

VHOE 광학판을 이용한 다시점 스테레오 입체영상 디스플레이 시스템의 구현

정회원 조병철*, 구정식*, 김승철*, 김은수*

Implementation of VHOE-based Multi-view Stereoscopic 3D Display System

Byung Chul Kim*, Jung Sik Koo*, Seung Chul Kim*, Eun-Soo Kim* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 포토폴리머 기반의 VHOE 광학판을 제작하고, 이를 이용한 8시점 스테레오 영상 디스플레이 시스템의 실험적 모델을 구현하였다. 먼저, 포토폴리머(HRF-150-100)에 최적화된 노출시간 스케줄링 기법을 통해 8시점의 회절격자를 각 다중화 기록하여 VHOE 광학판을 제작하였다. 그리고, 제작된 VHOE 광학판의 기준파를 8시점 영상이 순차적으로 입력되는 LCD의 패널과 동기를 맞추어 입사시킴으로써 입력영상을 서로 다른 방향으로 회절시키는 실험 시스템을 구성하고 교차식 스테레오 카메라 시스템에서 생성된 시험용 8시점 스테레오 영상을 사용하여 실험하였다. 실험결과, 재생된 8시점의 영상들이 시·공간적으로 분리되고 시점 영상들 간에 수평시차를 확인함으로써 VHOE 광학판을 이용한 다시점 3D 디스플레이 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, the photopolymer-based VHOE is optimally manufactured and using this VHOE, an experimental model of the 8-view stereoscopic display system is implemented. That is, the VHOE is implemented by angle-multiplexed recording of 8-view's diffraction gratings using an optimized exposure-time scheduling scheme in the photopolymer(HRF-150-100) and then, the VHOE-based 8-view stereoscopic display system is implemented by sequentially synchronizing the incident angles of the reference beam of the VHOE with the 8-view stereo images on the LCD panel. From some experimental results using 8-view images generated by the toed-in stereo camera system, it is found that 8-view stereo images can be diffracted to eight different directions time-sequentially and there is some disparity between the stereo images. Finally, a possibility of implementing the VHOE-based multiview stereoscopic 3D display system is suggested.

1. 서론

3차원 영상 디스플레이 기술개발은 이미, 1958년 ITU의 전신인 CCIR 연구그룹의 권고안에 따라 무안경식으로 눈에 피로를 주지 않고, 현재의 2차원 평면(2D)시스템 보다 해상도가 높아야 될 뿐만 아니라 현 2D 영상 시스템과의 호환성 및 다자 시청이 가능해야 한다는 점등이 가장 핵심적인 기술 문

제로 대두되고 있으며 현재까지 이를 해결하기 위한 다양한 방법들이 연구 개발되어 왔다. 현재, 이러한 3D 디스플레이 시스템을 구현하는 대표적인 기술로는 우리 눈의 양안시차를 이용하는 렌티큘라(lenticular)방식^[1], 패럴랙스 베리어(parallax barrier) 방식^[2], 광학판 방식(optical element)^[3] 등과 Full Parallax를 제공하는 체적형 입체 디스플레이 방식인 IP(integral photography)^{[4][5]} 방식 등이

* 광운대학교 전자공학과 국가지정 3차원 영상미디어 연구실(eskim@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호: 020043-0130, 접수일자: 2002년 1월 30일

※ 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 사업의 지원아래 수행되었습니다.

제시되어 왔다. 이 중 렌터콜라 및 패럴렉스 베리어 방식은 무안경 입체 디스플레이 방식으로서 가장 많은 연구가 진행되어 왔으나 공간 다중화 방식에 의한 시점의 제한과 주변 소자의 한계 등으로 자연스러운 입체 디스플레이 시스템의 구현이 제한되고 있다.

