

# 포토폴리머에서 압착에 의한 중심파장 이동과 광학 특성 안정화 실험

김은석 · 김 남<sup>†</sup>

충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

Ⓣ 361-763 청주시 흥덕구 개신동 산 48

(2003년 9월 1일 받음, 2004년 1월 9일 수정본 받음)

반사형 포토폴리머인 OmniDex<sup>®</sup> 필름을 이용하여 압착에 의한 중심파장 이동과 특성 안정화 정도를 측정하였다. 632 nm에서 482 nm까지 중심파장 이동에 대해 대역폭은 27% 확대되고, 회절효율의 변화는 10% 이내에서 유지되었다. 이는 확산에 기초한 방식이 511 nm에서 630 nm로의 중심파장 변화에 대해 대역폭은 67% 늘어나고, 회절효율은 18% 감소한 것과 비교해 광학적 특성변화가 50% 정도 줄어들었음을 의미한다. 본 논문에서 제안한 압착방식은 반사형 홀로그래프 격자를 이용한 광학소자에서 기록에 사용된 레이저 파장에 국한되지 않는 다양한 응용제품의 개발이 가능함을 보여주고 있다.

주제어 : center wavelength shift, photopolymer.

## I. 서 론

전원을 사용하지 않으면서 휴대용 LCD의 밝기(brightness)와 대비(contrast)를 증가시키기 위해 홀로그래픽 반사판(holographic reflector; HR)과 반사형 칼라필터(reflective color filter; RCF)가 개발되었다.<sup>[1-3]</sup> 홀로그래픽 반사판과 컬러튜닝필름(color tuning film; CTF)을 이용하여 제작된 반사형 칼라필터는 monomer 또는 oligomer의 확산에 의해 격자간격을 부풀림으로써 재생되는 파장을 변화시킨다는 점에서 현재까지 제안된 방식과는 매우 다른 제작과정을 갖고 있다.<sup>[4]</sup> 그러나 이 경우, 전 가시광선 영역을 통해 자유로운 파장선택이 가능한 반면, 매질에 따라 다소 차이는 있지만 중심파장의 이동에 의한 대역폭 변화가 매우 크다는 단점을 갖고 있어 해결해야 할 과제로 남아있다.

홀로그램에 백색광을 조사한 후 서로 다른 파장을 선택하기 위해서는 1) 재생각도를 변환시키는 방법, 2) 다파장 레이저를 이용하여 회절격자를 제작하는 방법, 3) 컬러튜닝필름을 이용하는 방법이 사용되고 있다. 재생각도를 변환시키는 방법은 제조공정이 간단하지만 모터와 같은 각도 변화를 위한 추가 장비가 필요하고, 구조적 한계성 때문에 전 가시광선 영역을 위한 격자 설계에 어려움이 있다. 다파장 레이저를 이용하는 방법은 공간적으로 분리되어 균일한 대역폭을 갖는 서로 다른 파장을 재생할 수 있으나 재생된 파장이 기록에 사용된 레이저의 파장에 의해 결정되고, 매질의 파장별 반응 정도에 따라 회절효율이 달라지며, 제조공정이 복잡하다는 문제를 갖고 있다. DuPont에서 사용 중인 확산에 기초한 컬러튜닝(diffusion-based color tuning) 방식은 파장선택이 자유롭고, 제조공정이 단순하며, 균일한 회절효율을 갖는 반면, 중심파장의 이동이 클수록 대역폭의 변화가 심화되는 단점을 갖고 있다.<sup>[4,5]</sup>

본 논문에서는 홀로그래픽 격자에서 재생되는 중심파장을 이동시키기 위해 압착기법을 제안하였다. 기하학적 방식을 이용하여 두께변화에 따른 격자간격의 변화와 중심파장을 계산하였으며, 압착에 의한 중심파장의 변화량과 격자간격의 변형에 따른 대역폭의 변화량을 측정하였다. 매질로는 반사형 포토폴리머인 OmniDex<sup>®</sup>을 이용하여 제작된 홀로그래픽 반사판을 사용하였으며, 샘플 내부에 삽입된 접착층에 의한 불완전한 힘 전달 때문에 실제 변형된 두께 대신 압력을 이용하여 상호 관계를 해석하였다.

## II. 압착 깊이에 따른 격자간격 변화

홀로그래픽 기록매질에서 두께변화는 재생되는 파장의 중심을 이동시키는 불안요소로 인식되어왔다.<sup>[6-8]</sup> 그러나 본 논문에서는 격자간격을 조절함으로써 재생된 빔의 중심파장을 이동시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 홀로그램 기록 후 매질의 수축과 팽창에 관련하여 많은 연구가 있었으며, 여기서는 O'Neill<sup>[7]</sup>과 Zhao<sup>[8]</sup>의 논문을 중심으로 격자간격 변화에 의한 소자의 광학 특성변화에 대해 알아보기로 한다.

