

## 3차원 동영상을 구현하기 위한 실시간 홀로그램의 제작

박세준\* 배장근\*\* 김수중\*

\* 경북대학교 전자전기공학부

\*\* 구미<sup>1</sup>대학 전자과

psj@palgong.kyungpook.ac.kr

## Fabrication of Real-Time Hologram for the Implementation of 3-D Moving Picture

Se-Joon Park\* Jang-Keun Bae\*\* Soo-Joong Kim\*

\* School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

\*\* Department of Electronics, Kumi College

### Abstract

A real time holography system using LCD with CCD camera is proposed. In this system, the rainbow hologram is used since it can be reconstructed by white light source. And to record on CCD camera, a kind of in-line holography method is used to widen the width of the fringe pattern. The interference fringe pattern by proposed system is detected with CCD camera and transferred to the LCD. A 3-dimensional image is reconstructed when a white light source illuminates the LCD. So it can represent 3 dimensional moving images at real-time. In this paper, to confirm the usefulness of the proposed method, the reconstructed image by holographic film is compared to the same reconstruct image by LCD. In the recording of the interference processing, the optimal ratio of the reference and object beam intensity is also investigated.

### I. 서 론

인간은 외부에서 들어오는 정보의 약 80% 정도를 눈을 통하여 받아들이며, 인간의 시각은 3차원 영상을 지각한다. 그러나 실생활에서 영상매체에 의해 표현되는 대부분의 영상은 아직 2차원을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 따라서 3차원 동영상의 생성과 표시방법의 개발에 대한 요구는 여러 분야에서 꾸준히 증가하

고 있다. 현재까지 3차원 동영상의 실용화가 가능한 방법은 눈의 시차를 이용하는 스테레오그램(stereogram)[1]과 간섭부늬를 기록하여 재생하는 홀로그램(hologram)[2]이라 할 수 있다. 스테레오그램은 현재의 전자장비와 결합이 가능하므로 암체영화 및 3차원 VCR에 이용되고 있으나 궁극적으로 3차원 영상이라고는 하기 어렵다.

홀로그램은 가간섭성의 물체파와 기준파의 간섭부늬를 기록한 것을 말한다. 홀로그램의 간섭부늬는 물체의 세기정보는 물론 세기성질로 변환된 위상정보를 가지므로 재생된 영상은 거리감을 느낄 수 있고 관측자가 보는 각도에 따라서 영상의 모양이 변하는 완전한 3차원 영상이다. 현재의 홀로그램 제작 방법 중 부지개 홀로그램(rainbow hologram)[3]은 기록시에는 레이저를 사용하지만 재생시에는 태양광이나 백열등과 같은 백색광(white light)을 사용하고 재생영상의 밝기도 아주 높다. 현재 홀로그램은 실생활에 사용되는 영상매체에 활용은 되지 않고 있다. 이는 홀로그램의 제작과정이 일반사진의 현상과정과 동일하여 많은 시간이 소요되므로 동영상을 구현하기가 어렵기 때문이다. 홀로그램을 사용하여 동영상을 구현하기 위해서 광학적인 신호를 실시간으로 기록하고 소거할 수 있는 광변조기(spatial light modulator)를 이용하며, 주로 LCD나 AOD(acousto optic device) 등을 사용하는데 이를 사용하여 홀로그램을 기록하고 재생하는 것을 전자-홀로그램(electronic hologram)이라 한다. 1991년 Hashimoto 등[4]은 LCD에 CCD 카메라를 연결하여

홀로그램을 기록하고 재생하였으나, 재생시 레이저를 사용하여야 하며 LCD의 해상도가 낮아 재생영상의 입체감이 많이 떨어지는 결과를 보여 주었다.

본 논문에서는 백색광으로도 재생이 가능한 무지개 홀로그램을 제작하고 이를 CCD카메라로 감지하여 카메라와 연결한 LCD 광변조기에 기록하여 3차원 동영상을 얻는 전자-홀로그램을 구현에 대하여 조사하였으며, 간접식 기록에 필요한 기준빔과 물체빔의 세기에 대한 영향에 대해서도 조사하였다.

