

論文2000-37SD-2-4

체적 홀로그래픽 메모리를 이용한 스테레오스코픽 동영상 디스플레이 시스템

(Sequential Stereoscopic Display System based on a Volume Holographic Memory)

李丞玄*, 孫光哲*, 金恩洙*

(Seung-Hyun Lee, Kwang-Chul Son, and Eun-Soo Kim)

요 약

본 논문에서는 체적홀로그래픽 메모리를 이용한 스테레오스코픽 동영상 디스플레이 시스템을 제안하였다. 각다중화된 스테레오스코픽 영상 페어의 다중 홀로그램들이 방대한 저장 능력과 실시간 랜덤 액세스의 장점을 갖는 동일한 광굴절 매질에 기록되었다. 브래그 조건을 만족하는 입사파는 기록된 회절 격자에 의해 산란되어 스테레오스코픽 영상 페어의 방향을 따라 회절된다. 디스플레이 평면으로 회절되어 투사된 연속적인 좌안과 우안 영상으로부터 입체 비디오 영상을 관찰할 수 있다.

Abstract

We present a sequential stereoscopic display system using volume holographic storage. Multiple angular multiplexed stereoscopic image pairs are recorded into a photorefractive crystal that can store data with high density, transfer them with high speed, and select a randomly chosen data element. The reference beam with Bragg selectivity is scattered by the index grating and the diffracted beams are propagating along the directions of the stereoscopic image pairs. The images are to be suitably projected on the left and right display plane sequentially for stereoscopic video viewing.

I. 서 론

입체감이 있는 사진이나 영화를 보고 싶다는 소망으로부터 19세기 중엽의 입체 사진을 비롯한 여러가지 입체 디스플레이 원리의 연구가 이루어져 왔으며, 최근 3차원 영상에 관한 연구·개발이 다시 활발해지고 있다. 3차원 입체 영상을 표시하는 기술 중 양안시차를

이용하는 입체 영상 기술은 양안시차를 갖는 두 장의 2차원 화상을 좌안과 우안에 따로따로 분리 제시하여 입체시 함으로써, 디스플레이 평면의 전후에 오행이 있는 공간을 재현할 수 있는 방법이다.^[1,2] 1838년에 반사경을 90도의 V자형으로 배치하고 양안시차가 있는 두 장의 그림으로 입체감을 느끼게 한 입체경(stereoscope)이 영국 왕립협회에서 발표된 이후, 프리즘, 렌즈등을 사용한 입체경이 발표되었다. 사진의 발명 이후 카메라에 의해 두 개의 다른 각도에서 촬영한 스테레오 사진(stereoscopic pair)을 쉽게 만들 수 있게 되어 이것을 스테레오스코픽 뷰어(stereoscopic viewer)로 입체시하는 방법이 유럽을 중심으로 널리 보급되었다. 현재 전시 박람회, 테마파크 등에서 인기를 끌고있는 편광 안경식의 입체 영화나 입체 하이비전도 양안시차에 의한

* 正會員, 光云大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ)

※ 본 논문은 99년 정보통신부 대학기초연구과제(전략)에 의해 수행되었음.

接受日字 : 1999年2月25日, 수정완료일 : 2000年1月20日

입체 효과를 이용한다는 의미에서 19세기말의 스테레오스코프의 원리와 같다. 또한, 안경 없는 입체 텔레비전 방식의 원리로 연구가 추진되고 있는 패럴랙스 배리어(parallax barrier)나 렌티큘라 스크린(lenticular screen)의 이용도 20세기 초엽의 입체 사진으로부터 유래한 것으로 재료기술, 가공기술 진보와 더불어 실용화되고 있는 3차원 입체 영상의 디스플레이 기술이다.^[3,4]