### 2.1. 매질의 두께변화와 격자간격 사이의 관계

격자간격의 변화는 홀로그램과 홀로그래픽 광학소자의 응답 조건에 영향을 미친다.<sup>[9]</sup> 수축이나 부풀림에 의한 두께변화는 최대 회절효율을 얻기 위한 특성 변화를 초래하며, 이 변화는 두께 방향으로의 격자 위치의 변화에 의한 것이다. 비대칭으로 기록된 홀로그램에서 격자는 기록표면에 대해 수직으로 기울어져 있으며, 처리과정에서 부의 변화가 발생한다.<sup>[6-8]</sup> 이러한 변화는 기울어진 투과형/반사형 홀로그램에서 모두 발견할 수 있으나 기울지 않은 홀로그램에서는 발견되지 않는다. 기울지 않은 격자에서 회절무늬는 매질의 표면에 수직이며, 따라서 매질의 두께 변화는 회절무늬의 주기나 격자 기울기(slant

<sup>†</sup>E-mail: namkim@cbucc.chungbuk.ac.kr

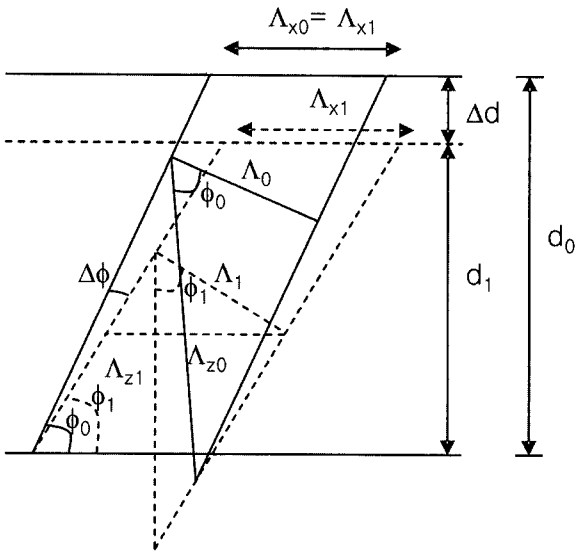


그림 1. 매질의 두께 변화에 의한 격자간격과 기울기의 변화. 아래 첨자 0은 두께 변화 전, 1은 두께 변화 후를 나타낸다.

angle)에 영향을 주지 못하기 때문이다.

매질의 두께 변화에 의한 응답 조건의 변화는 다음과 같이 생각할 수 있다. 격자 구조에서 수축이나 부풀림에 의한 영향은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서 매질의 두께  $d_0$ 에서  $\Delta d$  만큼의 두께변화는  $\Delta \Lambda$  만큼 격자간격이 변하는 것으로 나타낼 수 있다. 간섭무늬의 간격과 Bragg 응답각도(playback angle)에서 격자의 두께변화는 다음과 나타낼 수 있다.

최초 격자의 주기  $\Lambda_0$ 는<sup>[10]</sup> 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Lambda_0 = \frac{\lambda}{2n_0 \cos(\phi_0 - \theta_{B0})} \quad (1)$$

또한, 매질의 두께 변화 후 격자주기  $\Lambda_1$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Lambda_1 = \frac{\lambda}{2n_1 \cos(\phi_1 - \theta_{B1})} \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$ 는 기록에 사용된 파장,  $n$ 은 격자의 평균 굴절률,  $\phi$ 는 격자의 기울기,  $\theta_B$ 는 Bragg 각이며, 아래첨자 0과 1은 각각 매질의 두께 변화 전과 후를 나타낸다. 반사형 격자에 대한 해석을 위해  $\cos$  함수를 사용하였다.

이제 축 방향으로 두께 변화 전과 후의 격자주기를  $\Lambda_{z0}$ ,  $\Lambda_{z1}$ 이라 하면, 두 격자간격 사이에는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$\Lambda_{z1} = \Lambda_{z0} + \Delta \Lambda_z \quad (3)$$

여기서,  $\Lambda_{z0} = \Lambda_0 / \cos \phi_0$ ,  $\Lambda_{z1} = \Lambda_1 / \cos \phi_1$ 이다.

