

# 모세관 효과 향상을 위한 유리관 내벽의 미세가공

## Micro-processing of inner surface of glass tube for enhancement of capillary effect

김영섭, 유진창\*, 고명진, 손익부, 노영철, 이종민,  
광주과학기술원 고등광기술연구소  
\*조선대학교 공과대학 광기술공학과

[kimys@gist.ac.kr](mailto:kimys@gist.ac.kr)

모세관 현상은 우리 주위에서 흔하게 볼 수 있는 자연현상으로 Laplace 압력에 의해 물과 같은 액체가 상승 및 하강하는 현상으로 액체에 작용하는 압력은 중력에 의해 상쇄되기 때문에 (1)식과 같은 Young-Laplace 방정식으로 기술되고, 이로부터 모세관 압력차에 의해 상승 또는 하강 높이를 예측할 수 있다. 즉, 유리관 끝단이 액체에 잠겼을 때, 만약 액체가 물이라면 90도 보다 작은 접촉각을 가지므로 모세관 상승을 일으키게 되고 수은의 경우 접촉각이 90도 보다 크기 때문에 모세관 하강을 일으키게 된다. 전자의 경우는 친수성, 후자의 경우는 발수성의 성질을 갖게 된다.

$$\Delta p_c = \frac{2\gamma}{r} \cos \theta \text{-----(1)}$$

여기에서  $\Delta p_c (= \rho gh)$  는 관의 곡률에 의해 발생하는 압력차 즉,  $p_{\text{non-wetting phase}} - p_{\text{wetting phase}}$ ,  $\gamma$  는 액체의 표면장력,  $r$  은 관의 반지름,  $\theta$  는 접촉각,  $\rho$  는 액체의 밀도,  $g$  는 중력 가속도이며 실험에 사용된 시료가 튜브 형태의 유리관이기 때문에 분자는  $2\gamma$  의 값을 취한다 <sup>(1-3)</sup>.

본 연구는 Ti:Sapphire 펄스 레이저 (파장 785 nm, 펄스폭 185 fs, 반복율 1 kHz, Cyber Laser Inc., FS-IFRIT) 빔을 한 축 (x axis)으로 0.9 mm/s로 움직이는 Fused silica glass tube의 내벽에 33  $\mu\text{J/pulse}$ 의 에너지로 수직 조사하였다. 가공시 시료의 내벽에 약 5 ~ 8  $\mu\text{m}$  깊이의 채널을 형성시킬 수 있는 레이저의 초점 심도를 고려해 가공 부위의 폭을 130  $\mu\text{m}$ 로 고정하였으며 이 폭 내에 10  $\mu\text{m}$  간격으로 13개의 채널을 유리관의 축방향으로 2 cm의 길이로 형성하였다. 전술된 가공 영역을 한 그룹으로 묶었을 때 각 시료마다 그룹을 그림 1과 같이 0, 4, 8, 그리고 16개로 회전 stage를 사용해 0°, 90°, 45° 및 22.5°의 등 간격 각도로 회전시킨 후 가공하였다. 가공시 반과장판과 편광기를 이용하여 시료의 가공 축과 수직인 방향으로 편광을 제어하였다. 이는 그림 2와 같이 레이저 가공에 의해 형성된 패턴 내부에 발생하는 작은 물결 무늬의 방향을 가공 축 방향과 일치하게 만들기 위함이다.