체적 홀로그래피로 알려진 광기록기술은 각선탕 만한 크기의 광굴절매질에 대용량의 데이터를 저장할 수 있고, 저장된 정보를 초고속 병렬 랜덤 액세스할 수 있어 차세대 정보 저장 기술중의 하나로 분석되고 있다.^[5-7] 홀로그래픽 메모리 시스템은 두 개의 레이저 빔(물체파와 기준파)이 광굴절 매질 내에서 간섭하면 광굴절 효과(photorefractive effect)에 의해 매질 내에 격자(grating) 패턴이 형성되므로 저장된다. 즉, 레이저 빔이 공간광변조기(SLM)에 디스플레이된 데이터를 통해 조사된 물체파가 다수의 각도(또는 파장, 위상 부호)로 정렬된 기준파와 광굴절 기록 매질에서 만나게 됨으로써 수천 페이지 이상의 홀로그램 데이터가 고밀도로 다중화 되어 기록되게 된다. 데이터의 재생을 위해서는 위와 같은 기록과정을 거친 후에 특정 페이지의 데이터를 기록시 사용된 기준파와 동일한 각도(또는 파장, 위상 부호)로 기준파를 다시 입사시킴으로써 저장된 정보를 재생할 수 있다. 광굴절 기록 매질에 형성된 회절 격자를 통과할 때 기준파는 원래의 페이지에 있는 정보의 영상을 재현하는 방향으로 회절 된다. 재현된 영상은 CCD와 같은 영상 센서부에 입사되어 한 페이지에 저장된 정보를 한번에 모두 읽을 수 있고, 이 데이터는 다시 디지털 컴퓨터에 의해 전자적으로 저장·처리될 수 있다.

본 논문에서는 스테레오스코픽 페어와 기준파를 간섭시켜 체적 홀로그램에 저장하고, 브래그 조건을 만족하는 기준파를 이용하여 저장된 스테레오 페어를 재생하므로써 3차원 입체 영상을 관찰할 수 있는 스테레오스코픽 비전 시스템을 제시하였다. 또한, 다중화 방식을 사용하여 스테레오 페어 영상의 다중 홀로그램을 저장·재생하는 방법으로 입체 동영상을 재생하였다.

II. 스테레오스코픽 페어의 저장과 재생

두 개의 스테레오스코픽 페어 영상이 디스플레이된

SLM을 통과하는 물체파와 기준파가 간섭 조건을 만족할 경우 세 개의 파는 간섭에 의한 격자 패턴이 형성된다. 그림 1(a)와 같은 세개의 파에 대한 파동방정식은 식(1)로 표현할 수 있다.^[8]

$$E_i = A_i \exp[j(\omega t - k_i \cdot r)], \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

여기서, E_1, E_3 는 스테레오스코픽 영상 페어 그리고 E_2 는 기준파를 나타낸다. A_1, A_2, A_3 는 각각의 진폭, ω 는 각주파수, r 는 기준점에서 (x, y, z) 점으로의 공간 벡터, 그리고 k_1, k_2, k_3 는 파벡터이다. 그림 1(a)와 같이 세 개의 파가 동시에 입사될 경우 광굴절 기록 매질에서의 강도 분포는 식 (2)와 같다. E_1 과 E_2 그리고 E_3 와 E_2 가 시분할 적으로 입사되는 경우에 E_2 와 E_3 사이의 간섭은 존재하지 않는다.

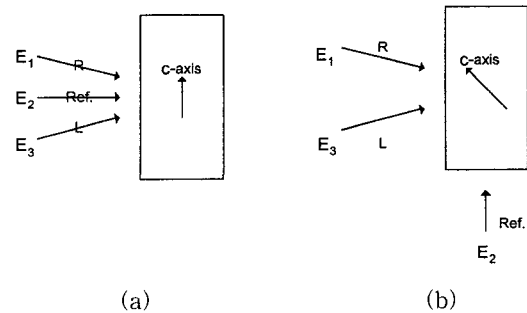


그림 1. 스테레오스코픽 영상 페어의 기록

(a) 0° -cut

(b) 45° -cut

Fig. 1. Stereoscopic image pairs recording

(a) 0° -cut

(b) 45° -cut

$$\begin{aligned} I &= |E|^2 = |E_1 + E_2 + E_3|^2 \\ &= (E_1 + E_2 + E_3) \overline{(E_1 + E_2 + E_3)} \\ &= E_1 E_1^* + E_2 E_2^* + E_3 E_3^* \\ &\quad + E_1 E_2^* + E_1 E_3^* + E_2 E_1^* + E_2 E_3^* + E_3 E_1^* + E_3 E_2^* \end{aligned} \quad (2)$$

