반도체디스플레이기술학회지 제11권 제4호(2012년 12월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 11, No. 4. December 2012.

산화막 증착을 통한 이중스크린 3D 프로젝션 디스플레이 스크린용 산란형 편광필름의 편광유지도 개선

김대연 · 서종욱†
†홍익대학교 전자정보통신공학과

Improvement of Polarization Maintenance Property of Scattering Polarizer Film for Double-Screen 3D Projection Display Screen Applications Via Surface Oxide Deposition

Dae-Yeon Kim and Jong-Wook Seo†
†School of Electronic, Information and Communication Engineering, Hong-Ik University

Abstract

Keeping the polarization direction of the projection light unchanged is of crucial importance for high quality of images on a double-screen 3D projection display system. It has been found that the deposition of oxide layers on the surfaces of scattering polarizer film results in an improvement of polarization maintenance property of the film. The secondary image formed on the front screen by the light scattered from the rear screen decreases by 30% through the application of oxide layers on both surfaces of the screen. Since the oxide layer can also be used as an anti-reflection (AR) coating of the film, this method is very effective for the projection display applications.

Key Words : Double-Screen, 3D Display, Oxide Deposition, Polarization Maintenance

1. 서 론

관찰자(viewer)가 보는 방향으로 상호간 일정 간격 떨어져 위치하는 복수의 스크린 상에 원경과 근경 등을 각각 맺어주는 방법을 이용하여 깊이감 있는 영상을 표현할 수 있음은 이미 오래 전에 보고되었다[1,2]. 이 원리를 기반으로 안경의 착용 없이 즐길 수 있는 상용 3D 디스플레이 시스템을 구현하고자 하는 다양한 노력이 계속되고 있다[3,4]. 본 연구팀은 산란형 편광필름 (scattering po-larizer film)을 이용하여 두 개 면의 스크린을 구현함으로써 이중스크린 3D 프로젝션 디스플레이(DLPD; Double-Layer Projection Display)를 실현할 수 있음을 실험적으로 보인 바 있다 [5,6].

DLPD는 근경과 원경의 두 영상을 편광 방향이 서로 수직인 두 선편광의 빛으로 전면 및 후면 스크린에 각각 투사하고, 관찰자는 각 스크린에 형성된 두 영상의 합성 영상을 봄으로써 깊이감을 느낀다. DLPD에서 스크린으로 사용하는 산란형 편광필름은 편광 필터와 광확산 필름의 역할을 동시에 수행하게 된다. DLPD 기술은 깊이감을 주는 고해상도 영상을 구현함에 있어 기존의 프로젝션 디스플레이 시스템 관련 주요 기술을 그대로 이용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그간의 연구를 통하여 DLPD 기술의 가능성을 확인하는 한편으로 화면의 선명도를 높이기 위하여 해결하여야 할 과제도 도출되었다. 우선 근경과 원경의 투사광이 스크린을 투과하거나 반사하는 과정에서 당초에 부여한 편광 특성을 최대한 유지하도록 하는 것이 높은 선명도의 영상을 얻기 위해서 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 산란형 편광필름의 편광유지 특성을 개선하여 DLPD 시스템의 화면의 선명도를 개선하는 방안에 대하여 기술한다.

2. 산란형 편광 스크린

산란형 편광필름은 필름 편광축과 평행인 편광을 갖는 입사광은 투과시키고 편광축과 수직인 편광을 갖는

†E-mail : jwseo@hongik.ac.kr

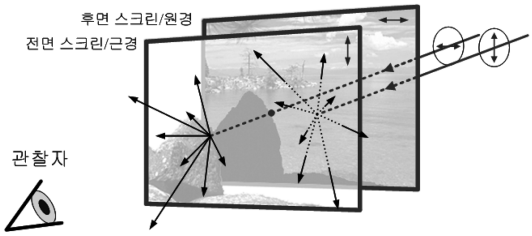


Fig. 1. DLPD 시스템 동작원리를 보여주는 개념도.

