# 증폭된 에바네슨트파의 광압에 의하여 구동되는 마이크로 회전자에 대한 연구

# Micro-rotors driven by an enhanced evanescent field pressure

마성민, 송영곤, 임천석, 조재홍, 장수
한남대학교 물리학과
hawkma@mail.hannam.ac.kr

수 마이크로 미터 크기의 Mie 입자들을 포획하거나 회전시키는 광학적 방법에는 레이저 광속을 입자에 바로 집속시켜 산란력 또는 경사력을 이용하는 경우와 프리즘이나 도파로를 이용해 전달된 레이저 광속을 그 내부에서 전반사 시킬 때 발생되는 에바네슨트 파의 광압을 이용하는 방법이 있다[1]. 이 중 비복사성 에바네슨트 파는 빛의 전반사시 유전체나 금속 경계면의 근접장 영역에서만 생성되므로 에바네슨트 파에 의한 광압은 광파장 영역 내에서 입자의 선택적 조작을 매우 편리하게 하는 도구이다. 그러나 현재의 에바네슨트 파의 세기는 매우 미약하기 때문에 Mie 입자를 1 cm/min 이하의 느린 속도로 이동시키거나, 0.1~1 rpm 정도의 매우 느린 회전을 일으킬 수 있을 뿐이다(그림 1). 이러한 느린 입자 이동 속도나 회전 속도는 에바네슨트 파의 광압을 이용한 마이크로 회전자의 이용에 큰 걸림돌이 되고 있다. 입자 이동 속도나 회전속도를 향상시키기 위해선 미약한 에바네슨트 파의 광압을 증폭할 필요가 있다. 그 해결 방법으로 표면 플라즈몬을 이용할 수가 있다[2]. 표면 플라즈몬은 프리즘이나 도파관 면에 금속을 수십 나노미터의 두께로 증착한 후 프리즘-금속박막 경계면에 p-편광된 레이저 광속을 임계각 이상의 각도로 입사시켜 발생된 에바네슨트 파에 의해서 얻어 낼 수 있다. 즉, 얇은 금속박막을 수십 나노미터의 두께로 만들 경우 이 금속 박막에 존재하는 자유전자들이 외부 전자기장(전반사시 발생하는 에바네슨트 파에 의한 전자기장)에 의하여 진동하고, 이 진동된 전자들이 얇은 박막의 위아래 층에 의하여 갇혔을 때 양자화 되어 나타나는 표면 플라즈몬에 의한 강력한 파동이 금속박막 내에 발생하고, 이로 인하여 금속박막 바로 바깥영역에도 전자기파의 경계조건을 만족하기 위하여 매우 강한 에바네슨트 파가 유도된다. 이러한 과정에 의하여 만들어지는 에바네슨트 파는 금속박막의 외부 매질의 종류와 상태에 따라 그 크기 및 입사각이 변한다. 이러한 표면 플라즈몬 현상을 이용한다면 입자에 미치는 에바네슨트 파에 의한 광압의 세기는 10배 근방이나 그 이상이 된다[3]. 또한 에바네슨트 파의 세기는 경계면으로부터의 높이에 따라 급속하게 변화하므로 입자가 에바네슨트 파의 어느 부분에서 힘을 받는지를 잘 검토해야 한다. 이러한 점을 해결하기 위해서는 다른 레이저 광속을 프리즘 면위에 수직하게 집속시켜서 입자들을 포획후 그 높이를 조정하면 된다.

본 실험은 파장 514.5 nm 출력 100 mW인 선형 편극된 아르곤 레이저 광속을 약 20 nm 정도 두께의 알루미늄이 증착된 굴절률 1.96의 Gadolinium Gallium Garnet(GGG) prism에 임계각 이상의 각으로 입사시켜서 증류수에 담긴 Mie 입자들이 광압에 의해 회전함을 알루미늄 박막이 없을 때와 비교하면서 측정하였다. 입자는 직경 2~3 $\mu$m, 비중 1.05의 폴리스티렌 라텍스 입자와 9~13 $\mu$m, 비중 1.1의 속이 빈 유리 구를 사용하였고, 프리즘에 대한 입자의 높이를 조절하기 위한 레이저 광속으로는 파장 632.8

nm 출력 8 mW인 He-Ne 레이저를 사용하였다.

