

후면투사 방식의 이중스크린 3D 프로젝션 디스플레이

김태호 · 서종욱[†]

홍익대학교 전자정보통신공학과

Ⓞ 121-791 홍익대학교 서울시 마포구 상수동 72-1번지

(2007년 11월 5일 받음, 2007년 12월 15일 수정본 받음)

앞뒤로 겹쳐진 편광 선택성 이중스크린을 이용하는 후면투사 방식의 3D 프로젝션 디스플레이 시스템을 개발하였다. 전면과 후면 스크린은 산란형 편광필름을 이용하며, 각 스크린은 입사하는 빛의 편광상태에 따라 해당 빛을 확산 - 혹은 비확산 - 투과시킨다. 서로 수직인 선편광의 빛을 이용하여 근경과 원경을 각각 전면스크린과 후면스크린에 투사한다. 새로운 시스템은 넓은 시야각에 대하여 선명한 고해상도 영상을 제공한다. 영상의 입체감이 뛰어나고 시청자의 눈에 단지 2D 디스플레이 시스템이 주는 정도의 피로감만 야기한다.

주제어 : 3D display, Volumetric display, Diffuse-reflective polarizing film, Double-layer display, Projection display

I 서 론

그간 디스플레이 기술은 평판화의 실현과 함께 고해상도(HD) 디지털 TV의 대중적 보급으로 기술 발전 단계의 정점에 이르고 있다. 그런데 디스플레이 산업은 빠른 기술 발전 추세와 기업 간 치열한 경쟁으로 인하여 제품 가격의 급락에 따른 채산성 악화라는 위기적 상황을 예상보다 빨리 맞이하게 되었다. 이와 같은 상황전개는 디스플레이 산업이 차세대 기술로 신속하게 눈을 돌릴 것을 요구하고 있으며, 3D 디스플레이의 상용화가 그 자리에 있다고 할 수 있다.

지난 긴 세월 동안 3D 디스플레이에 대한 연구는 국내외를 통하여 광범위하고 지속적으로 진행되어오고 있다. 그러나 당초의 기대와는 달리 기존의 3D 디스플레이 기술은 3D TV상용화를 위한 가능성을 보이는 수준에도 미치지 못하고 있는 상태이다. 이는 디스플레이 기술의 발달과 함께 사용자의 눈높이가 높아져 고해상도 영상을 제공하지 못하는 기술은 더 이상 시장에서 받아들여지지 않기 때문이다. 지금까지 개발된 무안경식 3D 디스플레이 기술 중에서 가장 고해상도 구현에 근접한다고 보이는 양안시차(binocular disparity) 방식은 양안 폭주각(convergence)과 수정체 초점 조절(accommodation) 등의 생리적 기능과의 불일치로 인하여 사용자의 눈에 피로를 야기한다. 이는 양안시차 방식의 TV 응용에 가장 큰 장애요인이 되고 있다.^[1]

본 논문에서는 이와 같은 종전의 3D 디스플레이 기술이 안고 있는 문제를 극복하고 눈에 피로감을 야기하지 않는 고해상도 고선명 3D 프로젝션 TV의 구현에 적합한 후면투사 방식의 이중스크린 디스플레이 시스템의 개발에 관하여 기술한다.

