

펨토세컨드 레이저를 이용한 미립자의 광포획

Optical trapping of microparticles using a femtosecond laser

임강빈*, 주성빈*, 한수민*, 김단**, 김수기**, 김법민*

*연세대학교 보건과학대학 의공학과

**연세대학교 원주의과대학 미생물학교실

kbim@dragon.yonsei.ac.kr

레이저를 이용하여 세포를 포함한 미립자를 포획할 수 있는 방법이 생물, 의학, 콜로이드 분야 등에서 광범위하게 사용되어지고 있다^[1]. 특히 광포획 방법을 사용하여 단일 세포 수준에서 비침습적으로 세포들의 점탄성도 등 물리적인 양들을 측정할 수 있다. 그동안 강하게 집속되어지는 레이저 빔에 의해 세포에 주어지는 optical damage를 줄이기 위해 다양한 레이저들이 광원으로 시도되어져 왔는데, 그 중에서도 biological samples에 흡수가 가장 적은 Ti-sapphire 나 Nd (neodymium) 등의 고체 레이저들이 사용되어지고 있다.

최근에 펨토세컨드 레이저를 이용하여 미립자를 포획했다는 결과가 보고되어지고 있다^[2]. 펨토세컨드 레이저에 의해 광포획 되어지는 메커니즘은 펄스의 피크 파워 (peak power)가 아니라 평균 파워 (average power)에 의해 좌우되어진다고 알려지고 있다. 광원으로 펨토세컨드 레이저를 사용하면 미립자를 포획하는 것 뿐만 아니라 이차조화발생(second harmonic generation)과 다광자 흡수(multi-photon absorption) 등 비선형 현상을 일으킬 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 continuous wave (cw) 레이저와 펨토세컨드 레이저를 사용하여 유전체구를 포획하여 광포획 효율을 비교하였다. 펨토세컨드 레이저로 세포를 광포획시 매우 낮은 파워에서도 optical damage가 발생되어지는데, optical damage thresholds를 측정하였다.

