

파우더 블라스팅을 이용한 Lab-on-a-chip의 성형 Fabrication of a Lab-on-a-chip Using Powder Blasting

*장호수¹, 김선아¹, #박동삼²

*Ho Su Jang¹, Seon Ah Kim¹, #Dong Sam Park²(dspark@incheon.ac.kr)²

¹ 인천대학교 기계공학과 대학원, ² 인천대학교 기계공학과

Key words : Bio Sensor, Lab-on-a-chip, Powder Blasting, Fused silica glass, Micro Fluidic channel

1. 서론

정보통신, 바이오, 환경 및 우주항공 등의 산업분야에서 필요로 하게 될 미래 첨단 제품들의 공통적인 기술적 특징은 극소화, 다기능화, 저전력화로 요약되고 있다. 최근 소형화나 고효율화를 위해 기본적으로 마이크로 채널이 성형되고 있으며, 에너지 분야와 바이오 기술분야의 핵심화두인 연료전지의 개질기나 바이오 센서(bio-sensor), 그리고 랩온어칩(Lab-on-a-chip) 등 핵심기술이 개발되고 있다. 이중 바이오 센서는 유리, 실리콘, 플라스틱 재질로 된 기관위에서 DNA, 단백질 기타화학, 생물학적 시료를 반응시켜 여러 가지 필요한 정보를 획득할수 있는 생물학적 마이크로 칩으로 과학기술 연구, 신약개발, 임상진단, 농업, 식품산업, 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

바이오 센서는 마이크로 어레이 칩(microarray chip)과 미세유체 칩(microfluidics chip)으로 분류되는데 미세유체칩을 일반적으로 랩온어칩(lab-on-a-chip, LOC)이라 하며 MEMS나 미세 가공기술을 이용하여 시료의 회석, 혼합, 반응, 분리 및 정량 등 시료의 모든 전처리 및 분석단계를 수 μm^2 이하 정도의 면적을 갖는 하나의 칩 위에서 수행하도록 한 것으로 이를 위해서는 비용, 시간, 유연성 면에서 경쟁력 있는 미세구조물 제작 기술이 중요하다. 이러한 이유로 미세패턴 및 구조물을 제작하기 위해 초정밀 미세절삭가공 기술이나 MEMS 등 다양한 방법을 사용하여 왔는데, 기존의 화학적 가공 방법으로는 화학작용을 주로 이용하므로 농도나 시간에 따라 언더컷(undercut)과 과도에칭(overetching)이 발생하여 마이크로 채널의 치수정밀도에 큰 영향을 미치게 되며, 작업자에게 유해한 생산환경 등의 여러 가지 문제점을 가지고 있다.[1~6]

이러한 문제점으로 인하여 본 연구에서는 파우더 블라스팅(Powder Blasting)을 이용하여 Fused Silica Glass(FSG)소재에 LOC를 가공하게 되었다. 이는 고압의 공기에 의하여 가속된 수 μm -수십 μm 의 미립 분사재를 노즐로부터 고속으로 분사시켜 그 충격력에 의하여 재료를 가공하는 취성모드의 기계적 에칭 가공법으로 미세가공(micromachining)의 한 기법이다.[7~9]

Fused Silica Glass는 용융석영유리라고도 불리며 백색의 비정질 망목구조를 가지는 무정형 실리카로서 세라믹 재료중에서 열팽창 계수가 가장 적다. 또한 석영을 용융시켜 만든 것이기 때문에 자외선, 가시광선 및 적외선의 스펙트럼 영역에 걸쳐 높은 투과율을 보이는 광학 재료이다.

본 연구에서는 파우더 블라스팅을 이용하여 Fused Silica Glass의 Lab-on-a-chip의 채널 패턴을 가공하고자 하였다.

2. Fused Silica Glass(FSG)의 특성

Fused Silica Glass는 규산을 고온(약2,000 $^{\circ}\text{C}$)에서 용융하여 제조한 유리로 불순물이 수백ppm 이하인 높은 순도의 규산(SiO_2)으로 이루어진 유리이다. 또한 Fused Silica Glass는 비정질(amorphous)물질로 이루어져 있다. Silica Glass의 결합물은 매우 낮은 열 팽창계수와 우수한 광학성질을 지니며 넓은 범위의 스펙트럼 레인지 중 특히 자외선에 우수한 투과율을 가지고 있다. 주요 용도로는 용융실리카의 경우 코우크로수의 도어, 비철금속의 통, 강의 연속주조용 노즐, 유리용해로의 트윈, 온수용로재, 반도체 등에 쓰인다. 또한 침적 노즐을 제조하는 재료로는 Fused Silica Glass를 대체할 물질은 현재 존재하지 않는다.

Table 1 ~ Table 2는 Fused Silica Glass의 여러 성질들을 나타내었

다.

