

## 시공 분할방식을 이용한 다시점 삼차원 디스플레이 시스템의 설계

손정영 · 김재순 · 전호인\*

한국과학기술연구원 3차원 영상매체 연구 그룹

\*경원대학교 전기·전자 공학부

(1998년 10월 30일 받음, 1998년 12월 4일 수정본 받음)

2개의 시분할 8시점 영상 채널을 공간적으로 시역을 결합시킴에 의해 16시점 3차원 영상 시스템을 설계했다. 각각의 8시점 채널은 빛의 3원색(빨강, 초록, 그리고 파랑)에 대응하는 빛을 발산하는 3개의 CRT들을 한 개의 채널로 결합해주는 이색 빔 분할기(dichroic beam splitter)로 이루어져 있고, 각각의 CRT는 8시점의 영상을 시간분할 방식에 의해 표시하며, 각 채널별 영상은 투사광학계를 통과해서  $1 \times 0.8 \text{ m}^2$  크기의 홀로그래픽 스크린에 투영된다. 이 시스템을 위한 최적 투사광학계를 설계하기 위해 설계 시스템에 적용 가능한 3개의 서로 다른 투사광학계에 대해 그 특성을 광학 설계 프로그램인 "DEMOS"를 사용하여 시험했다. 설계 시스템의 최적 투사광학계는 각 채널별 영상을 양면 반사경(two-folded mirror)에 의해 결합하여 16개의 띠형 액정 셔터로 구성된 한개의 LCD 셔터를 통해 투사용 대물렌즈로 입사시키는 구조를 가지는 것이 최적임을 보였다. 단 이 구조에서 셔터는 투사용 대물렌즈의 입력개구(entrance pupil)에 위치해야하며, 양면 반사경의 접혀진 선은 이 셔터의 중심과 맞닿아 대칭이 되도록 위치해야 한다.

### I. 서 론

다시점(multiview) 3차원 영상 시스템에서 다시점 영상들은 시간 또는 공간 분할방식에 의해 표시된다. 시분할 방식에서 영상표시는 영상 표시장치의 밝기에 따라 다소 차이가 있지만 일반적인 TV 밝기( $300 \text{ cd/m}^2$ )에서 깜빡임(flickering) 없이 영상을 표시하기 위해서는 초당 표시하고자 하는 시점영상수의 60배가 되는 필드(field)율이 필요하다.<sup>[1]</sup> 이만한 동작 속도를 가진 표시장치(display device)는 현재로서는 CRT와 DMD(digital micromirror device), 그리고 Ferroelectric LCD뿐이다. 이 세 가지 표시장치 중에서 CRT가 가장 느린 동작속도를 가지고 있으나, 다시점의 영상의 표시를 위해서는 가장 완속된 특징을 보이고 있다. CRT는 현재 거의 1000Hz에 미치는 동작 속도를 가진 것도 개발되어 있으나,<sup>[2]</sup> 상업적으로 이용 가능한 것은 480Hz가 최대이다. 이 속도로는 기껏해야 8시점 영상만을 표시할 수 있어, 더 많은 시점의 영상을 표시하기 하기 위해서는, 더 빠른 속도를 낼 수 있는 표시장치가 사용되거나 또는 다른 기구의 보조에 의해 명목적으로 속도를 증가시킬 수 있는 방법이 고안되어야만 한다. 현재의 CRT를 사용하여 명목적으로 시점 영상의 수를 늘릴 수 있는 방법중의 하나는 시간과 공간의 분할 방식을 함께 조합하여 사용하는 시공분할 방식(spatiotemporal multiplexing)일 것이다. 이 방식은 시분할 방식으로 동작하는 두 개의 다시점 영상채널을 특수 설계된 영상투사광학계에 결합하여 각 채널에 의한 시역(viewing zone)이 공간적으로 겹쳐지도록 함에 의해 가능하다. 시공분할 방식의 구현을 위해서는 투사광학계가 CRT 영상을 흐려짐(vignetting)이나 왜곡(distortion) 없이 투사해야 하며, 각각의 채널로부터, 시역은 서로 겹치거나(overlapping) 사이에 틈(gap)이 없이 한개의 시역을 만들 수

있어야 한다. 이러한 방법으로 상업적으로 가용한 8시점용 CRT를 사용하여 16시점의 3차원 영상 시스템을 만드는 것이 가능하다.

