

# 고기능성 3차원 마이크로채널 제작을 위한 나노 마이크로 복합공정 개발

## Nano/micro combined process for the fabrication of 3D micro-channels

\*임태우<sup>1</sup>, 손용<sup>1</sup>, #양동열<sup>1</sup>, 이동훈<sup>2</sup>, 김동표<sup>2</sup>, 박상후<sup>3</sup>

\*T. W. Lim<sup>1</sup>, Y. Son, #D. Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>, D. H. Lee<sup>2</sup>, D. P. Kim<sup>2</sup>, S. H. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계항공시스템학부, <sup>2</sup> 충남대학교 바이오응용화학부, <sup>3</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : two-photon absorption, 3D micro-channel

### 1. 서론

본 연구에서는 입체구조를 가지는 유체소자의 설계를 위한 새로운 공정개발에 대한 연구를 수행하였다. 마이크로 채널을 이용한 통합 분석시스템인  $\mu$ TAS (micro total analysis system)는 극소량의 시료를 이용하여 높은 처리속도로 분자, 세포, DNA 등을 분석 및 합성할 수 있는 소자로서 바이오/화학 분야에서의 그 활용범위가 매우 큰 핵심소자로 인식되고 있다. 수백  $\mu$ m 이하의 미세공간에서 유체는 레이놀즈 수 (Re)가 1000 미만인 층류 (Laminar flow)의 유동특성을 가진다. 이러한 특성은 대부분의 경우  $\mu$ TAS 에서 필요한 혼합 및 반응 기능을 저해하는 요소로 작용한다. 이에 따라 최근 유체의 반응 및 혼합을 개선하기 위한 채널의 제조 공정에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[1~3].

유체의 혼합 및 반응을 개선시키기 위한 방법으로는 외부 힘의 작용 유무에 따라 크게 능동형 (Active) 과 수동형 (Passive)으로 나뉜다. 능동형 소자는 마이크로 채널 내에 마이크로 자력교반기, 마이크로 음파공동장치 등의 내부 구조물을 제작하여 구동하는 방식으로서 매우 우수한 수행능력을 가지며 고집적화에 유리하지만 외부 동력 공급이 가능한 구조 설계가 함께 이루어져야 한다는 어려움이 있다[1]. 반면 수동형 소자는 채널 내부 패터닝에 의한 난류 생성 (Chaotic passive mixer)[2], 유체를 분할 후 재결합하는 라미네이션 (Lamination) 방법[3] 등 채널 내부의 구조에 의한 유체를 혼합하는 방법으로서, 외부 동력 없이 간단한 채널 설계만으로 작동할 수 있지만 고집적화에 불리한 단점이 있다. 이러한 능동형/수동형 유체소자들은 대부분의 경우 2차원 패터닝 공정의 반복을 통한 형상제작 공정으로서 고효율의 복잡한 형상을 제작하기 위해서는 많은 공정을 거쳐야하는 단점이 있고, 완전한 3차원 구조를 제작하는 데는 한계가 있다. 완전한 3차원 나노/마이크로 구조물 제작에 가장 유리한 공정으로서 이광자 흡수 광조형 공정이 있다[4].

본 연구에서는 나노급 정밀도로 수백  $\mu$ m의 완전한 3차원 입체 구조물을 제작할 수 있는 대면적 극미세 이광자 흡수 광조형 공정 (L-TPS : Large-area Two Photon Stereolithography)을 이용하여, 마이크로 패터닝 공정과의 연계를 통하여 기존의 마이크로채널 소자를 혁신할 수 있는 새로운 공정으로 활용될 수 있음을 제시하였다.

### 2. 3차원 채널 제작공정

Figure 1은 신개념 입체 마이크로 채널을 이용한 통합분석시스템 ( $\mu$ TAS : micro total analysis system) 제작을 위한 나노/마이크로 복합 공정의 개념도를 나타낸다. 공정 과정은 크게 3단계로서 대면적 마이크로 채널패턴 제작단계, 채널 내부 3차원 디바이스 제작 단계, 그리고 채널커버 조립 단계로 구성된다. 대면적 마이크로 채널 패턴 제작 단계에서는 유체의 입구부터 출구까지 수 mm 이상의 영역에 해당하는 유체의 진행 경로를 생성하게 된다. 이러한 수 mm 이상의 형상 패터닝에는 대면적 패터닝에 유리한 포토리소그래피 공정을 이용하였다. 후속공정인 L-TPS에서 채널 내부에 제작하게 되는 일부 구조물은 채널과의 강한 결합력

을 요구하는 경우가 많으므로 동일 재료인 SU8으로 패턴닝하였다. SU8은 반복 패터닝 공정을 통하여 복잡한 구조물 제작에 유리할 뿐 아니라 바이오 응용 재료로서도 적합한 재료로서 마이크로 채널 제작에 많이 이용되어오고 있다.