간섭에 따른 강도 분포의 변화는 매질의 굴절률 변화로 야기되는 격자 패턴을 형성하게 된다. 그림 2(a)에서와 같이 브래그 매칭 조건을 만족하는 기준파 E_2 가 조사될 경우 스테레오스코픽 디스플레이 평면에서의 강도 분포는 식 (3)과 같다.^[9]

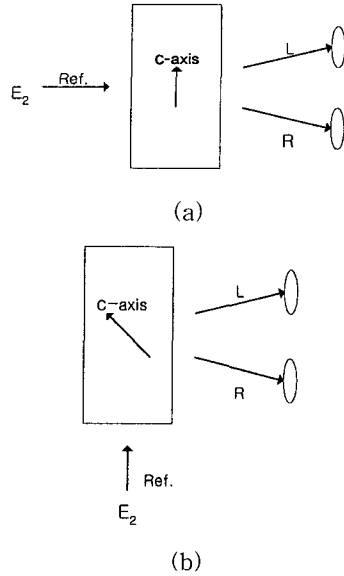


그림 2. 스테레오스코픽 영상 페어의 재생
(a) 0° -cut
(b) 45° -cut

Fig. 2. Stereoscopic image pairs reconstruction
(a) 0° -cut
(b) 45° -cut

$$\begin{aligned}
 I = & A_2 [|A_1|^2 + |A_2|^2 + |A_3|^2] \exp(-jk_2 \cdot r) \\
 & + A_1 A_2^2 \exp(-jk_1 \cdot r) \\
 & + A_1 A_2 A_3 \exp[-j(k_1 + k_2 - k_3) \cdot r] \\
 & + A_2^2 A_1 \exp[-j(2k_2 - k_1) \cdot r] \\
 & + A_2^2 A_3 \exp[-j(2k_2 - k_3) \cdot r] \\
 & + A_3 A_1 A_2 \exp[-j(k_3 + k_2 - k_1) \cdot r] \\
 & + A_3 A_2^2 \exp[-jk_3 \cdot r]
 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 두번째 항과 마지막 항은 스테레오스코픽 영상 페어가 기록된 방향으로 회절되는 항으로써, 3차원 입체 영상 관찰을 위한 디스플레이 평면으로 출력된다. 따라서, 재현된 스테레오스코픽 영상 페어는 CCD와 같은 영상 센서부에 입사되어 3차원 디스플레이 시스템을 통해 입체 영상을 관찰할 수 있으며, 스테레오스코픽 뷰어와 같은 시스템을 구성하여 직접 관찰할 수도 있다. 그림 1(b), 2(b)에서와 같이 45°-cut LiNbO₃:Fe를 사용하면 동일 평면의 입사파인 스테레오스코픽 영상 페어 간에 간섭이 발생하지 않으므로, 식 (3)에서 두 번째 항과 마지막 항만이 입체 관찰 평면으로 출력되게 되므로 보다 선명한 입체 영상을 얻을 수

있게 된다. 또한, 각 다중화 방식을 사용하여 연속적인 스테레오 페어 영상을 기록한 뒤 재생하는 방법으로 입체 동화상 디스플레이 시스템을 구성할 수 있다.