## II. 홀로그램 제작방법

### 1. 전통적인 홀로그램

1948년 D. Gabor는 투명한 물체로 부터 산란 또는 반사된 빛에 적당한 간섭성의 빛을 조사하면 산란 또는 반사된 빛의 간섭무늬로 크기와 위상정보를 동시에 기록매질에 간섭패턴으로 기록할 수 있으며, 기록된 간섭패턴으로부터 완전한 원래 영상을 재생할 수 있다 는 것을 발견하였다. 그러나 개비 홀로그램은 실상과 허상이 관측자에게 겹쳐서 보이고 선정된 영상의 투과도가 높아야 한다는 단점이 있기 때문에 Leith-Upatnieks는 물체파에 기준파를 입사할 때  $\theta$  만큼 각도를 주는 off-line 홀로그램[8]을 제안하였으며 그 구성도는 그림 1과 같다.

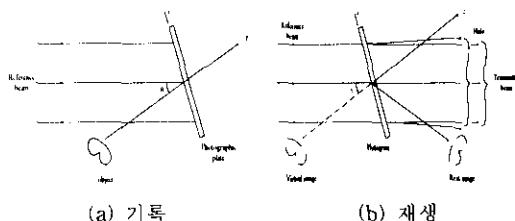


그림 1. Leith-Upatnieks 홀로그램

기록면에서의 기준파는 상수  $r$ 로 표기되고, 물체파는 복소함수  $\alpha(x,y)$ 로 둔다. 따라서  $\theta$  만큼 기울어져 입사된 기준파와 물체파의 기록면에서의 분포함수는

$$U(x, y) = r \exp(-j2\pi\alpha y) + \alpha(x, y),$$

$$\alpha = \frac{\sin\theta}{\lambda} \quad (1)$$

로 주어지며 공간주파수  $\alpha$ 는 각도의 함수이다. 따라서 기록매질에서의 세기함수는

$$I(x, y) = r^2 + |\alpha(x, y)|^2 + r\alpha(x, y)\exp(j2\pi\alpha y) + r\alpha^*(x, y)\exp(-j2\pi\alpha y)$$

$$= r^2 + |\alpha(x, y)|^2 + 2r|\alpha(x, y)|\cos[2\pi\alpha y - \phi(x, y)] \quad (2)$$

와 같고  $\alpha$  값이 충분히 크면 원래의 영상을 겹치지 않고 재생할 수 있다. 일반적으로 홀로그램은 홀로그래픽 필름에 기록하게 되는데 기록 후 필름을 현상액에 담가 현상을 한 후에 중착을 거쳐 제작하게 된다. 이 외에도 열가소성 광전도체(thermoplastic photoconductive material) 등의 기록매질이 있지만 모두 기록 후 사진현상과 같은 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 따라서 이러한 기록매질을 사용하여 3차원 영상을 실시간으로 재생하는데에는 어려움이 있다.

### 2. 무지개 홀로그램

3차원 동영상을 실시간으로 재생하는데 있어서 기록매질의 선정 이외에도 재생시 간섭성의 빛인 레이저를 사용해야 하는 것도 하나의 제한조건이다. S. A. Benton이 제안한 무지개 홀로그램은 백색광으로도 재생이 가능하며 전통적인 홀로그램보다 보다 선명한 영상을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 제작 방법으로는 2 단계를 거치는 제작 방법과 1 단계 과정을 거치는 제작 방법이 있다. 그중 2 단계 무지개 홀로그램은 전통적인 방법으로 먼저 1차(primary) 홀로그램을 제작한 후 재생된 실상에 수렴하는 기준빔을 조사하여 제작하므로 실시간 재생에는 적합하지 않다. 1 단계 무지개 홀로그램의 구성도는 아래와 같다.

