

論文99-36T-3-5

# 3차원 동영상을 구현하기 위한 실시간 홀로그램의 제작

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

裒長根\*, 朴世駿\*\*, 金秀重\*\*

(Jang Keun Bae, Se Joon Park, and Soo Joong Kim)

### 요 약

CCD 카메라와 LCD를 사용하여 실시간 홀로그램 제작방법을 제안하였다. 본 시스템은 백색광을 사용하여 3차원 영상을 재생하기 위한 무지개 홀로그램 방법을 사용하였으며, CCD카메라의 낮은 해상도를 감안하여 간섭패턴의 간격을 크게 할 수 있는 in-line 홀로그램 제작방법을 사용하였다. 제안한 구성도로 간섭된 간섭 패턴은 CCD카메라에 감지되고 비디오신호로 변환되어 LCD에 입력된다. 간섭패턴이 입력된 LCD에 백색광을 조사하여 영상을 재생하면 입체영상을 볼 수 있으며, 입력영상의 위치를 변화하면 재생영상도 같이 움직이는 실시간 홀로그램이 된다. 본 논문에서 제안된 방법이 백색광을 사용한 실시간 홀로그램 제작에 유용함을 확인하기 위하여 해상도가 높은 홀로그래픽 필름에 먼저 기록하여 재생해보고, 이를 다시 LCD에 기록하고 재생한 후 그 결과를 비교하였다. 또 기록시 기준파와 물체파의 세기비를 변화시켜 최적의 간섭조건을 도출하였다.

### 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 the white light source illuminates the LCD. If the position of the input image is changed, that of the reconstructed image is also changed. 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 reconstructed image by LCD. In the recording process, the optimal ratio of the reference and object beam intensity is also investigated.

Key word : holography, rainbow holography, LCD, interference

### I. 서 론

\* 正會員, 구미1대학 전자정보과  
(Department of Electronics & Information, Kumi College)

\*\* 正會員, 경북대학교 전자전기공학부  
(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

※ 이 논문은 1997년 한국 학술진흥재단의 공동과제 연구비에 의하여 연구되었음.

接受日字: 1999年2月24日, 수정완료일: 1999年3月23日

인간은 3차원 공간에 살며, 외부에서 들어오는 정보의 약 80% 정도를 눈을 통하여 받아들인다. 인간의 시각은 3차원 영상을 지각하지만 실생활에서 영상매체에 의해 표현되는 대부분의 영상은 아직 2차원을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이에 반하여 3차원 동영상의 생성과 표시방법의 개발에 대한 요구는 여러 분야에서 꾸준히 증가하고 있다. 이와같은 연구들은 3차

원 동영상의 표시에 대한 가능성을 제시하여 왔지만 어느 정도 실용화가 가능한 방법은 눈의 양안시차를 이용하는 방법과 간섭무늬를 기록하여 재생하는 홀로그램(hologram)<sup>[1]</sup>이라 할 수 있다. 양안시차를 이용한 방법은 다른 각도에서 촬영한 두 개의 2차원 영상을 관측자의 좌·우 눈에 각각 맺히도록 하여 입체감을 느끼게 하는 방식으로 관측자의 움직임에도 불구하고 동일한 영상을 표시하므로 완전한 3차원 영상이 될 수 없다. 그러나 현재의 전자장비와 결합이 가능하므로 입체영화 및 3차원 VCR에 이용되고 있다. 홀로그램은 물체에서 반사되는 물체파와 기준파를 동시에 기록매질에 조사시켜 그 간섭무늬를 기록한 것을 말한다. 홀로그램의 간섭무늬는 물체의 세기정보는 물론 세기성질로 변환된 위상정보를 가지므로 재생된 영상은 거리감을 느낄 수 있고 관측자가 보는 각도에 따라서 영상의 모양이 변하는 완전한 3차원 영상이다<sup>[2]</sup>. 그러나 이러한 홀로그램은 빛의 간섭에 의해 기록이 되므로 기록시 간섭을 시킬 수 있는 레이저를 사용하여야 하며, 재생된 영상의 선명도가 높지 않다는 단점을 가진다. 현재의 홀로그램 제작 방법 중 무지개 홀로그램(rainbow hologram)<sup>[3]</sup>은 재생영상의 입체감은 떨어지지만 위의 단점을 보완할 수 있다고 알려져 있다. 무지개 홀로그램은 기록시에는 레이저를 사용하지만 재생시에는 태양광이나 백열등과 같은 백색광(white light)을 사용하고 재생영상의 선명도도 뛰어나다.

