

고차원 궤도 각운동량을 가진 빛의 네마틱 액정에서의 전이

High-order Orbital Angular Momentum of light transfer to Nematic Liquid Crystal

정진식, 김동욱, 임동건
 고려대학교 물리학과
mastiff@korea.ac.kr

원 편광 된 빛은 스핀각운동량 $\pm \hbar$ 를 가지며 이 빛이 원자에 흡수될 때 원자에 각운동량을 준다는 사실은 잘 알려져 있으며, 액정과 같은 물질에서도 스핀 각운동량에 의해 회전운동이 일어날 수 있음이 Santamato⁽¹⁾ 등에 의해서 보여졌다. 그러나 최근 들어 Allen⁽²⁾ 등은 빛이 궤도각운동량(orbital angular momentum)을 가질 수 있다는 개념과 이 궤도 각운동량이 빛과 물질과의 상호작용에서 물질에 전달 될 수 있다는 가능성을 제시하였다.⁽³⁾ 빛의 각운동량으로 액정 분자를 재배열 시키는 Optical Freedericksz Transition (OFT) 에 관한 연구는 Santamato 등이 선형 편광 된 빛⁽⁴⁾과 빔의 모양⁽⁵⁾을 가지고 실험 하였고, 최근에는 궤도 각운동량을 가진 빛을 가지고 OFT를 측정한 연구들이 활발히 진행 중이다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 지금까지는 저차원의 궤도 각운동량을 가진 빛만을 가지고 연구가 되어왔지만, 본 논문에서는 고차원의 궤도 각운동량을 가진 빛을 가지고 연구하였다. 또한, 오른쪽으로 도는 파면을 가지고 있는 궤도 각운동량을 가진 빛과 왼쪽으로 도는 파면을 가지고 있는 궤도 각운동량을 가진 빛이 실제로 액정에 궤도각운동량을 전달 하는 과정을 관측하였고, 좌우 대칭성이 보존됨을 관측하였다.

궤도 각운동량을 가진 빛(Laguerre-Gaussian Mode ; LG_l^p)은 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH)을 통과하여 생성된다. Pump Beam은 아르곤 레이저(Ar^+ laser : $\lambda=514.5nm$)를 사용하였고 홀로그램을 통과한 뒤 수직 배향된 E7(MERK) 네마틱 액정에 일정한 각을 가지고 입사하게 된다. 아르곤 레이저의 세기는 액정 분자를 재배열 시킬 수 있는 문턱 세기 값 보다 큰 값을 얻기 위해 렌즈에 의해 집광시켜 액정에 입사시켰다. 샘플 양쪽에는 편광기(Polarizer)과 검광기(Analyzer)를 수직으로 놓았고, 헬륨-네온 레이저(He-Ne laser: $\lambda=632.8nm$)를 사용하여 Probe 하였다.