II. 이중스크린 3D 디스플레이

다중스크린 디스플레이(MLD; Multilayer Display) 방식은 일정한 간격을 두고 앞뒤로 겹쳐져 있는 여러 층의 스크린에 서로 다른 거리에 위치하는 사물의 영상을 표시하여 입체감을 실현한다.^[2] MLD 기술을 이용하여 입체감을 실현하는 시스템은 1970년대 처음으로 제안되었으며, 고해상도 디스플레이를 이용하는 경우 단지 2층의 스크린만으로도 입체감을 구현할 수 있다. 다음의 그림 1은 이중스크린 디스플레이 동작 원리를 보여준다. 그림 1(a)에 보인 것과 같은 2D 영상을 근경과 원경으로 분리하여 각각 전면 및 후면 스크린에 표시하면 관찰자에게는 입체감 있는 영상을 제공할 수 있다. 두 스크린 간의 간격은 화면의 크기에 따라 단지 수십 mm 정도면 충분하다. 관찰자는 실제 멀리 위치하는 후면스크린 상의 원경과 가까이 위치하는 전면스크린 상의 근경을 보게 되고, 인간이 입체감을 느끼는 생리적 감각 기능을 모두 이용하므로 눈에 아무런 피로감을 야기하지 않고 자연스런 입체감을 느끼게 된다. 나아가 원경과 근경의 두 영상을 동시에 두 스크린에 표시하고 두 영상간 밝기 비를 적절히 조절하므로써 시중간 깊이의 원근감을 더욱 자연스럽게 얻을 수도 있다.^[3]

반투명 거울을 이용하는 초기의 이중스크린 디스플레이 시스템은 고화질의 시스템으로 구현하기에는 용이하나 상용화에는 적합하지 않은 근본적 한계점을 가지고 있다.^[1,3] 전체 시스템의 부피가 화면의 크기에 비하여 지나치게 커지므로 대화면 구현에 적합하지 않고, 특히 화면이 시스템의 가장 깊은 위치인 시스템 뒤편에 형성됨으로써 가시각이 작아지고 실감도가 떨어지는 등의 문제점을 안게 된다. 최근까지 이와 같은 문제점을 극복하고 상용화에 적합한 형태의 이중스크린 디스플레이 시스템을 구현하기 위한 다양한 시도가 있었으나 대부분의 경우 현실성이 떨어지는 단순 아이디어 단계의 제안이었다. 복수의 LCD 패널을 적층하여 후면 LCD

[†] E-mail: jwseo@wow.hongik.ac.kr

패널의 영상을 전면 LCD 패널을 통하여 간섭됨이 없이 볼 수 있도록 한 평면형 이중스크린 디스플레이가 제안되기도 하였다.^[4] 그러나 이 방식은 대면적 고해상도 디스플레이 시스템 구현에는 고비용이 요구되고 화면의 가시성이 낮아지는 등의 문제점이 예상된다. 투과형 스크린을 이용한 프로젝션 방식의 이중스크린 3D 디스플레이 방식이 제안되었으나 양면에서의 프로젝션을 필요로 하고 배경이 비치는 등의 문제가 있어 응용에 제한을 받을 수밖에 없다.^[5]

III. 이중스크린 3D 프로젝션 디스플레이

일반적으로 빛은 서로 수직인 두 편광 성분 빛의 선형 조합으로 이루어졌고, 사람의 눈은 빛의 편광 방향을 감지하지 못하는 점을 착안하면 프로젝션 방식의 이중스크린 디스플레이 시스템을 구현할 수 있다. 이중스크린 프로젝션 디스플레이(DLPD; Double Layer Projection Display) 시스템은 전면 및 후면의 스크린에 각각 근경과 원경을 서로 수직인 편광의 빛을 이용하여 투사하는 방식으로 구현할 수 있다. 전면투사 방식의 DLPD의 경우 영화나 프레젠테이션 등과 같은 응용분야에 적합하며, 본 연구팀은 이미 산란형 편광필름을 이용하여 전면투사 방식의 DLPD 시스템을 구현할 수 있음을 보인 바 있다.^[6]

한편, DLPD 기술을 프로젝션 TV에 응용하기 위해서는 후면투사 방식의 시스템 구성이 필수적이다. 후면투사 방식의 경우 산란형 편광필름으로 이루어진 전면 및 후면스크린을