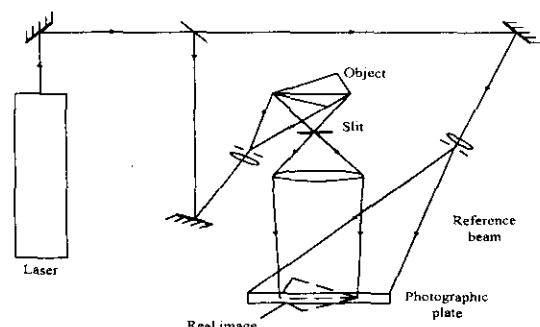


그림 2. 1 단계에 무지개 홀로그램의 제작 구성도.

물체의 앞에 슬릿을 두고 이미징 렌즈를 사용하여 원래의 영상과 같은 크기의 실상을 기록면에 결상하고 기준파를 조사하여 기록을 한다. 재생시는 백색광을 조사하여 관측자는 기록에 사용된 슬릿을 통하여 재생된 영상을 보게 된다. 1 단계 무지개 홀로그램은 1차 홀로그램을 제작하고 현상해야 하는 과정이 필요없으

므로 실시간 영상 재생에 보다 적합하다.

### 3. 전자-홀로그램

#### 1) 두 광파의 진행각도에 의한 간섭패턴

동일한 밝기를 가진 두 개의 평행광이 간섭될 때를 살펴보면 어떤 형식으로 전자-홀로그램을 제작해야 하겠지 알 수 있다.  $\theta$ 의 각도로 진행하는 두 평면파의 분포함수는  $z$  평면에서 식 (3)과 식 (4)로 표현된다.

$$U_1 = I_0^{1/2} \exp(-jkz) \quad (3)$$

$$U_2 = I_0^{1/2} \exp[-j(k \cos \theta z + k \sin \theta x)] \quad (4)$$

간섭평면에서 두 평면파는 위상차  $\varphi = kx \sin \theta$  를 가지며, 이는 간섭식에 의해

$$I = 2I_0[1 + \cos(k \sin \theta x)] \quad (5)$$

가 된다. 간섭패턴의 세기분포는  $x$ 축에 대해 주기적으로 나타나며 주기는  $2\pi/k \sin \theta = \lambda/\sin \theta$  이다. 주가는 간섭패턴을 기록하는데 있어 기록매질의 최소 해상도에 영향을 미친다. 즉 간섭각도가  $30^\circ$  이면 밝기의 주기가  $2\lambda$  가 되어 기록매질의 해상도는 최소 1260 라인/mm 이어야 한다. 그러므로 CCD카메라와 같이 해상도가 낮은 기록매질로 간섭패턴을 기록하기 위해서는 두 광파의 각도를 최소화해야 하며 기록하고자 하는 물체의 크기도 고려되어야 한다.

#### 2) 제안한 실시간 무지개 휴로그램 제작 구성도

본 논문에서는 맥색광으로도 재생이 가능한 실시간 휴로그램을 제작하는 방법을 제안하였다. 실시간 무지개 휴로그램을 기록하기 위한 구성도는 그림 3과 같다. 레이저에서 나온 빛은 광분할기(BS)를 통과시켜 두 개의 빔으로 나누어 지며 하나는 기준빔으로 하나는 물체에 조사시키는 빔으로 사용한다. 물체에 조사하여 반사된 빛은 슬릿을 통과한 후 이미징렌즈에 의해서 결상되며 두 번째 광분할기에서 기준빔과 간섭하여 간섭패턴을 만들게 된다. 식 (4), (5)에서 알 수 있듯이 기준파와 물체파의 각도가 커질수록 기록평면에서 기록매질의 해상도도 커져야 하므로 그 각도를 최대한 줄여야 한다. 본 구성도에서에는 기준파와 물체파를 먼저 광분할기상에서 간섭을 시킨 후 기록평면에 서 활용하게 되므로 제작사 기준파와 물체파의 각도에 거의 제약을 받지 않게 되며 이론적으로  $0^\circ$  이다. 또한 슬릿은 이미징 렌즈의 전 초첨거리에 두어 영상의 확대비가 1대1이 되도록 하여 깊이감의 왜곡을 최소로

하였다.