채널 내부 3차원 디바이스 제작단계에서는 본 연구에서 개발한 L-TPS를 이용하여 제작하였다. 제작된 시편에 이광자 흡수 경화성을 가지는 SU8을 떨어뜨린 후 95°C에서 15분간 프리베이킹 후 지그에 고정시킨다. 이때 시스템에 부착된 CCD 카메라를 이용하여 1  $\mu$ m 이하의 정밀도로 제작할 형상을 배치한다. 제작된 3차원 형상을 내부구조물로 가진 채널 패턴은 SU8을 스펀코팅한 슬라이드 글래스와 접착하여 최종 마이크로 채널소자를 이루게 된다.

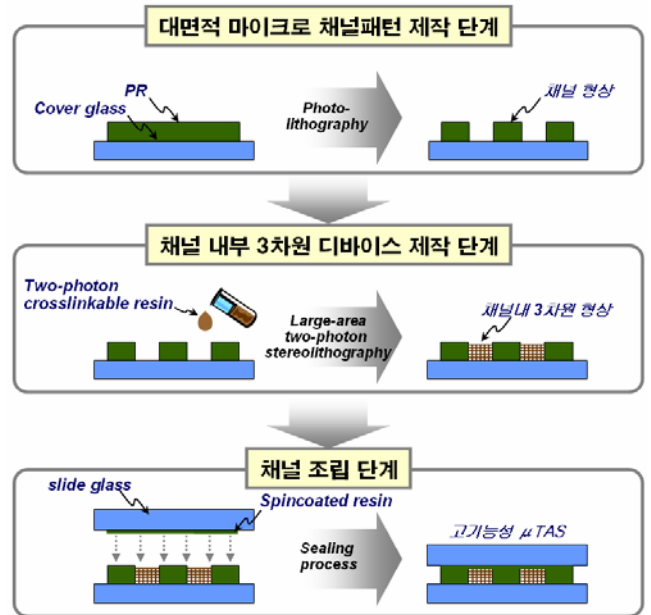
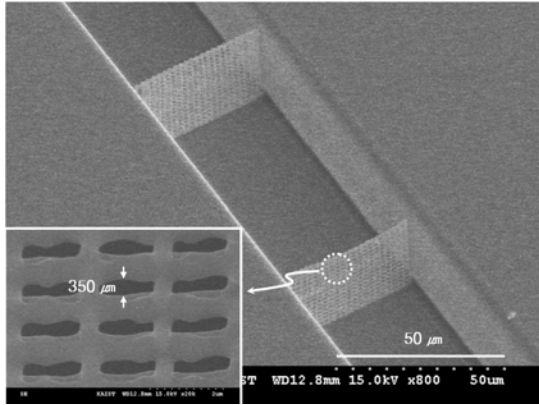


Fig. 1 Schematic diagram of nano/micro hybrid process for the fabrication of 3D intelligent micro-channels.

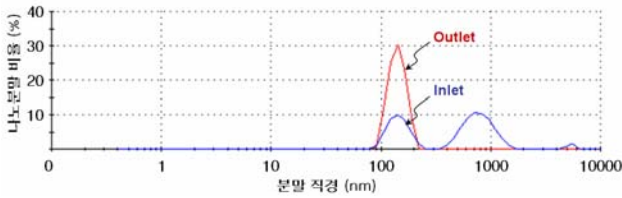
### 3. 3차원 채널 제작

나노/마이크로 필터는 유체 내부의 불순물 제거 및 원하는 입자/세포의 선택적 검출 등을 수행하는 마이크로 채널에서 매우 중요한 소자 중 하나이다. 본 연구에서 개발한 공정을 통하여 Fig. 2(a)와 같이 채널내부에 균일한 정밀도를 가진 필터형상을 제작하였다. 필터의 크기는 약 350 nm이며, 조립과정을 거쳐 제작된 마이크로채널에 나노분말이 혼합된 에탄올 용액을 주입하여 제작된 채널을 검증해보았다. 용액에 혼합된 나노분말은 직경 150 nm와 800 nm 크기의 구형 실리카 나노분말로서 각각 1 wt% 씩 혼합되어 있다. Malvern사의 Zetasizer nano zs 입도분석 장비를 이용하여 측정된 결과 Fig. 2(b)와 같이 주입 전 146 nm 795 nm에서 피크(peak)를 나타낸 용액이, 필터링 후 142 nm에서만 피크(peak)를 나타내었다. 즉, 제작된 350 nm 크기의 필터에 의해 원하는 크기 이하의 분말만 선택적으로 분리