이용하여 구현할 수 있고, 다음의 그림 2(a)는 산란형 편광필름이 입사하는 빛을 산란 혹은 무산란 투과시키는 특성을 보여주는 개념도이다. 그림에서 볼 수 있듯이 산란형 편광필름은 필름의 광축과 평행인 편광의 빛은 무산란 투과시키고 수직인 편광의 빛은 산란 투과시킨다. 이와 같은 산란형 편광 필름을 이용하여 그림 2(b)에 보인 것과 같은 전면스크린과 후면스크린으로 이루어진 스크린 시스템을 구성할 수 있다. 프로젝션 엔진은 수평과 수직 편광의 빛을 이용하여 근경과 원경의 영상을 각각 투사한다. 후면스크린의 경우 수평 편광의 근경 영상은 산란 없이 투과시키고 수직 편광의 원경에 대해서는 확산/투과시켜 일반 스크린과 같은 기능을 한다. 한편, 전면스크린의 경우 후면스크린을 산란 없이 투과한 수평 편광의 빛을 확산/투과시켜 근경에 대한 스크린 역할을 한다. 후면스크린에 의하여 확산된 수직 편광의 빛은 산란 없이 투과시키므로 후면스크린에 맺힌 원경을 스크린의 전방에서 선명하게 볼 수 있다.

IV. 실험 및 결과

후면 투사 방식의 DLPD 시스템 구현의 가능성을 확인하기 위하여 3M사의 DRPF(Diffuse Reflective Polarizing Film)를 이용한 시험용 시스템을 제작하여 실험하였다. 다음의 그림 3(a)는 실험에 이용한 장치의 구성도이고, 그림 3(b)는 실제 제작한 시험용 시스템을 보여준다. 그림 3(a)에서 볼 수 있듯이 DLPD 시스템은 2개의 DLP(Digital Light Processor)

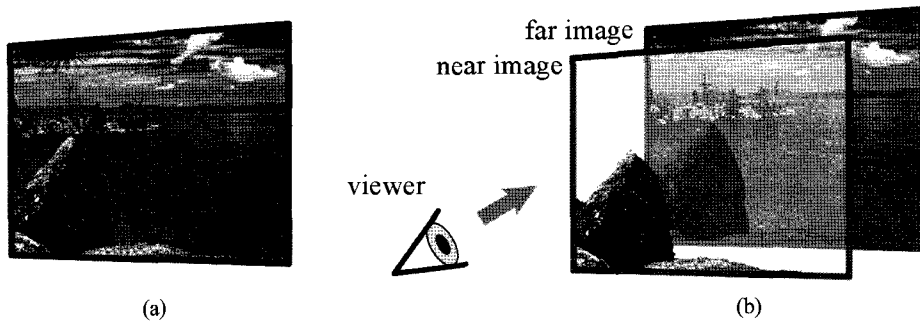


그림 1. 이중스크린 디스플레이 개념도.

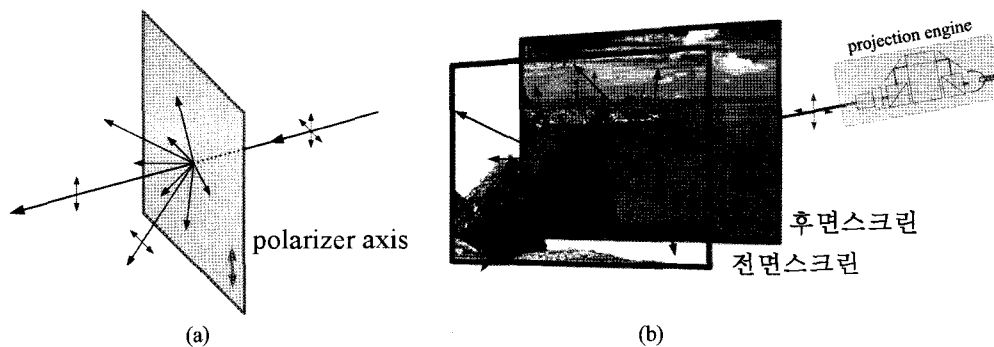


그림 2. (a) 산란형 편광 필름의 산란/투과 특성을 보여주는 개념도. (b) 후면투사 DLPD 시스템의 개념도.