III. 시스템 구성 및 실험

그림 3은 양안시차를 이용하여 입체감을 느낄 수 있도록 구성된 스테레오스코픽 페어 영상을 체적 홀로그래피에 기록·재생하기 위한 시스템이며, 한 개의 SLM을 이용하여 스테레오 좌·우 영상을 기록할 수 있도록 설계되었다. 또한, 연속적인 스테레오 영상을 각다중화 방식을 사용하여 시분할적으로 기록한 다음, 재생 영상의 프레임 속도를 조절하므로써 입체 동영상 재생 시스템으로 동작된다. 시스템의 L1을 지나 BS를 통과한 빔은 평면파이며, 평면파는 미러 M2에 의해 반사되어 L4에 입사되게 된다. 그림 4에 본 시스템의 렌즈 역할을 설명하는 상세도를 보여준다. 즉, 평면파는 L4에 의해 FT되고 빔은 L5에 의해 평면파로 변환되어 공간 광 변조기인 SLM을 지나 L6에 입사된다. L6에 의해 다시 FT된 빔은 L7에 의해 평면파로 변환되어 광굴절 매질에 입사된다. 광굴절 매질을 투과한 빔은 L8에 의해 다시 FT되고 L9에 의해 평면파로 변환되어 CCD에 입사하게 된다. 또한 렌즈간 간격은 2f이다.

시스템은 크게 기준파 제어부, 물체파 제어부, 그리고 스테레오스코픽 디스플레이부로 구성되어 있다. 또한 컴퓨터 인터페이스를 이용하므로써 모든 처리를 자동화하여, 하나의 통합시스템을 구성하였다. 물체파 제어부는 거울 M2와 SLM, 4개의 렌즈로 구성되어 있으며, SLM에 시분할 형태로 디스플레이되는 좌안과 우안의 스테레오 영상을 광굴절 매질인 45°-cut LiNbO₃:Fe에 공간적으로 분리하여 입사시킨다. 기준파 제어부는 거울 M1과 2개의 렌즈로 구성되어 있으며, M1을 제어하여 광굴절 매질에 여러 장의 영상을 기록하고 재생하기 위한 각다중화를 구현한다. 그리고, 스테레오스코픽 디스플레이부는 기준파를 이용하여 광굴절 매질에 기록된 스테레오스코픽 페어 영상을 디스플레이 평면으로 출력하여 두 대의 CCD 카메라로 구성된 3D 촬영시스템에 입력 시킨다.

광굴절 매질에 영상을 기록하는 방법은 다음과 같다. 먼저, 스테레오스코픽 페어의 한 영상이 기록될 위치에 스텝모터로 M1을 회전시켜 기준파를 위치시킨다. 스텝

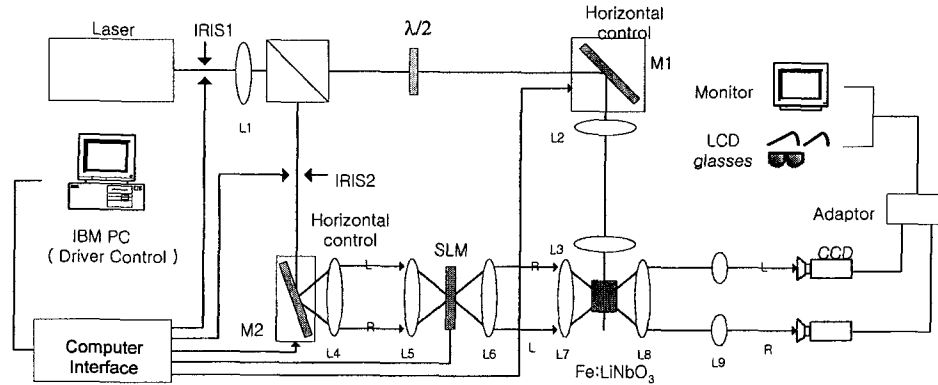


그림 3. 체적 홀로그램을 이용한 스테레오스코픽 동영상 기록·재생 시스템
 Fig. 3. Sequential stereoscopic images recording and reconstruction system using a volume holographic memory.

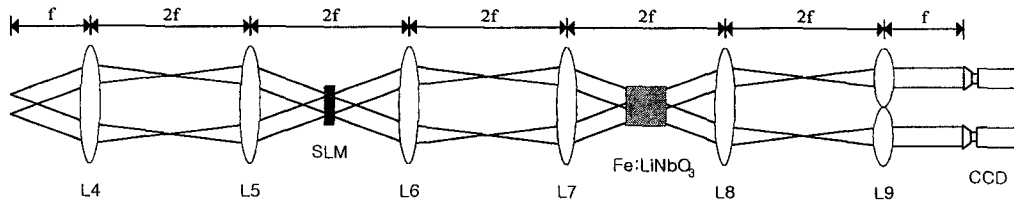


그림 4. 시스템 렌즈 조합에 대한 설명도
 Fig. 4. Block diagram of lens combination for system.

