

되먹임 계에서 자발적으로 발생하는 레이저 빔의
 횡방향 공간 무늬의 특성
 Properties of the transverse spatial patterns
 of the laser beam formed spontaneously
 in the feedback system

박영신, 노영철, 이원규, 진진호, 이재형, 장준성
 서울대학교 물리학과
 shin@photon.snu.ac.kr

레이저 빔이 진행하면서 비선형 매질을 지나게 되면 그 상호작용으로 인하여 레이저 빔의 횡방향 형태에 변형이 일어날 수 있다. 이러한 레이저 빔의 횡방향에 나타나는 여러 변형에 대해 10여 년 전에 자발적 무늬의 형성이 이론적으로 예측되었고 이후에 여러 실험에서 그 현상이 관찰되어왔다.^[1,2] 횡방향의 자발적 무늬를 체계적으로 연구하기 위한 매우 간단한 모델로서 얇은 Kerr 매질 뒤에 한 개의 거울로 레이저 빔을 되먹이는 반공진기가 고안되어 이론적으로 자발적 무늬가 형성됨이 예측되었으며^[3], 전산시뮬을 통해 입사빔을 평면파라 가정하여 매질에 의한 회절과 비선형성에 따라서 육방형 모양(hexagonal pattern)이 형성됨을 알 수 있었고^[4,5], 레이저 빔의 Gaussian 형태를 고려한 경우에는 한정된 빔이 갖는 경계조건에 의해 대칭성이 깨짐을 알 수 있었다.^[6] 또한, 입사빔의 세기 형태를 $0 \leq \rho \leq W_0$ 범위에서 일정한 세기를 갖는 원통형으로 가정하여 공간무늬가 다음과 같이 Bessel함수로 표현될 수 있음이 연구되었다^[7].

$$n_{0,sp} = \begin{cases} A J_m(q\rho) \cos m\varphi, & 0 \leq \rho \leq W_0 \\ B K_m\left(\frac{\rho}{\xi}\right) \cos m\varphi, & W_0 \leq \rho \end{cases} \quad (1)$$

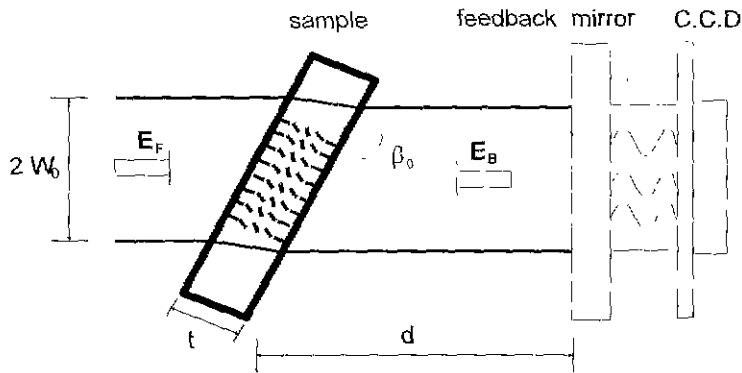
본 논문에서는 [그림 1]과 같이 한 개의 거울을 이용하여 되먹임 계를 구성하고 비선형 매질로는 두 유리판 사이에 수직 배향된 네마틱 액정(nematic liquid crystal)을 이용하였으며, 이때 형성되는 레이저 빔의 진행방향에 대한 횡방향의 공간 무늬를 되먹임 거울 뒤로 새어나오는 빔을 CCD 카메라로 관찰하였다. 이론적으로는 입사빔의 세기가 $1/e^2$ 로 줄어드는 값으로 정해진 반지름(half-width)과 횡방향 무늬의 공간 파장(spatial wavelength)의 크기 비율을,

$$\eta = q W_0 = 2\pi \frac{W_0}{\Lambda} \quad (2)$$

으로 놓고, 식 (1)의 Bessel 함수 해의 경계 조건과 공간 무늬가 형성되기 시작하는 문턱세기 곡선으로부터 예측되는 특정한 무늬를 결정하는 η 의 값을 얻을 수 있었으며, 이때 공간 무늬를 구성하는 점들의 수가 증가함에 따라서 그 무늬에 해당하는 η 값도 함께 점진적으로 증가함을 알 수 있었다.[그림 2]

