

## Optical manipulation of micro-particles and Escherichia coli with Laguerre-Gaussian mode laser beam

우제흔, 최현희, 이종구, 우정원, 임지선, 박성수

이화여자대학교 나노과학부

cellis07@ewhain.net

박우제, 송석호

한양대학교 물리학과

빛이 가지는 각운동량은 빛의 편광과 관련된 스핀각운동량과 빛의 공간적인 분포에 의존하는 궤도각운동량으로 구분될 수 있다. 궤도각운동량을 가지는 빛은 위상이  $\exp(-il\Phi)$ 항의 의존도를 갖는다는 점에서 평면파와 다르다. 여기서  $\Phi$ 는 빛의 종단면의 방위각이고  $l$ 은 정수이다. 이러한 빛은  $\exp(-il\Phi)$ 항의 영향으로 등위상면이 나선형으로 꼬인 모양을 가지게 되고, 포인팅(Poynting) 벡터 또한 방위각 성분을 가지게 되며 이로부터 궤도각운동량이 생성된다. 궤도각운동량을 가지는 빛 중에서 대표적인 것이 Laguerre Gaussian 빛이다<sup>(1)</sup>. Laguerre Gaussian 빛은 위와 같은 특징 때문에 빛의 종단면적상에서 항상 고리모양의 세기 분포를 가지고, 평면파와 간섭을 시켰을 때 간섭무늬가 1개의 회전날개를 가진 모양으로 나타난다<sup>(2)</sup>. 또한 Laguerre Gaussian 빛이 가지고 있는 궤도각운동량이 물질에 전달되면 물질에 회전을 일으킬 수 있다<sup>(3)</sup>. 한편 광 집게(optical tweezer)는 강하게 집광된 빛의 구배힘(optical gradient force)을 이용하여 마이크론(micron) 크기의 입자를 제어하도록 하는 기술로서, 이 경우 샘플의 오염이나 물리적 손상을 최소화 할 수 있기 때문에 여러 가지 응용분야에서 큰 관심을 받고 있다.

본 연구에서는 Laguerre Gaussian 빛을 광 집계에 응용하여 마이크론(micron) 크기의 입자를 제어하는데 성공하였다. 포획 레이저로는  $Ar^+$  레이저(514.5nm)를 사용하였고, 포획 대상물질은 폴리스타이렌(polystyrene) 구와 대장균(*Escherichia coli*)이었다. 폴리스타이렌 구는 붉은색 염료(Dye)가 포함된 것과 포함되지 않은 것 두 종류를 사용하였다. Laguerre Gaussian 빛과 Gaussian 빛을 간섭시킨 간섭무늬에 폴리스타이렌 구를 포획하고 제어하였으며, Laguerre Gaussian 빛을 이용하여 궤도각운동량의 전달

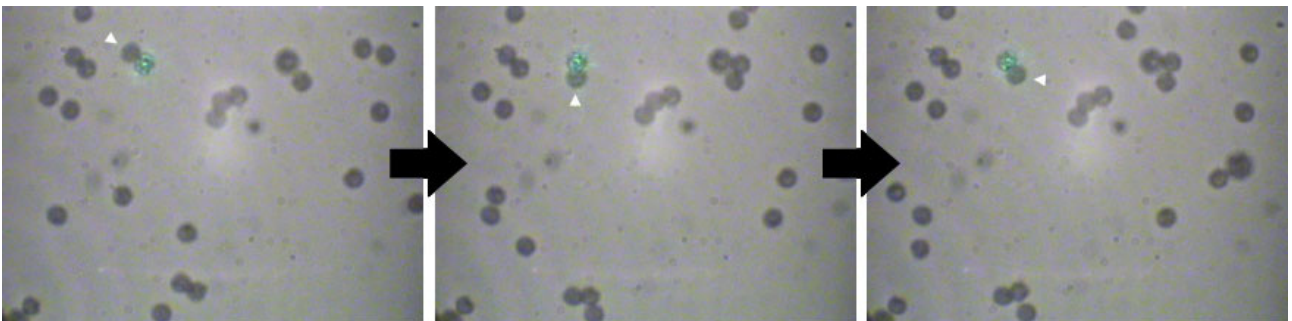


그림 1 Laguerre Gaussian 빛의 궤도각운동량의 전달에 의해 포획된 폴리스타이렌 구가 회전하는 모습. 녹색의 포획빔이 하나의 폴리스타이렌 구를 포획하였고, 포획된 구에 인접해 있는 다른 구의 회전에 의해 포획된 구가 회전한다는 것을 확인할 수 있다.