이 논문에서는 시공분할 방식에 의해 16시점의 3차원 영상 시스템을 구현할 수 있는 투사광학계에 대해 기술했다. 이 투사광학계는 영상 주변의 흐려짐과 왜곡을 최소로 하면서 두 개의 시분할 8시점 영상 채널을 한개의 16시점 채널로 조합을 가능하게 한다.

### II. 시공분할의 작동 원리

일반적인 시 분할방식의 다시점 영상표시의 원리는 그림 1에 나타나 있다. N개의 카메라에서 서로 동기되어 촬영된 N개의 서로 다른 영상 프레임(frame)은 짝수(odd)와 홀수(even) 필드(field)로 나뉘어, 각 영상 프레임의 홀수 필드를 1번째 카메라에 대응하는 것을 시작으로 각각 일정 시간 간격으로 순차적으로 N번째 카메라에 대응하는 것까지 표본화(sampling)하고 다음에는 짝수 필드에 대해 홀수 필드와 같은 순서로 반복하고 다음은 다음 프레임에 대해 같은 순서로 표본화 한다.

N시점의 영상을 시분할 하기 위해 필요한 각 필드의 표본화 시간(sampling period)은  $1/60N$  초(초당, N시점 $\times$ 30 프레임/초 $\times$ 2필드/프레임 이 표시되어야 함)이다. 예로, 8시점 영상을 표시하기 위해서는 480필드/초의 표본율(sampling rate)이 요구된다. 이것은 상업적으로 가용한 CRT가 깜빡임 없이(flickerless) 영상을 표시할 수 있는 한계 속도이다. 그러므로, 각 필드는 반드시 2.08 ms내에 표본되어야 한다. 실제 표본 시간은 CRT의 영상 감쇠 시간 때문에 이것보다 짧아야 한다. 16시점을 디스플레이하기 위해 필요한 영상표시 장치의 속도

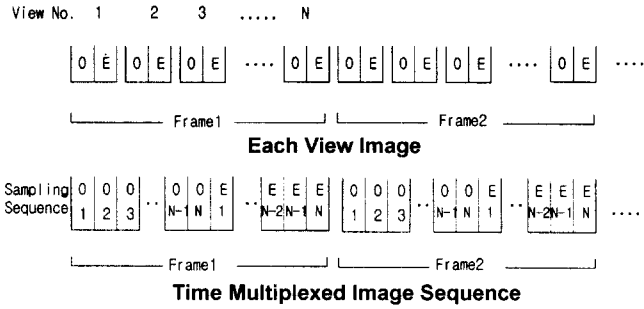


그림 1. 시분할 방식의 원리.

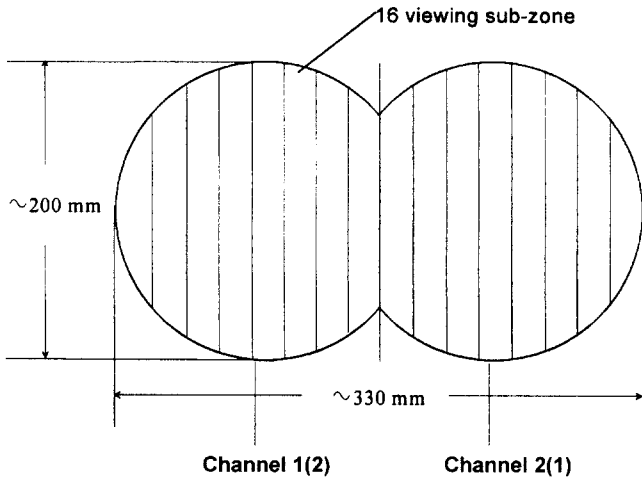


그림 2. 예상되는 시역의 형태.

