

# Micro Abrasive Jet Machining 을 이용한 유리의 미세 홈 가공

최종순\*, 박경호\*, 박동삼\*\*

## Micro Grooving of Glass Using Micro Abrasive Jet Machining

Jong Soon Choi\* , Keong Ho Park\* , Dong Sam Park \*\*

### ABSTRACT

Abrasive jet machining(AJM) process is similar to the sand blasting, and effectively removes hard and brittle materials. AJM has applied to rough working such as deburring and rough finishing. As the needs for machining of ceramics, semiconductor, electronic devices and LCD are increasing, micro AJM is developed, and has become the inevitable technique to micromachining. This paper describes the performace of the micro AJM in micro grooving of glass. Diameter of hole and width of line in grooving is 80µm. Experimental results showed good performance in micro grooving of glass, but the size of machined groove increased about 2~4µm. With the fine tuning of masking process and compensation of film wear, this micro AJM could be effectively applied to the micro machining of semiconductor, electronic devices and LCD

**Key Words** : Micro Abrasive Jet Machining (미립분사가공), Micro Abrasive (미립분사재), Grooving (홈가공), Masking Process (마스킹 공정)

### 1. 서론

최근 반도체용 부품, 마이크로머신용 부품 및 각종 센서 등의 개발이 활발히 진행되고 있는데 이를 위하여 세라믹이나 유리 등의 경취재료의 미세가공 기술이 절실히 요구되고 있다. 그러나, 이들 경취재료는 고정도, 고취성 및 고융점의 것이 많기 때문에 이전부터 사용되어져 오던 가공법인 에칭(etching), 레이저 가공, 전자빔 가공, 방전가공 및 전해가공 등의 열적, 화학적 가공법은 미세가공시 가공변질층이 발생하는 등의 문제점이 있으며, 초음파 가공, 연삭, 연마 등의 기계가공에서도 가공능률과 정밀도 면에서 한계가 있다.

미세가공을 위한 연구가 국내에서도 최근 활발히 진행되고 있는데 이응숙 등<sup>1)</sup>은 절,연삭에 의한 미

세가공기술 및 사례들을 소개하였으며 주종남 등<sup>2)</sup>은 방전가공과 초음파 가공에 의한 공구 성형 및 미세구멍가공 사례들을 발표하였다. 또한, 윤경구 등<sup>3)</sup>과 박순섭 등<sup>4)</sup>은 레이저와 LIGA 를 이용한 미세가공 사례들을 소개하였다. 그러나, 이러한 미세가공이 본격적으로 연구되기 시작한 것은 비교적 최근의 일로 연구 초기 단계이다.

한편, 가공능률을 높이면서도 가공열에 의한 가공 변질층을 거의 발생시키지 않으면서 경취재료의 미세가공에 적합한 입자 분사가공(abrasive jet machining)이 주목을 받아왔는데 지금까지의 분사가공은 주조나 단조품 등의 스케일 제거, 버(burr)제거, 세정이나 표면다듬질 등 비교적 거친 1차 가공에 사용되어 왔기 때문에 정밀도 향상에 대한 개념은 거의 없었다.

<sup>1)</sup> 2000년 12월 12일 접수

\* 인천대학교 대학원 기계공학과

\*\* 인천대학교 기계공학과

분사가공 중에서도 건식가공은 생산성이 높다는 이유 때문에 반도체, 전자 부품 및 액정(LCD) 등에 사용되는 부재의 미세가공기술로서 관심을 끌고 있는데, 최근 기존의 가공기술에 정밀도의 개념을 도입하여 미세분사재(micro abrasive)와 미세분사재의 정량공급기술을 이용한 미립분사가공(Micro Abrasive Jet Machining:MAJM)의 연구가 활발히 진행되고 있다.

지금까지의 연구들을 보면 분사가공 가구를 규명하고자 한 SHELDON<sup>[5]</sup>과 松藤 등<sup>[6]</sup>의 연구, 분사가공특성에 관한 蔚川 등<sup>[7]</sup>과 北嶋 등<sup>[8]</sup>의 연구, 분사가공기 개발과 관련한 蔚川 등<sup>[9,10]</sup>의 연구, 분사가공 동향과 응용사례를 보고한 伊澤<sup>[11,12]</sup>의 연구 등이 있으며 그 가공기구 및 응용사례들에 대한 연구가 뒤따를 것으로 판단된다.