빛의 세기와 되먹임 거리에 따라 나타나는 원형고리부터 육각형까지 각각의 무늬 형태가 이론적인 Bessel 함수 해와 잘 맞아들어 감을 확인 할 수 있었다. far-field 무늬는 near-field 무늬의 Fourier 변환에 의한 파수벡터를 나타내며 각 점을 구성하는 파수벡터의 크기는 모두 같고 이웃한 파수벡터가 이루는 각은 모두 같은 대칭성을 가짐을 보인다. [그림 2]는 식 (2)에서 원통형으로 근사된 입사빔의 반

지름과 공간 무늬의 공간 파장의 비율로 정의된 η 값이 커감에 따라서 나타나는 무늬의 경향을 보여 주고 있다.



[그림 1] 되먹임 계의 구성

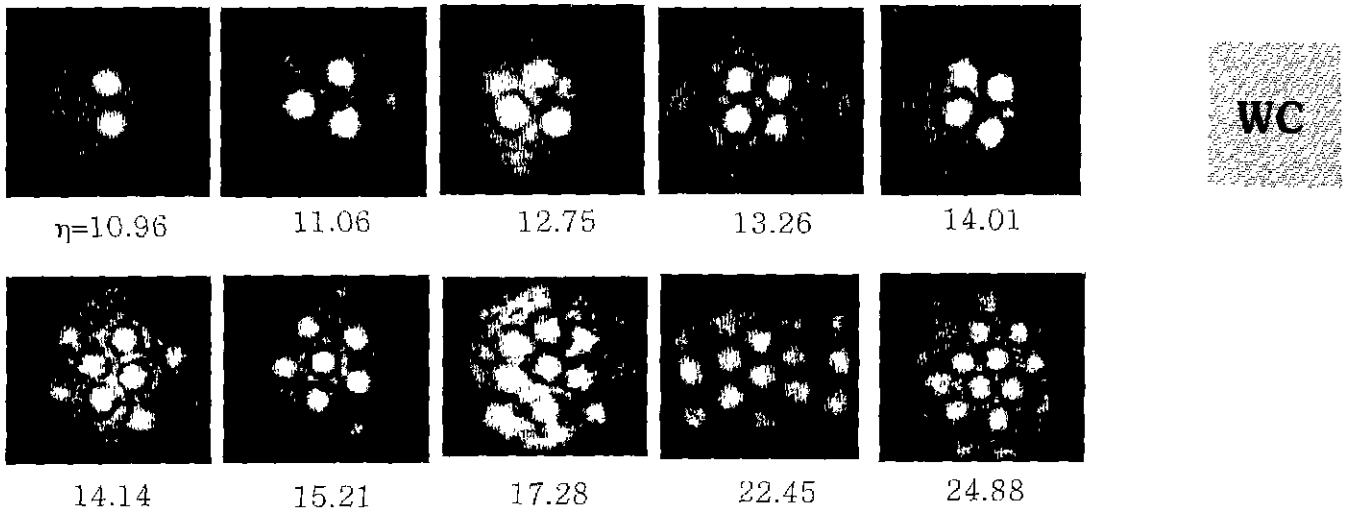


그림 2

[그림 2] 식 (2)에서 정의된 η 값의 증가에 따른 무늬의 변화 그 값이 커감에 따라 육방형의 무늬가 2차원 평면을 채워가는 것을 보이고 있다.

참고 문헌

- [1] G. Grynberg et al. , Opt. Commun. **67**, 363(1988)
- [2] Markus Kreuzer, Wolfgang Balzer and Theo Tschudi, Appi. Opt. **29**, 579(1990)
- [3] W. J. Firth, J. Mon. Opt. **37**, 151(1990)
- [4] G. D'Alessandro and W. J. Firth, Phys. Rev. Lett. **66**, 2597(1991)
- [5] G. D'Alessandro and W. J. Firth. Phys Rev. A **46**, 537(1992)
- [6] F. Papoff, G. D'Alessandro, G.-L. Oppo and W. J. Firth, Phys. Rev. A **48**, 634(1993)
- [7] R. Macdonald and H. Danlewski. Opt. Commun. **113**, 111(1994)