는 필드율(field rate)로 960Hz이다. 그러나 이 속도는 현재의 CRT로는 불가능하므로, CRT를 사용하면서 가능하도록 하기 위해서는 16시점 영상을 CRT로 취급 가능한 8시점씩 두개의 채널로 분리하고, 각 채널은 시분할방식으로 동시에 투사하여 각 채널에 해당되는 시역이 공간적으로 결합되도록 하면 된다. 각각의 영상채널에 대응하는 시역은 투사광학계에 의해 겹쳐짐이나 틈새 없이 공간적으로 결합되어야 한다. 결과로 주어질 시역은 그림 2에 보이는 것과 유사한 형태를 가질 것으로 예상된다. 시역 안에 있는 각각의 띠는 16시점 영상내의 각개 시점 영상에 대응하는 부시역(sub-viewing zone)으로, 각 부시역 사이의 간격은 우리 두 눈 사이의 거리인 6.5 cm 보다 크지 않아야 한다. 이것이 이 논문에 정의된 시공간적 분할의 원리이다.

### III. 16시점 3차원 영상 시스템을 위한 투사광학계

한국과학기술연구원(KIST)에서 개발된 8시점 3차원 영상 시스템[3]은 시분할 방식을 이용한 것으로 홀로그래픽 스크린을 영상투사 스크린[4]으로 사용한다. 이 시스템은 서로 동기되어 동작하는 빛의 3원색에 해당하는 빛을 발산하는 3개의 CRT로부터 영상을 각각의 투사광학계를 사용하여 홀로그래픽 스크린에 투사하고 홀로그래픽 스크린은 이 색상별 영상을 공간적으로 통합하여 천연색 영상을 만든다. 각각의 투사광학계는 한 개의 투사용 대물렌즈와 대물렌즈의 출력개구

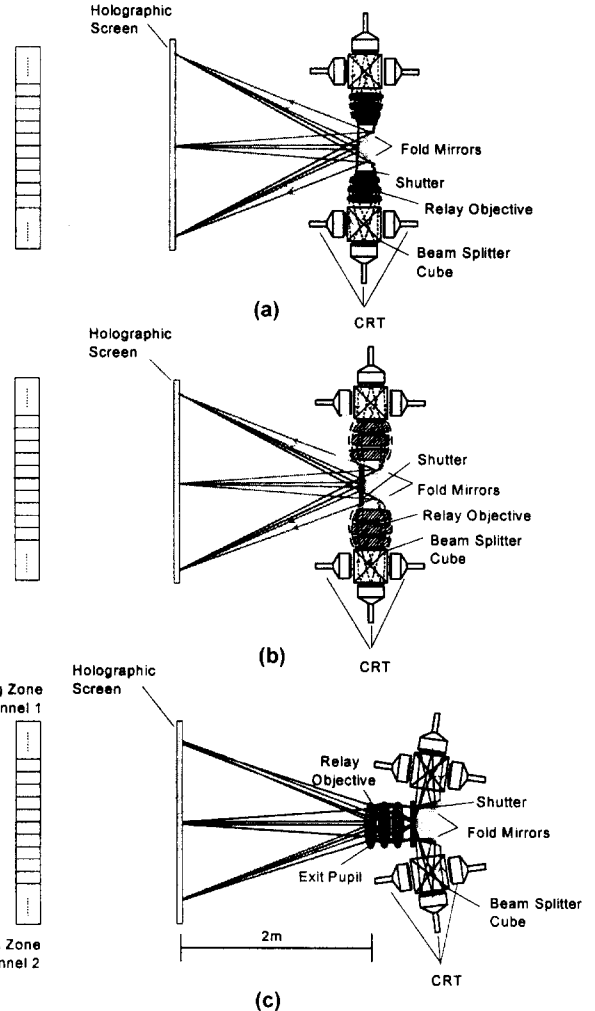


그림 3. 세 가지 투사광학계의 구조.

