

펄토초 레이저 펄스 컨트롤을 이용한 유리 내부의 필라멘트 발생

최원석^{1,2}, 김훈영^{1,2}, 지석영^{1,2}, 신영관^{1,2}, 정웅현², 전진우², 강희신², 안상훈², 조성학^{1,2*}

In glass filament generation using femtosecond laser with pulse control

Wonsuk Choi, Hoon-Young Kim, Seok-Young Ji, Young Gwan Shin, Woonghyun Jeung, Jin Woo Jeon, Heeshin Kang,

Sanghoon Ahn, Sung-Hak Cho*

과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스 학과¹, 한국기계연구원²

Key Words : Transparent material, Femtosecond laser, Micro endmilling, Acoustic emission, Surface texture

1. 서론

펄토초 레이저는 짧은 펄스폭에 의한 높은 첨두 출력으로 인해 다른 레이저에서는 보기 힘든 여러 비선형적 현상을 수반한다. 대표적으로 투명유리내부에서 펄토초 레이저 펄스가 지나갈 때 발생할 수 있는 셀프 포커싱 (Self-focusing)과 플라즈마 디포커싱 (Plasma defocusing)이 있고, 두 현상이 연속으로 발생하여 종횡비가 긴 채널을 형성하는 필라멘테이션 (Filamentation)이 있다. 선행연구에서는 필라멘테이션이 발생할 수 있는 조건은 연구가 되었으나 다양한 레이저 파라미터가 필라멘트 형성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 많이 되어 있지 않다. 본 연구에서는 높은 첨두 출력과 비열가공이 가능한 펄토초 레이저를 사용하여 펄스 횟수에 따라 투명 유리 내부에서 비선형적 현상을 이용한 필라멘트 발생과의 상관관계를 알아보는 실험을 수행하였다.

2. 유리 내부의 필라멘테이션 실험

본 실험에서 사용되어진 레이저는 795 nm의 중심파장과 90 fs의 펄스폭, 5 kHz의 반복률, 700 μJ의 펄스 에너지를 갖는 펄토초 레이저이다. 외부 attenuator와 ND필터를 통해 펄스 에너지를 조절한다. 3축 스테이지로 위치를 조절하며 대물렌즈를 사용하여 레이저 빔을 집속한다. 소프트웨어를 통한 AOM의 burst mode를 사용하여 레이저 빔을 펄스 단위로 발진하여 펄스 횟수에 따른 필라멘트 형성을 알아본다. Fig. 1은 실험장비의 개략도를 보여주고 있으며, 가공조건은 약 420 μJ의 펄스 에너지, 1 ~ 1000 번의 펄스 횟수로 펄스 횟수에 따른 실험 결과를 비교 하였다.

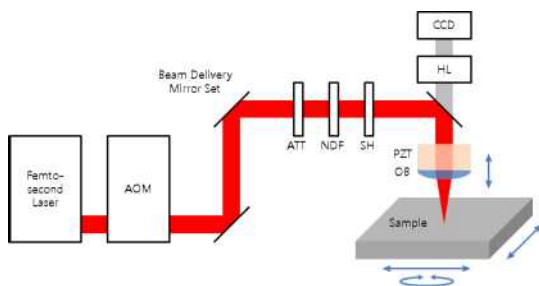


Fig. 1 Diagram of experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰

펄스 횟수에 따른 투명유리 내부의 필라멘테이션 특성을 보기 위해 펄스 횟수를 변화시키며 실험을 진행하였다. 각 조건에 해당하는 영역별 광학현미경 사진으로 변수 변화에 따른 실험결과를 Fig. 2에 나타내었다.

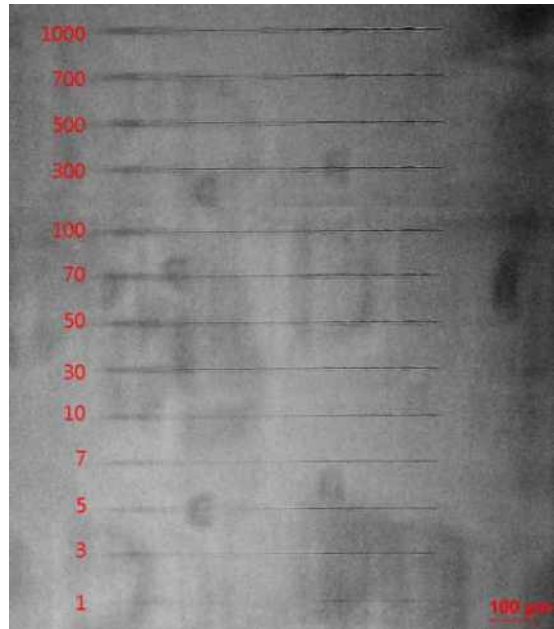


Fig. 2 Microscope image of filamentations by laser pulses

Fig. 2 에서 왼쪽의 숫자들은 펄스 횟수를 나타내며 레이저 펄스는 왼쪽에서 오른쪽으로 입사된다. 펄스 횟수가 많아질수록 발생된 필라멘트의 흔적이 강해지는 것을 광학현미경 사진을 통해서 알 수 있다. 측정결과 펄스 횟수와 상관없이 필라멘트의 길이는 약 700 μm이었으며, 그 폭은 펄스 횟수에 따라 3 ~ 8 μm인 것을 알 수 있었다. 펄스 횟수가 많아질수록 전 펄스로 인해 발생된 필라멘트가 유리내부에 국부적인 굴절률 변화를 일으켜 다음 펄스가 비선형 현상을 일으킬 때 영향을 받는 것으로 추측된다. 또한 상대적으로 에너지가 약한 펄스의 가장자리 부분도 펄스가 중첩될수록 굴절률이 변하는 정도가 커져 광학현미경으로 측정 시 그 흔적이 짙게 나타나는 것으로 생각된다. 이를 통하여 필라멘테이션에서 펄스 횟수는 필라멘트의 직경에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) McMilen, B.W., 2012, *Ultra-Fast Laser Induced Structural Modification of Fused Silica. Part I Feature Formation Mechanisms*, Ph.D. Thesis, Graduate Faculty of Swanson School of Engineering, USA.
- (2) Couairon, A., Mysyrowicz, A., 2007, *Femtosecond filamentation in transparent media*, Physics Reports, 441, 47~189.
- (3) Couairon, A., Franco, M., Mechain, G., Olivier, T., Prade, B., Mysyrowicz, A., 2006, *Femtosecond filamentation in air at low pressures Part I Theory and numerical simulations*, Optics Communications, 259, 265~273.