

강하게 집속된 레이저빔에 의한 유전체구 포획시 포획효율의 편광 의존성

Polarization-Dependence of Trapping Efficiency of Dielectric Sphere with the Highly Focused Laser Beam

이단열, 임강빈, 오차환, 송석호, 김필수
레이저광학 연구실, 한양대학교 물리학과
choh@email.hanyang.ac.kr

Ashkin에 의해 처음으로 단일 레이저를 사용하여 미세입자를 포획한 이후로 많은 연구가 활발히 이루어지고 많은 분야에 응용이 되고 있다[1].

포획이 되는 기본적인 원리는 일정한 파장을 가진 레이저가 물체에 부딪히게 되면 빛의 일부는 표면에서 반사가 되고 일부는 물체를 통과하면서 굴절을 하게 되는데, 이 때 굴절에 의해 발생하게 되는 운동량의 차이가 포획을 가능하게 한다. 이때 발생하는 힘은 빛의 입사되는 방향에 평행한 경우(scattering force)와 수직인 경우-gradient force)로 나눌 수 있으며, 입사되는 각에 따라 두 성분의 크기가 바뀌게 되는데 이를 이용하여 입자를 밀어내고 잡아당기는 효과를 줄 수 있다[2].

이러한 현상을 single beam gradient trap 또는 optical tweezer 라고 부르는데 실험에 있어서 레이저를 대물렌즈등을 통해 강하게 집속시켜 μm 나 sub- μm 크기의 물체에 조사시키면 레이저가 집속된 초점 부근으로 잡아당기는 힘-gradient force)이 밀어내는 힘(scattering force)보다 커져서 beam waist 부근에서 포획이 가능해지며 이때에 레이저 광이나 현미경의 stage를 움직이므로써, 물체를 상하좌우로 조작할 수가 있게 된다.

계산 및 실험에 사용되는 힘의 표현은 다음과 같이 주어진다.

$$F = \frac{n_1 P}{c} Q. \quad P: \text{Power}, \quad n_1: \text{굴절률}, \quad c: \text{빛의 속도}, \quad Q: \text{포획효율(trapping efficiency)}$$

여기서 Q는 차원이 없는 양으로 Q값에 따라 트랩의 정도가 달라지고 대물렌즈를 통해 레이저를 집속시킨 경우 N.A값에 따라 변하게 된다.

유전체구를 포획하여 좌우로 움직이는 경우에는 상하로 움직이는 경우와는 달리 Q_{tr} 값이 입사되는 레이저의 편광 방향에 따라 힘을 다르게 느끼므로 Q_{tr} 값은 편광 성분에 의존하게 된다. 따라서, 입사되는 레이저광의 편광성분을 고려해야 한다.

계산에서는 입사되는 beam을 Gaussian beam(TEM₀₀)으로 놓고 기하학적으로 해석하여 편광에 따른 Q_{tr} 값을 구하였다. 이동축에 따른 Q_{tr} 값의 크기는 입자의 edge에서 가장 크게 나타난다. 실험에서는 Laser Diode(파장 832nm)를 N.A값이 1.25(100X), 0.8(60X)인 대물렌즈에 집속시켜 입자지름이 다른(20 μm , 5 μm) 폴리스티렌 구를 포획하였고, drag-force method를 사용하여 포획된 입자의 탈출속도를 측정하

여 Q값을 구하였다. $\lambda/4$, $\lambda/2$ -waveplate를 사용하여 편광에 따라 transverse trapping efficiency의 변화를 측정하였다.

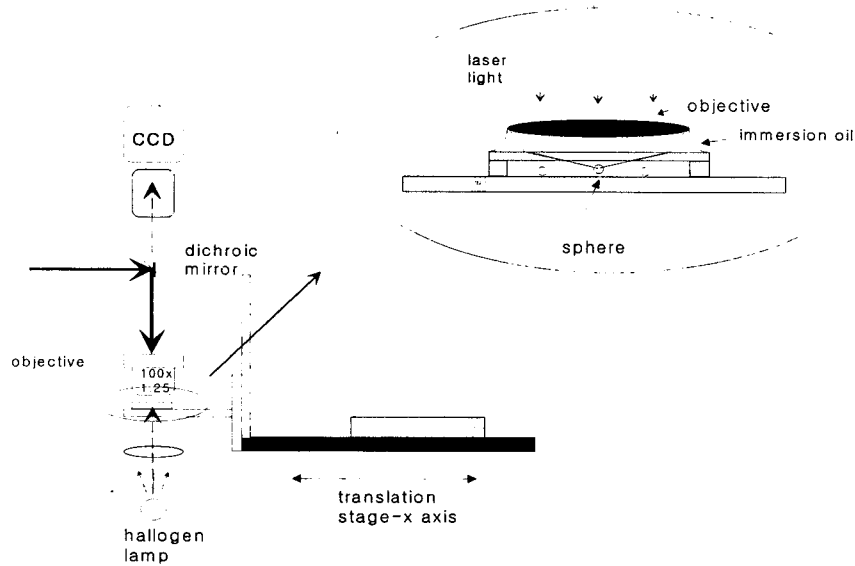


Fig. 1. 실험 장치도

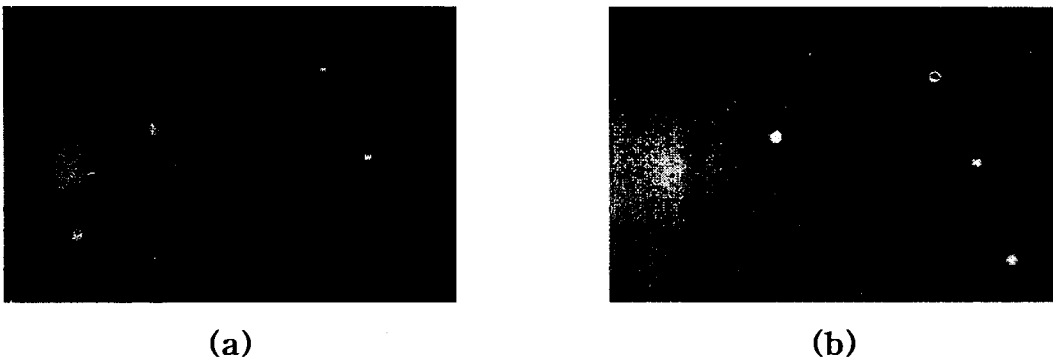


Fig. 2 레이저를 이용하여 포획된 유전체구의 이동.

참고문헌

1. A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm, and Steven Chu, "Observation of single-beam gradient force optical trap for dielectric particles," *Opt. Lett.*, 11, 156~159, (1986).
2. A. Ashkin, "Force of a Single-Beam Gradient Laser Trap on a Dielectric Sphere in Ray Optics Regime", *Biophys. J.*, 61, 569~582, (1994).