에 위치한 8개의 띠형 LCD 셔터로 구성된 하나의 LCD 셔터로 구성되어 있다. 시역은 홀로그래픽 스크린에 의한 LCD 셔터의 영상으로 주어지며, 이 시역은 LCD 셔터내의 각 띠형 셔터의 ON/OFF에 의해 부시역의 단위로 한번에 한 개씩만 존재한다. CRT에 표시되는 시분할된 8시점 영상은 대응하는 띠형 셔터가 ON될때, 즉 투명하게 될때만 시청이 가능하다. LCD셔터내의 띠형 셔터는 8시점 영상의 표시순서와 주기에 동기되어 있으므로 해당되는 시점 영상이 표시될 때만 ON이 되어 부시역을 형성함으로써 표시되는 시점의 영상의 시청을 가능하게 한다. LCD셔터는 그 동작속도가 CRT의 그것과 같아야 한다.

시공분할을 이용한 16시점 3차원 영상 시스템을 위한 투사광학계를 설계하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 그림 3은 상기의 8시점 시스템으로부터 유추 가능한 3가지의 다른 투사광학계의 구성을 보여주고 있다. 이 그림에서, 3원색의 빛을 발산하는 3개의 CRT를 다이크로익 빔 분할기에 의해 함께 결합되어 천연색 영상표시 능력을 형성한다. 가장 간단한 투사광학계는 그림 3(a)에 있는 것처럼 기존의 8시점 영상 투사광학계 두 개를 양면 반사경(folding mirror)에 의해 결합

시키는 것이다. 그림 3(a)에서 두개의 8시점 투사광학계는 90도의 각도로 접힌 양면 반사경을 따라 정반대 쪽에 위치한다. 두 번째는 그림 3(b)에 있는 것과 같이 그림 3(a)의 8시점 영상 투사광학계에서 LCD 셔터만 분리하여, 두개를 합쳐 하나로 만들어 양면 반사경의 접힌 변을 중심으로 대칭으로 놓는 것이다. 이 경우, LCD 셔터는 반드시 16개의 LCD 띠를 지녀야 한다. 또 다른 하나의 방법은 그림 3(c)에서 보이는 것처럼 두 채널의 영상표시부만 양면 반사경으로 통합하여 한 개의 투사렌즈와 이것의 입력개구에 놓인 16개의 띠형 셔터로 구성된 LCD 셔터를 이용하여 투사하는 것이다.

이러한 투사광학계의 16시점 3차원 영상시스템에 적용 가능성을 시험하기 위해 다음과 같은 사양을 설정하고 "DEMOS"[5]라는 광학시스템 설계 프로그램을 이용하여 각 투사광학계의 특성을 시험했다. 시스템의 설계를 위한 주요 사양은 다음과 같다.

- 1) 영상투사 스크린은 1×0.8 m<sup>2</sup> 크기의 반사형 홀로그래픽 스크린이다.
  - 2) 홀로그래픽 스크린 판에 생기는 영상의 해상도는 2 mm 이하이다.
  - 3) 홀로그래픽 스크린과 시역간의 거리는 7 m 범위 내이다.
  - 4) CRT상의 영상표시면의 크기는 100×75 mm<sup>2</sup> (가로×7세로) 이다.
  - 5) 시역의 크기는 대략 300×7200 mm<sup>2</sup>(가로×7세로) 이상이다.
  - 6) 홀로그래픽 스크린에 의해 주어지는 시스템의 배율은 2에서 2.5 정도이다.
  - 7) 홀로그래픽 스크린의 초점 거리는 1.4에서 2 m 이내에 있다.
- 상기의 해상도는 우리 눈의 해상도를 1.5분(각도)으로 했을 경우 대략 5 m 거리에서 판별이 불가능한 크기이다. 투사광학계의 구성요건은 CRT 표시영상은 홀로그래픽 스크린에 확대 투사되어야 하며, LCD셔터는 홀로그래픽 스크린에 의해 시역을 형성해야하므로, 투사렌즈의 출력개구(exit pupil)에 위치해야 한다. 상기의 사양에 의해 주어지는 LCD 셔터의 크기는 시스템의 배율이 2배의 경우는 15×710 cm<sup>2</sup> 그리고 2.5배시는 12×78 cm<sup>2</sup>이 되어야 한다. 그러므로 출력개구의 크기는 LCD셔터의 크기와 일치해야 한다. 또한 그림 3의 투사광학계는 다이크로의 빔 분할기를 사용함으로써 3개의 CRT를 투사렌즈와 결합시키므로 이 빔 분할기의 치수를 허용한도 내에서 최소화 시켜야 한다.