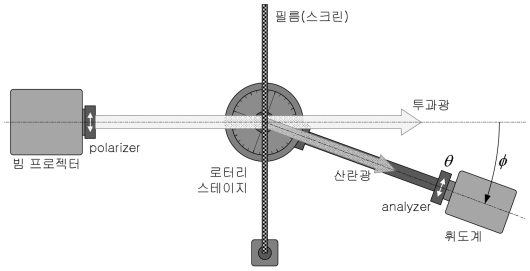


Fig. 2. 투과 특성 분석을 위한 실험장치 평면도 (θ :analyzer 각도, ϕ :측정각도)

입사광은 확산시키는 성질을 갖는다. 이러한 성질을 이용하는 DLPD 시스템의 스크린은 프로젝터로부터 투사되는 근경과 원경을 선택적으로 확산시키거나 또는 투과시켜 각각의 스크린에 해당 영상이 맺히거나 또는 왜곡 없이 투과하도록 한다. 예를 들어, Fig. 1에 보인 것처럼 전면 및 후면 스크린의 편광축이 각각 수직 및 수평 방향인 경우, 근경 영상을 수평 편광을 갖는 선편광의 빛으로 투사함으로써 후면 스크린은 최대한 왜곡 없이 투과('투과모드')하고 전면 스크린에서 확산('확산모드')하여 해당 상이 맺히도록 한다. 반면, 원경 영상은 수직 편광의 빛으로 투사함으로써 후면 스크린에서 확산하여 상이 맺히고, 후면 스크린으로부터의 산란광은 전면 스크린을 그대로 투과하여 관찰자가 후면 스크린에 맺힌 원경 영상을 볼 수 있도록 한다. 본 연구에서는 산란형 편광필름으로 3M사의 DRPF(Diffuse Reflec-tive Polarizer Film)를 이용하였다.

선명한 영상을 얻기 위해서는 투사광이 스크린에서 투과하거나 확산하는 과정에서 편광을 유지하는 것이 필수적이다. 예를 들어, 원경 투사광이 후면 스크린에서 확산하여 상을 맺을 때 스크린에서 산란된 빛이 본래의 편광을 유지하지 못한다면 산란광의 일부는 전면 스크린에서도 확산함으로써 영상의 선명도가 떨어진다. 근경 투사광이 후면 스크린을 투과하는 과정에서 발생하는 산란광 역시 편광을 유지하지 못하면 전면 스크린에서 차단되지 않고 투과하여 관찰자에게는 후면 스크린에 맺힌 원경으로 인식됨으로써 영상의 선명도를 떨어뜨리는 요인이 된다. 아울러 스크린 표면에서 반사되는 빛의 경우도 편광을 유지하여야 다중 반사 등에 의한 영상의 선명도 저하를 최소화할 수 있다.

본 연구를 통하여 산란형 편광필름의 표면에 유전체 박막을 증착하는 경우 필름의 편광 유지 특성이 개선됨을 발견하였다. 유전체 박막 증착은 반사방지(AR; Anti-Reflection) 코팅을 위해서도 필요하므로 박막 증착이 편광 특성에 미치는 영향을 정밀하게 분석할 필요가 있다. 본 연구에는 고굴절률의 TiO_2($n = 2.3$ @500 nm)와 저굴절률의 SiO_2 (n=1.5 @500 nm)를 차례로 진공 증착한 필름에 대하여 편광 특성을 분석하였다.

3. 스크린 편광 유지 특성 비교

3.1. 투과모드에서의 광 투과 특성

투과모드에서는 투사광의 편광 방향과 편광필름의 편광축이 일치하므로 입사광의 대부분이 산란 없이 투과하여야 하나 실제로는 일정 량의 빛이 산란되어 스크린에 상을 맺는다. 이때 투과광이나 산란광의 편광 방향이 뒤틀리게 되면 상의 선명도가 떨어지게 된다. 본 절에서는 투과모드에서의 투과광과 산란광의 편광이 어느 정도 유지되는 지를 분석하였다. 다음의 Fig. 2는 투과모드에서의 투과광과 산란광의 편광 특성을 측정하기 위한 실험 장치의 평면도이다.

빔프로젝터와 선형편광자(linear polarizer)를 이용하여 스크린의 편광축과 일치하는 편광을 갖는 선편광의 투사광을 스크린에 조사한 후 스크린을 통과하여 진행하는 투과/산란광의 휘도를 Yokogawa *3298F Multi-media Display Tester*를 이용하여 측정하였다. 스크린 상에 직경 10 mm의 원반형 패턴을 투사하고, 패턴의 중심으로부터 120 mm 거리에 수광소자의 면이 위치하도록 휘도계를 설치하였다.

실험에는 다음과 같은 총 4종의 편광필름을 이용하였다. 아무런 표면코팅 없는 DRPF 원판(non/non), DRPF의 한쪽 면에 산화막 코팅을 한 단면 코팅 필름(OX/non, non/OX), 그리고 양면에 모두 산화막 코팅을 한 양면 코팅 필름(OX/OX)이다. 실험 장치 내에서 필름의 산화막 코팅 면이 빔프로젝터 방향인 경우는 OX/non, 휘도계 방향인 경우는 non/OX라 칭한다.