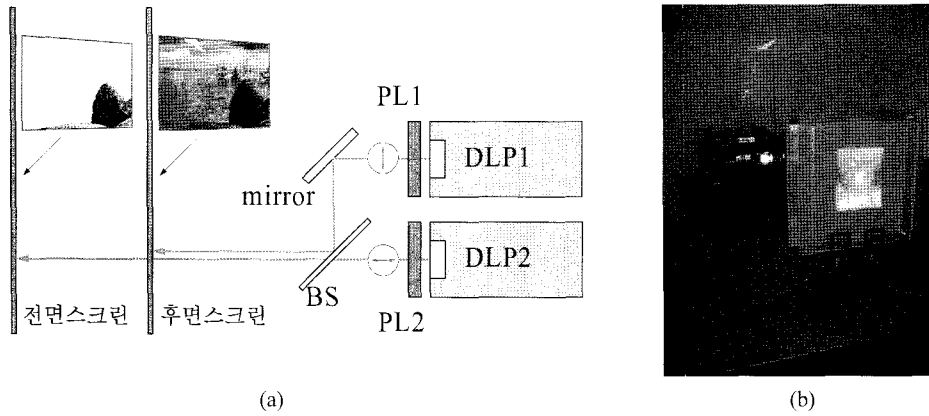


그림 3. (a) 후면투사 DLPD 시스템의 구성도. (b) 시험용 후면투사 DLPD 시스템 사진.

프로젝터와 선편광 필터, 반사경, 빔스플리터, 그리고 2면(전면 및 후면)의 DRPF 스크린 등으로 구성된다. 각 프로젝트의 출력 광은 선편광 필터를 이용하여 수직 및 수평의 선편광을 갖도록 한다. 스크린의 면적은 210 mm × 300 mm이며, 이는 실험에 이용한 DRPF의 크기에 의하여 결정되었다. 스크린 간의 간격은 10 mm이다.

다음의 그림 4는 DRPF를 이용한 편광 선택성 이중스크린 시스템의 산란/투과 특성을 보여준다. 그림은 전면스크린 또는 후면스크린에 5 mm × 5 mm 면적의 백색광 패턴을 투사한 후 500 mm 떨어진 지점에서 측정한 이미지 밝기의 각도에 따른 변화를 정면($\theta=0$)에서의 밝기로 표준화하여 보여준다. 각 스크린에 스크린 편광축에 수직인 편광 성분(산란 성분)을 갖는 빛을 이용하여 테스트용 패턴을 투사하여 영상이 스크린 위에 맺히도록 한 후, 이 영상으로부터 발산되는 광량을 휘도계(Yokogawa 3298)를 이용하여 측정하였다. 그림 4(a)는 측정 장치를 위에서 내려다 본 구성도이다. 그림 4(b)는 전면스크린에서 산란/투과되는 빛의 세기(■)와 후면스크린에서 산란/투과되는 빛의 세기(□)의 분포를 보여준다. 산란 특성을 비교하기 위하여 Lambertian 발광체로부터의 발광 특성(Lambert cosine)도 함께 보였다. 그림에서 보듯이

DRPF의 산란 특성은 이상적인 Lambertian 발광체와 비교될 수 있는 정도로 넓은 가시각을 제공함을 알 수 있다.

다음의 그림 5는 스크린에 투사된 영상의 근접사진을 보여준다. 그림 5(a)는 전면스크린에 맺힌 근경과 후면스크린에 맺힌 원경을 스크린 전방에서 본 영상이다. 그림에서 볼 수 있듯이 후면스크린에 맺힌 원경을 전면스크린을 통해서 선명하게 볼 수 있으며, 후면스크린을 통과하도록 투사된 근경의 경우 전면스크린 위에 선명한 영상으로 맺어짐을 알 수 있다. 그림 5(b)의 좌측 이미지는 후면스크린에 원경을 투사하지 않으면서 전면스크린에 근경만 투사한 경우이고, 우측 이미지는 전면스크린에 근경을 투사하지 않으면서 후면 스크린에 원경만 투사한 경우를 각각 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 후면 스크린 상에 맺힌 원경에 대한 전면스크린의 산란도가 그다지 크지 않으며, 전면스크린으로 투사되는 근경에 대한 후면스크린에 의한 산란도 역시 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