한편, 영국 캠브리지 대학의 레인보우(Rainbow) 그룹에서는 기존의 공간분할 방식이 아닌 시분할 방식의 다시점 스테레오 입체영상 디스플레이 방식을 연구개발 하고 있다¹⁶⁾. 그러나, 레인보우 시스템은 시점수에 관계없이 고해상의 스테레오 영상을 디스플레이 할 수 있는 반면, 고속의 CRT 모니터 및 다시점의 시정영역 형성을 위한 복잡한 시스템 제어 및 동기화 장치가 요구되고 있다. 그리고, 최근 광운대에서는 VHOE(volume holographic optical element)를 이용한 시분할 방식의 다시점 스테레오 입체영상 디스플레이 방식을 제시하였다. 이 방식은 Bragg조건에 따른 각 선택도를 갖는 체적형 광 기록 매질에 다시점의 회절격자를 기록하여 광학적 방향변조기(optical directional modulator)인 VHOE 광학판을 제작한 다음, 여기에 기준빔을 평판 디스플레이상의 다 시점 영상과 동기를 맞추어 입사시킴으로써 각 시점의 영상을 시분할적으로 정해진 특정방향으로 회절시켜 디스플레이 시키는 방식이다. 이러한 VHOE 방식에서는 높은 회절효율 및 각 선택도를 갖는 광 기록 매질과 고속의 공간 광 변조기등이 요구되고 있다.

최근에는, 3차원 영상 디스플레이, 홀로그래픽 메모리, HOE(holographic optical element)등 다양한 응용 분야에서 새로운 광 기록매질로서 포토폴리머(photopolymer)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 포토폴리머는 사진건판과는 달리 화학 처리 없이 건조처리 만으로 쉽게 홀로그래프를 제작할 수 있고 또한, 노출에 의한 자체현상과 안정화가 단계적으로 이루어지므로 처리가 간편하고 회절효율이 높다는 등의 장점을 가지고 있다¹⁷⁾¹⁸⁾.

따라서, 본 논문에서는 포토폴리머 기반의 VHOE 광학판을 제작할 수 있는 시스템을 설계하고 이러한 시스템에 의하여 제작된 VHOE 광학판을 이용한 8시점 스테레오 입체 영상 디스플레이 시스템을 실험적으로 구현하고자 한다. 이러한 실험결과 재생된 8시점의 영상들 간의 시·공간적인 분할 영역 및 수평시차를 확인함으로써 향후 VHOE 광학판을 이용한 다시점 3D 디스플레이 시스템의 실현 가능성을 제시하고자 한다.

II. VHOE 기반의 다시점 3D 디스플레이 시스템

VHOE를 이용한 다시점 3D 디스플레이 기술⁹⁾은 체적 홀로그래프의 다중화 기록 특성을 이용하여 필요한 시점의 개수만큼의 회절격자를 체적 홀로그래프에 다중 기록하여 VHOE 광학판을 구현한 후, 고속의 평판 디스플레이 소자에 입력된 다시점 영상들을 다중화된 회절격자의 기준빔과 동기를 맞추어 시분할적으로 입사시킴으로서 다시점의 입체영상을 공간적으로 디스플레이하는 기술이다. 여기서, 필요한 만큼의 다시점 스테레오 영상을 시분할적으로 디스플레이 하기 위해서는 시점영상과 일치하는 개수의 회절격자를 효과적으로 저장하고 재생할 수 있는 홀로그래픽 다중화 기록 기술이 요구된다¹¹⁾¹¹¹⁾. 그림 1은 VHOE 광학판을 이용한 시분할 방식의 다시점 3D 디스플레이 시스템의 개념도를 나타낸 것이다. 여기서, VHOE에 기록하고자 하는 다시점의 방향정보는 기준빔의 각도로서 정의되기 때문에, 각도 정보는 빔 각도의 변화속도 만큼 빠르게 재생이 가능하다. 따라서, 그림 1과 같이 AOD(acousto-optic deflector)와 같은 전자적인 빔 스캐너를 이용하게 되면 기계적 오차 없이 고속 랜덤 액세스가 가능하다. 즉, AOD에 의해 전자적으로 제어된 두 개의 레이저 빔(물체빔과 기준빔)은 간섭을 통해 광 폴리머 매질 내에 회절격자 패턴으로 저장되며 기록된 정보는 기록 시 사용된 기준빔과 동일한 각도(또는 파장, 위상 부호)로 기준빔을 다시 입사시킴으로써 저장된 정보를 재생할 수 있다. 여기서, 광 폴리머 기록매질에 형성된 회절격자를 통과할 때 기준빔은 물체빔의 입사방향과 일치하는 방향으로 회절 되며 이때, LCD 평판디스플레이와 기준빔을 동시에 제어할 AOD의 동기화가 요구된다. 따라서, 고속의 LCD 평판디스플레이에 의해 재생되는 다시점의 스테레오 영상은 동기화 된 기준빔이 VHOE에 투영될 때마다 정해진 임의의 방향으로 회절되게 된다.