본 연구는 경취재료인 유리를 대상으로 약 80 μm의 폭을 갖는 원형과 선형의 미세 홈을 가공하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 분사가공 이전 단계인 마스크링 공정의 최적조건을 구하였으며 분사가공 후 형성된 홈 형상을 정밀 분석하여 미립분사가공을 이용한 미세 형상의 홈가공 가능성을 규명하고자 하였다.

## 2. MAJM의 기본원리

MAJM의 기본원리를 Fig. 1에 나타내었다. 이 가공법은 초음속 가스 분사에 의하여 가속된 수 μm ~ 수십 μm의 미세분사재를 미소직경의 노즐로부터 분출시켜 경취재료에 고속 고밀도로 충돌시킴으로써 미세가공을 행하는 것이다.

이와 같은 가공법은 열발생이 적은 미세한 취성 모드 가공의 집적으로 가공이 진행되기 때문에 치핑이나 크랙 등이 거의 발생하지 않아 경취재료의 가공에 아주 적합하다. 공작물로부터 충돌되어 튀어나오는 분사재와 공작물의 칩(chip)은 분급기(distributor)를 통하여 재생 가능한 분사재는 따로 분리되어지며 칩은 집진기로 배출되게 된다.

한편, 경취재료 중에서도 유리, 수정, 실리콘 및 지르코니아 등의 미립분사가공시 가공정밀도나 가공능률에 영향을 미치는 가공조건 변수로는 분사압력, 분사시간, 공기분류속도, 분사재의 사양(재질, 입자크기, 분사밀도), 노즐의 사양(노즐지름, 노즐 스캐닝 속도, 노즐각도), 노즐과 가공면 사이의 거리 등이 있다.

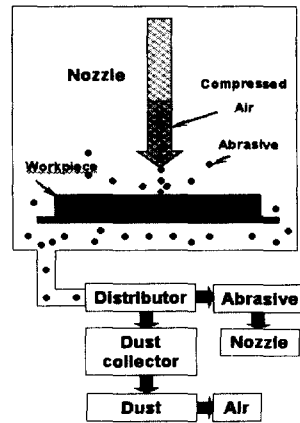


Fig. 1 Schematic diagram of MAJM

## 3. 미세 홈 가공공정

미립분사가공의 전체 공정흐름을 Fig. 2에 나타내었다. 공정은 크게 3가지로 이루어지는데 마스크링(masking) 공정, 미립분사공정, 박리 및 세정으로 나눌 수 있으며 마스크링 공정은 가공을 하기 전에 시편을 준비하는 단계로 볼 수 있다.

마스크링은 요구되는 정밀도, 비용 및 조작성을 고려하여 메탈, 포토레지스트(photoresist) 및 인쇄 마스크로부터 선정할 수 있다. 반도체나 LCD 패널의 제조에는 가장 고정밀급의 패터닝(patterning)이 가능한 포토레지스트 마스크를 사용한다.

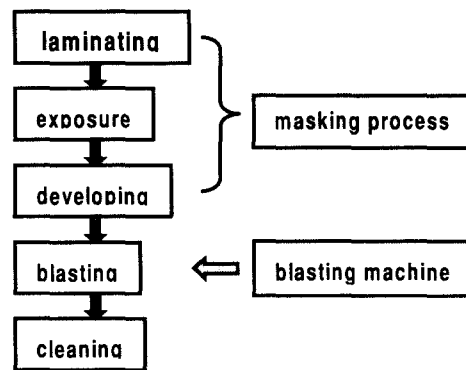


Fig. 2 Process flow of micro grooving



것을 의미한다. 그림 (a)와 (b) 및 노광량 160mJ 일때는 모두 양호한 상태로 나타났다.