레오 페어의 좌안부터 기록을 시작할 경우, 좌안 영상을 기록하기 위해 M1과 동일한 방법으로 M2를 회전시켜, 물체파가 L경로를 통과하도록 위치시키고 SLM에 좌안 영상을 디스플레이 시킨다. IRIS1, 2를 열어 광굴절 매질에 이미지가 기록될 수 있도록 한다. 다음, 좌안 영상의 물체파와 기준파에 의한 간섭패턴에 의해 광굴절 매질에 기록이 되면, IRIS1을 차단시킨 후 M2를 회전시켜 R경로를 통과하도록 위치시킨다. 그리고 SLM에 우안 영상을 디스플레이한 다음 IRIS1을 열어 우안 영상이 기록될 수 있도록 한다. 이와같이 하므로써 하나의 스테레오스코픽 이미지를 기록할 수 있다. 두 번째 스테레오스코픽 이미지를 기록하기 위해서는 M1을 회전시켜 기준파를 두 번째 이미지가 기록될 위치에 놓은 다음 위와 같은 과정을 반복하므로써 두 번째 스테레오스코픽 이미지를 기록할 수 있다. 따라서, 이와같이 하나의 기준파에 두개의 이미지를 시분할적으로 기록하며, 기준파를 연속적인 스테레오 페어 영상의 순서에 맞게 변화시키므로써 하나의 광굴절 매질에 여러 장의 스테레오스코픽 이미지를 기록할 수가 있다.

스테레오스코픽 이미지가 기록된 광굴절 매질로부터

영상을 재생하는 방법은 다음과 같다. 즉, 스텝모터로 M1을 회전시켜 원하는 스테레오 페어 영상의 브래그 조건이 일치하도록 하면, 기준파가 회절 되어 기록되어 있던 영상, 즉 스테레오 좌안·우안의 영상이 출력된다. 이와같이 출력된 스테레오 페어 영상은 렌즈를 적절히 조합하여 두 개의 CCD 카메라로 구성된 3D 촬영시스템에 입력시키므로써 스테레오 스코픽 영상을 입체적으로 감상할 수 있게 된다. 이때 기록된 이미지가 동영상의 각각 프레임에 해당한다면, 기준파를 기록된 첫 번째 프레임의 브래그 조건에 만족하도록 한 후 M1을 적절한 속도로 회전시켜 기준파의 각도를 조절하므로써 우리가 원하는 프레임 속도로 입체 동영상을 관찰할 수 있게 된다. 본 실험에 사용된 3D 촬영 시스템은 두 개의 CCD를 교차식으로 배열한 2안식 카메라를 이용하여 시차가 있는 좌우 화상을 순차적으로 번갈아 절환하여 양안에 디스플레이한 다음, 이것과 동기시켜서 개폐하는 셔터 안경이나 헤드 마운트 디스플레이(HMD)를 사용해서 입체를 관찰할 수 있는 시분할 입체 방식을 이용하는 시스템으로 구성되어 있다.