Table 1 Mechanical properties of fused silica glass

Parameter	Standard
Density	2.201 g/cm ³
Shear Modulus	31GPa at 25 $^{\circ}\text{C}$
Young's Modulus	73GPa at 25 $^{\circ}\text{C}$
Tensile Strength	50MPa
Compressive Strength	1.1GPa
Knoop Hardness	500kg/mm ²

Table 2 Thermal properties of fused silica glass

Parameter	Standard
Specific Heat Capacity	703J/Kg K
Coefficient of Expansion	$0.55 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$
Softening Point	1600 $^{\circ}\text{C}$
Strain Point	1025 $^{\circ}\text{C}$
Melting Point	1713 $^{\circ}\text{C}$

3. 파우더 블라스팅의 기본원리

파우더 블라스팅은 고속의 공기나 가스에 의해 가속된 수 μm ~수십 μm 의 분사재들이 고속, 고밀도로 시편에 충돌되면서 미세가공을 하는 것으로 기계적 에칭(mechanical etching)의 한 가공법이다. Fig. 1은 파우더 블라스팅의 가공원리를 나타낸 것으로 피삭재가 마스크(mask)로 덮여 있는 상태에서 노즐의 X축, Y축 이동에 의해 가공이 이루어지게 된다. 이때, 피삭재의 마스크 형태에 따라서 복잡한 형상이나 아주 작은 형상도 쉽게 가공이 가능하다.

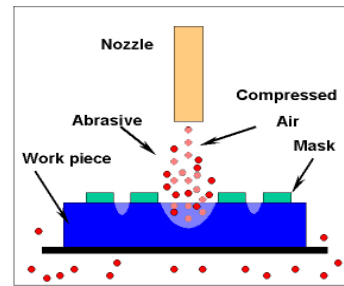


Fig. 1 Basic mechanism of powder blasting

가공의 변수로는 분사압력, 분사속도, 분사재의 종류와 크기, 분사재의 밀도, 노즐의 주사속도(Scanning) 및 노즐의 피삭재의 거리 등이 있으며 가공정밀도와 가공능률의 향상을 위해서는 적절한 조건을 선택해야 한다. 또한, 파우더 블라스팅은 분사재의 충돌에 의한 가공법이기 때문에 칩핑(chipping)이나 크랙 및 열발생이 적어 유리나 세라믹, 실리콘 및 수정 등 경취재료의 정밀 미세가공에 아주 적합한 가공법이다.

4. 실험방법

4.1 시편제작

본 연구에서 사용된 시편은 Fused Silica Glass를 사용하였다. 소재의 특성은 Table 1~ Table 2에 나타내었다. 소재의 크기는 40mm \times 40mm \times 2mm로 제작하였으며, 파우더 블라스팅 가공을 위한 전처리 과정으로 마스크 공정(masking process)이 필요하며, 크게 라미네이팅(laminating), 노광(exposure) 및 현상(developing)

의 3공정으로 구성된다. 또한, 가공 목표 형상으로 Reactor는 폭 300 μm 와 400 μm 의 "Y"의 형상과 Serpentine의 형상이 음각으로, Micro mixer는 250 μm 와 400 μm 의 크기로 Reactor의 "Y"하단에 위치하여 시료를 섞는 역할을 하게 된다. 형상의 설계는 CAD를 이용하여 도면 작업을 수행하였고, 이를 이용하여 마스크 필름을 제작하였다. 마스크 필름 제작과 시편에 대한 마스크링 작업은 국내 전문 제작사에 의뢰 제작하였다.

4.2 분사입자

본 연구에서 사용된 분사재는 미립 연마재로서 초정밀 가공이나 연삭, 연마, 랩핑 및 폴리싱에 사용되는 WA계통의 Al_2O_3 입자로 크기는 #1200을 사용하였다.

Fig. 2는 본 실험에 사용된 분사입자의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

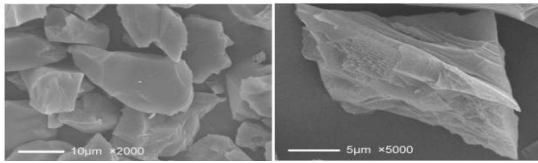


Fig. 2 SEM micrographs of used abrasive particles.

4.3 실험 조건 및 방법

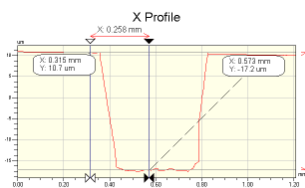
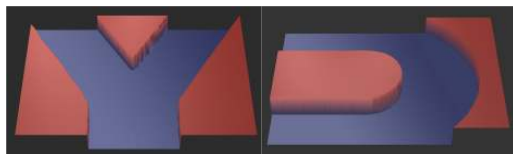
본 연구의 모든 실험은 일본의 S사에서 제작한 MICROBLASTER(type MB1)을 사용하였으며, 분사노즐은 알루미늄 재질로 내경이 8mm인 원통 형상이다. 가공 변수들은 Table 3. 에 나타내었다. 노즐의 각도는 90°, 이송속도는 100mm/s, 분사량은 100g/min, 분사압력은 0.15MPa로 Reactor, Micromixer의 동일한 실험 조건을 가지고 있는데, 주사 횟수에서만 10회, 15회로 실험 하였다.