#### IV. 투사광학계의 특성

그림 3(a)의 경우는 투사렌즈의 출력개구가 투사렌즈의 바로 앞에 생기는 광학구조로 "DEMOS"에 의한 계산결과는 그림 4의 광선 추적도에서 보여주는 것과 같이 CRT영상의 일부는 양면 반사경의 범위밖에 있게되어, 띠형셔터를 통한 CRT의 영상의 일부가 보이지 않게 되는 비네파(vignette)현상이 생긴다. 이 현상은 그림의 아래 부분에 있는 띠형셔터 일수록 심해지므로, 그림 2에 주어진 시역의 중앙 부분에 있는 부시역에 대응하는 영상들은 일부만 홀로그래픽 스크린에 나타나게 된다. 그러므로 시청자의 한 쪽 눈이 이 부시역에 놓이게 되면, 입체 효과가 사라지게 된다. 이 현상을 제거하기 위해 양면반사경의 길이를 모든 광선을 반사할 수 있도록 늘이면 양 채널에 의한 시역이 서로 겹쳐지게 되므로 늘일 수가

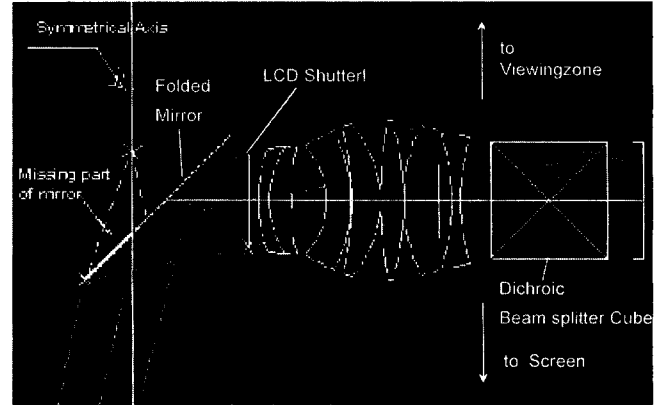


그림 4. 그림 3(a)의 투사광학계를 통과하는 광선의 추적(한 채널만 나타냄).

없다. 그러므로, 그림 3(a)의 투사광학계는 16시점 시스템에 사용될 수 없다.

그림 3(b)는 투사렌즈의 출력개구가 양면반사경의 접힌 변을 따라 대칭으로 놓여있는 LCD 셔터의 위치에 생기도록 한 것으로 계산결과는 그림 5에 주어진 것처럼 출력개구가 투사렌즈로부터 약 160 mm의 위치에 생겨야 출력개구와 투사렌즈 사이에 양면반사경을 둘 수 있다. 이 경우는 비네파를 완전히 제거할 수 있지만 문제점은 대물렌즈의 크기가 아주 커지는 것이다. 계산에 따르면 요구되는 출력개구를 얻기 위한 대물렌즈의 최대 직경은 360 mm이고, 투사렌즈는 9개의 렌즈로 구성되어야 하며, 그 결합된 총 길이는 약 460 mm에 이른다. 이 투사렌즈는 9개의 렌즈로 구성되어 있어 아주 복잡하고, 무겁고, 부피가 크며, 제작에 비용이 많이 들게 된다. 이 투사광학계는 성능은 뛰어나지만 비실용적이다.

그림 3(c)의 광학 구조는 단 하나의 투사렌즈만을 가지고 있기 때문에, 앞서 기술한 두 투사광학계에 비해 구조가 간단하여 비용이 적게 든다. 이 경우는 16개의 LCD 띠로 구성된 LCD셔터가 투사렌즈의 입력개구에 위치하므로, 이 셔터의 영상이 투사렌즈의 출력개구에 반드시 위치하도록 해야하며, 양면 반사경의 접힌 변은 투사렌즈의 입력개구에 있는 LCD 셔터와 맞닿아 이것을 대칭으로 이동분하여야 한다. 시역은 한 개의 16개 LCD 띠로 구성된 LCD셔터에 의해 형성되므로 16개의 부시역은 서로 맞닿아 있다.