일반적으로 홀로그램은 예술작품이나 전시용 사진 또는 카드의 암호기법<sup>[4]</sup> 정도로만 이용될 뿐 실생활에 사용되는 영상매체에 활용은 되지 않고 있다. 이는 홀로그램의 제작 과정이 일반 사진의 현상 과정과 동일하여 많은 시간이 소요되므로 동영상을 구현하기가 어렵기 때문이다. 홀로그램을 사용하여 동영상을 재생하려면 움직이는 물체에 대해 초당 12 프레임 이상의 영상을 계속적으로 기록할 수 있어야 한다. 따라서 광학적인 신호를 실시간으로 기록하고 소거할 수 있는 광변조기(spatial light modulator)를 이용하여야 한다. 여러 가지 광변조기 중 전기적인 신호에 의해 동작하는 LCD나 AOD(acoust-optic device) 등을 사용하여 홀로그램을 기록하고 재생하는 것을 전자-홀로그램(electronic hologram)이라 한다. 1991년 S. A. Benton 등<sup>[5]</sup>은 AOD와 회전 다면경을 사용하여 3차원 입체 영상을 구현하였으나 영상의 크기가 아주

작고 구성된 시스템이 아주 고가이다. 1991년 Hashimoto 등<sup>[6]</sup>은 LCD에 CCD 카메라를 연결하여 홀로그램을 기록하고 재생하였으나 레이저를 사용하여 영상을 재생하여야 하고 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-홀로그램의 구성을 제안하였다. 또 간섭시 기준파와 물체파의 세기에 대한 영향에 대해서도 조사하였다.

## II. 홀로그램 제작 방법

### 1. 전통적인 홀로그램

1948년 D. Gabor는 투명한 물체로부터 산란 또는 반사된 빛에 적당한 가간섭성의 빛을 조사하면 빛의 세기와 위상정보를 동시에 기록매질에 간섭패턴으로 기록할 수 있으며, 기록된 간섭패턴으로부터 완전한 원래 영상을 재생할 수 있다는 것을 발견하였다. 그러나 게머 홀로그램은 실상과 허상이 관측자에게 겹쳐서 보이고 선정된 영상의 투과도가 높아야 한다는 단점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 Leith-Upatnieks는 물체파와 기준파가 일정한 각도를 가지는 off-line 홀로그램<sup>[7]</sup>을 제안하였으며 그 구성도는 그림 1과 같다.

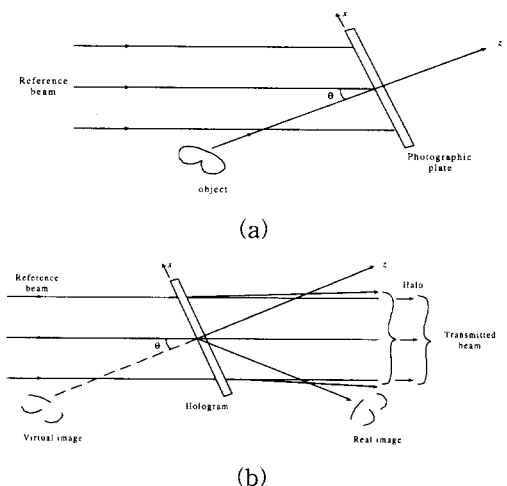


그림 1. Leith-Upatnieks 홀로그램, (a) 기록, (b) 재생  
Fig. 1. Hologram of Leith-Upatnieks, (a) recording, (b) reconstruction.