위와 같은 기록 및 재생시의 모든 제어 즉, IRIS와

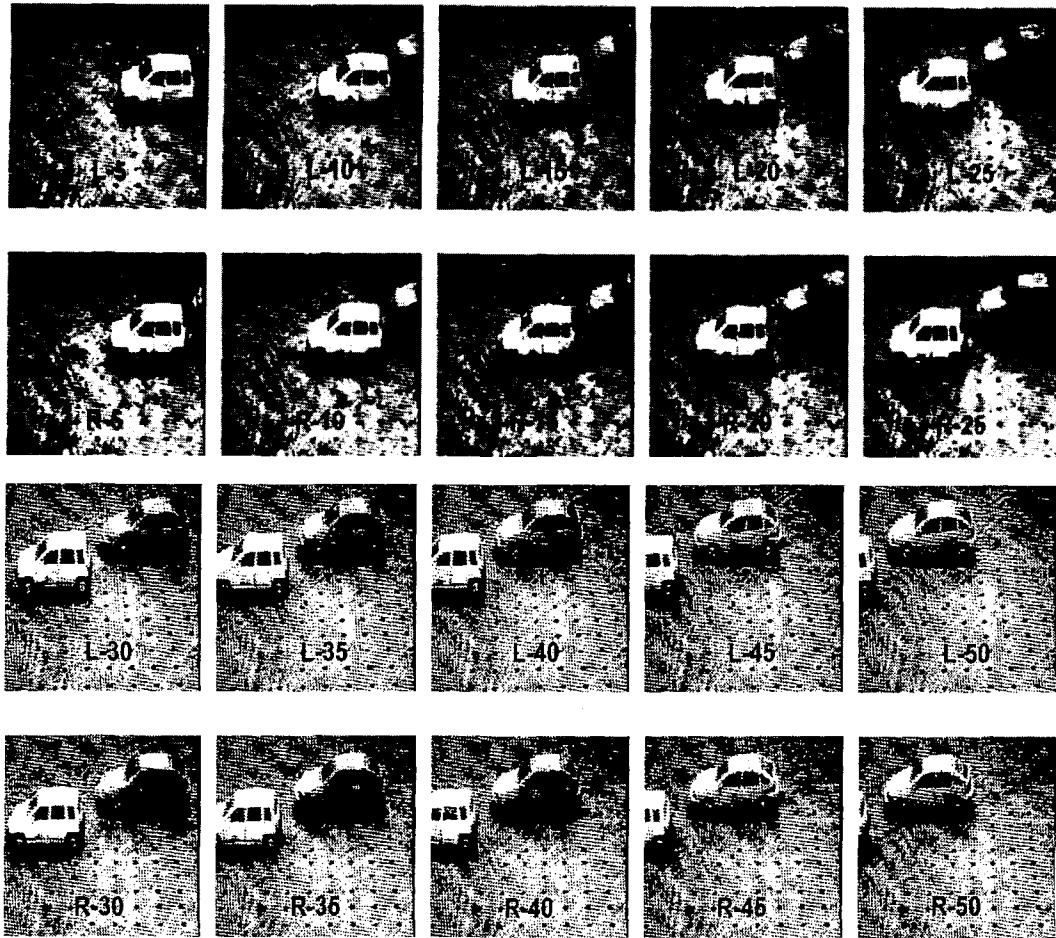


그림 5. 체적홀로그래프로부터 재생된 10개 프레임의 스테레오 페어 사진

Fig. 5. Reconstructed photographs of 10 frames stereoscopic pairs from the hologram of 45°-cut LiNbO₃:Fe.

M1, M2 제어, 그리고 SLM에 이미지를 디스플레이 시키는 작업은 프로그램에 의해 컴퓨터로 자동 제어된다. 스테레오 페어 영상을 광굴절 매질에 입사시킬 때 두 CCD 카메라 사이의 간격에 일치하여 입체감을 효과적으로 느낄 수 있도록 좌·우 영상의 사잇각을 조절하였으며, M1의 각 선택도는 0.001°로 하였다. 본 실험에서 사용된 광굴절 매질은 1cm³의 LiNbO₃:Fe (0.03% Fe/mol) 이며, 광원은 출력이 100mW이고 파장이 532nm 인 Nd:YAG 레이저이고, 컴퓨터 시스템은 Pentium 120MHz이다. 데이터 영상을 디스플레이 하기 위해 사용된 LCD는 640×480 화소를 갖는 EPSON사의 LC-SLM(모델 : P13VM215)으로 컴퓨터와 인터페이스를 취함으로써 디지털 입력 영상을 디스플레이 할 수 있다. 실험에서는 50 프레임의 스테레오 페어 영상을 기

록 및 재생하였다.