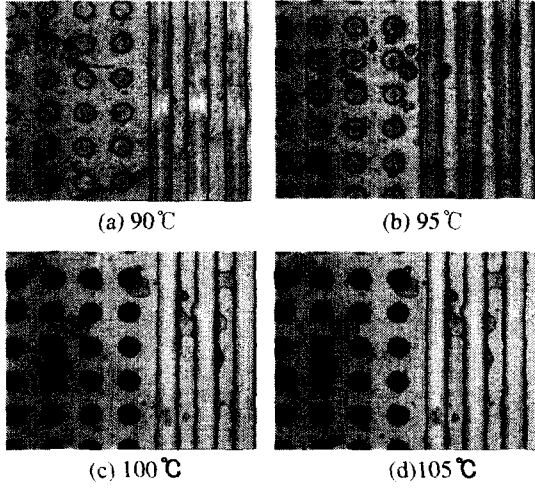


Fig. 3 Masking patterns with laminating temperature variation (150mJ)

### 5.2 홈 가공 상태

노광량이 150mJ 일때 가열온도에 따른 각 시편의 홈 가공상태를 Fig. 4 에 나타내었다. 앞에서 지적한 대로 가열온도가 100°C 이상일 경우 Fig. 4 (c)와 (d) 에서 보듯이 원형 홈의 가공이 전혀 이루어 지지 않았다는 것을 알 수 있다.

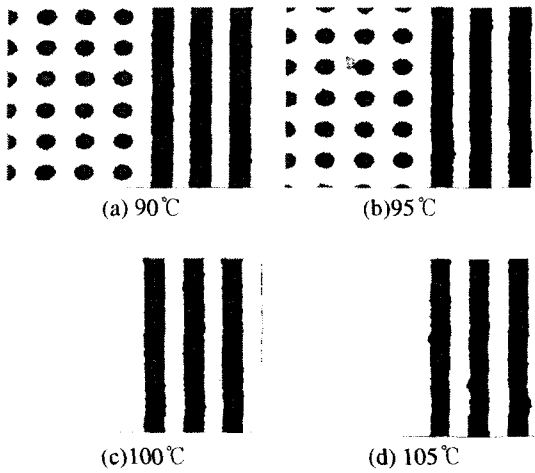


Fig. 4 Groove patterns with laminating temperature variation (150mJ)

노광량이 160mJ 일 경우 전체적으로 가공상태가 양호하였으며 가열온도에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

공구현미경을 이용하여 가공 후의 형상을 대체적으로 분석한 결과 마스킹된 상태에서는 원의 직경과 선의 폭이 80 μm이었으나 가공 후에는 2~4 μm 씩 커지는 것으로 나타났다. 이는 분사가공과정에서 건식필름의 경계부 마멸로 인하여 형상이 커진 것으로 판단된다

한편, 미세홈의 정밀한 분석을 위하여 비접촉식 3차원 측정기로 형상을 촬영한 결과 원형 홈의 3차원적 형상은 Fig. 5 와 같이 나타났다.

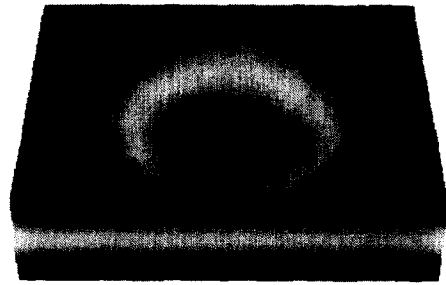


Fig. 5 Hole shape groove

또한, 이 형상에 대한 X축 방향의 단면 형상은 Fig. 6과 같이 나타났는데 전체적으로 U자형을 이루고 있다. 원형 홈의 가공지름은 82.9 μm 였으며 가공깊이는 약 14.6 μm로 나타났다. 그런데, 홈의 중앙부에서 가공이 균일하지 못한 경우들이 나타났는데 이는 가공깊이가 깊어질수록 가공된 공작물의 칩배출이 방해 받는 것과 더불어 미세분사재들이 초기의 고속고압 상태로 투사되기가 어려워진 데 따른 결과라고 판단된다.