기록면에서의 기준파는 기록 평면에서 그 크기와 위상이 변하지 않으므로 상수  $r$ 로 표기할 수 있으며, 물체파는 기준파에 비해서 아주 작은 값을 가지며 물체의 투과도의 변화에 의해서 기록평면에서의 위상과 크기가 변하므로 복소함수  $o(x,y)$ 로 둔다. 따라서  $\theta$  만큼 기울어져 입사된 기준파와 물체파의 기록면에서의 분포함수는

$$U(x,y) = r \exp(-j2\pi\alpha y) + o(x,y), \quad \alpha = \frac{\sin\theta}{\lambda} \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} I(x,y) &= r^2 + |o(x,y)|^2 + r o(x,y) \exp(j2\pi\alpha y) + \\ &\quad r o^*(x,y) \exp(-j2\pi\alpha y) \\ &= r^2 + |o(x,y)|^2 + 2r |o(x,y)| \cos[2\pi\alpha y - \phi(x,y)] \end{aligned} \quad (2)$$

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 정착을 거쳐 제작하게 된다. 이때 빛에 노출된 정도가 홀로그램에 그대로 반영되도록 화학처리 과정을 거쳐 얻어진 홀로그램을 진폭형 홀로그램이라 하고, 진폭형 홀로그램을 표백과정이라는 후처리 과정을 거쳐서 얻는 홀로그램을 위상 홀로그램이라고 한다. 위상 홀로그램은 재생상의 밝기가 아주 뛰어나 현재 쓰이고 있는 대부분의 홀로그램은 이 방식을 사용하고 있다. 이와 같이 기존의 홀로그램은 현상과 정착 및 세척과정을 거쳐야 하므로 3차원 영상을 실시간으로 재생하는데는 어려움이 있다.

2. 무지개 홀로그램

3차원 동영상을 실시간으로 재생하는데 있어서 기록매질의 선정 이외에도 재생시 가간섭성의 빛인 레이저를 사용해야 하는 것도 하나의 제한조건이다. S. A. Benton은 백색광으로도 재생이 가능한 무지개 홀로그램을 제안하였으며 이는 홀로그램은 기록영상의 일부만으로도 영상의 재생이 가능하다는 관점에서 시도되었다. 이외에도 무지개 홀로그램은 전통적인 홀로그램보다 보다 선명한 영상을 얻을 수 있다는 장점이 있으며, 두 단계를 거치는 제작 방법과 한 단계에 의한 방

법이 있다.

1) 두 단계형 무지개 홀로그램

두 단계형 무지개 홀로그램의 제작은 먼저 그림 2(a)와 같이 전통적인 방법으로 홀로그램을 제작한다. 이를 기본(primary) 홀로그램이라 하며 무지개 홀로그램은 그림 2(b)와 같이 기본 홀로그램 앞에 작은 슬릿을 두고 여기에 다시 가간섭성의 기준파를 조사시켜 실상을 재생하며, 그 재생면에 기록매질을 두고 수렴하는 기준빔을 조사하여 제작한다. 이렇게 제작된 무지개 홀로그램은 백색광으로도 재생이 가능하며 관측자는 기록에 사용된 슬릿을 통하여 재생된 영상을 보게 된다. 두 단계형 무지개 홀로그램은 재생시 백색광을 사용하는 장점이 있지만 제작시 기본 홀로그램을 제작하여야 하므로 실시간 재생에는 적합하지 않다.