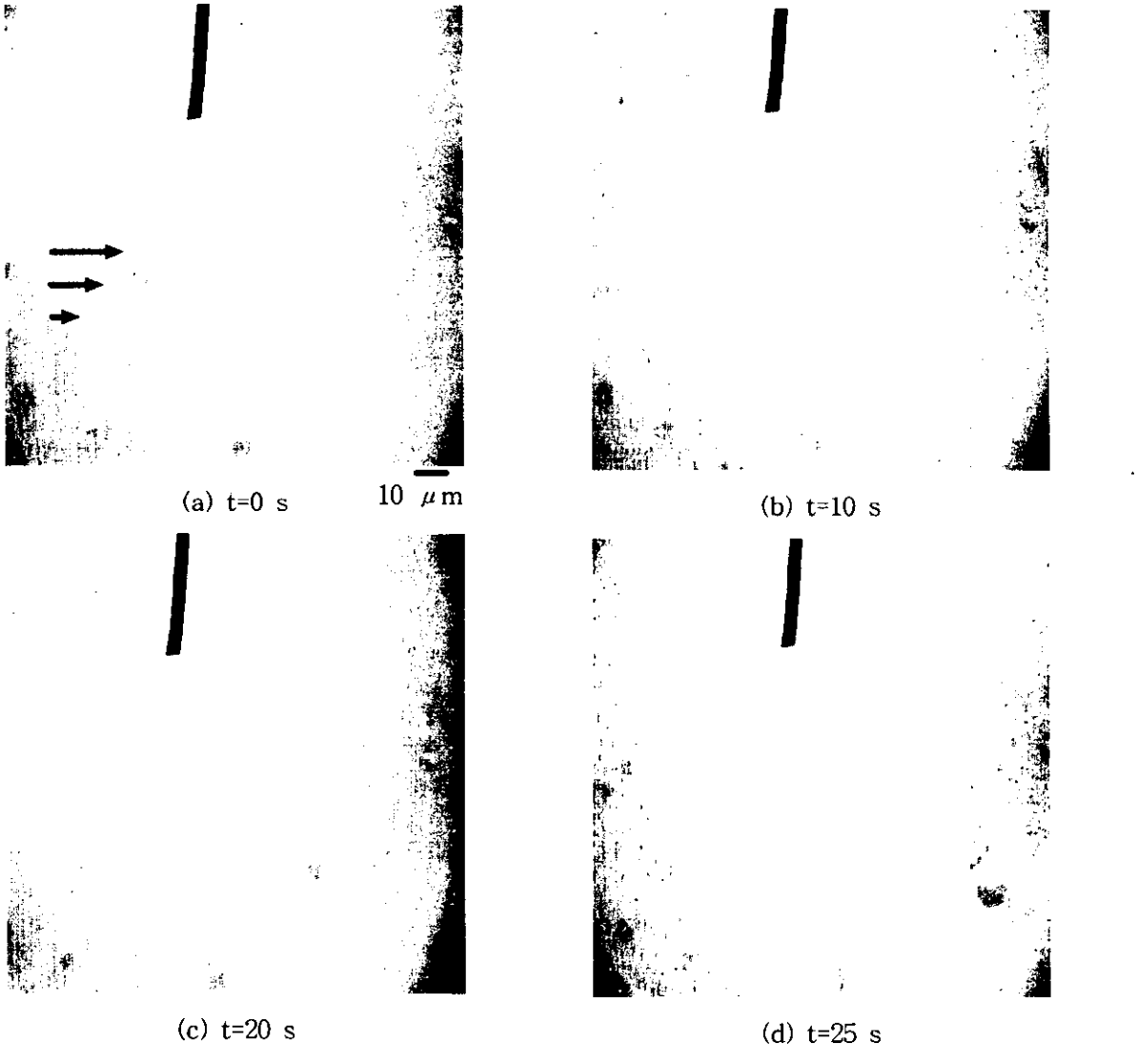


그림 1. 가우스형 에바네슨트 파의 광압에 의한 유리 구 입자 두 개로 결합된 결합체가 GGG 프리즘 위에서 회전 하고 있다. 화살표 방향과 길이는 각각 에바네슨트 파의 진행방향과 세기를 나타냄.

참고문헌

1. Y. G. Song, S. Chang and J. H. Jo, "Optically induced rotation of combined Mie particles within an evanescent field of a Gaussian beam", Jpn. J. Appl. Phys. 38, L380-L383 (1999).
2. R. Kaiser, Y. Levy, N. Vansteenkiste, A. Aspect, W. Seifert, D. Leipold, and J. Mlynek, "Resonant enhancement of evanescent waves with a thin dielectic waveguide", Opt. Commun. 104, 234-240 (1994).
3. S. M. Ma, B. M. Han, J. H. Jo and S. Chang, "Optical excitation conditions for surface plasmons at an aluminum-liquid interface", J. Korean Phys. Soc. 37, 788-792 (2000).