

네마틱 액정의 회전 점성 계수 측정법

Method for measuring the rotational viscosity coefficient of nematic liquid crystals

김건엽*, 곽중훈

영남대학교 물리학과

psyche@yumail.ac.kr

현재 액정 디스플레이 장치는 액정의 가장 중요한 응용 분야 중에 하나이다. 이런 액정 디스플레이 장치의 핵심은 패널의 크기와 관련된 해상도뿐만 아니라 잔상과 관련된 응답시간의 제어가 그 관건이라 하겠다. 특히, 액정의 응답시간은 근사적으로 액정의 회전 점성 계수에 비례하므로 액정과 관련된 정교한 제품에서 그 크기를 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 회전 점성 계수 γ_1 를 측정하는 여러 실험 방법들^(1, 2)이 있으나 복잡한 실험 장치들을 필요로 한다. 본 논문에서는 집광된 초점에 놓인 액정셀에, 인가된 사각파(square wave) 전기장에 의해 회절된 레이저 빔을 닫힌 개구 방법으로 측정한 시간에 따른 빔 세기 변화 결과를 작은 위상 변이 근사를 적용한 호이겐스-프레넬 회절 이론을 사용하여 이론적으로 해석하고 회전 점성 계수를 결정하였다.

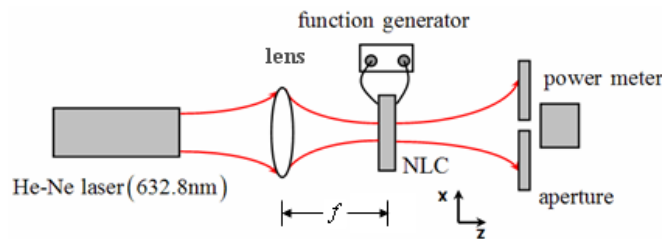


Fig. 1. Experimental setup.

그림 1과 같이 호이겐스-프레넬 회절식^(3, 4)을 적용하면 먼 거리에서 빔 세기 분포는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$I(z, r, t) \propto I_0(t) \left(\frac{2\pi}{\lambda(d-z)} \right)^2 \left(\frac{w_0}{w(z)} \right)^2 \exp[-\alpha L] \left| \int_0^{\infty} r' dr' E(r', z, t) \exp[-j\Delta\phi(r', z, t)] \exp \left[\frac{j\pi r r'^2}{\lambda(d-z)} \right] J_0 \left[\frac{2\pi r r'}{\lambda(d-z)} \right] \right|^2 \quad (1)$$

여기서 $I_0(t)$ 는 입사 빔의 세기, α 는 선형 흡수 계수, L 은 매질의 두께, d 는 렌즈의 초점에서 개구까지의 거리, $w = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}$ 는 빔 반경, $\Delta\phi = \Delta\phi_0 \exp[-2r^2/w^2]$ 는 집광된 가우시안 레이저 빔에 의해 유도된 비선형 위상 변이이다. 작은 비선형 위상 변이($\Delta\phi_0 \ll 1$)를 가정하고 가우시안 분해법⁽⁴⁾을 적용하면 먼 거리에서 빔의 세기 분포는 식 (2)로 표현된다.

$$I(\tilde{r}, \Delta\phi) = 4\pi^2 I_0 \tilde{d}^2 \left\{ \left[\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (A_{2n} + C_{2n+1}) \right]^2 + \left[\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (C_{2n} - A_{2n+1}) \right]^2 \right\} \quad (2)$$

여기서 $A_n = (\Delta\phi_0^2/n!) \exp[-\tilde{A}_n \tilde{d}^2 \tilde{r}^2] \{ \tilde{A}_n \cos(\tilde{C}_n \tilde{d}^2 \tilde{r}^2) + \tilde{C}_n \sin(\tilde{C}_n \tilde{d}^2 \tilde{r}^2) \}$, $\tilde{A}_n \equiv [(2n+1)/((2n+1)^2 + \tilde{d}^2)]$, $\tilde{d} \equiv d/z_0$, $\tilde{r} \equiv r/r_0$, $C_n = (\Delta\phi_0^2/n!) \exp[-\tilde{A}_n \tilde{d}^2 \tilde{r}^2] \{ \tilde{C}_n \cos(\tilde{C}_n \tilde{d}^2 \tilde{r}^2) - \tilde{A}_n \sin(\tilde{C}_n \tilde{d}^2 \tilde{r}^2) \}$, $\tilde{C}_n \equiv [\tilde{d}/((2n+1)^2 + \tilde{d}^2)]$ 이다. Ericksen-