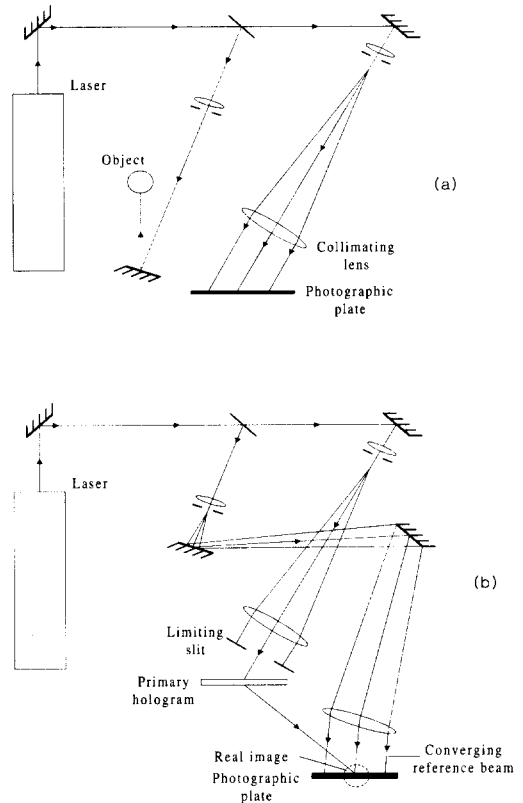


그림 2. 두 단계에 의한 무지개 홀로그램 제작 구성도, (a) 첫 번째 단계, (b) 두 번째 단계  
Fig. 2. Schematic diagram of 2-step rainbow hologram, (a) 1st step, (b) 2nd step.

2) 한 단계형 무지개 홀로그램

S. A. Benton이 제안한 한 단계형 무지개 홀로그램의 제작 구성도는 아래와 같다.

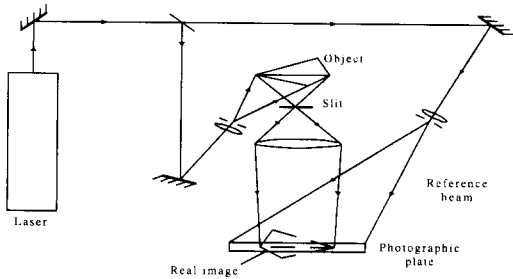


그림 3. 한 단계에 의한 무지개 홀로그램의 제작 구성도

Fig. 3. Schematic diagram of 1-step rainbow hologram.

이 구성도에서는 물체 앞에 슬릿을 두고 슬릿 뒤에 둔 이미징 렌즈를 사용하여 원래의 영상과 같은 크기의 실상을 기록면에 결상하고 기준파를 조사하여 기록을 한다. 이 때 기록되는 실상이 원래 영상의 크기와 같아야 깊이감의 왜곡이 생기지 않으므로 슬릿의 위치는 물체와 이미징 렌즈의 초점 면 사이에 두고 발산하는 기준파를 사용한다. 한 단계 무지개 홀로그램은 기본 홀로그램을 제작하고 현상해야 하는 과정이 필요 없으므로 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 하는지 알 수 있다. 그림 4와 같이  $\theta$  의 각도로 진행하는 두 평면파의 분포함수는 식 (3)과 식 (4)로 표현되고<sup>[8]</sup>,  $z=0$  평면에서 간섭을 일으킨다.

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

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

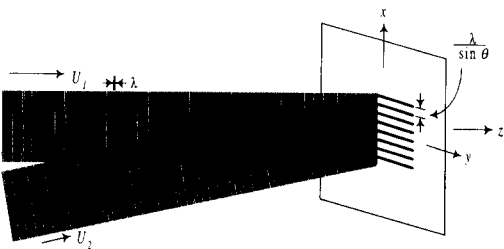


그림 4. 두 평행광의 간섭패턴  
Fig. 4. Interference pattern of two plane waves.

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

$$I = 2I_0 [1 + \cos(kx \sin \theta)] \tag{5}$$

의 세기를 나타낸다. 간섭패턴의 세기분포는 x축에 대해 주기적으로 나타나며, 이때의 주기는  $2\pi / k \sin \theta = \lambda / \sin \theta$ 이다. 이 밝기의 주기는 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 크기 및 표면상태도 고려되어야 한다.