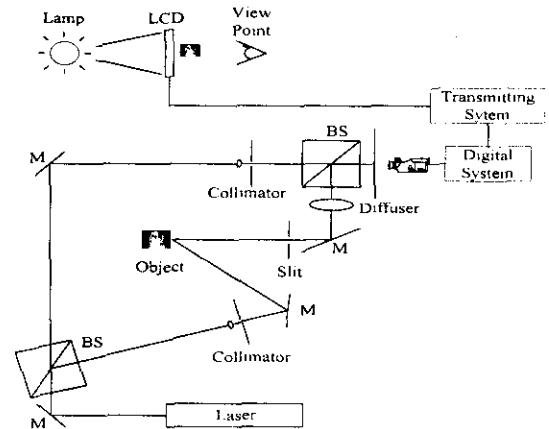


그림 3. 실시간 무지개 휴로그램의 기록과 재생을 위한 실험 구성도.

### III. 실험 결과 및 고찰

먼저 본 실험에서는 제안한 시스템이 두 빛의 간섭을 일으키기에 충분한 가를 확인하기 위하여 그림 3에서 기록대상 물체의 위치에 거울을 두어 간섭결과를 CCD카메라로 검출하여 결과를 그림 4에 나타내었다.

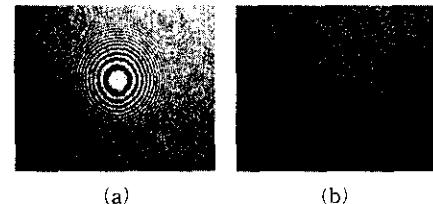


그림 4. 거울을 사용한 기준파와 물체파의 간섭패턴: 세기 비가 (a) 2:1, (b) 35:1

휴로그램의 제작시에 물체파의 세기가 슬릿의 사용으로 인하여 현저히 줄어들 것이므로 물체파의 세기를 변화시키면서 간섭패턴의 변화를 기록하였다. 그림 4(a)는 기준파와 물체파의 세기 비가 2:1일 때이며 카메라가 간섭패턴을 감지함을 알 수 있다. 그림 4(b)는 세기 비가 35:1일 때이며 이 때 간섭패턴은 감지하지 못하였다. 따라서 기준파와 물체파의 세기는 이를 넘지 않아야 한다.

실험에 사용한 물체는 그림 5 (a)와 같은 강아지 영상이며, LCD에서 재생된 영상과 비교하기 위하여 먼저 Agfa의 8E75-HD 휴로그래프 필름에 기록하여 무지개 휴로그램을 제작하였다. 사용한 두 빛의 세기 비

는 필름의 회절효율을 고려하여 3:1로 하였고 슬릿의 폭은 4mm이다. 그림 5(b)와 (c)는 필름에 기록된 홀로그램을 백색광을 사용하여 재생한 결과이며 재생시 필름의 각도를 약간 돌려서 영상의 입체감을 본 것이다. 이때 재생되는 영상은 슬릿 때문에 전체영상을 다 볼 수 없기 때문에 강아지의 머리부분만을 찍은 것이다. 그림 5(d)는 무지개 홀로그램의 기록구성도에서 슬릿을 제거하여 만든 이미지 홀로그램 영상이다.