먼저 투과광의 편광 특성을 분석하기 위해 휘도계를 투과광의 진행 방향과 일직선상으로 마주하여 배치하고 analyzer의 각도를 바꿔가며 휘도를 측정하였다. 빔

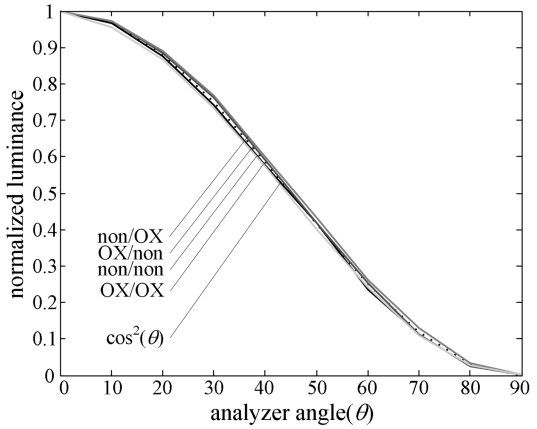


Fig. 3. 투과모드에서의 투과광 편광특성 ($\phi = 0^o$의 측정각에서 analyzer각도(θ)에 따른 투과광의 휘도를 측정하여 표준화한 값.)

프로젝터의 polarizer와 휘도계의 analyzer의 각이 일치하는 상태($\theta = 0^o$) 로부터 10° 단위로 90^o까지 변화를 주며 측정하였다. 이때 휘도계에는 투과광뿐만 아니라 산란광도 함께 측정 되지만, 산란광은 투과광에 비해 상대적으로 크기가 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 다음의 Fig. 3은 측정한 투과광의 편광 특성을 보여준다. 그림에서 $\cos^2(\theta)$ 그래프는 프로젝터에서 polarizer를 통과하여 출력된 선편광의 빛을 직접 측정한 경우에 해당하는 상황을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 실험에 이용한 모든 조합의 편광 필름에서 편광 방향이 잘 유지됨을 알 수 있다.

다음으로 투과모드에서의 산란광 편광유지 특성을 분석하기 위해서 휘도계가 투과광의 경로에서 벗어나는 측정각($\phi = 10^o$)부터 각도를 증가시키며 각 측정각별로 산란광의 휘도를 analyzer 각을 바꿔가며 측정하였다. 다음의 Fig. 4는 $\phi = 10^o$와 $\phi = 30^o$에서의 측정 결과를 보인다. 그림에서 볼 수 있듯이 $f = 10^o$에서는 비록 차이는 작으나 OX/non, OX/OX, non/OX, non/non의 순으로 편광을 유지하는 특성이 우수함을 보인다. 반면, $\phi = 30^o$에서는 OX/OX스크린의 경우 편광을 매우 잘 유지하는데 반하여 다른 조합의 스크린의 경우 편광을 거의 유지하지 못함을 볼 수 있다. OX/OX스크린의 경우 $\phi = 40^o$를 넘어서면 편광 유지 특성이 급격히 나빠지기는 하나 모든 측정각에 대하여 가장 우수한 편광 유지 특성을 보였다.