2) 제안한 실시간 무지개 홀로그램 제작 구성도

본 논문에서는 백색광으로도 재생이 가능한 실시간 홀로그램을 제작하는 방법을 제안하였다. 실시간 무지개 홀로그램을 기록하기 위한 구성도는 그림 5와 같다.

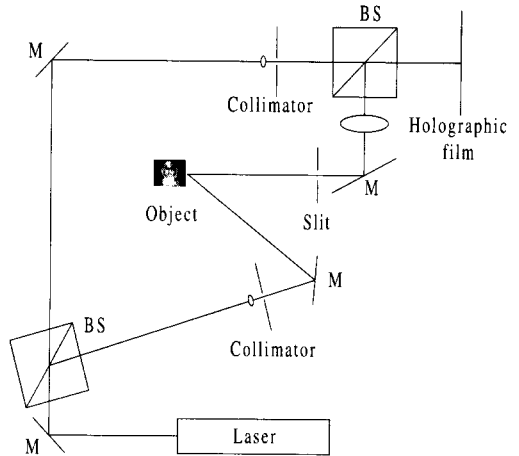


그림 5. 전자홀로그램에 사용할 한 단계 무지개 홀로그램의 제작 구성도

Fig. 5. Schematic diagram of 1-step rainbow hologram for electronic hologram.

레이저에서 나온 빛은 광분할기를 통과한 후 두 개의 빔으로 나누어지며, 하나는 기준빔으로 사용하며 하나는 물체에 조사시키는 빔으로 사용한다. 물체에 조사하여 반사된 빛은 슬릿을 통과한 후 이미징 렌즈에 의해서 결상되며 두 번째 광분할기에서 기준빔과 간섭하여 간섭패턴을 만들게 된다. 식 (4), (5)에서 알 수 있듯이 기준파와 물체파의 각도가 커질수록 기록평

면에서 기록매질의 해상도도 커져야 하므로 그 각도를 최대한 줄여야 한다. 본 구성도에서는 기준파와 물체파가 광분할기를 통해 기록평면에서 간섭이 일어나므로 기준파와 물체파의 각도를 최소화할 수 있다. 슬릿은 이미징 렌즈의 전 초점거리에 두며 후 초점거리에서 간섭패턴을 검출하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

실험에서는 백색광으로 재생이 가능한 무지개 홀로그램을 실시간으로 저장과 재생이 가능한지를 확인하였다. 기록한 홀로그램의 재생은 그림 6과 같이 간섭패턴을 CCD카메라로 감지한 후 디지털 시스템을 통하여 LCD에 전송하고, 백색광을 조사하므로써 구현하였다. 최종 간섭평면, 즉 이미징 렌즈의 후 초점면에 위치한 확산판에 결상된 간섭패턴을 카메라가 감지하여 LCD에 전송하므로써 정확한 이미지를 얻을 수 있도록 하였다. 실험에서는 이러한 구성이 두 빛의 간섭을 일으키기에 충분한 가와 이 간섭패턴을 CCD카메라로 검출이 가능한지를 확인하기 위하여 그림 6에서

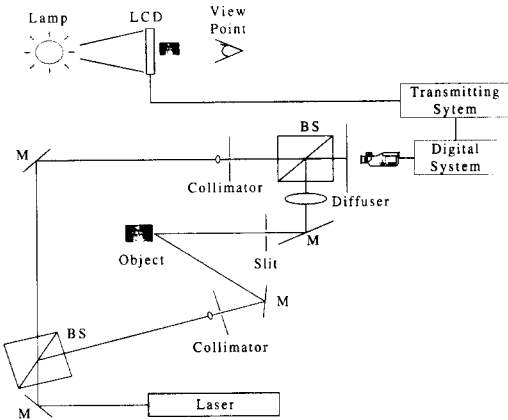


그림 6. 실시간 무지개 홀로그램을 위한 실험 구성도

Fig. 6. Experimental setup for real time rainbow hologram.