$z$ 축 방향으로 격자간격의 부분적 변화  $\Delta \Lambda / \Lambda_z$ 는 격자두께의 부분적 변화  $\Delta d / d_0$ 와 동일함으로, 이를 식 (3)에 적용하면 다음과 같은 관계를 구할 수 있다.

$$\frac{\Delta \Lambda}{\Lambda_z} = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_0} \cdot \frac{\cos \phi_0}{\cos \phi_1} - 1 = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (4)$$

또한, 그림 1에서

$$\frac{\Lambda_1}{\Lambda_0} = \frac{\Lambda_0 + \Delta \Lambda}{\Lambda_0} = \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_0}$$

이므로, 격자두께의 부분적 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_0} - 1 \quad (5)$$

식 (5)는 매질의 두께 변화 후 격자의 기울기를 표현하기 위해 사용된다.

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left( \left( 1 + \frac{\Delta d}{d_0} \right) \tan \phi_0 \right) \quad (6)$$

식 (6)을 식 (4)에 대입하면 매질의 두께 변화 후의 격자간격  $\Lambda_1$ 을 구할 수 있다.

$$\Lambda_1 = \Lambda_0 \cdot \frac{\sin(\tan^{-1}[(1 + \Delta d/d_0) \tan \phi_0])}{\sin \phi_0} \quad (7)$$

## 2.2. 격자간격의 변화에 의한 광학소자의 특성분석

식 (7)을 이용하여 매질의 두께변화에 따른 격자간격의 변화량을 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 격자간격은 매질의 두께와 격자의 기울기에 의해 결정됨을 알 수 있다. 격자의 기울기가 기록매질의 표면에 대해 수직인 경우 매질의 두께 변화에 의한 격자간격의 변화는 발생하지 않았으며, 격자의 기울기가 매질의 표면 쪽으로 기울수록 두께 변화에 대한 영향이 분명해짐을 볼 수 있다. 여기서 기록파장  $\lambda$ 는 633nm, 매질의 두께  $d_0$ 는 20  $\mu\text{m}$ 이며, 60°, 70°, 80°, 90°의 격자 기울기에 대해 격자간격의 변화량을 계산하였다.

반사형 격자에서 격자두께의 변화는 격자 기울기의 변화를 초래하며, 재생각의 변화가 없는 경우 재생되는 파장이  $\Delta \lambda$  만큼 변하는 결과를 낳는다.<sup>[11]</sup> Kogelnik의 결합파 방정식에서 Bragg 파장 편차(wavelength deviation)는 다음과 같이 계산되어진다.

$$\begin{aligned} \Delta \lambda &= 2n_0 \Lambda_1 \cos(\theta_0 - \phi_0) - \lambda \\ &= \left( \frac{n_0 \cos(\phi_0 - \theta_{B0})}{n_1 \cos(\phi_1 - \theta_{B1})} - 1 \right) \cdot \lambda \end{aligned} \quad (8)$$

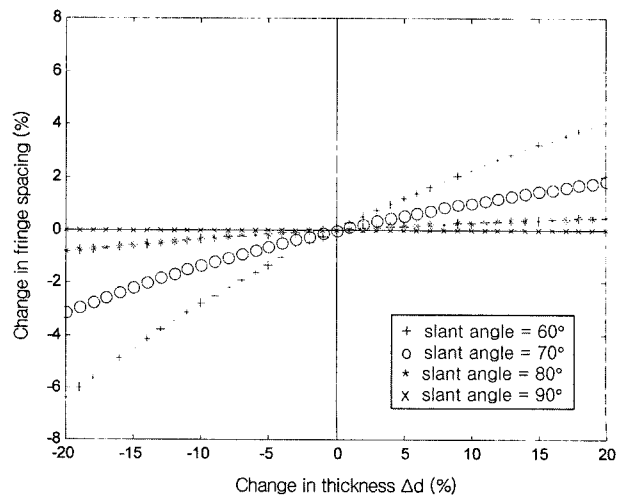


그림 2. 두께 변화에 대한 격자간격 변화 관계.

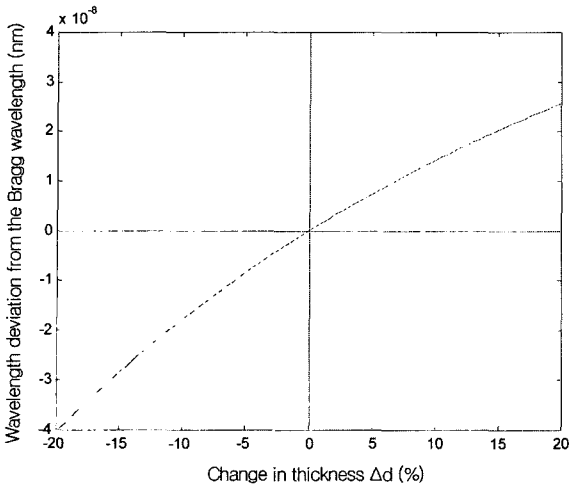


그림 3. 두께 변화에 대한 중심파장 이동량.

