공원리를 나타낸 것으로 피삭재가 마스크(mask)로 덮여있는 상태에서 노즐의 전후 혹은 좌우 주사(scanning)에 의하여 가공이 이루어지게 된다. 이때 피삭재는 마스크의 형태에 따라서 가공이 이루어지므로 복잡한 형상이나 아주 작은 형상도 쉽게 가공할 수 있다. 가공조건 변수로는 분사압력, 분사속도, 저립의 재질과 크기, 저립의 밀도, 노즐의 주사속도나 주사횟수 등이 있으며 가공의 정밀도와 가공능률 향상을 위해서 적절한 조건을 선택하지 않으면 안된다.

이 가공법은 각각의 미세저립의 충돌에 의한 미세가공의 집적된 형태이기 때문에 칩핑이나 크랙 및 열발생이 적으므로 유리나 세라믹, 실리콘 및 수정 등 경취재료의 정밀 미세가공에 아주 적

합한 가공방법이다.

한편, 파우더 블라스팅의 경우 대부분은 가공물에 마스크를 입히는데 이 과정을 마스크 공정이라고 하며 이는 라미네이팅(laminating), 노광(exposure) 및 현상(develop)의 3공정으로 구성된다.

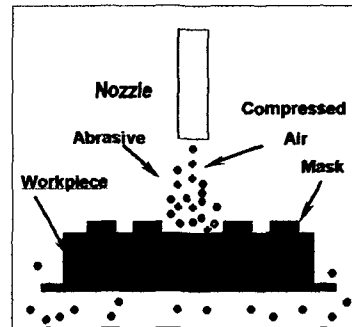


Fig.1 A schematic impression of powder blasting

## 3. 실험방법

### 3.1 시편의 마스크

파우더 블라스팅을 이용한 미세 홈 가공의 전 공정으로서 마스크 작업이 필요하며 다음과 같은 방법으로 시편을 준비하였다.

#### 3.1.1 가공시편의 재질 및 형상

미세홈을 형성시키기 위한 시편의 재질은 유리의 일종인 soda-lime 유리로 가공성이 비교적 우수한 재질이다.

또한, 가공 목표 형상은 Fig. 3에서 보인 형태대로 선의 가공 폭은 각각 50 $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$  및 100 $\mu\text{m}$ 로, 선의 길이는 1.6mm, 각 선의 피치 간격은 0.4mm로 하였다.

#### 3.1.2 패턴 필름의 제작

실제 가공하고자 하는 형상대로 캐드를 이용한 도면작업을 수행하고 이를 이용하여 후 공정에서 사용될 노광을 위한 패턴 필름을 제작하였다.

#### 3.1.3 시편의 마스크

시편인 유리에 마스크 필름을 입히는 라미네이

팅 공정의 개요도를 Fig. 2에 나타내었다. 상하 롤러 사이에 유리와 필름을 일정속도로 공급하면서 적정 압력과 온도조건을 유지하면 최종적으로 유리에 마스킹 필름이 균일하게 밀착이 된다. 이때 사용된 필름의 재질은 ORDYL사의 드라이 필름의 일종인 BF400 계열이다.

라미네이팅이 완료된 상태에서 이미 제작된 패턴 필름을 이용하여 로광기에서 시편에 평행 UV를 쬐이면 마스킹 필름이 가공하고자 하는 부위만 부분적으로 감광이 되어 화학적 기계적 성질이 변하게 된다.

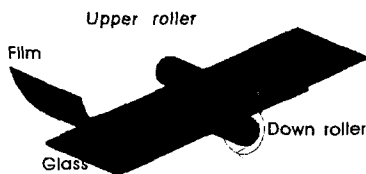


Fig. 2 Laminating process

노광이 끝난 후 적정온도에서 일정한 시간동안 약 알칼리 현상액에서 현상을 하면 최종적으로 가공하고자 하는 패턴이 마스킹 필름상에 나타나면서 시편 준비가 완료되며 Fig. 3은 현상까지 완료된 시편의 형상을 나타낸 사진이다.