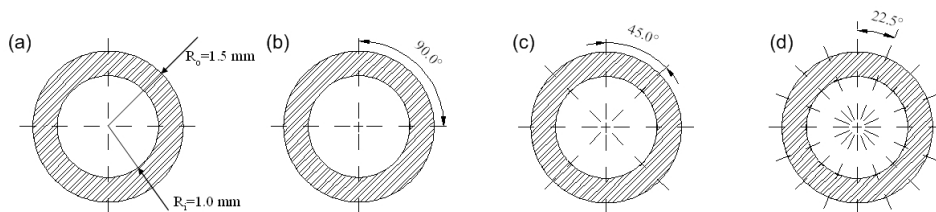


그림 1. 유리관 내벽에 마이크로 채널을 형성하기 위한 회전 stage를 이용한 유리관의 회전각

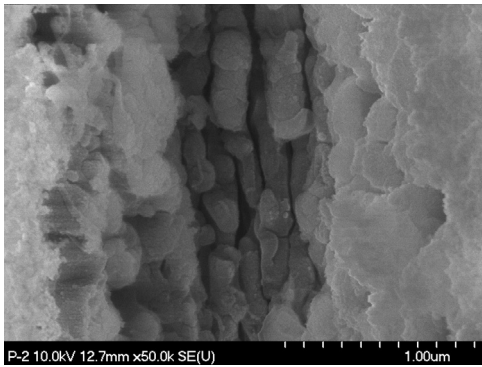


그림 2. 패턴에 형성된 물결 무늬

축과 동일한 방향으로 미세 패턴을 형성하였을 시 보다 높은 친수성의 성질을 갖게 되어 모세관 상승 현상을 일으키는 것을 볼 수 있다. 이러한 친수성의 성질을 갖는 모세관 상승현상은 생고분자를 이용한 약물전달 및 조직공학등에 폭넓게 응용될 뿐만 아니라 관 내에서의 응결된 증기를 빠른 속도로 흡수하게 함으로써 기존의 열 교환기 효율을 높일 수 있으리라 기대된다.

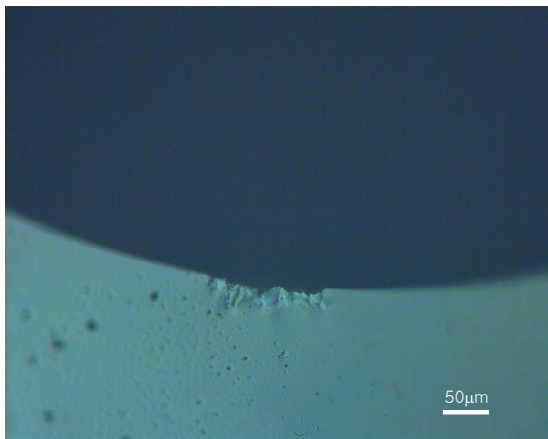


그림 3. Fs laser에 의해 형성된 유리관 내벽의 마이크로 채널 단면

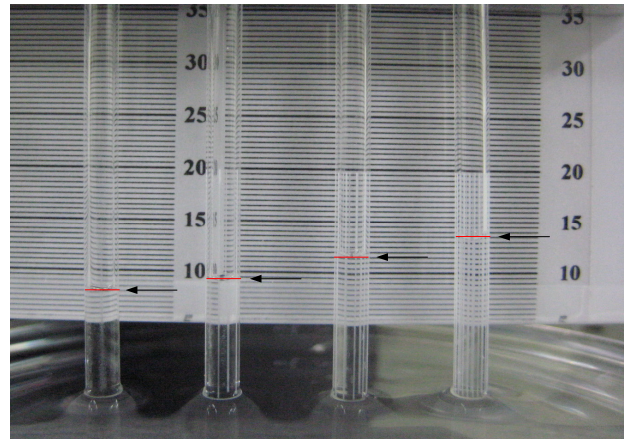


그림 4. 미세 가공된 유리관의 모세관 상승 높이

표 1. 미세 가공 그룹 개수 및 회전 stage 각도에 따른 모세관 상승 높이와 접촉각

그룹 개수	회전 stage 각도 (degree)	모세관 상승 높이 (mm)	접촉각 (degree)
0	0	8	32.8
4	90	9.5	29.05
8	45	11.5	16.19
16	22.5	13.5	11.31

본 연구는 지식경제부 극초단 광양자빔 이용기술 개발 사업과 산업용 초미세 펄스 레이저 나노 가공 지원 센터 설치 운영 사업의 일부 지원에 의한 것입니다.

- (1) Lei-Han Tnag and Yu Tang, Journal of Physics II France, 4, 881-890, 1994.
- (2) Jose Bico and David Quere, Journal of Collid and Interface Science, 247, 162-166, 2002.
- (3) Changju Wu, Zhonghe Jin, HuiQuan Wang, Huilian Ma, and Yuelin Wang, Journal of Micromechanics and Microengineering, 17, 2393-2397, 2007.