한편, DLPD 시스템의 경우 스크린의 측면에서도 전면 및 후면스크린에 투사된 영상을 선명하게 볼 수 있음을 확인할 수 있다. 다음의 그림 6은 DLPD 스크린 영상을 다양한 각도에서 촬영한 사진이다. 그림에서 볼 수 있듯이 DLPD 시스템

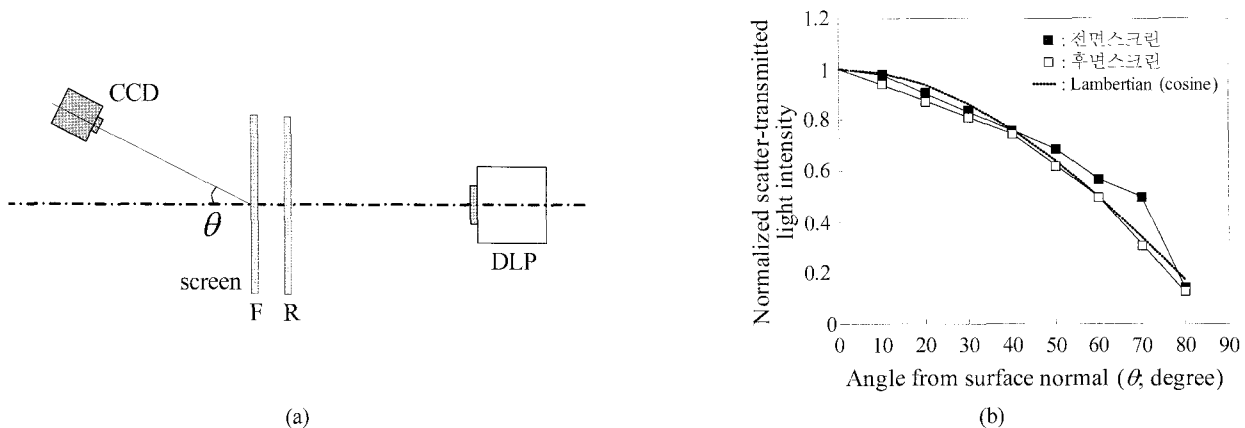


그림 4. (a) DRPF를 이용한 이중스크린의 산란-투과 특성 측정 장치 구성도. (b) DRPF를 이용한 편광 선택성 이중스크린 산란-투과 특성 (산란광 세기의 각도에 따른 분포 특성.) 점선은 Lambert cosine 곡선이다.

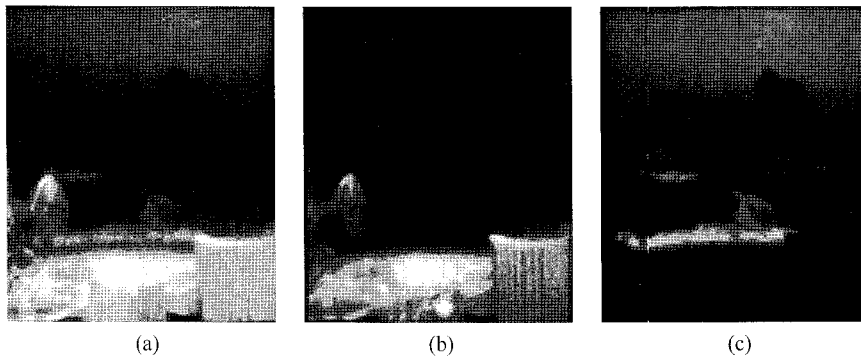


그림 5. (a) 전면스크린에 맺힌 근경과 후면스크린에 맺힌 원경을 스크린 정면 본 영상.
 (b) 후면스크린에 원경을 투사하지 않고 전면 스크린에 근경만 투사한 경우의 영상.
 (c) 전면스크린에 근경을 투사하지 않으면서 후면스크린에 원경만 투사한 경우의 영상.