그림 2는 VHOE 광학판 구현을 위한 다시점의 회절격자 기록 및 재현과정을 각각 나타낸 것이다. 즉, 시점 수만큼의 회절격자를 광 폴리머에 다중화 기록하여 VHOE 광학판을 만든 후, 여기에 임의의 시점 영상들을 시분할적으로 입사시킴으로서 다시점의 스테레오 입체 영상을 디스플레이할 수 있다.

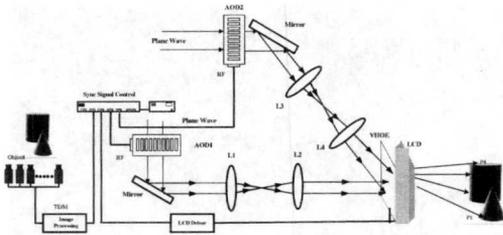


그림 1. VHOE 기반의 다시점 3D 디스플레이 시스템의 개념도

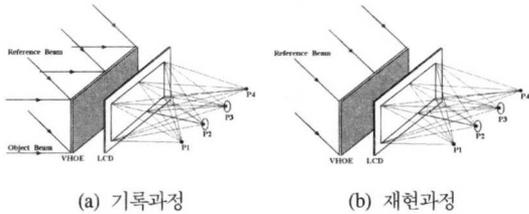


그림 2. VHOE 구현을 위한 시스템 개념도

III. 다시점 VHOE 광학판의 이론적 분석

본 논문에서 제안하고자하는 다시점 VHOE 광학판은 Bragg의 각 선택도를 갖는 체적형 광 기록매질에 다시점의 회절격자를 다중화 기록하여 제작되며, 제작된 VHOE 광학판에 기준광과 고속의 평판 디스플레이소자의 다시점 영상과 동기를 맞추어서 입사시키게 되면 각 시점의 영상은 시분할적으로 정해진 특정방향으로 회절 되어 디스플레이 시키는 홀로그래픽 광학소자이다. VHOE 광학판에서 다시점의 회절격자가 기록되고 복원되는 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저, 각 다중화된 8시점 회절격자를 기록하기 위한 물체빔과 기준빔에 대한 전장을 식 (1), (2)와 같이 각각 가정할 수 있다.

$$E_i = A_i \exp[(j\omega t - k_i \cdot r)] \quad (i=1, 2, \dots, 8) \quad (1)$$

$$E_R = A_R \exp[(j\omega t - k_R \cdot r)] \quad (R=1, 2, \dots, 8) \quad (2)$$

위의 식(1),(2)에서, A_i 와 A_R 는 물체빔과 기준빔의 전장의 진폭, ω 는 각주파수, k_i 와 k_R 는 물체빔과 기준빔의 파벡터를 각각 나타낸다. 그리고, 8시점 대응되는 서로 다른 두 빔 E_i 와 E_R 을 시분할적으로 간섭시켰을 때 간섭패턴은 식 (3)과 같이 주어지게 된다.

$$I = |E_i + E_R|^2 = |A_i|^2 + |A_R|^2 + A_i^* A_R \exp(-jK \cdot r) + A_i A_R^* \exp(jK \cdot r) \quad (3)$$

여기서, K 는 기준빔과 입사빔에 의해 형성된 회절격자의 파 벡터(wave vector)이며 식 (4)와 같이 주어진다.