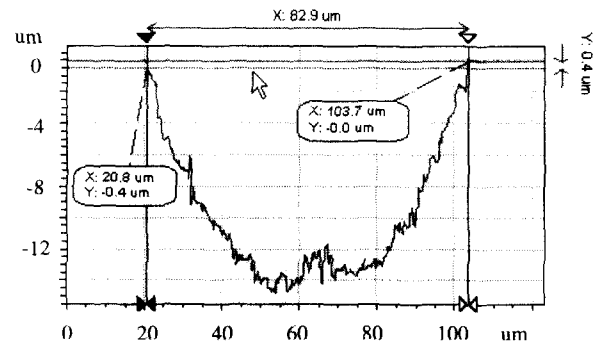


Fig. 6 Cross-section of a hole shape groove

Fig. 7은 Fig. 5의 원형 홈의 내부형상을 평면상에 펼쳐 놓은 그림으로 이를 이용하여 실제 가공부의 표면거칠기를 구하고자 하였다.

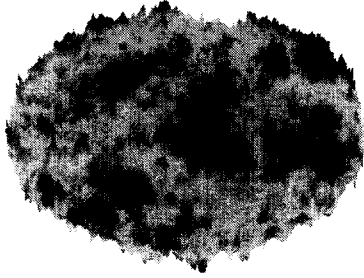


Fig. 7 Spreaded hole shape groove

Fig. 8은 Fig. 7의 중심선을 따른 단면도를 구한 것으로 이 단면을 따라 표면거칠기는 Ra 0.59  $\mu\text{m}$ 로 나타났는데 이러한 결과들은 미립분사가공을 통하여 우수한 표면거칠기를 가지면서도 미세 정밀가공이 가능하다는 것을 보여주는 것이라 판단된다.

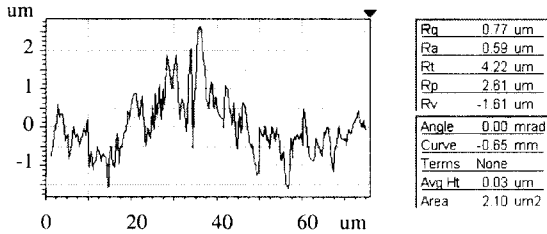


Fig. 8 Cross-section of expanded hole

한편, Fig. 9는 선의 홈가공 상태를 3차원적으로 나타낸 그림이며 Fig. 10(a)는 선과 수직인 단면의 형상을 보인 것이다. 원형홈과 마찬가지로 U자형의 가공 형태임을 알 수 있는데, 미립분사가공의 특성상 정확한 직각 홈 가공은 어렵다는 것을 의미한다.

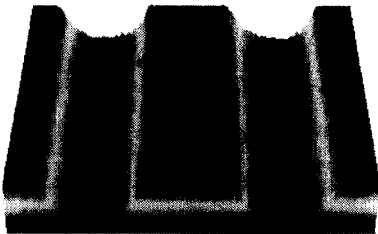
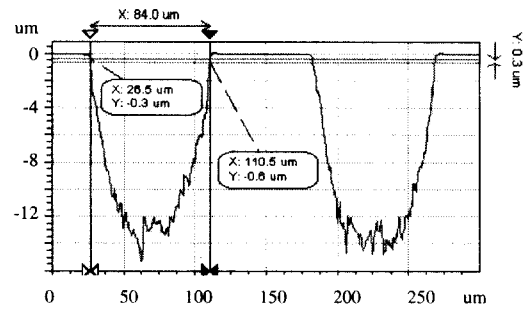
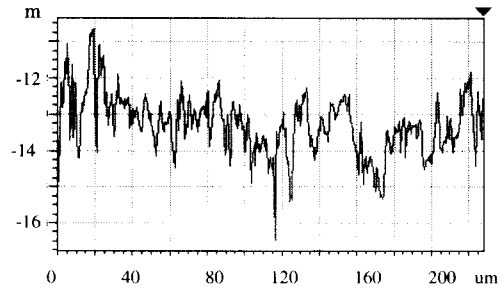


Fig. 9 Line shape groove



(a) X profile



(b) Y profile

Fig. 10 Cross-section of lines

선형 홈의 경우 최대 선폭은 약 84  $\mu\text{m}$  내외 였으며 홈의 깊이는 모두 약 15  $\mu\text{m}$  으로 나타났다. 홈의 깊이는 분사가공의 횡수를 조절함으로써 필요한 깊이까지 가공 할 수 있다.