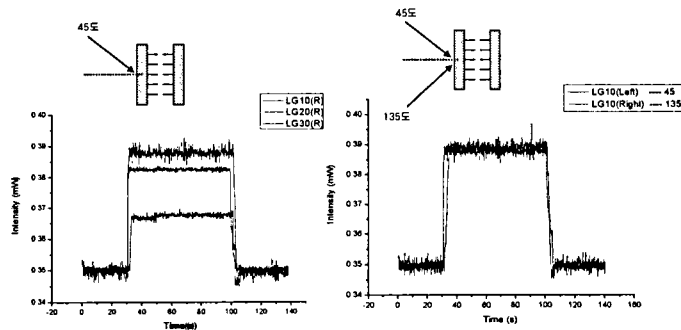


그림1

그림2

그림1은 $LG_0^{+1}, LG_0^{+2}, LG_0^{+3}$ 모드에 의한 빛의 세기변화를 나타낸다. 30초에서 Pump Beam을 가해주었고, 100초가 되는 순간 Pump Beam 을 차단하여, 액정 분자들이 다시 제자리로 돌아가는 상황을 측정하였다. LG_0^{+1} 인 경우보다 LG_0^{+2} 인 경우가, LG_0^{+2} 인 경우보다 LG_0^{+3} 인 경우가 액정 분자에 궤도 각운동량을 더 많이 준다는 것을 알 수 있다. 그림2 에서는 오른쪽으로 도는 파면(Right-handed) 을 가지고 있는 LG_0^{+1} 모드와 왼쪽으로 도는 파면(Left-handed)을 가지고 있는 LG_0^{-1} 모드를 각각 반대 방향의 각도로 입사 시켰을 때, Probe 된 빛의 세기가 같음을 보여준다. 이는 왼쪽으로 도는 파면이 45도로 입사했을 경우와, 오른쪽으로 도는 파면이 135도로 입사했을 경우에 궤도 각운동량이 액정 분자에 같은 영향을 준다는 것을 나타낸다. 즉, 파면이 꼬인 방향도 액정분자에 궤도각운동량을 전달해주는 과정에 영향을 끼친다는 사실을 알 수 있다.

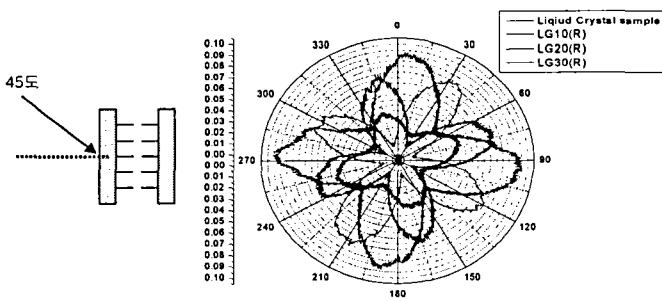


그림3. 45도로 입사

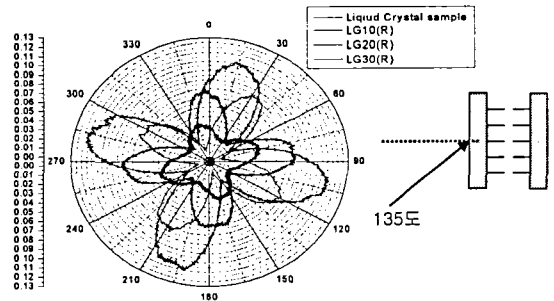


그림4. 반대편 각도로 입사

그림3, 4는 Pump Beam 을 가해준 후 액정 분자의 복굴절을 측정한 데이터이다. 그림3과같이 45도로 입사 했을 경우에 실제 액정이 어떻게 배열하며, 액정이 상대적으로 얼마의 각도로 배열되었는지를 보여준다. Pump Beam 을 가하지 않았을 경우에 액정의 배열 상태보다 $LG_0^{+1}, LG_0^{+2}, LG_0^{+3}$ 의 궤도각운동량을 갖는 빛을 가해줬을 경우에 각각 더 많은 각도로 Tilt 됨을 보여준다. 그림4는 반대편 135도로 입사 했을 경우를 나타내며, 오른쪽으로 도는 파면(Right-handed) 을 가지고 있기 때문에 45도로 입사시켰을 경우가 상대적으로 많은 Tilt가 되는 것을 알 수 있다. 이는 궤도각운동량이 커질수록 액정 분자에 미치는 더 많은 토크를 가해 줌을 알 수 있고, 또한 파면의 꼬인 방향도 궤도각운동량의 전이에 영향을 준다는 사실을 확인하였다.

1. E. Santamato *et al.*, Phys. Rev. Lett. 64, 1377 (1990).
2. L. Allen, M.W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw, Phys. Rev. A 45, 8185 (1992).
3. H. He, M. E. J. Friese, N. N. Heckenberg and H. Rubinsztein, Phys. Rev. Lett. 75, 826 (1995).
4. B. Piccirillo, E. Santamato, Mol Cryst. Liq. Cryst. 328, 479 (1999).
5. B. Piccirillo, E. Santamato, Optics Communication, 171, 131 (1999).
6. B. Piccirillo, E. Santamato, Phys. Rev. Lett. 86, 2285 (2001).
7. B. Piccirillo, E. Santamato, J. Opt. B , 4, S20 (2002).
8. B. Piccirillo, E. Santamato, Phys. Rev. Lett. E, 69, 021702 (2004).