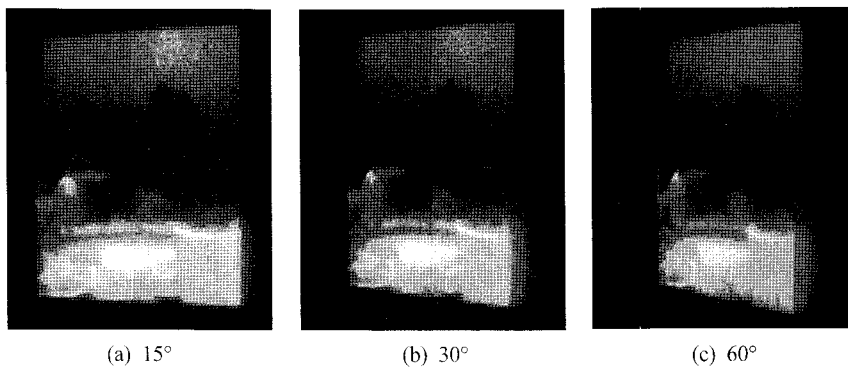


그림 6. 다양한 각도에서 본 DLPD 영상.

은 넓은 시야각에 대하여 색상의 왜곡 없이 선명한 영상을 제공할 수 있다. 아울러 DLPD 시스템은 parallax barrier 나 lenticular sheet 방식과는 달리 넓은 시야각에 대하여 단절되지 않는 연속적 이미지 표현이 가능하며, 이는 다수가 동시에 각기 다른 위치에서 영상을 동시에 감상할 수 있음을 의미한다.

다음의 그림 7은 이중스크린에 있어서 산란형 편광필름의 투과특성이 화면의 선명도에 미치는 영향을 분석한 예이다. 즉, 그림 7(a)는 후면스크린이 없는 상황에서 전면스크린에 근경을 투사한 경우(좌)와 후면스크린이 있는 경우 전면스크

린에 근경을 투사한 경우(우)를 비교하여 보여준다. 그림으로부터 알 수 있듯이 전면스크린에 투사되는 빛이 후면스크린을 투과하는 과정에서 약간의 산란이 수반되어 전면스크린에 맺힌 근경의 선명도가 일정부분 열화 됨을 알 수 있다. 그림 7(b)는 전면스크린이 없는 상황에서 후면스크린에 원경을 투사한 경우(좌)와 전면스크린이 있는 경우 후면스크린에 원경을 투사한 경우(우)를 비교하여 보여준다. 그림으로부터 알 수 있듯이 후면스크린에서 산란된 빛이 전면스크린을 투과하는 과정에서 약간의 산란이 수반되어 후면스크린에 맺힌 원경의 선명도가 일정부분 열화된다.

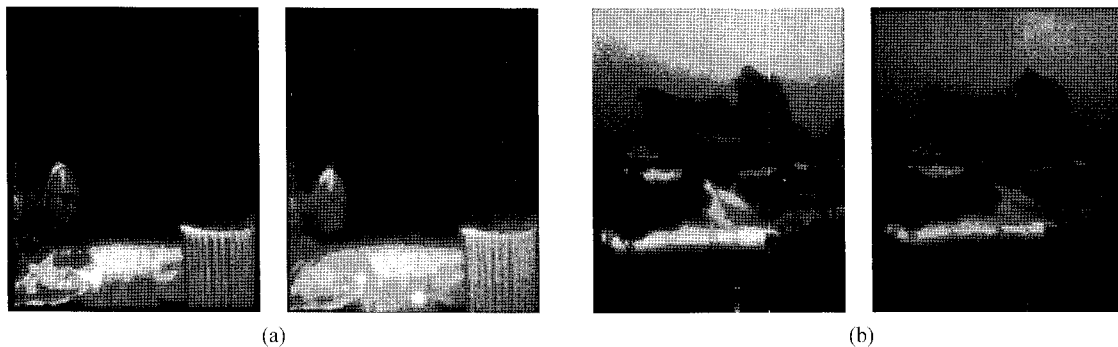


그림 7. (a) 후면스크린이 없는 경우(좌)와 있는 경우(우) 전면스크린에 맺힌 근경 이미지.
 (b) 전면 스크린이 없는 경우(좌)와 있는 경우(우) 후면스크린에 맺힌 원경 이미지.

