

## Polymethyl methacrylate (PMMA)의 마이크로 채널 형성을 위한 레이저의 직접식각

신성권, 최영진, 이천  
인하대학교 전기공학과

### Direct Etching of Polymethyl methacrylate (PMMA) for Microchannels

Sung-Kwon Shin, Yong-Jin Choi, Cheon Lee  
Department of Electrical Engineering, Inha University

**Abstract** - 본 논문에서는 최근 유체소자 재료로써 많이 사용되고 있는 polymethyl methacrylate (PMMA)의 레이저 직접식각에 관한 특성을 나타내었다. 식각을 위한 레이저 원으로 기본파가 1064 nm, 반복율이 10 Hz인 Nd:YAG 레이저의 4고조파 성분 ( $\lambda=266$  nm)을 사용하였다. X-Y-Z 축으로 이동 가능한 스테이지의 수평 이동속도를 변화시키며, 표면으로 조사되는 펄스 수를 제어하였다. 식각 후 광학현미경으로 식각 단면을 조사하여 식각 깊이와 폭을 측정하였다. 측정된 식각 깊이로부터 식각률을 계산하고, 그 값과 레이저 빔 밀도와와의 관계를 알아보았다. 그 결과 시료 표면에 조사되는 레이저 빔 밀도의 로그값과 선형적인 관계를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 주사전자현미경을 이용하여 채널 형상 및 채널 내벽을 관찰하였다. 마이크로 채널 내벽에 식각 과정에서 발생한 생성물의 제거를 위해, 레이저 식각과 함께 질소가스 블로잉을 해주었다. 질소 블로잉 압력 1500 torr에서 식각 잔유물이 제거된 내벽을 볼 수 있었다. 실험결과, Nd:YAG 4고조파를 이용하여 PMMA 기판 상에 유체 이동을 위한 마이크로 채널을 형성시킬 수 있었다.

#### 1. 서 론

실리콘 및 유리를 기반으로 하는 유체소자들이 개발된 이후에, 재료의 경제성과 제조 공정시간의 단축, 그리고 처리하고자 하는 유체에 맞는 다양한 재료를 선택할 수 있는 장점 갖는 폴리머의 연구가 활발히 진행되고 있다. 유체소자의 구현을 위해서는 유체 이동을 위한 효율적인 마이크로 채널 형성이 필수적이다. 기존의 반도체 공정에서 사용되고 있는 포토 리소그래피를 이용한 채널형성 방법은 제조 공정이 복잡하고 시간과 비용이 많이 들어가는 단점을 가지고 있다. 이 밖에 hot embossing [1], wire imprinting [2]과 같은 방식과 같이 가열된 기관 위에 원하는 패턴이 들어가 있는 주형을 접촉시켜 채널을 제작하는 방법이 있다. 이러한 방법에 비해 레이저를 이용한 직접식각 기술은 마이크로 채널 형성 시에 별도의 주형이 필요하지 않고, 대기중에서 레이저 출력과 스테이지 이동만을 제어하여 원하는 채널을 간단하게 가공할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이에 따라 제조 공정 시간 및 비용을 줄일 수 있다.

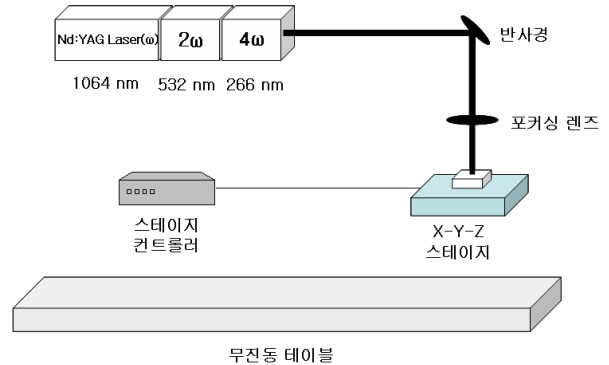
유체소자 응용을 위한 폴리머의 채널형성을 위해 현재까지 다양한 레이저에 의한 직접식각이 연구되어져 왔다. 펄스 레이저에 의한 폴리머의 어블레이션은 문턱 조건 이상에서 발생하는데, 이러한 문턱조건은 동일한 지점에 조사되는 펄스 수에 의존한다 [3, 4]. 따라서 레이저 어블레이션에 의한 마이크로 채널의 형상은 재료 표면에 조사되는 레이저의 펄스 수와 에너지에 의해 결정될 것이다.