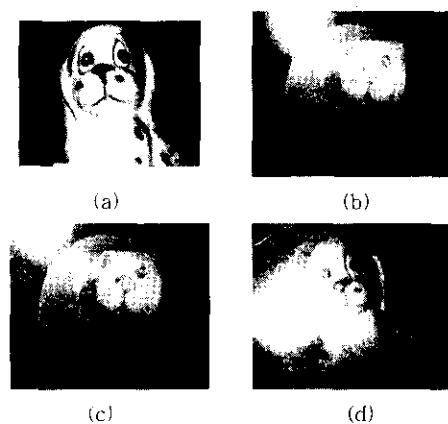


그림 5. (a) 입력영상, 필름으로 재생된 (b),(c)  
무지개홀로그램 영상 (d)이미지 홀로그램 영상

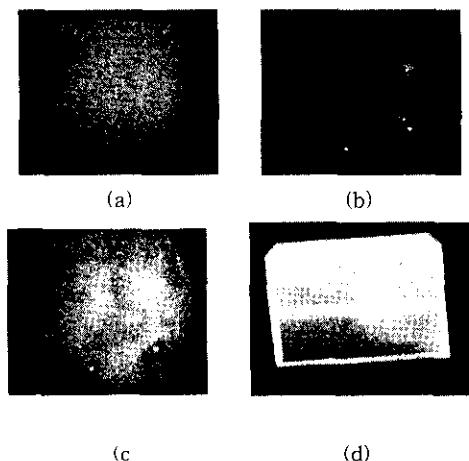


그림 6. 전자-홀로그램의 (a)기준파, (b)입력 영상  
(c), (d)가 간섭된 홀로그램 영상 (d)재생영상

그림 6은 LCD를 사용하여 실시간 전자-홀로그램에 사용한 영상이다. 실험에 사용된 LCD는 Seiko-Epson 사의 흑백 LCTV ET-20의 판넬을 사용하였으며 240 × 220의 해상도를 가진다. CCD 카메라는 Pulix사의 TM545이며 512 × 512의 해상도를 가진다. 그림 5(a)

의 강아지 영상을 기준파와 간섭시킨 다음 카메라의 낮은 해상도를 감안하여 눈과 코 부분만을 확대하여 LCD에 인가하였다. 또 결상된 영상은 렌즈를 통과하므로 영상이 뒤집어진 형태가 된다. 그림 6(a)는 기록에 사용한 기준파이고, 그림 6(b)슬릿을 통과해 확산판에 결상된 확대된 물체영상이며, 그림 6(c)는 이를이 간섭된 영상이다. 이 영상을 LCD에 전송하여 재생한 영상이 그림 6(d)이다. 그러나 재생된 영상이 원래의 영상정보와 많은 차이가 있고, 입체감도 많이 상실되어 재생영상의 점이 많이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 사용한 LCD의 해상도가 낮고 사용한 카메라와 LCD의 각화소가 정확히 정합이 이루어지지 않았기 때문이다. 따라서 해상도가 높은 카메라와 LCD를 사용하면 더 좋은 재생영상을 얻을 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 백색광으로 재생이 가능한 무지개 홀로그램으로 3차원 동영상을 표시할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 무지개 홀로그램 제작에서 물체파와 기준파의 간섭각을 최소화하여 간섭패턴의 크기를 크게하고, 이를 CCD카메라로 기록하고, LCD에 입력하고 백색광을 사용하여 재생하였다. 홀로그래피 필름에 기록하여 재생해 본 결과 입체감을 가진 영상임을 확인하였고, LCD를 사용한 실시간 홀로그램도 가능함을 보였다. 또 기준파와 물체파의 세기비를 달리하면서 간섭패턴을 관찰하여 최소세기비를 조사하였다 그러나 CCD카메라와 LCD의 해상도가 낮고, 화소간 정확한 정합이 이루어지지 않아 입체감과 영상정보의 상당부분이 소실되었다. 따라서 현재보다 더 높은 해상도의 장치들을 사용하면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 CCD 카메라와 LCD 간의 화소간의 정합, 입체감의 손실을 최소화 할 수 있는 홀로그램 제작방법등에 관해서도 연구가 요구된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. P. Hines, Development of 3DTV: an autostereoscopic video display, *SPIE/IS&T-97*
- [2] P. Hariharan, *Optical Holography*, Cambridge University Press, 1986.
- [3] S. A. Benton, "Hologram Reconstructions with Extended Light Sources," *J. Opt. Soc. Am.*, p. 1545, 1969.
- [4] N. Hashimoto, et. al., "Real-Time Holography Using The High-Resolution LCTV - SLM," *Proc. SPIE*, vol. 1461, p. 291, 1991.