

홀로그래프 회절격자의 이동에 의한  
포토폴리머의 위상 변위측정

Phase Shift Measurements of Photopolymer Film  
by Moving Holographic Gratings

성기영, 경천수, 이영락, 곽종훈, 최옥식  
영남대학교 물리학과

1. 서론

현재 홀로그래프는 광학소자 (holographic optical elements), 데이터 저장 (holographic data storage), 상처리 (image processing) 등의 분야에 응용되면서 그 중요성이 크게 인식되고 있다. 그러나, 홀로그래피 기술의 발전에 비해 이를 구현할 수 있는 홀로그래프 기록매질에 대한 연구와 개발은 크게 뒤떨어져 있기 때문에, 이에 대한 개발 및 특성연구는 매우 중요하다. 홀로그래프 매질에는 Kodak649F, Agfa 8275HD와 이를 이용한 DCG (Dichromated Gelatin) 등이 이용되어져 왔으나 이들 매질들은 현상과 정착 등의 수세과정을 거쳐야 하므로 작업과정이 번거로운 단점이 있다. 광굴절 결정은 실시간적으로 상을 처리할 수 있고 재기록 가능한 성질 때문에 많은 관심과 연구가 진행되고 있으나 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있기 때문에 최근에는 실시간적으로 상을 처리할 수 있고 가격이 저렴하고 쉽게 대량으로 생산할 수 있는 포토폴리머와 광굴절 폴리머에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 포토폴리머 회절격자를 이동함으로써, 사용된 electron donor의 양의 변화에 따른 굴절을 격자와 흡수격자의 위상변이를 측정하였다. 또 노출에너지에 따라 굴절을 변조값과 흡수 변조값을 측정하였다.

2. 이론

포토폴리머 매질 내에서 가간섭적인 두 광파의 에너지가 결합하는 동안에 강도 간섭무늬 (intensity interference pattern)에 대해 각각 공간 위상 이동 (spatial phase shifts)  $\phi_P$  와  $\phi_A$ 를 가지고 형성되는 위상 격자(phase grating:PG)와 흡수격자(absorption grating:AG)의 혼합된 회절격자(mixed grating)를 가정하면[1], 입사빔의 강도가 같을 때 Kogelnik의 결합파동이론(coupled wave theory)을 적용하면 다음과 같이 두 광파의 강도변화를 얻을 수 있다.

$$I_1 = |R|^2 = \frac{I_0}{2} e^{-\frac{a_0 d}{\cos \theta}} \left[ \cosh 2y \left( 1 - \frac{A}{P} \sin(\phi_P - \phi_A) \right) + \sinh 2y \left( 1 - \frac{A}{P} \sin(\phi_P - \phi_A) \right) \cos \phi_P + \frac{A}{P} \cdot \cos 2x \cdot \sin(\phi_P - \phi_A) + \sin 2x \left( 1 - \frac{A}{P} \sin(\phi_P - \phi_A) \right) \sin \phi_P \right], \tag{1a}$$

$$I_2 = |S|^2 = \frac{I_0}{2} e^{-\frac{a_0 d}{\cos \theta}} \left[ \cosh 2y \left( 1 + \frac{A}{P} \sin(\phi_P - \phi_A) \right) + \sinh 2y \left( 1 + \frac{A}{P} \sin(\phi_P - \phi_A) \right) \cos \phi_P - \frac{A}{P} \cdot \cos 2x \cdot \sin(\phi_P - \phi_A) - \sin 2x \left( 1 + \frac{A}{P} \sin(\phi_P - \phi_A) \right) \sin \phi_P \right]. \tag{1b}$$

여기서  $I_0$ 는 각 입사빔의 강도이고,  $x = P(t) = \frac{\pi d \Delta n_1}{\lambda \cos \theta}$ 는 위상격자의 진폭,  $y = -A(t) \cos(\phi_P - \phi_A)$ , 그리고  $A(t) = \frac{\Delta a_1 d}{2 \cos \theta}$ 는 흡수격자의 진폭이다. 만약 위상격자(P)와 흡수격

자(A)의 진폭이 1 보다 매우 작고 격자 파 벡터 방향으로 매질을 이동시킬 때 격자변위  $x$ 의 함수로서 강도합( $I_1 + I_2$ )과 강도차( $I_1 - I_2$ )는 다음과 같다[2].

$$I_+(x) = I_e e^{-\frac{\alpha_0 d}{\cos \theta}} \left[ 1 - 2A \cos\left(\varphi_A + \frac{2\pi}{\Lambda} vt\right) \right] \quad (2a)$$

$$I_-(x) = I_e e^{-\frac{\alpha_0 d}{\cos \theta}} \left[ 0 - 2P \sin\left(\varphi_P + \frac{2\pi}{\Lambda} vt\right) \right] \quad (2b)$$