본 연구에서는 Nd:YAG 펄스 레이저 4고조파 ( $\lambda=266$  nm)를 이용하여 유체소자 재료로써 많이 사용되고 있는 polymethyl methacrylate (PMMA)의 직접식각을 실시하였다. 폴리머 표면에 조사되는 빔의 펄스 수 및 에너지를 변화시키며 마이크로 채널을 형성하였다. PMMA는 266 nm 파장 영역에서 낮은 흡수율을 갖기 때문에, 식각 후 채널 내벽에 식각 잔유물이 생성될 수 있다. 이러한 생성물을 제거하기 위해 질소가스 블로잉을 시도하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 실험장치

PMMA 식각을 위한 레이저 원으로 기본파가 1064 nm인 Nd:YAG 펄스 레이저의 4고조파 성분 ( $\lambda=266$  nm)을 사용하였다. 반사경 및 집속렌즈를 사용하여 레이저 빔을 시료 표면에 정렬시켰다. 시료를 집속렌즈의 초점거리에 위치하여 최소 선폭의 채널을 얻고자 하였다. 기관 표면에 조사되는 레이저 출력과 펄스 수를 변화시키며 식각 형상을 관찰하였다. 기관에 조사되는 빔 펄스 수는 X-Y-Z 축으로 1  $\mu$ m의 정밀도로 이동 가능한 스테이지 이동속도를 변화시키며 제어할 수 있었다. 마이크로 채널 형성 시에 생성되는 식각 잔유물 제거를 위해 750 - 1500 torr의 압력을 변화시키며 질소 블로잉을 실시하였다. 그림 1과 표 1은 각각 레이저 직접식각을 위한 실험 개략도와 실험조건을 나타낸다.



<그림 1> PMMA의 마이크로 채널 형성을 위한 실험 개략도

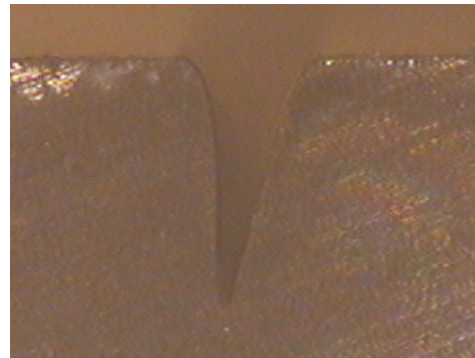
<표 1> PMMA의 마이크로 채널 형성을 위한 실험조건

실험조건	실험치
레이저 출력	0.01 - 0.05 W
스테이지 이동속도	12 - 350 $\mu$ m/s
빔 직경	350 $\mu$ m
펄스 수	10 - 300
빔 밀도	1.04 - 5.20 J/cm <sup>2</sup>

##### 2.2 실험결과 및 고찰

###### 2.2.1 식각단면 관찰 및 식각 깊이 측정

식각 후에 광학현미경으로 채널 단면을 관찰하여, 채널 깊이 및 폭을 측정하였다. 그림 2는 레이저 빔 밀도가 0.1 J/cm<sup>2</sup>, 표면조사 펄스 수가 300 회 인 조건에서 형성된 채널을 광학현미경으로 본 식각 단면도이다. 이때 채널의 깊이와 폭은 각각 370  $\mu$ m와 190  $\mu$ m로 측정되었다.



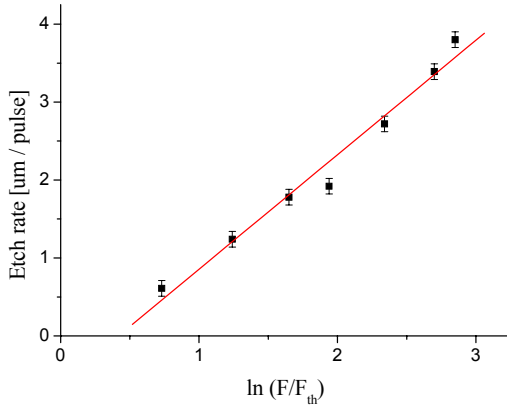
<그림 2> 레이저 식각에 의해 형성된 PMMA 마이크로 채널

###### 2.2.2 레이저 빔 밀도와 식각률

펄스 레이저에 의한 폴리머 어블레이션에서의 식각률과 빔 밀도는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다 [5].

$$L_f = (1/\alpha)\ln(F/F_{th}) \quad (1)$$

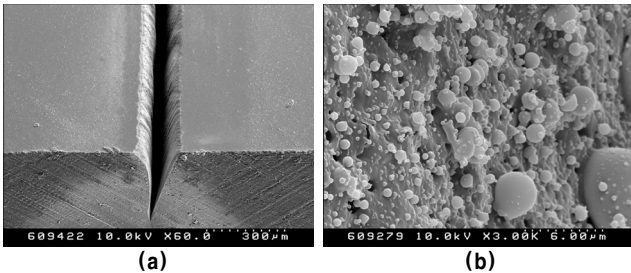
여기서  $L_f$ 는 식각률,  $\alpha$ 는 흡수계수,  $F_{th}$ 는 문턱 빔 밀도를 나타낸다. 식 (1)에서 보듯이 시료의 어블레이션이 이루어지기 위해서는 문턱 조건 이상의 에너지가 조사되어야 한다. 또한 조사되는 에너지 빔 밀도의 로그값에 대한 식각률이 선형적인 관계라는 것을 알 수 있다. 본 실험 조건인 266 nm 파장 영역에서는 약  $0.3 \text{ J/cm}^2$  근방에서부터 식각에 의한 마이크로 채널이 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 그림 3에 레이저 빔 밀도와 식각률에 관한 결과를 나타내었다. 그래프의 기울기는 흡수계수의 정보를 나타낸다. 본 실험에서의 흡수계수는 약  $0.68 \times 10^{-4} \text{ cm}$ 로 구해졌다.