$$K = k_r - k_i \quad (4)$$

식 (4)에서, $|K| = 2\pi/\Lambda$ 이며, Λ 는 간섭패턴의 주기를 나타낸다. 이러한 회절격자에 기준빔이 입사되면 격자의 평행한 면들은 Bragg 조건 $\sin\phi = \lambda/2\Lambda$ 을 만족할 때에만 재현빔을 회절 시키게 된다. 여기서, ϕ 는 격자와 입사 기준빔 사이의 각도를 나타낸다. 따라서, 회절격자 기록시의 각도와 다른 각도 θ' 의 기준빔이 입사되면 Bragg 조건 $\sin(\theta'/2) = \lambda/2\Lambda$ 을 만족하지 않게 되어 회절빔이 발생하지 않게 된다. 이러한 결과로 부터 물체빔은 복원시 광원의 입사각도와 기록시의 입사각이 같을 때에 만 복원이 된다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 기준빔과 물체빔에 대한 상호작용의 파 벡터를 나타낸 것이다. 여기서, 기록매질에 기록이 될 때의 기준빔들은 동일한 영역으로 입사되지만 각 기준빔의 파벡터들은 서로 다른 방향 특성이 존재한다. 즉, 동일한 벡터를 가지는 물체빔과 각각의 다른 기준빔과의 간섭은 그림 3의 오른쪽에 있는 파벡터 공간도에서 보는 바와 같이 모두 다른 격자 벡터를 형성하게 된다. 따라서, 물체빔을 차단하고 기준빔 만을 기록매질에 입사하면 각각의 기준빔에 대해 다른 방향정보를 가진 물체빔이 재생된다는 것을 알 수 있다.

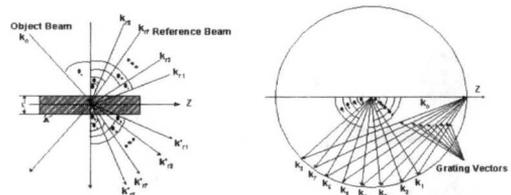


그림 3. 다중 회절격자 기록의 기하학적 원리

그림 3은 기준빔과 물체빔에 대한 상호작용의 파 벡터를 나타낸 것이다. 여기서, 기록매질에 기록이 될 때의 기준빔들은 동일한 영역으로 입사되지만 각 기준빔의 파벡터들은 서로 다른 방향 특성이 존재한다. 즉, 동일한 벡터를 가지는 물체빔과 각각의 다른 기준빔과의 간섭은 그림 3의 오른쪽에 있는 파벡터 공간도에서 보는 바와 같이 모두 다른 격자 벡터를 형성하게 된다. 따라서, 물체빔을 차단하고 기준빔 만을 기록매질에 입사하면 각각의 기준빔에

대해 다른 방향정보를 가진 물체빔이 재생된다는 것을 알 수 있다.

IV. 다시점 스테레오 영상 디스플레이를 위한 VHOE 광학판의 설계 및 구현

본 절에서는 8시점 스테레오 입체 영상 디스플레이를 위한 VHOE 광학판을 설계하고 이를 구현하였다. 또한 이러한 시스템을 통하여 구현된 VHOE 광학판의 특성을 분석하기 위하여 그림 4와 같은 실험적인 8시점 스테레오 입체영상 디스플레이 시스템을 구성하였다. 특히, 그림 5와 같이 광학설계틀을 이용하여 정확한 빔 경로를 갖는 광학계를 설계하였으며 그림 6은 실제 구성된 광학 실험장치를 나타낸 것이다. 본 실험의 광원으로는 파장이 532nm인 ND-YAG 레이저를 사용하였고, 각 빔의 세기는 모두 $65 \mu W/cm^2$ 로 동일하게 사용하였다. 또한, 전자셔터를 사용하여 빔을 제어함으로써 기록 시에는 두 빔을 동시에 차단 할 수 있고, 복원 시에는 기록 빔만을 차단 할 수 있는 온라인(on-line) 시스템을 설계, 제작하여 구성하였다. 8시점의 회절격자는 0.01° 의 각도 분해능을 갖는 스텝 모터를 이용하여 기준빔과 물체빔의 Bragg 각을 기준으로 각각 1.8° 씩 이동시키는 각 다중화 기술을 이용하여 두 평면과의 간섭패턴을 기록하여 최적의 VHOE를 구현하였다.

