

사전노출을 이용한 다중 홀로그램의 특성 분석

Characteristics analysis of multiple holograms using the pre-illumination

조영래*, 김은석*, 김 남*, 최윤선**, 최병소**

*충북대학교 전기전자공학부

**삼성종합기술연구원 디스플레이 Lab

yrcho@osp.chungbuk.ac.kr

광정보 처리 시스템의 기록매질로 많이 연구되고 있는 포토폴리머는 빛의 세기에 따른 굴절률 변화로 정보를 기록하며, 회절효율이 높은 특성을 가지고 있다. 화학처리 없이 건조처리(dry processing)만으로 쉽게 홀로그램을 제작할 수 있으며, 노출이 곧 자체현상(self-developing)이므로 처리가 간편한 장점을 갖고 있다. 최근에는 높은 저장 밀도와 빠른 액세스 시간을 동시에 제공할 수 있는 홀로그래픽 메모리 시스템의 기록매질로 적용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

홀로그램 기록과정 동안 모노머는 광화학적 반응을 하여 그림 1과 같은 광망상결합(photocrosslinking)을 이루어 굴절률이 증가한다. 기록빔에 노출되기 전의 모노머는 그림 1(a)와 같이 규칙적인 구조를 가지고 있지만, 노광량이 증가함에 따라 모노머는 중합반응에 의해 그림 1(b)와 같이 폴리머로 변하게 된다. 노출이 종료되면 그림 1(c)와 같이 중합반응이 일어난 영역에는 폴리머와 반응하지 않은 영역에는 모노머의 구조를 갖는다. UV light를 이용한 정착(fixing) 과정을 통하여 남아있던 모노머는 폴리머가 되며 최종적으로 그림 1(d)와 같이 폴리머들의 광망상결합을 이루게 되어 굴절률을 변화시킨다. 이와 같은 광망상결합은 포토폴리머 부피의 강성률(rigidity)을 변화시켜 수축(shrinkage)과 같은 현상을 발생시킨다. 일반적으로 기록매질의 굴절률은 구성 물질들의 밀도에 크게 좌우되므로 광망상결합에 의한 포토폴리머의 수축은 노출에 따른 폴리머의 밀도를 높여 굴절률을 증가시키는 역할을 한다. 노출 전의 포토폴리머는 구성 물질들의 균일한 구조를 갖고 있지만, 노출 동안에 광망상결합 및 중합반응과 밀도 차에 의한 확산에 의해서 불균일한 구조를 이루게 된다. 특히, 모노머의 확산은 포토폴리머를 구성하고 있는 물질들의 유동성(rheology), 확산 거리, 입사빔의 세기에 의해서 매우 큰 영향을 받기 때문에, 회절효율의 안정성을 위협하는 원인이 된다.

그림 2와 같은 광학시스템을 사용하여 각도 다중화 과정에서 발생하는 문제점들을 분석하였다. $0.5[mW/cm^2]$ 의 두 빔은 각각 20° 로 입사되며, $\lambda/2$ plate를 사용하여 두 입사빔의 편광을 동일하게 맞추었다. 물체빔 쪽에 위치한 SLM은 영상을 기록할 때만 이용되며, 평면파 홀로그램을 기록할 때는 제거된다. 그림 2의 광학시스템은 고정된 입사빔에 대해서 포토폴리머를 각도 선택도만큼 회전시키면서 홀로그램들을 기록시키기 때문에, 홀로그램들이 기록되는 위치에 따라 참조빔과 물체빔의 세기는 동일하지 않게 된다. 따라서 동일하지 않은 입사빔의 세기는 각각의 위치에서 서로 다른 굴절률 변조를 발생시키며, 각도 다중화를 위한 포토폴리머의 회전에 의해서 홀로그램들은 서로 다른 회절격자의 간격 및 기울기를 갖는다. 이와 같은 문제점들은 포토폴리머를 구성하고 있는 모노머의 랜덤한 확산 과정을 더욱 복잡하게 하는 요인으로 작용하므로 불안정한 회절효율 분포를 발생시킨다. 본 논문에서는 pre-curing의 개념을 적용하여 다중 홀로그램에서 재생되는 회절효율의 분포를 안정화시켰다. 참조빔만을 이용한 사전노

출에 의해서 모노머를 반응시킴으로써 홀로그램 기록 전 단계에서 포토폴리머의 강성률을 어느 정도 안정시킬 수 있었다. 사전노출은 두 입사빔의 간섭 및 암반응(dark reaction)에 의해서 어두운 영역에서 밝은 영역으로 확산하는 모노머의 이동성(mobility)을 억제시킴으로써 다중 홀로그램의 불안정한 회절효율을 안정화시킬 수 있었다. 홀로그램을 기록하기 전에 90[mJ/cm²]의 사전노출을 적용하여 모노머를 pre-curing시켰으며, 각각의 홀로그램 기록을 위해서 1[mJ/cm²]의 노광량을 적용하여 2.25°의 각도 선택도를 적용하여 17개의 평면파 홀로그램을 기록하였다. 그림 3(a)와 같이 2.25°의 각도 선택도는 입사빔의 세기에 따른 포토폴리머의 구조적, 광학적인 변화가 포함된 값이기 때문에 홀로그램들 사이의 중첩은 나타나지 않았다. 각각의 홀로그램들은 2.25°의 각도를 준수하고 있으며, 17개의 홀로그램들은 0.0127 ± 0.0003%의 거의 균일한 회절효율 분포를 나타내고 있다. 각각의 홀로그램들이 기록된 위치에서 2.25°의 각도만큼 분리되어 있는지를 확인하기 위하여 그림 2의 광학시스템을 사용하여 영상을 기록한 후 복원하였다. 영상을 재생할 때 포토폴리머를 구성하고 있는 물질들의 광망상결합 및 Mylar 기판의 복굴절과 같은 포토폴리머 자체의 편광 변화가 발생한다.^[1,2] 이와 같은 편광의 변화로부터 발생하는 영상의 누화를 보상하기 위해서 CCD 카메라 앞에 편광기를 사용하였다. 재생되는 영상을 0.09°씩 회전시키면서 CCD 카메라를 이용하여 모니터 하였을 때, 그림 3(b)와 같이 기록된 영상들은 중첩없이 복원되었으며 2.25°의 각도를 준수함을 살펴볼 수 있었다.

참고문헌

- [1] D. Blitz and B. J. Pernick, "Polarization properties of photopolymers for use in holographic and coherent optical systems," Appl. Opt., vol. 32, no. 32, pp. 6501-6502, 1993
- [2] 김은석, 조영래, 김 남, 손정영, "반사형 광폴리머의 안정을 위한 편광특성 분석," 제6회 광전자공학 학술회의, pp. 313-314, 1999

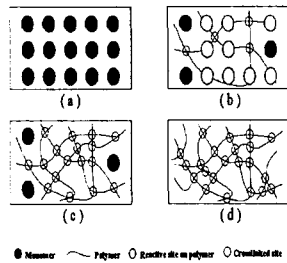


그림 1. 포토폴리머의 광망상결합

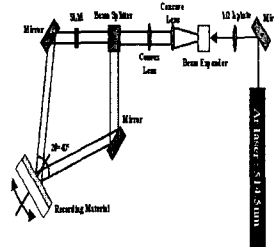
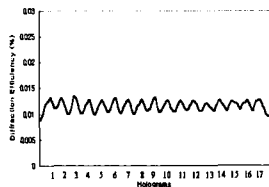


그림 2. 광학시스템



(a) Diffraction Efficiencies

(b) Reconstructed images

그림 8. 2.25°의 각도를 적용한 17개의 홀로그램