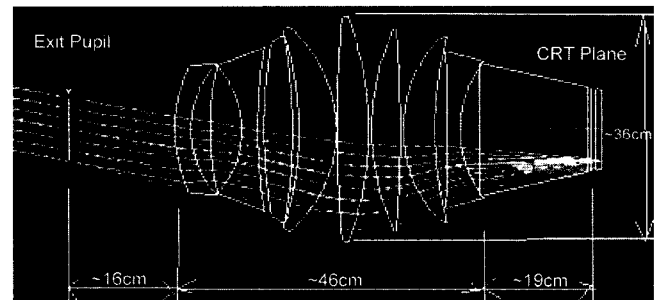


그림 5. 그림 3(b)의 투사광학계를 통과하는 광선의 추적(한 채널만 나타냄).

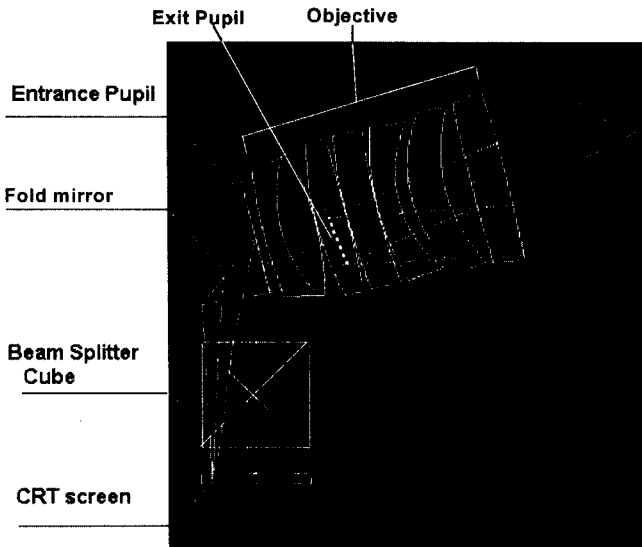


그림 6. 그림 3(c)의 투사광학계를 통과하는 광선의 추적(한 채널만 나타냄).

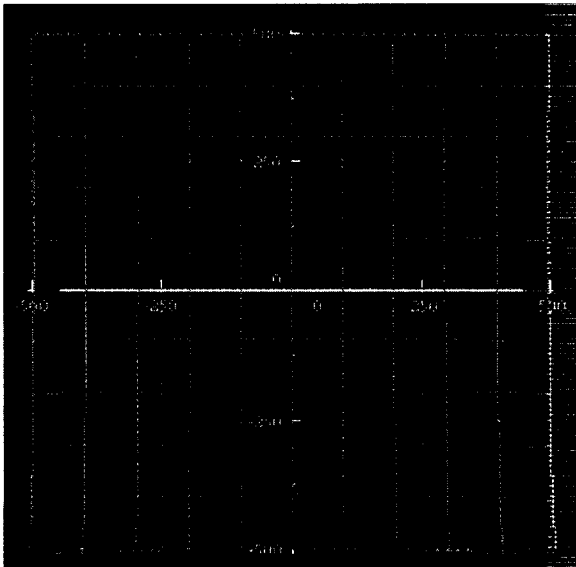


그림 7. 예상되는 이미지의 왜곡. 꺾여진 선이 이미지 왜곡의 정도를 나타낸다.