매질의 두께 변화에 의해 격자간격이 변할 경우 재생빔의 Bragg 파장 편차를 그림 3에 나타내었다. 그림 2와 3에서 모두 격자의 부풀림보다는 수축에 대해 더 높은 중심파장의 이동이 발생함을 알 수 있다. 이 경우 매질 두께가 20% 수축된 경우 기록에 사용되었던 파장보다 약 40 nm 짧은 파장이 재생됨을 알 수 있다. 여기서 기록파장은 633 nm, 매질의 두께는 20 μm, 최초 격자의 기울기 60°, 매질의 평균 굴절률은 변하지 않으며, 재생각은 기록에 사용된 참조파와 같다고 가정하였다.

그림 1에서 격자간격의 변화에 대한 Bragg 각 편차(angle deviation)를 알아보기 위해 파수 벡터 다이어그램을 그림 4에 나타내었다. (a)는 최초 격자의 파수 벡터에 대해 변형된 후의 파수 벡터이며, (b)는 변형된 격자를 중심으로 발생한 Bragg 각 편차를 계산하기 위해 보정된 그림이다.

그림 4의 (b)에서 매질 표면의 법선에 대해 최초 격자의 파수 벡터  $K_0$ 가 만드는 기울기는 두께변화에 의해 발생한 매질의 표면과 홀로그래픽 격자의 기울기 사이의 각도 변화량  $\Delta\theta$ 와 매질 내부로 입사되는 빔의 Bragg 각 편차  $\chi$ 에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_0 = \Phi_1 - \Delta\theta + \chi \tag{9}$$

여기서

$$\Phi_0 = \cos^{-1}\left(\frac{K_0/2}{k}\right), \quad \Phi_1 = \cos^{-1}\left(\frac{K_1/2}{k}\right),$$

$$k = \frac{2\pi n_0}{\lambda},$$

$$K_0 = \frac{2\pi}{\Lambda_0}, \quad K_1 = \frac{2\pi}{\Lambda_1}$$

이다. 따라서 식 (9)를 입사빔의 Bragg 각 편차  $\chi$ 의 함수로 다시 나타내면 다음과 같다.

$$\chi = \cos^{-1}\left(\frac{K_0/2}{k}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{K_1/2}{k}\right) + \Delta\theta \tag{10}$$

매질의 두께 변화에 대한 Bragg 각 편차의 계산 결과를 그

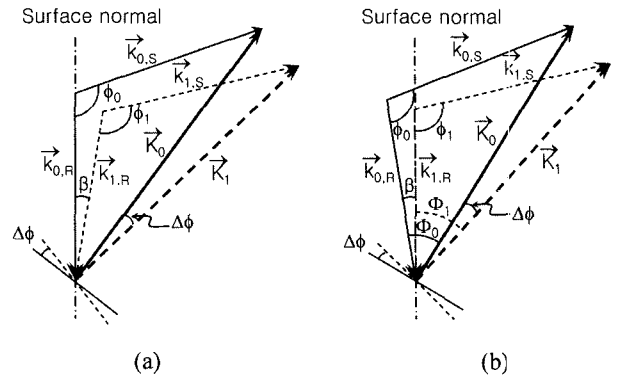


그림 4. 홀로그래픽 격자의 Bragg 각 편차.

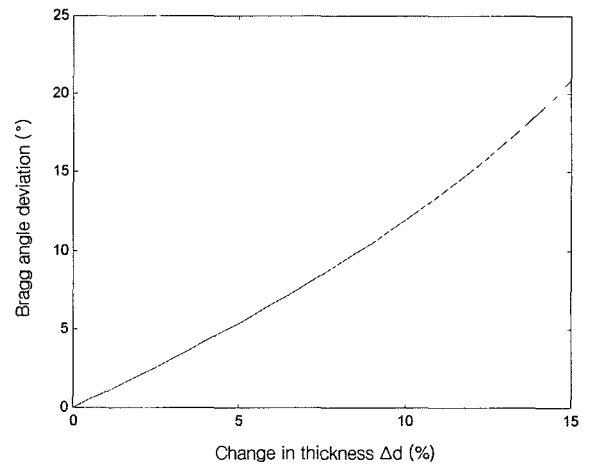
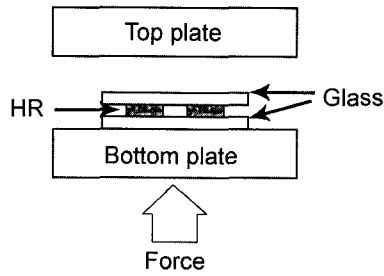


그림 5. 두께변화에 대한 Bragg 각 편차.