Leslie 방정식⁽⁵⁾으로부터 비선형 위상 변이 $\Delta\phi_0$ 에 비례하는 재배열 각도의 변화 $\theta(t)$ 는 식 (3)으로 주어진다.

$$\Delta\theta_1(t) = \theta_1 \{ \exp[-\gamma_1 t / 2I] \cos(\omega_1 t - \varphi) - \exp[-\gamma_1(t+t_0) / 2I] \cos(\omega_1(t+t_0) - \varphi) \} \quad (3)$$

여기서, γ_1 은 회전 점성 계수, I 는 관성 모멘트, $\theta_1 = (E_0^2 + E_0 E_{opt}) / (E_0^2 - E_{opt}^2 + 2E_0 E_{opt})$, $\varphi = \tan^{-1}(\gamma_1 / 2\omega_1 I)$, $\omega_1 = \sqrt{(\Delta\epsilon / 4\pi I)(2E_0 E_{opt} + E_0^2 - E_{opt}^2) - (\gamma_1 / 2I)^2}$ 이다. 주어진 식 (3)에서 $E_0(t) = E_0[u(t-t_0) - u(t)]$ 는 사각파 전기장, E_0 는 전기장의 크기, $u(t)$ 는 unit-step 함수, t_0 는 인가된 전기장의 펄스폭이다. 사용한 네마틱 액정인 E7(Merck Ltd.)을 두 개의 ITO가 증착된 투명한 유리 기판에 중력법을 이용하여 주입하였고, 매질의 두께는 $20\mu\text{m}$ 이다. 액정셀은 집광된 초점에 두고 먼 거리의 단힌 개구에서 빔의 세기를 측정하였다. 인가된 사각파의 크기는 $E_0 = 5\text{kV/cm}$ 이고 펄스폭 E_0 는 100ms 와 250ms 로 달리하여 실험하였다. 그림 2는 전형적인 실험 결과와 예측된 이론 결과이다. 식 (3)을 식 (2)에 대입하여 얻은 결과를 바탕으로 결정한 회전 점성 계수 γ_1 는 $160\text{mPa}\cdot\text{s}$, 관성 모멘트 I 는 $1.4 \times 10^{-4}\text{g}\cdot\text{cm}^2$ 로 기존의 문헌⁽²⁾의 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

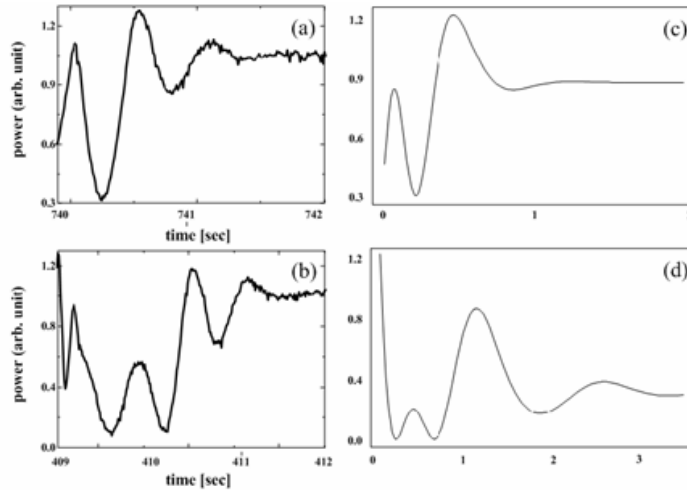


Fig. 2. Experimental results and theoretical curves for pulse widths (a), (c) 100ms and (b), (d) 250ms.

참고문헌

1. R. B. Alaverdyan, L. S. Aslanyan, V. V. Margaryan, E. A. Santrosyan, and Yu. S. Chilingaryan, "Dynamics of freedericksz transition in the oscillation electric field," *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **453**, 15 (2006).
2. H. Y. Chen, W. Lee, and N. A. Clark, "Faster electro-optical response characteristics of a carbon-nanotube-nematic suspension," *Appl. Phys. Lett.* **90**, 033510 (2007).
3. S. G. Kim, Y. L. Lee, C. H. Kwak, and O. S. Choe, "Nonlinear refractive index measurement for amorphous As_2S_3 thin film by Z-scan method", *Hankook Kwanghak Hoeji*, **9**, 342 (1998).
4. M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van. Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam," *IEEE J. Quantum Electron.* **26**, 760 (1990).
5. I. C. Khoo, *Optics and nonlinear optics of liquid crystals*, (World Scientific, 1993), Chapter 2.