대물렌즈의 출력개구에 나타나는 LCD 셔터의 영상은 홀로그래픽 스크린에 의해 시역을 형성할 것이므로, 이 영상은 선명하고 깨끗해야 한다. 이를 위해 출력개구의 입력개구에 대한 배율은 1로 하였다. “DEMOS”에 의해 설계된 투사렌즈는 7개의 렌즈로 구성되어 있고, 그 초점거리는 229 mm이며, 입력개구의 크기는 약 132×80 mm(2.5배 경우), 그리고 최대

직경은 203 mm이다. 또한, 양면 반사경이 접히는 각도는 이전의 두 경우(45도)와는 달리 76도이다. 이 경우 홀로그래픽 스크린상에서의 해상도는 대략 2 mm로 주어진다. 그림 7은 이 투사렌즈에 의해 홀로그래픽 스크린상에 나타나는 영상의 왜곡 정도를 나타낸다. 스크린의 중앙부를 제외한 그리드 패턴을 구성하는 직선의 끊어짐 정도가 왜곡을 나타내는데 그 어긋남은 1.5%를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 이 투사광학계는 앞으로 제작될 16시점 3차원 영상 시스템에 응용하려고 한다.

## V. 결 론

16시점 3차원 영상 시스템을 두 개의 8시점 시분할 방식의 영상 채널의 공간적 결합함에 의해 설계되었다. 두 채널의 영상을 결합하여 공간적으로 그 시역이 합쳐지게 하기 위한 최적 투사광학계의 설계를 위해 투사렌즈와 양면반사경 그리고 LCD셔터의 상대적 위치에 따른 세 가지의 투사광학계를 “DEMOS” 광학 설계 프로그램을 이용하여 시험한 결과, CRT와 다이크로의 빔 분할기로 구성된 두 채널의 영상 표시부를 양면반사경으로 결합하여 이것의 접힌 변과 맞닿아 있는 16개의 띠형 셔터로 구성된 LCD셔터를 거쳐 투사렌즈를 통해 투사하는 투사광학계가 최적임이 알려졌다. 이 경우 LCD셔터는 반드시 투사렌즈의 입력개구에 위치해야하며, 투사렌즈는 이 셔터의 영상이 확대되지 않으면서 자신의 출력개구에 나타나도록 해야한다. 또한 양면반사경의 접힌 각도는 76도가 되어야 한다.

## 참고문헌

- [1] Eds. H. Widdel and D. L. Post, *Color in Electronic Display*, (Post Plenum Press, New York, 1992).
- [2] <http://www.cl.cam.ac.uk/research/rainbow/projects/asd.html> (history).
- [3] Jung-Young Son, Victor G. Komar, You-Seek Chun, Sergei Sabo, Victor Mayorov, L. Balasny, S. Belyaev, Mihail Semin, M. Krutik, and Hyung-Wook Jeon, *Proc. SPIE 3295A*, 31 (1998).
- [4] Jung-Young Son, Victor G. Komar, and Yong-Jin Choi, *Proc. of Workshop on 3D Display Technologies and Human Factors in the 3th International Display Workshop (IDW '96)*, Kobe, Japan, pp. 509-512 (27-29, Nov. 96).
- [5] M. A. Gan, D. D. Zhdanov, V. V. Novoselskiy, S. I. Ustinov, A. O. Fedorov, and I. S. Potyemin, *Opt. Eng.*, **31**(4), 696 (1992).

## Designing a multiview 3D display system based on a spatiotemporal multiplexing

Jung-Young Son, Jai-Soon Kim, Ho-In Jeon\*

*3D Imaging Media Research Group, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791, Korea*

*\*Dept. of Electric and Electronics Eng., Kyung-Won University, Kyung-Ki Do, 461-701, Korea*

(Received October 30, 1998, Revised manuscript received December 4, 1998)

A 16-views 3 dimensional imaging system is designed by spatially combining two 8-views time multiplexed image channels. Each 8-views channel composed of 3 primary color CRTs and a dichroic beam splitter which combining the three CRTs as one channel. Each CRT displays 8-view images time sequentially. These images are projected to a holographic screen of a size  $1 \times 0.8 \text{ m}^2$  through a projection optics. Characteristics of the three different configurations of projection optics are examined with the optics designing program "DEMOS" to select an optimized projection optics for the system. The configuration of the optimized projection optics is found like following; images from each channel combined by two-fold mirror are projected by a projection objective through a 16-strips LCD shutter. In this configuration, the shutter should be located at the entrance pupil of the objective, and the folded edge of the two-fold mirror should contact symmetrically to the center line of the shutter.