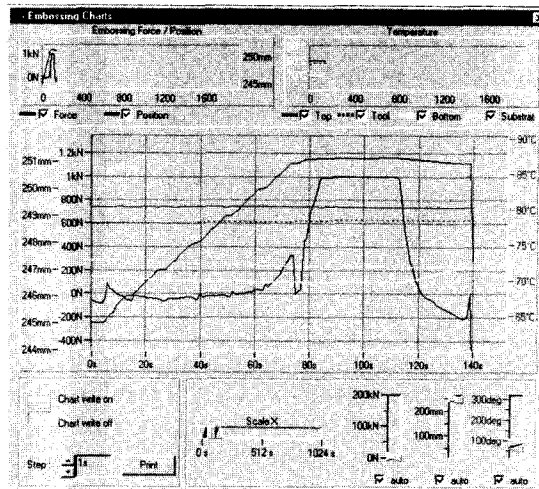
림 5에 나타내었다. 수직 방향으로의 두께 변화에 의해 격자의 K 벡터는 같은 각만큼 회전하며, 필름 외부에서 각도 편차는 Snell의 법칙에 의해  $\chi$  값으로 변환할 수 있다.

### III. 압착에 의한 중심파장 이동과 특성변화 측정결과

그림 6은 격자간격 변형을 위한 실험구조와 공정 그래프이다. 실험에 사용된 매질은 반사형 포토폴리머인 DuPont 홀로그래픽 반사판으로, 모노크로메타(monochromator)로 측정된 결과 중심 파장은 632 nm, FWHM은 51 nm이었다. 핫 엠보싱(hot embossing) 장비가 갖는 오차를 고려하여 1×1 cm<sup>2</sup> 크기의 샘플 2개를 하판(Base plate) 중심에서 각각 2 cm 떨어진 곳에 대칭구조로 위치시킨 후 압착하였다. 가열온도는 격자의 파괴 없이 변형 가능하도록 하판은 제조사가 보장하는 최대 온도인 70°C, 상판(Top plate)은 80°C를 유지하였다. 최초 600 N부터 1000 N까지 50 N씩 증가시키면서 실험하였으며, 상판과 하판이 닿는 힘은 400 N이었다. 그림 6의 (b)에서 볼 수 있듯이, 압착 과정에서 목표 압력까지 도달하는 시간과 압착 시간 그리고 원래의 상태로 되돌아오는 시간은 각각 90초, 20초, 30초 이다. 홀로그래픽 반사판 내부에 존재하는 접착층에 의한 힘 분산에 의해 본 실험에서는 매질의 두께변화 대신 압력에 대한 특성 변화를 관찰하였다.



(a) 실험 구성도



(b) 공정 그래프

그림 6. 압착실험 구성도와 공정 그래프.

### 3.1. 중심 파장 이동

반사형 격자는 파장 선택성이 우수하여 격자간격의 변화가 재생광에서 중심 파장의 변화로 나타난다. 제작된 샘플에서 중심파장의 이동 정도를 측정하여 그림 7에 나타내었다. 홀로그래픽 반사판은 내부의 접착층에 의한 힘 분산에 의해 그림 2와 3의 시뮬레이션 결과와 다르게 압력에 대해 매우 선형적으로 중심파장이 이동함을 관찰할 수 있었다. 이는 600N 이하의 압력에서는 압력보다 열에 의한 격자간격의 변형이 우세하여 중심파장이 길어지고, 650N부터는 열보다 압력이 지배적으로 격자간격 변화를 이끈 결과로 분석된다. 600N의 경우 약 6nm 정도 중심 파장이 길어졌으나 이후 50N의 추가 압력에 대해 약 39nm씩 중심 파장이 짧아짐을 볼 수 있다. 480nm 이하에서는 사용된 모노크로메타의 심각한 잡음에 의해 중심파장의 이동을 측정할 수 없었으며, 900N 이상에서는 물리적인 격자파괴로 회절은 발생하지 않았다. 실험결과 적색(632nm)의 파장을 재생하는 반사형 홀로그램은 격자간격을

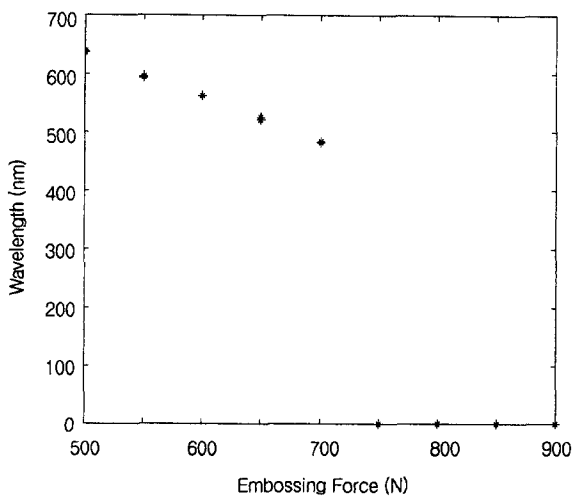


그림 7. 격자간격의 변화에 의한 중심파장의 이동량.