<그림 3> 레이저 빔 밀도와 식각률과의 관계

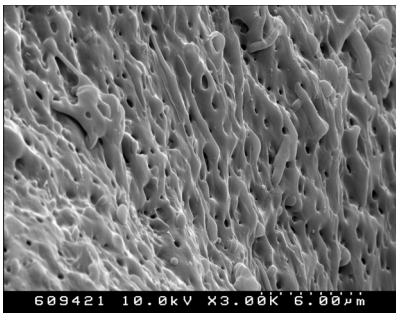
### 2.2.3 마이크로 채널 형성 및 잔유물 제거

레이저 빔 밀도와 표면 조사 펄스 수가 각각  $0.1 \text{ J/cm}^2$ 와 300 회 인 조건에서 가공된 채널 형상과 내부 식각면의 주사전자현미경 이미지를 그림 4의 (a), (b)에 각각 나타내었다.



<그림 4> 마이크로 채널 주사전자현미경 이미지: (a) 채널형상 (b) 채널 내부 식각면

그림 4(b)에서 보듯이, 채널 내벽에 식각에 의한 잔유물이 생성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 잔유물은 채널에 흐르는 유체를 오염시키고, 유체 이동효율을 감소시킬 수 있다. 따라서 이러한 식각 생성물을 제거해야만 한다. 이것을 위해 레이저 식각과 동시에 질소 블로잉을 실시하였다. 약 1500 torr의 질소 블로잉 압력에서 식각 잔유물을 제거할 수 있었다. 이것을 그림5에 나타내었다.



<그림 5> 질소 블로잉을 통해 식각 잔유물이 제거된 채널 내벽의 주사전자현미경 이미지

그림 5에서 레이저 식각에 의해 형성된 마이크로 채널 내벽에 많은 기공이 발생한 것을 볼 수 있었고, 거친 식각면을 확인할 수 있었다. 채널 내벽에 발생한 기공으로 유체가 침투하거나, 거친 내벽이 유체이동의 저항성분으로 작용하는 등의 문제로 유체이동 효율을 떨어뜨릴 수 있는

요인으로 작용될 것으로 사료된다. 따라서 보다 효율적인 마이크로 채널 형성을 위해서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 노력을 기울여야 할 것으로 생각된다.

## 3. 결 론

유체소자 제작에 필요한 마이크로 채널 형성을 위해 Nd:YAG 레이저 4고조파 성분 ( $\lambda=266 \text{ nm}$ )으로 PMMA 기판의 직접식각을 실시하였다. 레이저 출력과 스테이지 이동속도를 변화시키며 PMMA의 식각 특성을 조사하였다. 그 결과 레이저 빔 밀도의 로그값과 식각률이 선형적인 관계를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그 결과로부터 흡수계수를 결정할 수 있었다. 266 nm의 파장에서 낮은 흡수도로 인해서, 채널 가공시 발생하는 식각 생성물을 제거하기 위해 질소 블로잉을 해주어 식각 잔유물을 제거할 수 있었다. 실험결과 유체소자 제작을 위해 Nd:YAG 4고조파 성분 ( $\lambda=266 \text{ nm}$ )의 펄스 에너지와 스테이지 이동속도를 변화시켜 PMMA 기판 상에서 원하는 마이크로 채널을 형성시킬 수 있었다. 향후 유체 채널 내벽의 기공제거와 거친 표면들의 문제를 해결하는 노력을 기울여 보다 안정적인 고 효율적인 유체소자를 제작해야 할 것으로 사료된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Larisa Martynova, Laurie E. Locascio, Michael Gaitan, Gary W. Kramer, Richard G. Christensen, and William A. MacCrehan, "Fabrication of plastic microfluid channels by imprinting methods", Anal. Chem., Vol. 69, p. 4783, 1997
- [2] H. Becker, and U. Heim, "Hot embossing as a method for the fabrication of polymer high aspect ratio structures", Sens. Actuators A: Phys., Vol 83, p. 130, 2000
- [3] S. Baudach, J. Bonse, J. Kruger, and W. Kautek, "Ultrashort pulse laser ablation of polycarbonate and polymethylmethacrylate", Applied Surface Science, Vol 154, p. 555, 2000
- [4] David Gomez, Igor Goenage, "On the incubation effect on two thermoplastics when irradiated with ultrashort laser pulses: Broadening effects when machining microchannels, Applied Surface Science, Vol 253, p. 2230, 2006
- [5] R. Srinivasan and B. Braren, "Lasers in polymer science and technology: Applications", CRC press, Vol 3, p. 164.