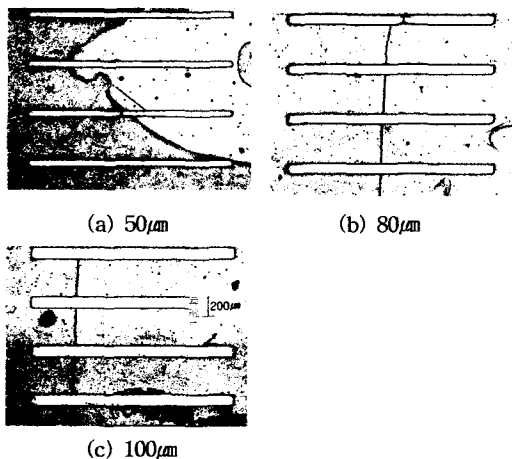


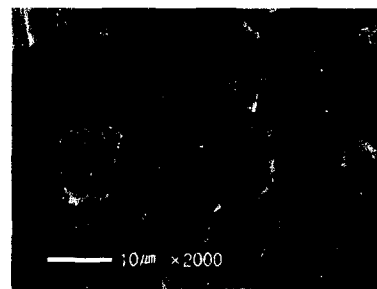
Fig. 3 Photographs of masking patterns

현상이 끝난 후의 각 선의 폭을 측정된 결과 각각 60µm, 90µm 및 110µm로 나타났는데 이는 노광 및 현상과정에서 선 폭이 약간 증가한 것을 의미한다.

### 3.2 분사입자

본 실험에서 사용된 저립은 고품위 미분 연마재로서 반도체나 정밀기계 부품, 세라믹, 자성재료 및 광학유리 등의 초정밀 가공이나 연삭, 연마, 래핑 및 폴리싱에 사용되는 WA계통의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자로 크기는 #800 이다.

Fig. 4는 실험에 사용된 분사입자의 SEM 사진을 나타낸 것으로 그 크기는 약 18~22µm로 관찰되었다.



(a) ×2000



(b) ×5000

Fig.4 SEM photographs of abrasive WA800

### 3.3 실험 조건 및 방법

본 실험에서 사용된 파우더 블라스팅 공정 변수들은 Table 2와 같이 설정하였으며 노즐 주사

횡수를 5, 10, 15 및 20회로 변화시키면서 각 선의 선폭 변화와 가공깊이를 정밀 측정하였다. 기타의 공정변수들은 일정한 상태로 유지하였다.

Table. 2 Parameters for powder blasing

Nozzle diameter	8mm
Nozzle X speed	50mm/s
Nozzle Y speed	100mm/s
X pitch	5mm/s
Nozzle height	100mm
Number of scanning	5, 10, 15, 20

한편, 마스크링 상태 및 홈 가공 후의 전체적인 형상분석을 위하여 공구현미경(Leica)을 사용하였다. 공구현미경에 CCD카메라를 부착하여 관찰된 형상은 Data translation사의 DT3153 화상처리보드를 통하여 PC에 입력하였으며 이를 이용하여 최종 형상 및 크기들을 분석하였다.

또한, 형상의 미세측정을 위하여 비접촉식 3차원 형상측정기(WYKO NT-2000)를 사용하였으며 형상분석을 위한 프로그램은 WYKO Vision 32를 사용하였다. SEM 사진은 JEOL JSM- 5200 Scanning micro scope를 이용하여 촬영하였다.

#### 4. 실험 및 결과분석

##### 4.1 가공형상분석

시편에 가공된 선형 홈의 형상을 35배로 확대하여 촬영한 SEM 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림은 원래 50 $\mu$ m을 목표로 했으나 마스크링 작업 후 최종적으로 폭이 60 $\mu$ m로 나타난 Fig. 6 (a)의 시편에 대하여 노즐을 15회 주사했을 때의 가공 후 형상으로 기타 시편에 대한 SEM 사진 결과도 거의 유사한 형태를 나타내었다.

한편, Fig. 5의 가공 형상에 대하여 WYKO NT-2000와 WYKO Vision32를 이용한 3차원 정밀 형상 측정 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

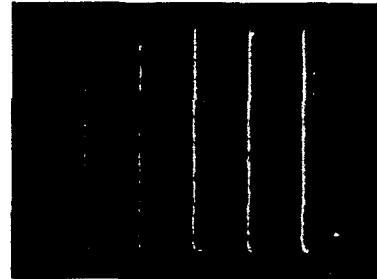
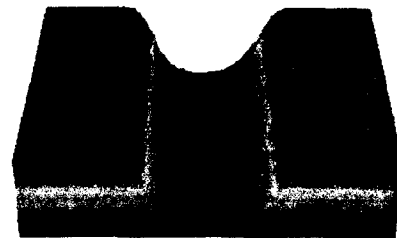
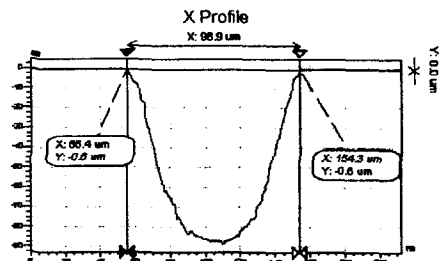