변형시킴으로써 보라색(482nm)까지 전 가시광선 영역의 빛을 재생할 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 압력과 격자간격의 관계

포토폴리머는 Cover Sheet, Photopolymer Layer, Base Sheet의 3층 구조로 되어있다.<sup>[12-14]</sup> Base Sheet는 50.8μm 두께의 Mylar 폴리에스테르 필름이나 25.4μm 두께의 PVC 필름으로, Cover Sheet는 60.9μm 두께의 PVC로 구성되어 있다. 그 사이에 7~100μm의 Photopolymer Layer가 위치하며, Base Sheet는 Photopolymer Layer를 지지하는 역할을, Cover Sheet는 이물질이 들어오는 것을 방지하는 역할을 한다. 실험에 사용된 홀로그래픽 반사판은 Base sheet 위에 포토폴리머 층이 있으며, 액정에 부착시키기 위해 약 140μm의 접착층과 최상층의 Cover sheet 구조로 되어 있다. 포토폴리머 뿐만 아니라 Base Sheet와 Cover Sheet, 그리고 접착층은 열에 쉽게 변형되는 특성을 갖고 있기 때문에 본 논문이 제안하는 열압착 방식을 사용할 경우 전체적인 두께변화가 발생하게 된다. 따라서 포토폴리머의 두께변화를 직접 측정하는 대신 압력에 의해 이동된 중심 파장을 이용하여 내부 격자간격의 변형 정도를 계산하였다.

식 (8)을 이용하여 그림 7에서 구해진 중심파장 이동값을 두께변화량으로 계산하여 그림 8에 나타내었다. 중심파장 이동 실험에서와 같이 600N에서는 열에 의한 부풀림이 지배적이어서 격자간격은 처음보다 더 늘어난 것으로 확인되었으며, 650~800N까지는 비교적 선형적으로 압력에 대해 격자간격이 줄어들고 있음을 볼 수 있다. 800N 이후의 값에 대해서는 고려하지 않았다.

### 3.3. 광학특성 변화

격자간격의 변형으로 발생하는 광학소자의 특성 변화는 중심파장 이동 후 결과물에 대한 응용범위를 결정하는 중요한 파라미터로 작용한다. 본 실험에서 중심파장의 이동 후 발생

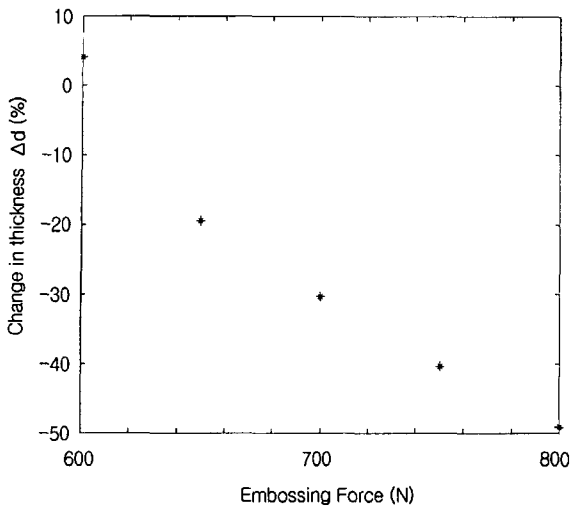


그림 8. 압력과 두께 변화량

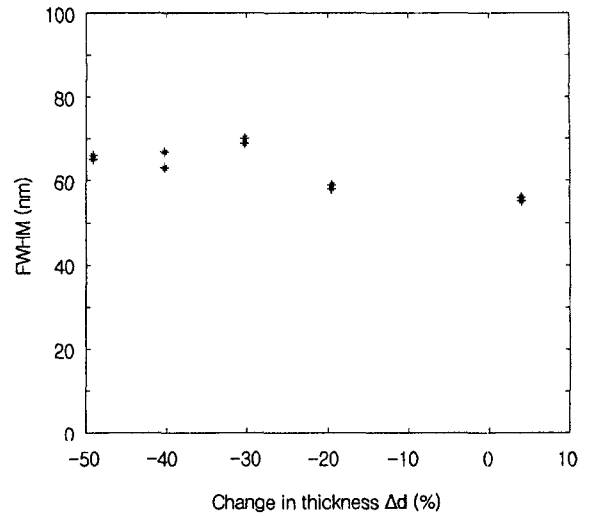


그림 10. 격자간격의 변화에 의한 대역폭 변화량.