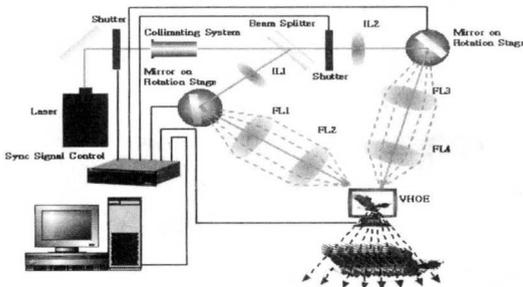


그림 4. 최적의 VHOE 광학판 구현을 위한 시스템도



(a) 첫 번째 빔 경로 (b) 8번째 빔 경로

그림 5. 최적의 VHOE 광학판 설계를 위한 빔 경로 시뮬레이션

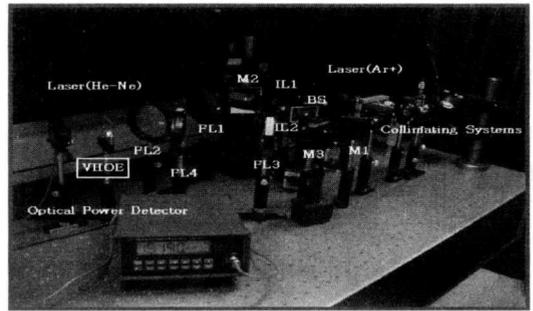


그림 6. 8시점 VHOE 광학판 구현을 위한 실험 시스템도

본 실험에서는 두 간섭빔의 사이각을 순차적으로 변화 시켜야한다. 그 이유는 앞 절의 VHOE 광학판의 개념에서 설명했듯이 기준빔의 방향만을 변화시켜 VHOE에 기록되어 있는 8개의 서로 다른 방향 벡터를 갖는 회절 격자에 따라 재현되는 빔의 방향이 변화되어야 하기 때문이다. 또한 VHOE 광학판을 통하여 재현되는 빔은 회절되는 방향이 변한다 하여도 광학판과 밀착되어 있는 디스플레이 소자에 투영되는 8시점의 영상정보를 정확히 읽어 내야하기 때문이다. 따라서 이상의 과정은 그림 5와 같은 설계시뮬레이션을 통해 구현하였다. 즉, 이러한 특성을 정확히 구현하기 위하여 중심각을 기준으로 135° 의 빔 분리가 가능한 빔 분할기를 사용하였으며 빔 분할기의 앞단에 빔 경로의 미세 조절을 위한 결상 렌즈를 두어 각각의 경로에서 조절되는 거울의 회전각을 정밀하게 만들어 주었다. 또한 빔 경로 및 두 간섭빔의 사이각을 정밀하게 조절하기 위하여 직경이 3인치 이상 되는 렌즈를 설계하여 제작하고 그림 7에서 알 수 있듯이 기준빔과 참조빔의 경로 각각에 동일한 초점 거리를 갖는 3인치 이상의 렌즈를 배열하는 시스템을 구성함으로써 VHOE 광학판의 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

일반적으로, 다수의 회절 격자를 광 굴절 매질인 포토폴리머에 균일하게 기록하기 위해서는 포토폴리머를 구성하고 있는 모노머(monomer) 분자들의 움직임을 활성화 시켜주기 위한 적절한 사전노출과정 및 노출 시간 계획 스케줄링이 필요하다. 본 논문의 실험에서는 사전 노출 시간 정도에 따른 회절 효율을 측정하는 실험을 통하여 최적의 사전 노출 시간을 15초로 적용하였다. 그리고, 회절격자 구성을 위한 기준빔과 참조빔의 직경크기는 1.25cm로 빔세기는 $65 \mu W/cm^2$ 로 동일하게 사용하였다. 또한 재현되는 8개의 빔들의 회절 효율을 최대한 균일하게 만들어 주기 위하여 최적의 노출 시간 스케줄을 적용 해야

한다. 본 논문에서는 노출 에너지와 누적 격자강도 (Cumulative Grating Strength)와의 관계를 나타내는 4차 다항식의 수학적 모델을 분석하고 이를 이용하여 다시점 회절격자의 노출시간 스케줄링을 유도하였으며, 이러한 최적의 노출시간 스케줄링을 통한 반복실험을 수행하였다^[12]. 그림 7은 반복 실험에 따른 누적 격자강도의 변화 분포를 나타내고 있으며 그림 8은 8시점의 VHOE 광학판을 제작하기 위해 유도된 최적의 기록시간 스케줄링을 나타낸 것이다.