광굴절 매질에 여러 개의 데이터를 기록하기 위해서는 데이터를 기록하는 동안 그전에 기록한 데이터가 지워지는 것을 감안하여 기록순서에 따른 기록시간을 달리 해 줘야 한다. 즉, 기록할 데이터의 개수와 기록시간, 그리고 삭제시간을 이용하여 기록시간을 산출해야 한다.^[10] 이상과 같이 데이터를 광굴절 매질에 기록할 때 기록순서에 따른 기록시간 산출, 각각의 데이터에 따른 스텝모터의 제어, 그리고 기록할 데이터를 LCD에 전송하는 것으로 분류할 수 있다.

그림 5는 체적 홀로그래프로부터 재생된 스테레오스코픽 영상의 출력으로써 복원된 스테레오 페어 영상을 CCD 카메라로 입력 받은 다음 Data Translation사의 DT2851을 사용하여 10개의 스테레오 페어(5, 10, ... ,

45, 50번째 프레임) 사진을 출력하였다. 실험에 사용된 스테레오 페어 영상은 CCD 카메라 두 대와 스테레오 멀티플렉서를 이용하여 획득되었으며, 획득된 스테레오 영상을 스테레오 디멀티플렉서를 이용하여 좌우 영상으로 분리한 후 디지털 데이터로 변환하여 SLM에 디스플레이 시키는 방법으로 실험을 진행하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 연속적인 스테레오스코픽 페어 영상을 체적홀로그램에 저장하고, 재생하는 입체 비디오 시스템을 제안하였다. 좌안과 우안의 스테레오 영상은 시분할 방식을 사용하여 한 개의 SLM에 디스플레이 시키며, 스테레오 페어 마다 기준과의 각도를 변화시키는 방법으로는 홀로그램의 다중화를 실현하였다. 재생과가 브래그 조건을 만족하면 기록된 회절 격자에 의해 산란되며, 기록된 스테레오스코픽 영상 페어의 방향을 따라 회절된다. 디스플레이 평면으로 회절되어 투사된 좌안과 우안 영상이 3D 촬영 시스템에 입력되게 되면 셔터 안경이나 HMD를 이용하여 입체 비디오 영상을 관찰할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. Okoshi, "Three-dimensional displays," Proc. IEEE, vol. PROC-68, pp. 548-564, 1980.
- [2] T. Motoki, H. Isono, and I. Yuyama, "Present Status of Three-Dimensional Television Research," Proc. IEEE, vol. 83, no.7, pp. 1009-1021, 1995.
- [3] T. Okoshi, *Three Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York, 1976.
- [4] 김은수, 이승현 공역 "3차원 영상의 기초," 가다리 & Ohm사, 1998 년 3월
- [5] J.P.VanHeerden, "Theory of optical information storage in solids," Appl. Opt. vol. 2, pp. 393-400, 1963.
- [6] F.H.Mok, M.C.Tackitt, and H.M.Stroll, "Storage of 500 high resolution holograms in a LiNbO₃ crystal," Opt. Lett., vol.16, pp. 605-607, 1992.
- [7] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E.G.Paek "Volume holographic memory systems: techniques and architectures", Opt. Eng., vol.34, no. 8, pp. 2193-2203. 1995.
- [8] Pochi Yeh : *Introduction to Photorefractive Nonlinear Optics*, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [9] S. H. Lee and E.S.Kim, "Stereoscopic display based on a volume holographic storage," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 37, no. 10B, pp. L1193-L1194, 1998.
- [10] 강훈중, 이승현, 김은수, "각·공간 복합 다중화 체적 홀로그래픽 메모리 시스템," 대한전자공학회지, vol. 35D, no. 12, pp. 75-82, 1998

저 자 소 개

李 丞 玄(正會員) 第 35卷 D編 第 12號 參照
현재 광운대학교 전자공학부 부교수

孫 光 哲(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照
현재 광운대학교 정보통신연구소 연구전담 교수

金 恩 洙(正會員) 第 36卷 D編 第 10號 參照
현재 광운대학교 전자공학부 교수