로 인한 폴리스타이렌 구의 회전을 관찰하였다(그림1). 또한 살아있는 대장균에 동일한 실험을 하여 포획이 되는 것을 관찰하였다(그림2). 또한 붉은 염료가 포함된 폴리스타이렌 구의 경우 포획 빔의 파워가 일정량 이상이 되면 Lasing으로 보이는 현상이 나타나는 것을 관찰하였다<sup>(4)</sup>.

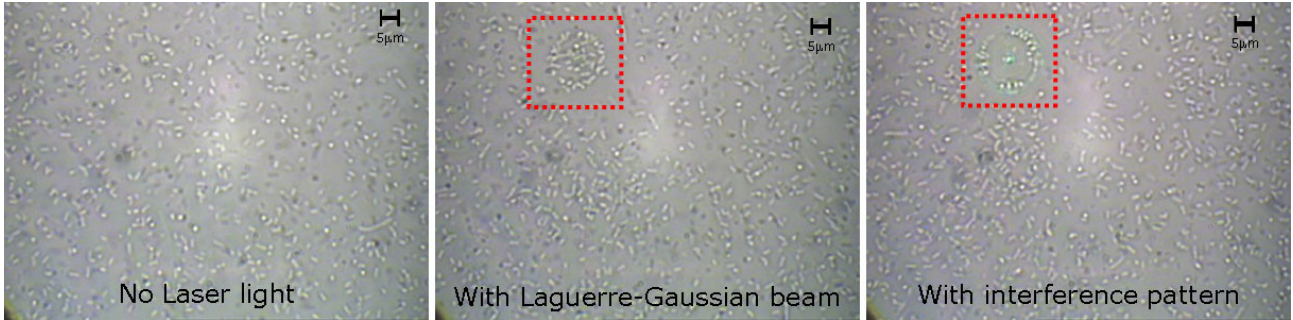


그림 2 대장균(Escherichia coli)이 포획된 모습. 붉은 네모 안에 대장균이 포획 빔의 모양대로 포획이 되어 있다는 것을 알 수 있다.

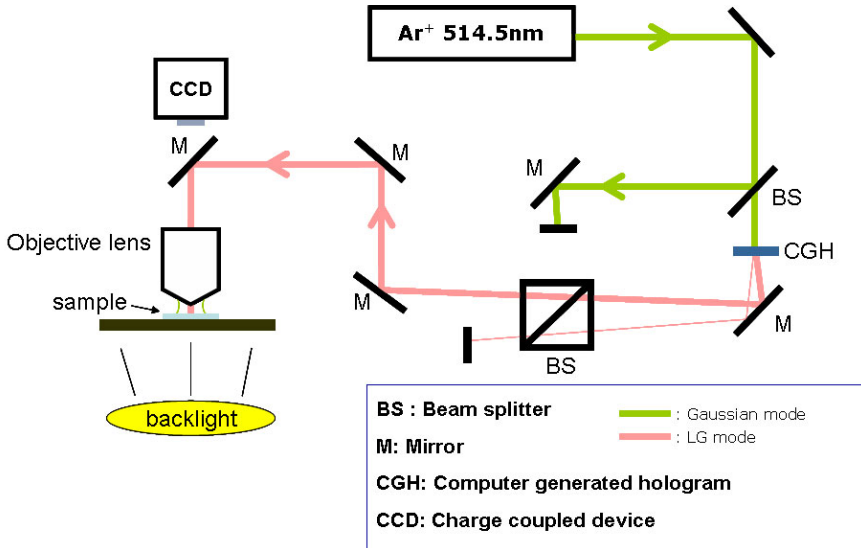


그림 3 궤도각운동량의 전달을 관찰하기 위한 실험장치도

References

1. Les Allen, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw, and J. P. Woerdman, "Orbital angular momentum of light and transformation of Laguerre-Gaussian laser mode", Physical Review A **45**, 8185 (1992).
2. H. He, M. E. J. Friese, N. R. Heckenberg, and H. Rubinsztein-Dunlop, "Direct observation of transfer of angular momentum to absorptive particles from laser beam with phase singularity", Physical Review Letters **75**, 826 (1995).
3. M. P. Macdonald, K. Volke-Sepulveda, L. Parterson, J. Arlt, W. Sibbett, and K. Dholakia, "Revolving interference patterns for the rotation of optically trapped particles", Optics Communications **201**, 21-28 (2001).
4. M. Kuwata-Gonokami, K. Takeda, H. Yasuda, K. Ema, "Laser emission from dye-doped polystyrene microsphere", Jpn. J. Appl. Phys. **31**, L99-L101, (1992).