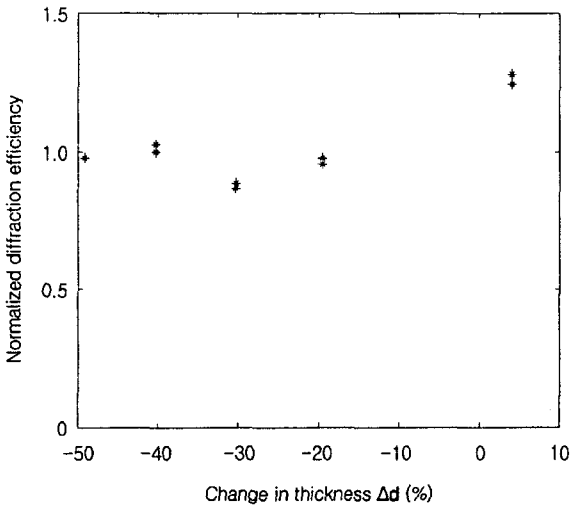


그림 9. 격자간격의 변화에 의한 회절효율 변화량.

하는 소자의 광학특성 중 회절효율과 대역폭 변화를 중심으로 고찰 하였다.

우선, 그림 9에 압착 후 측정된 각 샘플의 회절효율을 나타 내었다. 600N에서는 격자 내부의 부풀림에 의한 굴절률 변조 값 증가로 약 35%의 회절효율 증가가 관찰되었으나 수축이 시작되면서 회절효율은 10% 이내의 범위에서 안정적으로 유지되고 있음을 확인하였다.

회절효율과 함께 광학소자의 중요 특성 중 하나인 FWHM 값 측정 결과가 그림 10에 나타나 있다. 격자 내부에 수축이 발생하면서 대역폭은 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 확산과 열 압착에 의한 격자간격의 변화는 모두 격자의 표면에서부터 발생하며, 따라서 표면 쪽의 격자는 물리적 영향을 많이 받는 반면 아래로 내려갈수록 그 영향력이 줄어들어 전체적인 격자간격의 불균일에 의한 대역폭 확대가 발생한다. 본 실험에서 홀로그래픽 반사판의 중심파장이 632 nm에서 482 nm로 이동한 경우 FWHM은 51 nm에서 65 nm로 약 27% 확대 되었다. 이 값은 DuPont에서 사용 중인 확산에 기초한 칼라

튜닝방식에서 OmniDex® 352의 경우 511 nm에서 630 nm로 중심파장의 이동에 대해 약 67%, OmniDex® 706의 경우 508 nm에서 590 nm로 중심파장의 이동에 대해 약 128%의 대역폭 확대가 발생하는 것과<sup>[4,5]</sup> 비교하여 대역폭의 변화가 약 2.5배 이상 안정된 것이다.

#### IV. 결 론

부피형 회절격자의 처리과정에서 매질의 부풀림이나 수축에 의해 발생하는 중심파장의 이동을 이용하여 임의의 파장을 선택적으로 재생시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 또한, 물리적인 압착에 의해 변형된 격자간격은 광학적 특성 변화를 최소화 하면서 요구되는 중심파장으로 이동이 가능함을 증명하였다. 홀로그래픽 반사판을 70°C에서 600N~800N의 힘으로 압착한 경우, 중심파장은 632nm에서 482nm로 이동하면서 대역폭은 27% 확대되고, 회절효율의 변화는 10% 이내에서 유지 되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식은 DuPont에서 사용 중인 monomer나 oligomer의 확산에 기초한 파장변환 방식과 비교해 특성 변화는 억제하면서 중심파장만을 이동시키는 장점을 갖는 것으로 확인되었다.