여기서  $\Lambda$ 는 격자주기이며  $I_e = I_1(0) + I_2(0)$ 다.  $I_+(x)$ 와  $I_-(x)$ 는 상대적인 진폭  $2A$ 와  $2P$ 를 가지고 위상변이  $\varphi_A$ 와  $\varphi_P$ 로 진동할 것이다. 격자 이동  $x$ 의 함수로서  $I_+(x)$ 와  $I_-(x)$ 의 값은 위상변이  $\varphi_A$ 와  $\varphi_P$  뿐만 아니라 위상과 흡수격자의 진폭  $\Delta n$ 과  $\Delta \alpha$ 를 결정할 수 있다.

### 3. 실험 및 결과

홀로그래프 격자의 진폭과 위상변이를 측정하기 위해 제안된 몇 가지 방법들은 격자 파 벡터 (grating wave vector)의 이동에 기초하거나 입사빔의 위상을 조절하여 간섭무늬를 이동시키거나 외부전기장을 가하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 흡수격자와 위상 격자의 진폭을 결정하고 강도간섭무늬에 대해 위상차를 측정하는 방법으로 격자 파 벡터를 이동시키는 방법을 이용하였다. 이 방법은 간편하고 선형 모터(linear motor)만 있으면 측정이 가능하다. 이 방법은 이광과 혼합 실험을 기초로 하고 있으며, 매질을 통과하는 두 빔의 강도를 간섭무늬 위치의 함수로써 측정한다.

그림1은 실험 장치도이다. 두 입사하는 빔의 강도간섭무늬가 필름 표면에 표현되고 있고, 매질 내부에는 이 강도간섭무늬에 대해 위상변이를 가지는 위상(흡수)격자가 만들어진다. 적당한 노출에너지를 받은 후 홀로그래프를 격자 파 벡터 방향으로 선형모터를 이용해서 이동시킨다. 그러면 포토다이오드에서 측정되는 광파의 세기는 간섭무늬 위치의 함수로서 주어진다.

그림2는 포토폴리머를 임의의 시간동안 기록한 후 격자 파 벡터방향으로 선형모터를 이용하여 일정속도로 이동시켰을 때 나타나는 두 빔의 합(sum)과 차(difference)에 대한 데이터와 이론곡선을 나타내고 있다. 식(2)를 이용하여 실험 데이터와의 fitting에 의하여  $\phi_A = 11^\circ$ ,  $\phi_P = 83^\circ$ ,  $\alpha_1 = 18.8 \text{ cm}^{-1}$ ,  $n_1 = 1.1 \times 10^{-3}$ 의 값들을 얻었다.

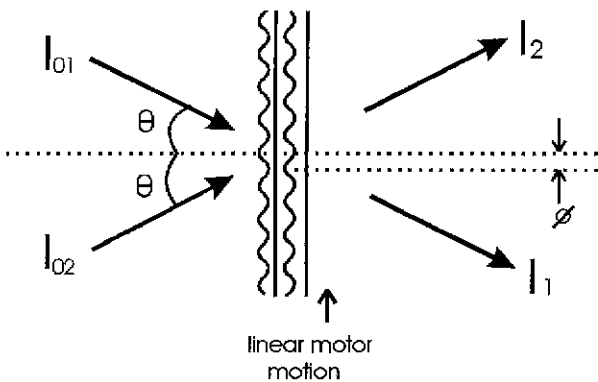


그림 1. 실험 장치도.

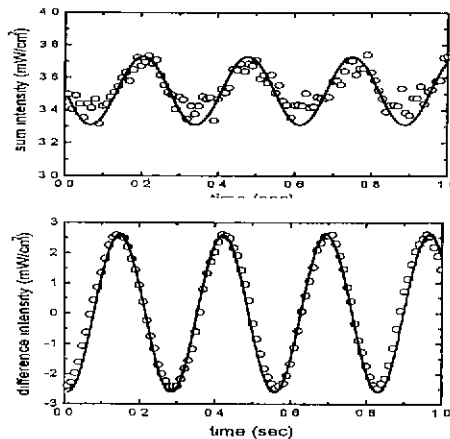


그림 2. 실험 데이터

[1]. C. H. Kwak, S. Y. Park, H. K. Lee and E.-H. Lee, Opt. Commun. **79**, 349 (1990).  
 [2]. C. A. Walsh and W. E. Moerner, J. Opt. Soc. Am. **B9**, 1642 (1992).

