

Calibration of optical tweezers system using power spectrum method

표진우, 주성빈, 김법민*
연세대학교 의공학과

최근 다양한 분야에서 레이저를 이용하여 세포를 포함한 미립자를 포획하는 것에 대한 관심이 높아짐에 따라 이것을 다루는 강력한 방법 중에 하나인 Optical Tweezers가 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 Optical Tweezers를 통해 입자를 포획 한 후 이것의 힘 측정방법중 하나인 Power Spectrum Method를 이용하여 점탄성도등 물리적인 양들을 측정해 보았다.

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 이용하면 포획된 입자를 정교하게 다룰 수 있을 뿐만 아니라 포획된 입자에 가해지는 힘을 pN 단위까지 측정할 수 있어 세포를 포함한 미립자의 특성을 이해하는데 가장 좋은 방법 중 하나이다. 포획된 입자에 가해지는 힘은 입자의 위치 변위로 나타나며 Position sensor를 통해 위치변위를 추적해 간접적으로 포획된 입자에 가해지는 힘을 측정할 수 있다. Optical tweezers에 의해 포획된 입자가 한 방향 x로 속도 v를 가지고 이동되어 진다고 가정하고, r을 입자의 반지름, η를 수용액의 점도(viscosity)라고 할 때 입자의 운동 방정식은 랑주뱅 방정식(Langevin equation)에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다[2].

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - \gamma \frac{dx}{dt} + F(t)$$

이 식을 통하여 Power Spectrum을 얻을 수 있으며, 이것을 이용하여 corner frequency, calibration factor, viscosity 값을 구할 수 있다.

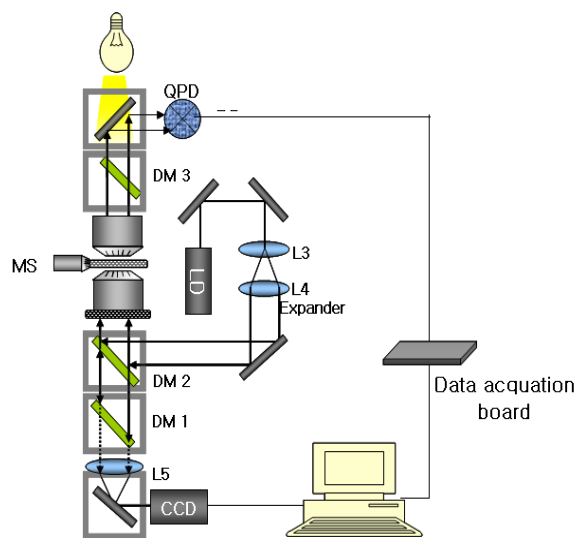


그림1. 포획 힘 측정을 위한 시스템

그림 1은 포획 힘을 측정하기 위한 시스템이며 광원으로는 1064nm의 다이오드 레이저를 사용하였고, 시료로 입사된 빛은 수집렌즈를 통하여 모아져 최종적으로 Position sensor인 Quadrant Photo Diode로 보내진다. QPD에서 획득한 아날로그 신호는 데이터 수집 장치에서 획득하여 컴퓨터로 보내어지며 Labview를 이용하여 Spectrum을 얻게 된다.

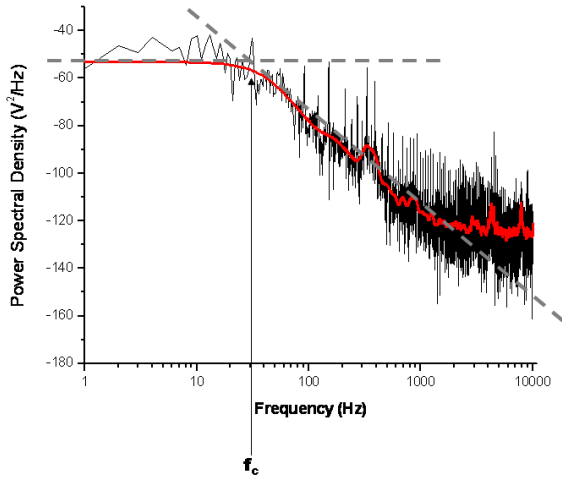


그림2. 측정된 power spectrum과 corner frequency (f_c)

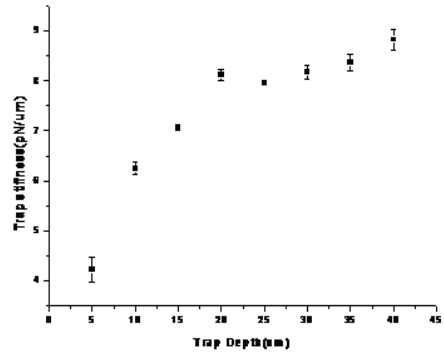


그림3. Trap Depth에 따른 Trap Stiffness 변화

그림2는 QPD를 통해 얻은 Power Spectrum이며 linear fitting을 통하여 corner frequency를 측정하였다. 본 논문에서는 power spectrum method를 사용하여 optical tweezers의 포획 힘을 측정하고자 하였다. Power spectrum method를 이용한 포획 힘을 측정하기 위해서는 trap stiffness, calibration factor, viscosity를 측정해야 한다. 따라서 얻은 Corner frequency를 이용해 Trap Stiffness 값을 구할 수 있으며 그림 3은 Trap Depth를 변화시켜 가면서 Trap Stiffness를 측정해 보았다. 여기서는 포획된 입자의 높이와 입사된 레이저 파워에 따라 trap stiffness와 calibration factor를 측정하였고, 이것을 이용하여 이번 실험에 사용된 입자의 크기에 맞는 최적의 Trap Depth를 찾을 수 있었다.

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] F. Gittes and C. F. Schmidt, "Interference model for back-focal-plane displacement detection in optical tweezers," *Opt. Lett.* 23, 7-9, (1998)