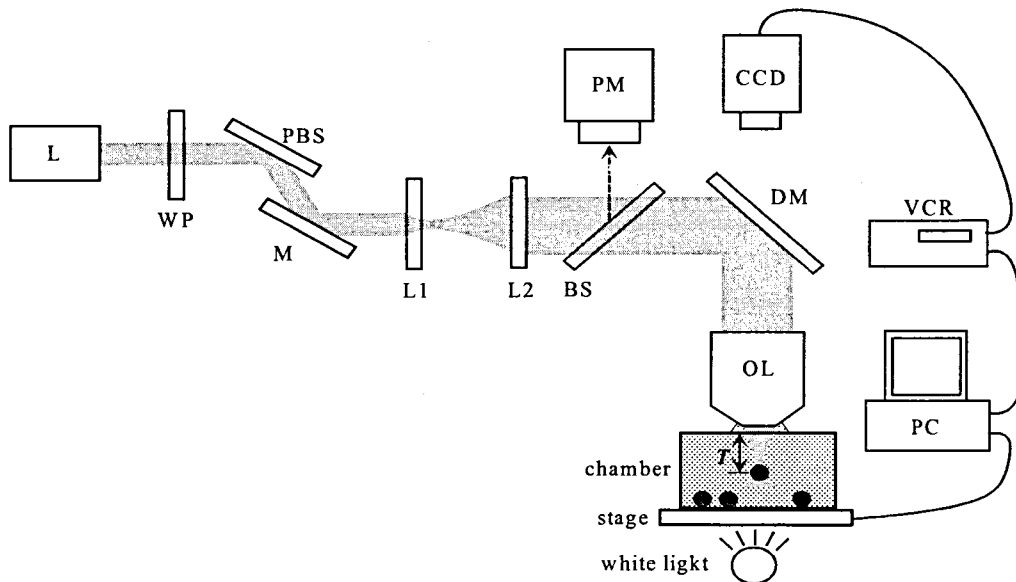


그림 1. 펨토세컨드 레이저를 사용한 광포획 실험 장치

그림 1은 펨토세컨드 레이저를 사용한 광포획 실험 장치이다. 광원으로는 Ti-sapphire 레이저를 사용하였으며, 레이저 파워는 wave plate와 polarizing beam splitter를 사용하여 조절하였다. 레이저 빔을 대물렌즈의 개구(aperture)에 채우기 위해 볼록 렌즈 두개를 사용하여 빔의 크기를 확대하였다. beam splitter와 power meter를 이용하여 입사되는 레이저 파워를 모니터하였고 이색 거울(dichroic mirror)을 사용하여 입사되는 레이저를 대물렌즈로 입사시켰고 샘플에 산란되어져서 나오는 빔을 CCD로 입사되는 것을 차단하였다. CCD를 통해 얻은 영상은 VCR과 컴퓨터에 저장하였다.

그림 2는 펨토세컨드 레이저를 사용하여 적혈구와 혈소판을 포획한 사진이다. 그림 2(b)는 챔버 바닥에 있는 적혈구(그림 2(a))를 포획하여 위로 들어올린 것을 찍은 사진이다. 그림 2(c)는 혈소판을 포획한 사진이다. 모니터로 관측한 바로는 cw 레이저와 펨토세컨드 레이저를 사용한 광포획의 차이점을 쉽게 찾아볼 수는 없었다. 하지만 펨토세컨드 레이저의 파워를 증가시켰을때, 그림 2(d)에서 보는 것처럼 매우 낮은 파워에서도 펨토세컨드 레이저에 의해 optical damage가 생기는 것을 관측할 수 있었다(흰색 화살표). 본 연구에서는 이러한 흰색 점이 생기기 전까지의 레이저의 파워를 damage thresholds로 정하고 챔버의 높이에 따라 연령에 따라 damage thresholds를 측정하였다.

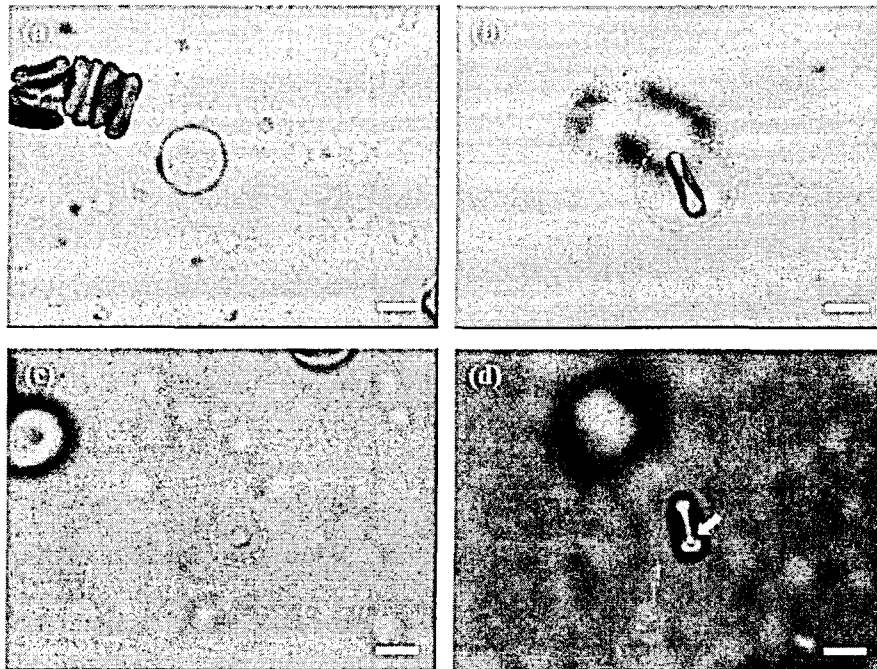


그림 2. 펨토세컨드 레이저에 의해 포획된 적혈구와 혈소판. 막대의 크기는 $5\mu\text{m}$ 이다.

참고 문헌

1. A. Ashkin, J.-M. Dziejcz, J. E. Bjorkholm, and S. Chu, "Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles," *Opt. Lett.* **11**, 288-290 (1986).
2. H. Little, C. T. A. Brown, V. Garcs-Chavez, W. Sibbet, and K. Dholakia, "Optical guiding of microscopic particles in femtosecond and continuous wave Bessel light beams," *Opt. Express* **11**, 2560-2565 (2004).

F
B