Fig. 5 SEM Photograph of line groove (X35)

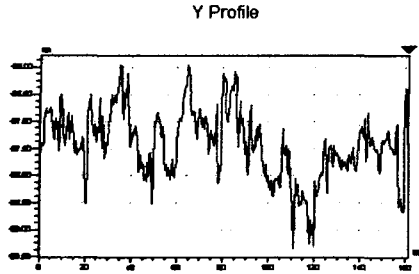
그림 (a)는 3차원 형상을, (b)는 선형 홈의 x 방향 단면 형상을 나타낸 것으로 이들 그림에서 전체적 단면형상은 거의 U자형을 이루고 있음을 알 수 있다. Fig. 6 (c)는 홈의 중앙 최저부에서 y 방향으로의 단면형상을 나타낸 것으로 홈의 표면 거칠기를 나타낸 것으로도 해석할 수 있다. 가공 후의 크기를 살펴보면 원래 마스크링 후 60 $\mu$ m였던 선의 폭이 가공 후 약 100 $\mu$ m 전후로 나타났는데 이러한 폭의 증가는 마스크링 필름의 마멸에 기인하여 나타나는 것으로 판단된다. 최대 가공 깊이는 약 90 $\mu$ m 전후로 나타났다.



(a) 3 dimensional view



(b) X-profile



(c) Y-profile

Fig. 6 Micro groove shape

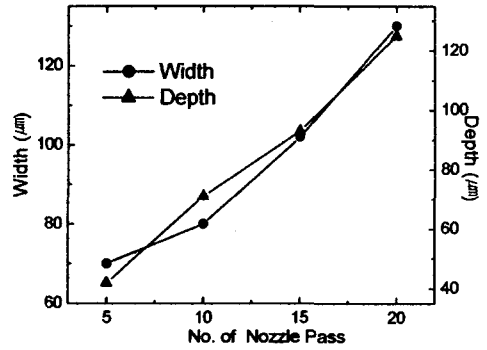
이러한 실험 결과로부터 문제가 될 수 있는 것은 원래 가공 목표 폭이  $50\mu\text{m}$ 임을 고려할 때 마스크 공정에서 약  $10\mu\text{m}$ , 파우더 블라스팅에서 약  $40\mu\text{m}$  정도의 가공 오차가 나타나는 점이다. 따라서, 목표 형상치에 대하여 마스크 공정에서 이를 고려한 마스크 변수 선정, 블라스팅 공정에서의 적절한 공정조건 선정이 아주 중요하다는 것을 의미한다. 이러한 공정 변수 선정은 보다 다양한 실험을 통한 데이터 베이스 구축으로 충분히 가능하다고 판단된다.

#### 4.2 노즐 주사 횟수의 영향

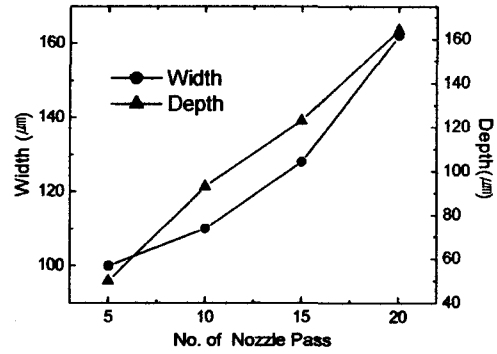
노즐의 주사횟수가 가공된 선형 홈의 형상에 미치는 영향을 분석한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7 (a)는 원래 노광 후 선의 폭이  $60\mu\text{m}$ 인 시편에 대한 실험 결과로 노즐의 주사 횟수가 증가할수록 홈의 폭과 깊이가 증가하는 현상을 보여주고 있는데 특히 가공깊이는 주사횟수에 거의 비례하여 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 홈의 폭은 노즐 주사횟수가 증가함에 따라 2차함수적으로 증가하고 있다. 그 후 급격하게 커지고 있다. 이러한 경향은 모든 시편에 대해서도 거의 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

한편, 홈의 폭과 깊이의 증가량을 보면 마스크 상태의 선폭이 감소할수록 동일 주사횟수에 대해서도 가공깊이 증가량이 어느정도 작아지고 있음을 알 수 있는데 이는 가공하고자 하는 홈의폭이

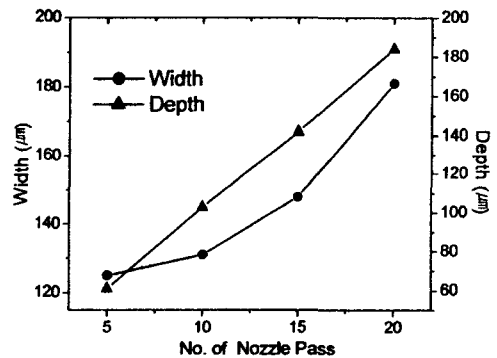
작을수록 Wensink[7]가 언급한 홈의 측벽에 대한 입자의 충돌각도가 작아짐에 따라 나타나는 "blast lag" 효과에 의한 것으로 판단된다.