할 수 있음을 확인 수 있었다. 이와 같은 내부 필터의 크기 및 형상은 CAD 디자인 단계에서 다양하게 조절 할 수 있으며, Fig. 3 과 같이 내부에 각기 다른 크기의 필터를 제작함으로써, 동시에 원하는 입자별로 분리할 수 있는 시스템을 설계할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 2 (a)Micro channels structure with micro filter of 350 nm hole size. (b)The distribution of nanoparticles before and after filtering of the solution mixed with SiO<sub>2</sub> particles of 150 nm and 800 nm diameters (material name : SiO<sub>2</sub>, dispersant name : ethanol, material refractive index : 1.50, dispersant refractive index : 1.359, temperature(°C) : 25.0)

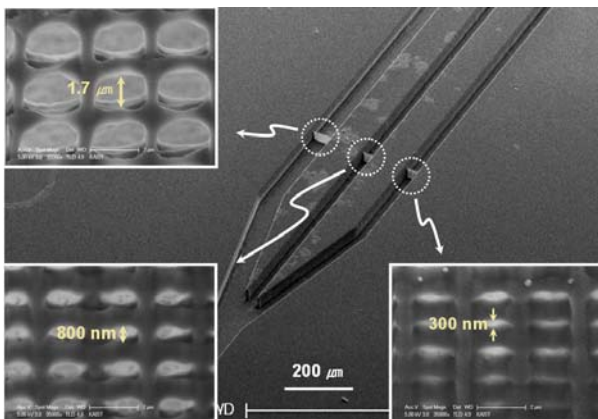
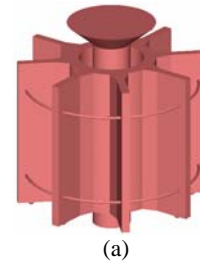


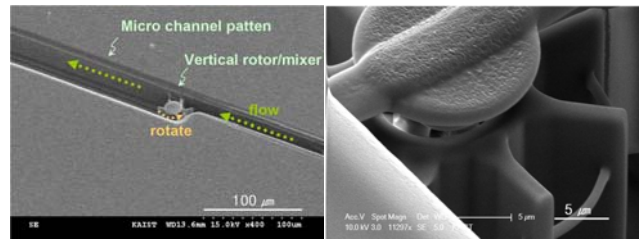
Fig. 3 Multi-filtering system. Filters with various hole sizes can be designed.

마이크로 채널 내에서 층류의 유동 특성을 가지는 유체들 간의 혼합 및 반응 특성을 개선하기 위하여, 채널 내부에 난류생성을 유도하기 위한 패터닝 방법과 분리/재혼합 구조의 기하학적 설계를 통한 방법 등 다양한 제작 공정이 연구되어 오고 있다. 하지만, 완전한 혼합을 위해서는 수 mm 에 해당하는 유동 공간이 필요하며 그 제조 공정도 매우 복잡하다. 따라서, 본 연구에서는 개발된 L-TPS 공정을 이용하여 제작된 신개념의 고집적 나노/마이크로 혼합/반응기로서, 중심축과 회전판이 분리된 동적 소자인 수직 로터 (rotor) 형상인 Fig. 4 와 같이 고집적화에 유리한 소자 제작

에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.



(a)



(b)

(c)

Fig. 4 Micro-rotor. (a)CAD design, and (b),(c) fabricated micro-prototypes.

#### 4. 결론

고집적 μ TAS 개발을 위하여 수 mm 의 크기의 경우 포토리소그래피 공정을 통하여 제작하고, 이후 내부 3 차원 구조물은 본 연구에서 개발한 L-TPS 공정으로 제작하는 나노/마이크로 복합공정을 제안하였다. 재료로는 채널과의 접착성과 고강성을 고려하여 SU8 을 사용하였다.

본 연구에서 개발한 공정을 통하여 3 차원 나노/마이크로 필터를 제작 및 검증 하였으며, 마이크로 로터 등 신개념의 마이크로 유체 소자에 대한 설계가 가능할 것으로 사료된다.

#### 후기

The authors give thanks to Korean Ministry of Science & Technology (project of research for development of fundamental nanotechnology, M10503000217-05M0300-21700)

#### 참고문헌

1. Liu, R.H., Lenigk, R., Druyor-Sanchez R.L., Yang, J., Grodzinski, P., "Hybridization Enhancement Using Cavitation Microstreaming," *Analytical Chemistry*, **75**, **8**, 1911~1917, 2003.
2. Stroock, A.D., Dertinger, S.K.W., Ajdari, A., Mezic, I., Stone, H.A., Whitesides, G.M., "Chaotic Mixer for Microchannels," *Science*, **295**, **25**, 647~651, 2002.
3. Branebjerg, J., Gravesen, P., Krog, J.P., Nielsen, C.R., "Fast Mixing by Lamination," *IEEE*, 441~ 446, 1996.
4. Yang, D.Y., Park, S.H., Lim, T.W., Kong, H.J., Yi, S.W., Yang, H.K., Lee, K.S., "Ultraprecise Microreproduction of a Three-dimensional Artistic Sculpture by Multipath Scanning Method in Two-photon Photopolymerization," *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 013113, 2007.