

광포획된 마이크로입자의 포획효율의 분석

Analysis of Optical Trapping Efficiency on Optically Trapped Microparticles

김현익, 임강빈, 주인제, 오차환, 송석호, 김필수

한양대학교 물리학과 비선형 광학 연구실

dahmulist@hanmail.net

Optical tweezers는 광압(radiation pressure)을 사용하여 입자들을 포획하거나 조절할 수 있다는 점에서 마이크로 스케일의 유전체구뿐만 아니라 세포에서도 널리 사용되고 있다. 일반적으로 빛이라는 것은 광자들의 집합체로서 광자의 입자성으로 인하여 외부의 물체와 충돌시 운동량을 전달하게 되고 이것을 광압(radiation pressure)이라고 하며 optical tweezers [1]는 이 광압을 이용한 방법중 하나이다. 레이저빔을 입자에 집속시켜주게 되면 입자는 광압에 의해서 gradient force와 scattering force의 힘을 받게된다. 이 중 gradient force는 레이저빔 intensity의 기울기에 의존하며 intensity의 기울기가 커질수록 광포획효율은 증가하게 된다.[2] 여러 광포획기술과 응용분야가 갈수록 발전, 확대되고 있지만 광포획효율에 대한 기초연구는 상대적으로 미진하였다. 광포획효율을 증가시킬 경우, 세포의 광포획시 일어날 수 있는 optical damage를 줄일 수 있으며 고출력레이저 뿐만 아니라 저출력 레이저로도 광포획이 가능하게 된다. 본 연구에서는 입사되는 레이저의 빔반경과 chamber의 높이에 따라 광포획효율의 변화를 측정하였다.

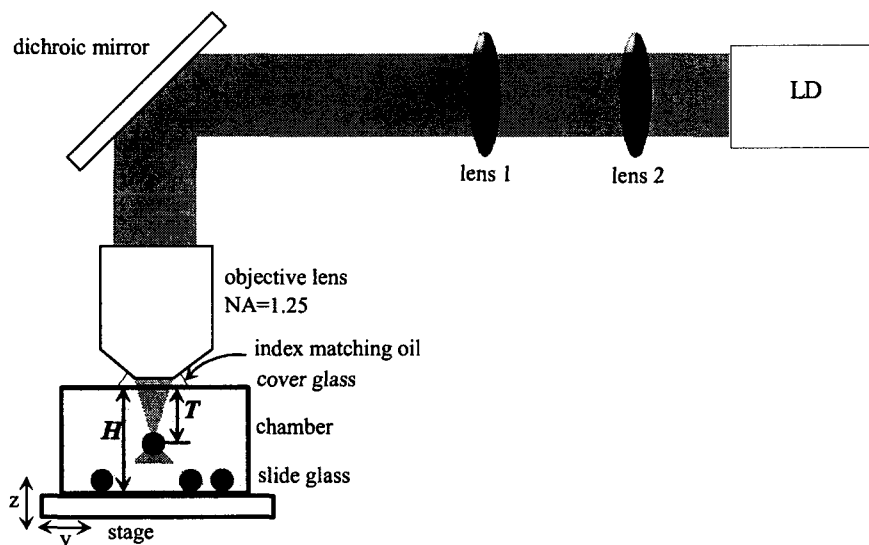


그림 1. 실험장치도

그림 1에서 보는 것처럼 광원으로는 834 nm인 LD를 사용하였으며 입자는 폴리스티렌구(굴절률:1.59)를 사용하였다. 레이저에서 나온 빔은 렌즈를 통해 빔의 크기를 조절하게 하였다. lens1과 lens2에 의해 확대된 빔은 현미경의 대물렌즈를 거쳐 chamber에 들어있는 유전체구에 집속되어 유전체구가 집속된 레이저빔의 초점부근에 포획된다. 이때 입사된 빔반경에 대한 z축과 y축에 대한 axial trapping efficiency와 transverse trapping efficiency를 구함으로써 입사되는 빔반경에 따른 광포획효율의 의존성을 구하였다. 또한 chamber의 높이를 조절하여 chamber의 여러 높이에서 광포획효율을 측정하였다.

그림 2는 ray optics 모델을 사용하여 레이저빔의 파워에 따라서 유전체구의 포획위치가 어떻게 변하는지 계산한 결과이다. 레이저의 파워를 점차 줄여감에 따라 유전체구의 포획위치가 구 중심에서 점차 멀어짐을 알 수 있다. 그림 3은 다양한 높이에서 포획된 유전체구의 이미지를 보여주고 있다. 유전체구의 포획된 이미지가 높이에 따라서 다르게 보임을 확인할 수 있다.

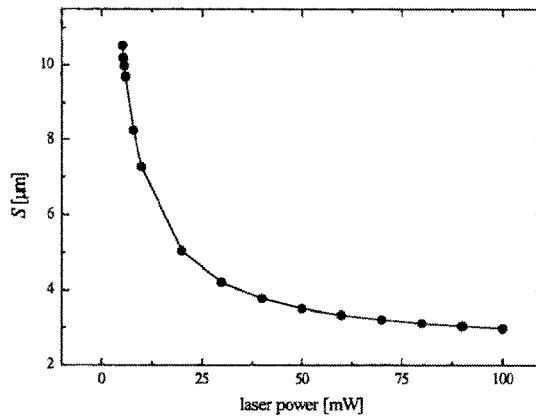


그림 2. 레이저파워에 따른 포획위치의 변화

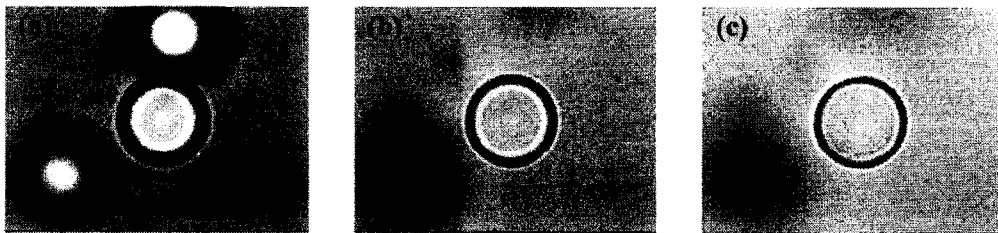


그림 3. 포획된 위치에 따른 포획효율의 변화

하나의 유전체구를 포획할 경우 유전체구는 여러 가지 변수에 의해서 영향을 받게 되는데 그중 레이저 빔의 반경과 셀(cell)의 높이에 대한 의존도 커지게 된다. 입사하는 레이저의 빔반경과 chamber의 높이를 조정함으로써 셀의 높이가 광포획에 미치는 영향을 분석하였다.

Reference

1. A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm and S. Chu, Opt. Lett. 11, 288(1986)
2. W.H. Wright, G. J. Sonek, and M. W. Berns, Appl. Opt. 33, 1735(1994)