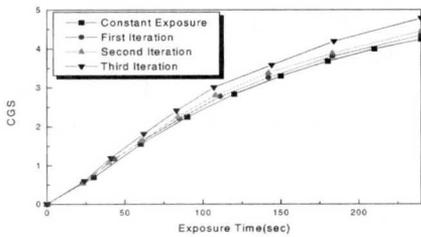


그림 7. 반복 실험에 따른 누적 격자강도 변화분포

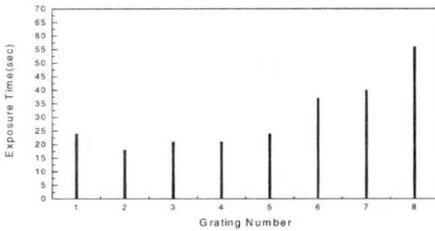


그림 8. 8시점의 회절격자 기록을 위한 최적화 노출시간

본 논문에서는 이러한 조건들을 이용하고 반복적인 실험을 수행한 결과 최적의 VHOE 광학판을 구현할 수 있었다. 다음의 그림 9는 기준빔의 입사각만을 변화시킴에 따라 각각의 위치에서 재현되는 회절 빔들을 보여주고 있으며, 최적의 노출 시간 스케줄링을 이용한 결과 8개의 회절 빔들이 균일하게 재현되는 것을 볼 수 있다.

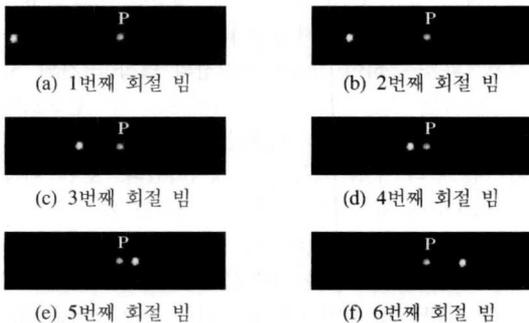


그림 9. 기준빔의 방향 조절에 따른 8개의 회절 빔

V. 최적의 VHOE 광학판을 이용한 다시점 스테레오스코픽 디스플레이 시스템

본 절에서는 VHOE 광학판을 이용한 다시점 스테레오스코픽 디스플레이 시스템을 실험적으로 구성하고 이러한 시스템에 실질적으로 제작된 VHOE 광학판을 사용한 실험결과를 분석하고자 한다. 그림 10은 최적의 VHOE 광학판을 이용한 다시점의 스테레오 입체영상 디스플레이 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

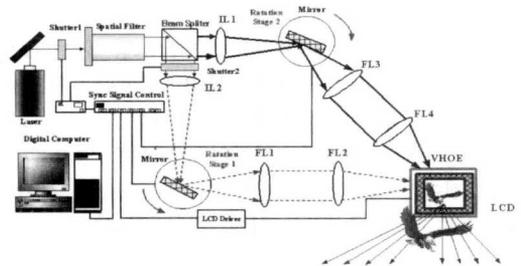


그림 10. 다안식 스테레오스코픽 디스플레이 시스템의 구성도

다시점 스테레오 입체영상을 디스플레이 하기 위한 입력 디스플레이 소자는 1024×768의 XGA급 해상도를 갖는 초고해상 공간 광 변조기를 이용하였으며 그림 11은 사용된 공간 광 변조기와 실제 구현된 VHOE의 외관을 보여준 것이다.

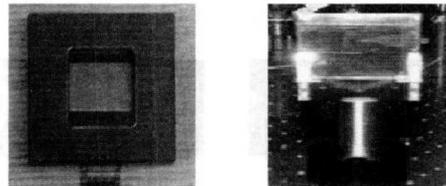


그림 11. TFT-LCD 공간 광변조기와 VHOE 광학판

8시점의 VHOE 광학판을 구현한 후, 이렇게 구현된 VHOE 에 스태모터로 제어되는 기준빔을 디스플레이 소자의 패널에 입력되는 8시점의 영상과 동기를 맞추어 입사시킴으로써 각 시점의 영상은 시분할적으로 특정 스크린 방향으로 회절 되어 디

스플레이 된다. 결과적으로, 서로 다른 시점의 미세한 방향 차이를 갖는 8시점의 영상에 의해 3차원 입체감을 느끼게 된다.