또한, Fig. 10 (b)는 Fig. 9의 선형홈의 최저 중심선을 따라 측정된 단면도로 이는 곧 홈의 표면거칠기와 유사하다고 할 수 있는데 분석한 결과 약 Rq 0.8  $\mu\text{m}$ , Ra 0.6  $\mu\text{m}$ 로 나타나 원형홈의 표면상태와 거의 일치하였다.

이상의 실험결과로부터 경취재료인 유리에 미세형상의 홈을 가공하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있으며 이러한 가공방법은 마이크로머신이나 LCD를 포함한 전자부품 가공에 유효하게 적용될 수 있을 것이라 판단된다.

## 6. 결론

MAJM을 이용한 유리의 미세 홈 가공에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 마스크링 공정에서 노광량 150mJ의 경우

- 100℃ 이상 가열시 원형의 마스크킹 상태가 불량하였으며 가공 또한 불가능하였다.
- (2) 노광량 160mJ의 경우 전체적으로 가열온도와 관계없이 양호한 마스크킹과 가공결과를 얻었다.
  - (3) 가공후 홈의 형상은 U자형으로 나타났다.
  - (4) 크기 80 $\mu$ m의 마스크킹 상태에서 분사가공 후 원형과 선형 모두 2~4 $\mu$ m의 과도 가공이 발생하였으며 이는 건식 필름의 마멸에 기인한다.
  - (5) 약 15 $\mu$ m의 깊이까지 가공된 홈에 대한 표면상태는 약 Rq 0.8 $\mu$ m, Ra 0.6 $\mu$ m로 나타났다.

### 후기

본 연구는 인천대학교 인천지역 기계·전자 기술혁신센터와 나노엘시디(주)의 연구비 지원으로 이루어진 연구의 일부분으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이응숙, 제태진, 신영재, "절연삭에 의한 Micro-Machining 기술," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 7 호, pp. 5~13, 2000.
2. 주종남, 김규만, 김성윤, "미세형상가공을 위한 방전·초음파 가공기술," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 7 호, pp. 20~27, 2000.
3. 윤경구, 이성국, 김재구, 신보성, 최두선, 황경현, 박진용, "레이저 빔 응용 기술," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 7 호, pp. 28~35, 2000.
4. 박순섭, 홍성제, 정석원, 조진우, 조남규, "X-선 식각 공정(LIGA)의 현황 및 전망," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 7 호, pp. 36~44, 2000.
5. G.L. Sheldon, "Similarities and Differences in the Erosion Behavior of Materials," Trans. of the ASME, Journal of Basic Engineering, Sept. pp. 619~626, 1970.
6. 松藤久良, 長谷川英治, "よどみ点流れでの小さな粒子と壁との衝突," 日本機械論文集 (B 編), pp. 1647~1653, 昭和 55.
7. 廚川常元, 吉田典夫, 庄司克雄, "アブレイシブジェット加工の加工特性," 精密工學會誌, Vol. 54, No. 6, pp. 881~885, 1998.
8. 北嶋弘一, 野中正貴, 伊澤守康, "乾式プラスト加工に關する基礎的研究(第 2 報)," 2000 年度精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp.238, 2000.
9. 廚川常元, 咳山 隆, 庄司克雄, "AJM 裝置 設計と噴射條件の最適化," 2000 年度精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp. 237, 2000.
10. 廚川常元, 庄司克雄, "デジタル方式による AJM 裝置の開発," 1998 年度精密工學會秋季大會學術講演會講演論文集, pp. 435, 1998.
11. 伊澤守康, "噴射加工の動向と應用," 砥粒加工學術誌, Vol. 44, No.1, pp. 11~14, 2000.
12. 伊澤守康, "固氣二相流噴流を使つたマイクロプラスト工法," 混相流, 13 卷, 3 號, pp. 255~261, 1999.