V. 결 론

본 연구를 통하여 산란형 편광필름을 이용하여 후면투사방식의 DLPD 시스템을 구현할 수 있음을 실험적으로 확인하였다. 산란형 편광필름을 이용한 전면 및 후면스크린을 통하여 넓은 시야각에 대하여 색상의 왜곡 없는 선명한 영상을 제공할 수 있음을 확인하였다. DLPD시스템의 경우 관찰자는 양안 폭주각과 수정체 초점 조절 등의 생리적 기능과의 불일치로 생기는 눈의 피로를 피할 수 있어 2D 디스플레이 정도의 피로감만을 느끼게 된다. 또한 DLPD 시스템의 해상도는 프로젝터의 성능이 허용하는 수준이 가능하므로 기존의 2D 디스플레이와 비견되는 해상도로 입체영상을 구현할 수 있다는 장점도 가지고 있다. 아울러, 스크린 크기에 대한 제한은 일반 프로젝션 디스플레이와 동일하므로 대화면 구현이 용이하다. 후면투사 DLPD 방식은 3D 프로젝션 TV의 구현에 적합한 형태로서, TV뿐만 아니라 다양한 게임용 디스플레이나 영화 등에도 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 ‘서울시 산학연 협력사업’에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

- [1] S. Yano, M. Emoto, and T. Mitsuhashi, "Two Factors in Visual Fatigue Caused by Stereoscopic HDTV Images," *Displays*, 25, pp. 141-150, 2004.
- [2] S. Tamura and K. Tanaka, "Multilayer 3-D display adapter," *Appl. Optics*, 17, pp. 3695-3696, 1978.
- [3] H. Takada, S. Suyama, and K. Nakazawa, "A New 3-D Display Method Using 3-D Visual Illusion Produced by Overlapping Two Luminance Division Displays," *IEICE Trans. Electron.*, E88-C, pp. 445-449, 2005.
- [4] H. Takada, S. Suyama, M. Date, and K. Nakazawa, "A Compact Depth-fused Display Using a Stack of Two LCDs," *NTT Tech. Rev.*, 2, pp. 35-40, 2004.
- [5] M. Date, H. Takada, S. Suyama, K. Tanaka, and K. Nakazawa, "Projection-type Depth Fused 3D (DFD) Display," *Proc. IDW'06*, pp. 1393-1396, 2006.
- [6] T. Kim, Y. Kim, and J-W. Seo, "Eyestrain-free Bi Focal 3D Projection Display System," *Dig. Tech. Papers IMID 2007*, pp. 1739-1741, 2007.

Double-Layer 3D Rear Projection Display System using Scattering Polarizer Film

Tae-Ho Kim and Jong-Wook Seo[†]

Department of Electronic, Information and Communication Engineering, Hongik University, 72-1, Sangsu-dong, Mapo-gu, Seoul 121-791, Republic of Korea

[†]*E-mail: jwseo@wow.hongik.ac.kr*

(Received November 5, 2007, Revised manuscript December 15, 2007)

A new 3D rear projection display system using double-layer polarization-selective screen systems, one stacked in front of the other, has been developed. The front and rear screens are made of scattering polarizer films, and they either diffuse-scatter or transmit the incident light depending on the polarization state of the light. The near and far images are projected onto the front and rear screens, respectively, using light waves with mutually orthogonal polarization states. The new display system produces clear high-resolution images, which are visible over a wide range of viewing angle. It was found that the impression of depth is pronounced and eyestrain is only comparable to that by 2D display systems.

OCIS code : 110.0110, 110.4190.