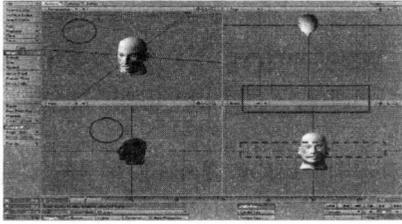


그림 12. 입력 영상 획득용 스테레오 카메라 시스템의 구조 및 조명 설정

본 실험에서는 그림 12와 같은 3D 공간에서 입력 영상을 획득하기 위해 스테레오 카메라의 위치와 조명의 위치를 결정한 후 시스템을 구성하여 획득한 8시점의 스테레오 영상을 이용하였고 그림 13은 획득된 영상을 나타낸다. 또한, 그림 14는 포토폴리머를 사용하여 구현된 VHOE 광학판을 사용하여 앞 절 그림 5의 VHOE 기반의 다시점 디스플레이 시스템에서 재생된 8시점의 스테레오 영상을 보여준 것이다. 본 실험에서는 이러한 영상들 사이의 수평시차 및 양안시차를 확인 할 수 있었다.

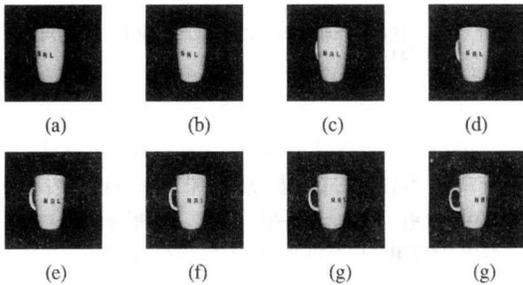


그림 13. 8시점의 스테레오 입력영상

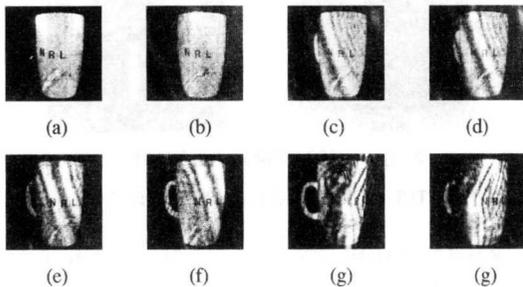


그림 14. 재생된 8시점의 스테레오 영상

위의 그림 13은 3D 공간에서 입력 영상을 획득하기 위해 스테레오 카메라의 위치와 조명의 위치

를 결정한 후 교차식 스테레오 카메라 시스템을 이용하여 획득한 실제 적인 8시점 영상이며 이러한 8개의 이미지는 VHOE를 통해 각 방향으로 회절되어 나오게 되므로 시청자들은 양안시차에 의해 3차원적인 입체감을 느끼게 된다. 그림 14는 VHOE에 의하여 회절되어 나오는 빔 패턴을 이용하여 입력 영상 패널에 디스플레이 되는 8시점의 영상을 서로 다른 결상 위치에서 각각 나타낸 것이다. 그림 14의 영상에는 포토폴리머의 형태를 유지시키기 위하여 사용된 특수 유리에 포토폴리머를 부착하는 과정에서 발생하는 공기기포 또는 현재까지 해결하기 어려운 폴리머 재질의 여러 가지 결함 등에 의하여 발생한 잡음 등이 함께 나타나고 있다. 그러나 이러한 문제점들은 확산 각이 작은 홀로그램 디퓨저(Hologram diffuser)를 사용하거나 VHOE의 제조 공정 상에서 공기기포 혹은 결함을 해결 할 수 있다면 좀더 향상된 이미지를 획득 할 수 있을 것이다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 실험 결과로부터 VHOE 광학판을 이용한 다시점 3D 디스플레이 시스템의 구현가능성을 제시할 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 포토폴리머 기반의 최적화된 VHOE 광학판을 설계하여 구현하고, 이렇게 구현된 VHOE 광학판을 직접 이용하여 8안식의 스테레오스코픽 입체 디스플레이 시스템의 실험적 모델을 구현하였다. 먼저, Dupont 사의 포토폴리머(HRF-150-100)에 최적화된 노출시간 스케줄링 기법을 사용하여 8시점의 서로 다른 회절격자를 각 다중화하여 기록함으로써 VHOE 광학판을 제작하였다. 그리고, 제작된 VHOE 광학판의 기준파를 8시점의 영상이 순차적으로 입력되는 공간 광 변조기의 패널과 동기를 맞추어 입사시킴으로써 입력영상을 서로 다른 8 방향으로 회절 시키는 실험 시스템을 구성하고 스테레오 영상 획득 시스템에서 생성된 시험용 8시점 스테레오 영상을 사용하여 실험하였으며, 그러한 실험결과를 통하여 재생된 8시점의 영상들 간의 시·공간적인 분할 영역 및 수평시차를 확인함으로써 향후 VHOE 광학판을 이용한 다시점 3D 디스플레이 시스템의 구현 가능성을 제시하였다. 또한 제작된 VHOE에 입사되는 기준빔을 정확한 위치에 따라 고속으로 입력할 수 있는 하드웨어적인 장치와 고속의 디스플레이 소자가 개발된다면, 본 논문에서 제안하는 VHOE 광학판을 이용하는 자연스러운 3D