기록대상 물체의 위치에 거울을 두어 간섭결과를 CCD카메라로 검출하였으며, 이 결과를 그림 7에 나타내었다. 홀로그램의 제작시에 물체파의 세기가 슬릿의 사용으로 인하여 현저히 줄어들 것이다. 또 대상물체의 표면상태에 따라 밝기분포가 달라질 수 있으므로, 간섭이 일어날 수 있는 세기비를 조사하기 위하여 물

체파의 세기를 변화시키면서 간섭패턴의 변화를 기록하였다. 그림 7(a), (b)는 기준파와 물체파의 세기 비가 2:1, 5:1일 때이다. 카메라가 아주 넓은 범위까지 간섭패턴을 감지함을 알 수 있다. 그림 7(c)는 세기 비가 35:1일 때이며 이 때의 간섭패턴은 CCD 카메라가 감지하지 못하였다. 따라서 기준파와 물체파의 세기는 이를 넘지 않아야 한다. 이 간섭패턴의 실제크기는 약 2mm정도이며 그림 7은 이를 확대한 것이다.

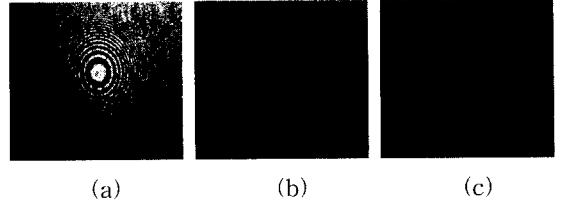
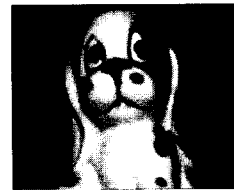


그림 7. 거울을 사용한 물체파와 기준파의 세기비의 변화에 대한 간섭패턴, (a) 2:1, (b) 5:1, (c) 35:1

Fig. 7. Interference patterns of reflected object beam and reference beam according to the variation of these intensity ratio, (a) 2:1, (b) 5:1, (c) 35:1.

실험에 사용한 물체는 그림 8 (a)와 같은 강아지 영상이며, 먼저 Agfa의 8E75-HD 홀로그래픽 필름에 기록하고, 백색광으로 재생하였다. 사용한 두 빛의 세



(a)



(b)

(c)

그림 8. 실험에 사용한 입력영상과 필름에 의해 재생된 영상, (a) 입력영상, (b), (c) 재생영상

Fig. 8. Input image and reconstructed images, (a) input image, (b), (c) reconstructed images.

기비는 필름의 회절효율을 고려하여 3:1로 하였으며, 슬릿의 폭은 4mm로 하였다. 그림 8(b)와 (c)는 필름에 기록된 홀로그래프를 백색광을 사용하여 재생한 결과이다. 두 결과는 재생시 필름의 각도를 약간 돌려서 영상의 입체감을 본 것이다. 정확히 비교해 보면 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 무지개 홀로그래프는 기록시 입력물체 영상을 필름면에 결상시킨 후 기준파와 간섭을 시키므로, 재생되는 영상이 대상물체의 결상된 영상일 가능성이 있다. 따라서 본 실험에서는 기준파를 조사하지 않고, 결상된 물체만을 필름에 기록하여 동일한 방법으로 재생하여 보고 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9 (a), (b)는 재생영상이 입체감을 가지는가를 확인하기 위하여 앞에서와 마찬가지로 필름의 위치를 바꾸어 영상을 재생하였다. 이렇게 재생