홀로그래픽 광학소자에서 재생빔의 중심파장을 이동시키기 위해 현재까지는 기록에 사용된 파장을 바꾸는 방식을 사용해 왔다. 이 경우 재생빔의 파장은 기록에 사용된 레이저의 파장에 의해서만 결정되며, 기록에 사용되지 않은 파장의 재생은 불가능하였다. 본 논문에서 제안하는 방식은 광학적 특성 변화는 최소화하면서 전 가시광선 영역에서 자유롭게 중심파장을 이동시킬으로써 액정용 컬러필터와 분광계측용 기기 등에서 요구되는 기능성 소자로의 적용이 가능함을 보였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10258-0(2003)) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] A. G. Chen, Q. Gao, R. Fan, A. Harton, and K. Wyatt, "Enhanced reflective liquid crystal displays using DuPont holographic recording films," in *Holographic Materials IV*, T. J. Trout, Ed., Proc. SPIE, vol. 3294, pp. 201-206, 1998.
- [2] A. G. Chen, Q. Gao, A. Harton, K. Wyatt, G. Heidt, T. C. Felder, W. J. Gambogi, S. R. Mackara, K. W. Steijn, S. H. Stevenson, and T. J. Trout, "Holographic reflectors for enhanced reflective LCDs," *SID 98*, vol. 29, pp. 487-490, 1998.
- [3] T. J. Trout, W. J. Gambogi, K. W. Steijn, and S. R. Mackara, "Volume holographic components for display applications," *SID International Symposium Digest of Technonical Papers*, vol. 31, pp. 202-206, 2000.
- [4] S. A. Zager, and A. M. Weber, "Display holograms in Du Pont's OmniDex™ films," in *Practical Holography V*, S. A. Benton, Ed., Proc. SPIE, vol. 1461, pp. 58-67, 1991.
- [5] S. H. Stevenson, M. L. Armstrong, P. J. O'Connor, and D. F. Tipton, "Advances in photopolymer films for display holography," in *Fifth International Symposium on Display Holography*, T. H. Jeong, Ed., Proc. SPIE, vol. 2333, pp. 60-70, 1994.
- [6] J. E. Boyd, T. J. Trentler, R. K. Wahi, Y. I. Vega-Cantu, and V. L. Colvin, "Effect of film thickness on the performance of photopolymers as holographic recording materials," *Appl. Opt.*, vol. 39, no. 14, pp. 2353-2358, 2000.
- [7] F. T. O'Neill, J. R. Lawrence, and J. T. Sheridan, "Thickness variation of self-processing acrylamide-based photopolymer and reflection holography," *Opt. Eng.*, vol. 40, no. 4, pp. 533-539, 2001.
- [8] C. Zhao, J. Liu, Z. Fu, and R. T. Chen, "Shrinkage-corrected volume holograms based on photopolymeric phase media for surface-normal optical interconnects," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 71, no. 11, pp. 1464-1466, 1997.
- [9] A. Belendez, I. Pascual, and A. Fimia, "Effeciency of thick phase holograms in the presence of shear-type effects," *J. Mod. Opt.*, vol. 39, no. 4, pp. 889-899, 1992.
- [10] H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 48, no. 9, pp. 2909-2947, 1969.
- [11] T. Kuwayama, N. Taniguchi, Y. Kuwae, and N. Kushibiki, "Reflection holograms recorded on poly-(N-vinylcarbazole) holographic material," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 13, pp. 2455-2456, 1989.
- [12] W. K. Smothers, T. J. Trout, A. M. Weber, and D. J. Mickish, "Hologram recording in DuPont's new photopolymer materials," in *Practical Holography IV*, S. A. Benton, Ed., Proc. SPIE, vol. 1212, pp. 184-189, 1990.
- [13] N. Kim, E. S. Kim, Y. S. Choi, Y. R. Cho, S. H. Kim, J. U. Eum, and R. S. Kim, "Dynamic characteristics using dark reaction in photopolymer," in *Holographic Material V*, T. J. Trout, Ed., Proc. SPIE, vol. 3638, pp. 2-8, 1999.
- [14] 김은석, 김남, "반사형 광 폴리머의 효율 안정을 위한 편광 특성 분석," 대한전자공학회논문지, 제37권 SD편 제 6호, pp. 36-42, 2000.

**Center wavelength shift and the optical property stabilization in photopolymer according to the press**

Eun-Seok Kim and Nam Kim<sup>†</sup>

School of Electrical & Computer Engineering, Chungbuk National University

<sup>†</sup>E-mail: namkim@cbucc.chungbuk.ac.kr

(Received September 1, 2003, Revised manuscript January 9, 2004)

The playback wavelength shift and the optical property stabilization of the reflection type photopolymer OmniDex film are studied as a function of pressure. As the center wavelength is changed from 632 nm to 482 nm, the bandwidth is 27% broadened and the diffraction efficiency deviation maintained lower than 10%. These results show that the proposed color tuning method minimizes the change of optical properties more than 50% compared with the diffusion-based method as the center wavelength changed from 511 nm to 630 nm. The press-based color tuning method shows that it could be used to make holographic optical elements that operate at wavelengths where lasers are not readily available for reflection type holographic recording.

OCIS Codes : 050.2770, 230.1950.