디스플레이 시스템의 구현 및 동영상을 직접 3D로 디스플레이 할 수 있는 시스템의 개발이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] H. Imai, S. Tsujikawa and M. Imai, "Viewing point detection system using specific image processing for eye-position tracking autostereoscopic display," *SPIE Conference on Stereoscopic Displays and Applications X*, Sanjose, California, January, 1999

[2] Y. C. King, C. H. Chuang, C. J. Kuo, "Parallax image capture system for stereographic display", *Opt. Eng.*, Vol.35, No.6, pp.1560-1564, June 1996

[3] M. W. Jones, G. P. Nordin, J. H. Kulick, R. G. Lindquist, and S. T. Kowel, "Real-time three dimensional display based on the partial pixel architecture", *Opt. Lett.*, Vol. 20, No. 12, 1995

[4] H. Hoshino, F. Okano, H. Isono, and I. Yuyama, "An analysis of resolution limitation of integral photography," *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 15, No. 8, pp. 2059-2065, 1998

[5] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography", *Applied Optics*, Vol. 36, No. 7, 1 March 1997

[6] N.A. Dodgson, "Analysis of the viewing zone of the Cambridge autostereoscopic display, *Applied Optics*, Vol. 35. No. 10, April, 1996

[7] K. Curtis, D. Psaltis, "Characterization of the DuPont photopolymer for three dimensional holographic storage," *Applied Optics*, Vol. 33, No. 23, pp. 5396-5399, 1994.

[8] U. S. Rhee, H. J. Caulfield. C. S. Vikram, and J. Sharmir, "Dynamics of hologram recording in DuPont photopolymer", *Applied Optics*, Vol. 34, No. 5, 10, pp.846-854, 1995.

[9] B. C. Cho, E. S. Kim, "Multiview Autostereoscopic Display System using Volume Holographic Optical Element," *Proc. of SPIE*, Vol. 4471, San Diego, USA, 2001. 7

[10] 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.

[11] U. S. Rhee, H. J. Caulfield. C. S. Vikram, M. M. Mirsalehi, "Characteristics of the Du Pont photopolymer for angularly multiplexed page-oriented holographic memories", *Opt. Eng.* 32(8),1839- 1847, August, 1993

[12] J. S. Gu, B. C. Cho and E. S. Kim, "Exposure schedule consideration in photopolymer-based volume holographic optical element", *SPIE Conference on Practical Holography XVI*, Sanjose, California, January, 2002

조 병 철(Byung-Chul Cho)

정회원



1998년 2월 : 관동대학교 전자공학과 졸업
 2000년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
 2000년 3월~2002년 2월 : 광운대학교 전자공학과 박사과정수료

<주관심 분야> 3차원 영상 디스플레이, 홀로그래픽 메모리

구 정 식(Jung-Sik Koo)

정회원



2000년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
 2002년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
 2002년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 3차원 영상 디스플레이, 홀로그래픽 메모리, 광공학

김 승 철(Seung-Chul Kim)

정회원



2002년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
 2002년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정
 <주관심 분야> 3차원 영상 디스플레이, 홀로그래픽 메모리, 광공학

김 은 수(Eun-Soo Kim)

정회원

한국통신학회지 Vol.24, No. 9A 참조