(a) line width  $60\mu\text{m}$



(b) line width  $90\mu\text{m}$



(c) line width  $110\mu\text{m}$

Fig.7 Effect of No. of nozzle pass on groove shape

반면에 가공 폭의 증가경향을 보면 마스크 상태의 흠 폭이 작아질수록 가공폭의 증가경향은 크게 나타나는데 이는 미소 패턴일수록 마스크 과정에서 정확한 노광이 어려워 목표로 하는 선평의 외부까지 노광이 미소하나마 이루어져 필름의 마모가 촉진된데 따른 결과가 아닌가 생각된다.

이상의 실험결과로부터, 파우더 블라스팅에 의한 미세 가공시 가공깊이를 깊게 하기 위해서는 노즐 주사횟수를 증가시키면 되나 나타나는 문제점으로는 흠의 폭도 크게 증가한다는 것이다. 이러한 폭의 증가는 기본적으로 미립자 분사에 의한 마스크 필름의 마멸에 기인하는 것으로 일정 폭을 유지하면서 깊은 흠이나 구멍 가공을 위해서는 입자분사에 대한 마멸 저항력이 큰 마스크 필름을 사용해야 된다는 것을 나타내고 있다. 또한, 폭의 증가를 고려하여 처음부터 목표로 하는 패턴 형상을 작게 주는 방법을 사용한다면 목표치 폭을 갖는 형상을 정확히 가공할 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

파우더 블라스팅을 이용한 미세홀의 가공시 노즐의 주사횟수가 가공형상에 미치는 영향을 실험적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기계적 에칭을 위한 선평 60 $\mu$ m, 90 $\mu$ m 및 110 $\mu$ m까지의 마스크 작업이 가능하다는 것을 확인하였다.
- (2) 가공된 선평 흠의 형상은 전체적으로 U자형으로 나타났으며 원래 목표로 했던 가공 폭보다 커지는 현상이 나타났는데 이는 주로 마스크 필름의 마멸에 기인한다.
- (3) 노즐의 주사횟수가 증가할수록 가공깊이는 주사횟수에 거의 비례하여 증가하나 흠의 폭은 주사횟수 증가에 따라 거의 2차 함수적으로 증가하였다.

- (4) 마스크 상태에서의 선평이 커질수록 동일 주사횟수에 대한 흠의 가공깊이가 증가하는 경향을 보였으나 흠의 폭의 절대적 증가량은 줄어들었는데 이는 "blast lag" 효과와 미세 패턴에 대한 마스크 공정의 어려움에 어느 정도 기인한다.
- (5) 목표치 형상을 정확하게 가공하기 위해서는 공정 변수들이 가공형상에 미치는 영향에 대한 데이터 베이스 구축이 전제되어야 한다.

## 참 고 문 헌

1. Kinbara and Kuritagawa, " グラシツーカーボンのマイクロ穴 あけ加工 ", 低粒加工學會 學術講演會 論文集, E11, pp. 405 ~ 408, 19951.
2. Kuriyagawa, "アブレイシブ・ジェット・マシニングの動向", 低粒加工學會 學術講演會 論文集, E9, pp. 401 ~ 402, 1995
3. 최중순, 박경호, 박동삼, "Abrasive Jet Machining을 이용한 유리의 미세홀 가공", 한국정밀공학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp963 ~ 966, 2000
4. P.J. Slikkerveer, P.C.P. Bouten, F.H. in Veld. H. Scholten, "Erosion and damage by sharp particles", Wear, 217, pp 237~250, 1998
5. F.H.in't Veld, P.J. Slikkerveer, "Towards prediction of flux effects in powder blasting nozzles", Wear, 215, pp 131~136, 1998
6. P.J. Slikkerveer, P.C.P. Bouten, F.C.M. de Haas, "High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting", sensors and Actuators 85, pp 296~303, 2000
7. Henk Wensink, U.W. Berenshot, Henri V. Jan seu, Miko C. Elwenspoek, "High Resolution Powder Blast Micromachining", proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Sustenus (MEMS)2000, pp. 769~774, 2000