Table 3 Experimental conditions

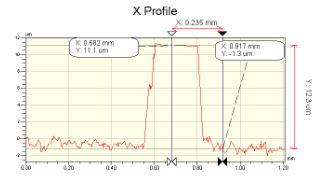
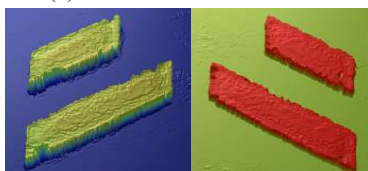
Powder material	WA#1200
Impact angle(°)	90
Scanning speed(mm/s)	100
Mass flow rate (g/min)	100
Blasting pressure(MPa)	0.15
Scanning times	10, 15

5. 실험결과

Fig. 3은 Table 3의 실험조건으로 파우더 블라스팅을 이용하여 가공 후 비접촉식 3차원 형상측정기 (WYKO-2000)을 사용하여 측정한 결과를 나타낸 것으로, Fig. 3의 (a) Reactor의 측정결과 깊이는 27.9 μm 측정 되었고, (b) Micromixer의 높이는 12.3 μm 측정 되었다.



(a) Reactor and cross-section



(b) Micromixer and cross-section

Fig. 3 Dimensional view of Reactor and Micromixer

6. 결론

파우더 블라스팅을 이용한 Lab-on-a-chip 성형에 관한 연구를 통하여 마이크로 채널의 다양한 형상들을 가공한 결과, 가공된 형상의 깊이가 주사횟수의 증가에 따라 형상이 더욱 정밀하게 가공됨을 확인할수 있었으며, Fused Silica Glass의 소재로 랩온어 칩제작을 위한 예비 실험으로 가공 데이터를 얻을수 있었으며, Reactor는 27.9 μm , Micromixer는 12.3 μm 의 가공깊이를 갖는 채널을 성형할 수 있었다.

참고문헌

- Solignac, D.; Sayah, A.; Constantin, S.; Freitag, R.; Gijs, M.A.M. Powder blasting for the realisation of microchips for bio-analytic applications. *Sensors and Actuators A* 2001, 92, 388-393.
- Yamazaki, Y. Application of MEMS technology to micro fuel cells. *Electrochimica Acta* 2004, 50, 663-666.
- Mouradian, S. Lab-on-a-chip: Applications in proteomics. *Current Opinion in Chemical Biology* 2002, 6, 51-56.
- Kricka, L.J. Microchips, microarrays, biochips and nanochips - personal laboratories for the 21st century. *Clinica Chimica Acta* 2001, 307, 219-223.
- Belloy, E.; Thurre, S.; Walchiers, E.; Sayah, A.; Gijs, M.A.M. The introduction of powder blasting for sensor and microsystem applications. *Sensors and Actuators* 2000, 84, 330-337.
- Yun, K.S.; Yoon, E. Microfabrication of 3-dimensional photoresist structures using selective patterning and development on two types of specific resists and its application to microfluidic components. In *Proc. IEEE International conference on MEMS*, 2004, pp. 757-760.
- Tseng, F.G.; Chuang, Y.J.; Lin, W.K. A novel fabrication method of embedded micro channels employing simple UV dosage control and antireflection coating. In *Proc. IEEE 15th International Conference in Micro Electro Mechanical Systems*, 2002; pp. 69-75.
- Roylance, A.M.; Angell, J.B. A batch-fabricated silicon accelerometer. In *Proc. IEEE Transactions of Electron Devices*, 1979; Vol. 8, pp. 1911-1917.
- Slikkerveer, P.; Bouten, P.; de Haas, F. High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting. *Sensors and Actuators A* 2000, 85, 296-303.
- Wensink, H.; Berenschot, J.W.; Jansen, H.V.; Elwenspoek, M.C. High resolution powder blast micromachining. In *Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems*, 2000; pp. 769-774.
- Park, D.S.; Yun, D.J.; Cho, M.W.; Shin, B.C. An Experimental Study on the Fabrication of Glass-based Acceleration Sensor Body Using Micro Powder Blasting Method. *Sensors* 2007, 7, 697-707.
- Park, D.S.; Cho, M.W.; Lee, H.; Cho, W.S. Micro-grooving of glass using micro-abrasive jet machining. *Journal of Materials Processing Technology* 2004, 146, 234-240.
- Park, D.S.; Cho, M.W.; Lee, H. Effects of the impact angle variations on the erosion rate of glass in powder blasting process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2004, 23, 444-450.