수 있어 간섭이 일어난다는 것을 알 수 있었다. 이 영상을 LCD에 전송하여 재생한 영상이 그림 10(d)이다. 재생된 영상은 선명도가 떨어지고 입체감이 거의 상실되었으나 형태는 알아볼 수 있다. 그러나 이 재생영상이 확산판에 결상된 영상이 직접 전달된 것인지, 아니면 간섭패턴에서 카메라의 낮은 해상도로 인하여 미세한 부분을 인식하지 못하여 입체감이 떨어진 3차원 영상인지는 다른 방법을 사용하여 더 조사해볼 필요가 있다. 이러한 결과는 궁극적으로 카메라와 광변조기로 사용된 LCD의 낮은 해상도에 기인하며, 사용한 카메라와 LCD의 각 화소가 정확히 정합이 이루어지지 않았기 때문이다. 이는 고해상도의 카메라와 LCD를 사용하면 어느 정도 해결될 것이라 생각하며, 향후 계속적으로 연구가 이루어져야 할 것이다.

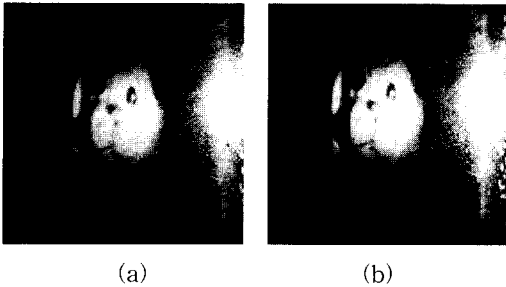


그림 9. 기준파 없이 결상된 입력영상에 의해 재생된 영상

Fig. 9. Reconstructed image by focused input image without reference beam.

된 영상은 관측자의 위치가 변화해도 동일한 형태인 단순한 2차원 영상임을 확인하였다. 그림 10은 LCD를 사용한 실시간 전자-홀로그래프의 결과이다. 실험에 사용된 LCD는 Seiko-Epson 사의 ET-20의 판넬을 사용하였으며 240×220의 해상도를 가진다. CCD 카메라는 Pulnix사의 TM545 이며 512×512의 해상도를 가진다. 그림 10(a)는 기록에 사용한 기준파이고, 그림 10(b)슬릿을 통과해 확산판에 결상된 물체영상이며, 그림 10(c)는 이들이 간섭된 영상이다. 이 간섭영상은 간섭패턴을 카메라로 감지할 수 있는지를 확인하기 위하여 입력영상인 강아지의 코와 눈 부분을 확대한 것이며, 결상된 영상은 렌즈를 통과하므로 뒤집어진 형태이다. 간섭영상은 거울을 놓았을 때처럼 확실한 간섭패턴이 발생하지는 않지만, 외부에서 실험 테이블이나, 실험 장치에 약간의 충격을 주면 물체파나 기준파와는 달리 패턴전체가 심하게 떨리는 현상을 볼

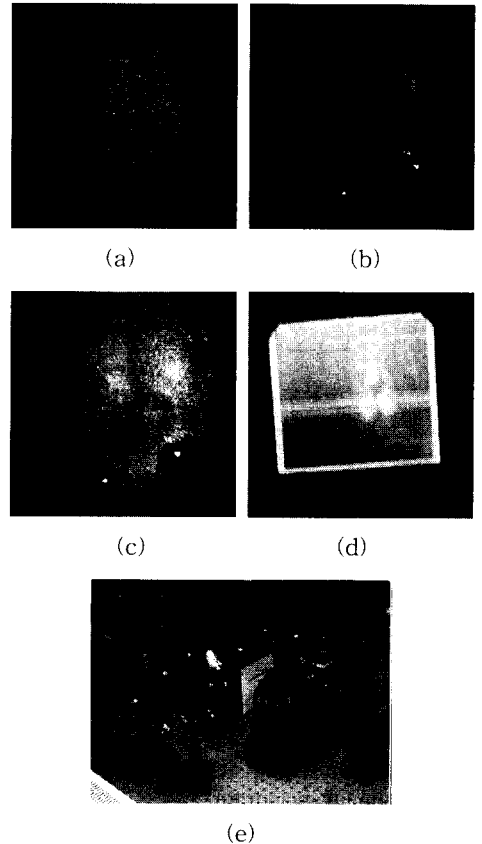


그림 10. 전자-홀로그래프에 대한 결과, (a) 기준파, (b) 입력영상, (c) 홀로그래프 영상, (d) 재생영상, (e) 실제 실험구성도

Fig. 10. The result of electronic hologram, (a) reference image, (b) input image, (c) hologram image, (d) reconstructed image, (e) experimental setup.

