

레이저 트위저 라만 분광을 이용한 펨토초 광포획 동안의 적혈구 손상 분석

Analysis of RBC Damage Using Laser Tweezers Raman Spectroscopy (LTRS) During Femtosecond Laser Optical Trapping

주성빈, 표진우, 장재영, 이승덕, 김법민*
연세대학교 의공학과

femtosecond laser를 광원으로 하는 optical tweezers는 광포획 뿐만 아니라 비선형 현상을 발생시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 높은 첨두 출력에 의하여 포획된 세포는 쉽게 손상되어 질 수 있다. 본 논문에서는 LTRS(Laser Tweezers Raman Spectroscopy)를 통하여 femtosecond laser와 CW laser에 의한 optical tweezers 상에서의 optical damage를 비교, 분석하였다.

본론

optical tweezers는 레이저를 통하여 미세 입자를 외부 접촉 없이 포획할 수 있는 방법을 말하며, 지금까지 생물, 의학 등의 다양한 분야에 폭 넓게 응용되어 왔다^[1]. optical tweezers를 이용하여 광포획 뿐만 아니라 세포의 물리적, 기계적 특성, 최근에는 단일 세포 단위의 라만 분석까지도 가능하게 되었다. 최근에 펨토초 레이저를 이용한 optical tweezers의 가능성을 열어 준 논문이 보고 되어 왔으며, 펨토초 레이저를 이용하면 광포획 뿐만 아니라, 이차 하모닉(second harmonic), 다광자 흡수(multi-photon absorption), CARS(coherent anti-stoke raman scattering)과 같은 비선형 광학 현상까지도 관찰 할 수 있다는 장점을 가지고 있다^[2]. 그러나 펨토초 레이저의 높은 첨두 출력에 의하여 강하게 집속된 빛에 의하여 광포획을 하는 optical tweezers에서는 세포에 쉽게 damage를 가할 수 있다^[3]. 그럼에도 불구하고 펨토초 레이저에 의한 optical damage에 관한 연구가 충분하게 이루어 지지 않았다. 본 논문에서는 LTRS를 이용하여 펨토초와 CW 레이저에 의한 적혈구의 damage 정도를 라만 신호를 통하여 비교 분석하였다.

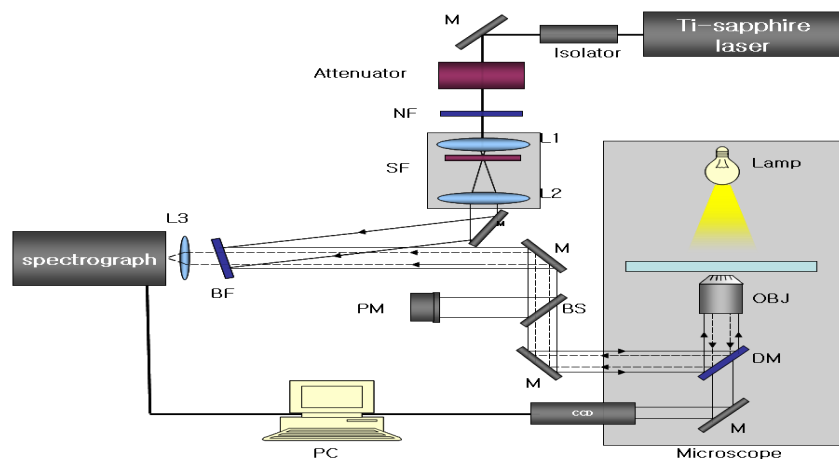


그림 1. 적혈구의 광포획과 damage 라만 신호 분석을 위한 실험 장치

그림 1은 본 연구팀이 구성한 실험 장치이다. CW와 펄스 레이저의 모드 변환을 위해서 Ti-sapphire laser를 광원으로 사용하였으며, 라만 신호 분석을 위하여 notch filter와 band pass filter를 광경로에 두었다. L1, L2에 의해 확대된 빔은 대물렌즈를 거쳐 적혈구를 포획하는데 사용되었으며, 적혈구에서 얻어진 라만 신호는 같은 대물렌즈에 의해 모아져 스펙트로미터로 보내져 분석되어 진다. 획득된 라만 신호와 CCD에서 얻어진 영상은 컴퓨터를 통하여 분석하였다.

그림 2는 펄스 레이저를 이용하여 적혈구에 damage를 가하기 전(a)과 후(b)의 라만 신호 변화를 보여주는 그림이다. CW레이저와 펄스 레이저에 의한 라만 신호의 변화를 비교, 분석하였으며 펄스 레이저에 의한 damage는 CW에 의한 damage와는 다른 양상을 나타내는 것을 확인하였다. 적혈구가 CW에 의해 damage를 받을 때는 외형의 변화와 라만 신호의 변화가 거의 동시에 발생하였으나, 펄스 레이저에 의한 damage를 받을 때는 낮은 파워에서 외형은 유지된 상태에서 라만 신호의 변화가 관찰 되었다. 이는 펄스 레이저에 의한 다광자 흡수와 관련된 것으로 보여진다. 본 연구에서는 펄스 레이저와 CW 레이저에 의한 적혈구의 damage를 시간과 조사된 레이저 파워의 변화에 따라 라만 신호를 통하여 관찰 하였다.

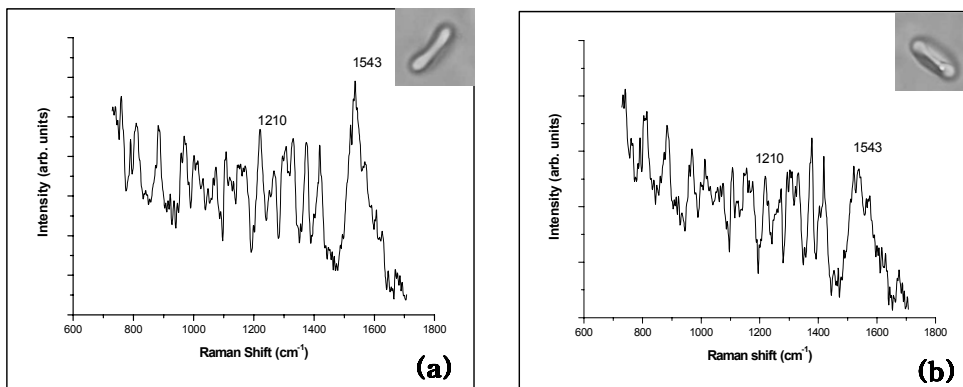


그림 2. 펄스 레이저에 의한 적혈구의 라만 신호 변화.

참고문헌

- [1] A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm, and S. Chu, Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles, *Opt. Lett.* 11, 288 (1986)
- [2] B. Agate, C. T. A. Brown, W. Sibbett, K. Dholakia, femtosecond optical tweezers for in-situ control of two photon fluorescence, *Opt. Express*, 12, 3011 (2004)
- [3] Kang-Bin Im, Sung-Bin Ju, Sumin Han, Hwajoon Park and Beop-Min Kim, Trapping efficiency of a femtosecond laser and damage thresholds for biological cells, *J. Korean Phys. Soc.* 48, 968 (2006)