IV. 결론

본 논문에서는 백색광으로도 재생이 가능한 무지개 홀로그래프를 사용하여 3차원 동영상을 실시간으로 표시할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 무지개 홀로그래프 제작과는 달리 물체파와 기준파를 광분할기를 통해 간섭을 시킴으로써 간섭각을 최소화하였다. 이렇게 함으로써 간섭패턴의 크기를 크게 할 수 있고, 필름에 비해 낮은 해상도를 가지는 CCD 카메라로 기록할 수 있도록 하였다. 이렇게 만들어진 홀로그래프 간섭패턴을 CCD 카메라로 감지한 후, LCD에 입력하고 레이저가 아닌 백색광을 사용하여 재생하였다. 또한 기준파와 물체파의 세기비를 달리하면서 간섭패턴을 관찰하여 카메라나 LCD에 기록 가능한 최소세기비를 조사하였다. 홀로그래픽 필름에 기록하고 재생한 영상을 통하여 제안한 시스템에서 제작된 무지개 홀로그래프가 입체감을 가진 영상임을 확인하였고, 또한 이 영상과 LCD를 사용하여 재생한 영상과 비교하여 보았으며, 백색광을 사용한 실시간 홀로그래프의 구현이 가능함을 보였다. 그러나 CCD카메라와 LCD의 해상도가 낮고, 화소간의 정확한 정합이 이루어지지 않아 입체감과 영상정보의 상당부분이 소실된 결과를 보여준다. LCD와 CCD카메라를 사용한 이러한 방법에서 재생영상의 선명도와 입체감을 높이기 위해서는 아주 높은 해상도를 갖는 LCD를 사용하면 해결할 수 있을 것이라 생각하며, 향후 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] P. Hariharan, Optical Holography, Cambridge University Press, 1986.  
 [2] E. N. Leith, J. Upatnieks, "Wavefront Reconstruction with Diffused Illumination and Three-Dimensional Objects," *J. Opt. Soc. Am.*, p. 1295, 1964.  
 [3] S. A. Benton, "Hologram Reconstructions with Extended Light Sources," *J. Opt. Soc. Am.*, p. 1545, 1969.  
 [4] K. H. Fielding and J. L. Horner, "Optical Fingerprint Identification by Binary Joint Transform Correlation," *Opt. Eng.*, vol. 30, No. 12, p. 1958, 1991.  
 [5] S. A. Benton, et. al., "Real-Time Holographic Display: Improvements Using a Multichannel Acousto-Optic Modulator and Holographic Optical Elements," *Proc. SPIE*, vol. 1461, p. 254, 1991.  
 [6] N. Hashimoto, et. al., "Real-Time Holography Using The High-Resolution LCTV-SLM," *Proc. SPIE*, vol. 1461, p. 291, 1991.  
 [7] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill, 1986.  
 [8] Bahaa E. A. Saleh and M. Carl Teich, *Fundamentals of Photonics*, Wiley Interscience, 1991.

저 자 소 개



裴長根(正會員)  
 1965년생  
 1986년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1994년~현재 구미1대학 전자정보과 조교수. 주관심분야는 광정보처리, 홀로그래피 등



朴世駿(正會員)  
 1965년생  
 1993년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년~현재 : 동 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 주관심분야는 광정보처리, 광패

턴인식 등

金秀重(正會員)  
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수