3.2. 확산모드에서의 광 투과 특성

스크린 상에 가급적 상이 맺히지 않고 투과하도록 하는 투과모드와 달리 투사광과 필름의 편광축 방향이

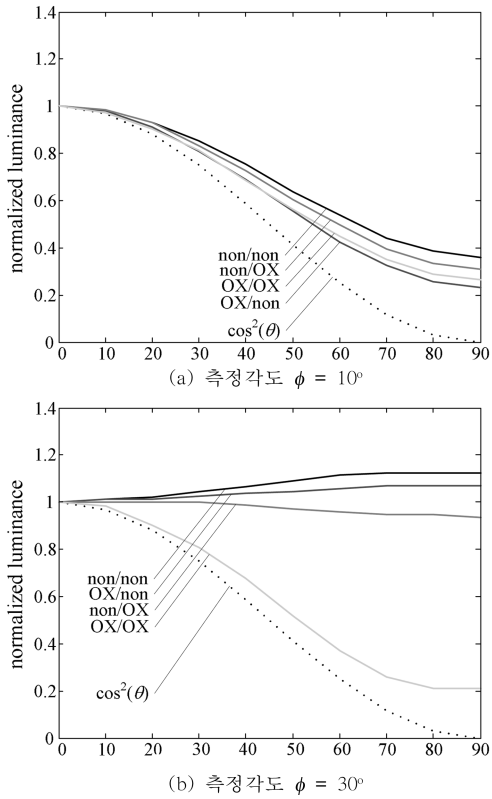
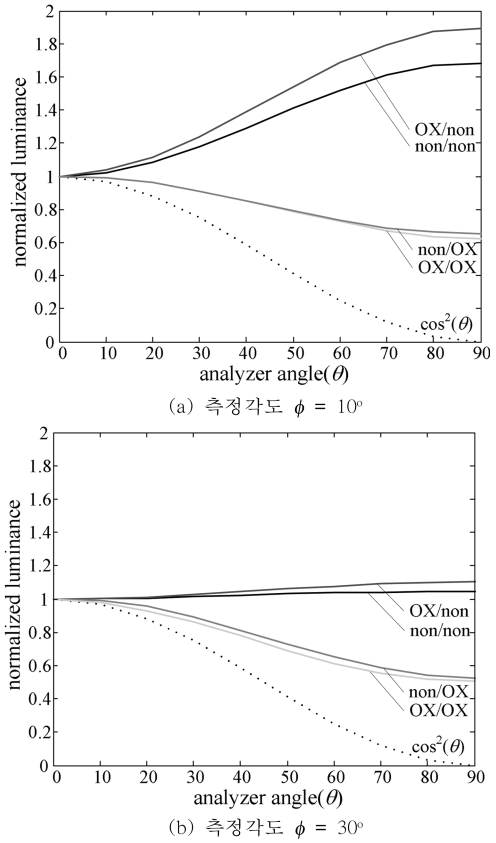


Fig. 4. 투과모드에서의 산란광 편광특성: (a) $\phi = 0^o$ (b) $\phi = 30^o$의 측정각에서 analyzer각도(θ)에 따른 투과광의 휘도를 측정하여 표준화한 값.

서로 수직이 되도록 하여 영상이 스크린 상에 맺히도록 하는 구성을 확산모드라 칭하고, 스크린 확산모드에서의 편광 유지 특성을 분석하였다. 투과광과 산란광의 편광 특성을 전술한 투과모드의 경우와 동일한 방법으로 측정하였다.

앞의 Fig. 2의 실험 구성에서 스크린을 투사광의 진행 방향을 축으로 하여 90° 회전하여 투사광의 편광 방향과 스크린의 편광축 방향이 서로 수직이 되도록 한다. 투과모드의 경우와 같이 측정각도 $\phi = 10^o$와 $\phi = 30^o$의 경우를 다음의 Fig. 5에 보였다. OX/OX 및 non/OX 구성의 스크린의 경우 편광 방향을 어느 정도 유지하는데 반하여 OX/non과 non/non의 스크린은 편광 방향이 스크린의 편광축

방향으로 크게 틀어짐을 알 수 있다. 비록 측정각이 증가함에 따라 OX/non과 non/non 스크린의 편광 방향 회전의 정도가 감소하기는 하나 산란광의 편광 방향이 스크린의 편광축 방향으로 돌아가는 경향이 바뀌지는 않았다.



(a) 측정각도 ϕ = 10°

(b) 측정각도 ϕ = 30°

Fig. 5. 확산모드에서의 산란광 편광특성: (a) ϕ = 0° (b) ϕ = 30°의 측정각에서 analyzer각도(θ)에 따른 투과광의 휘도를 측정하여 표준화한 값.

3.3. 확산모드에서의 광 반사 특성

필름에 투사된 빛 중에서 프로젝터 방향으로 반사된 빛의 편광 특성을 분석하였다. 투과모드에서의 스크린 반사도는 매우 낮아 투과모드 반사광의 편광 특성은 화질에 큰 영향을 미치니 않으나 확산모드에서의 스크린 반사도는 매우 높으므로 확산모드 반사광의 편광 특성은 화질에 직접적인 영향을 미친다. 전면 스크린에 투사된 근경이 반사하여 후면 스크린에서 다시 반사하는 경우 다중의 상이 형성되어 화질을 떨어뜨릴 수 있기 때문이다. 확산모드에서의 반사광의 편광 특성은 다음의 Fig. 6과 같은 구성을 통하여 측정하였다. 측정각 ϕ = 0°에서는 그림 내의 작은 그림으로 보인 것과 같이 빔 스플리터(beam splitter)를 이용하여 측정하였다.

다음의 Fig. 7은 측정각 ϕ = 0°, ϕ = 30°, ϕ = 60°에서 측정한 휘도의 analyzer각도(q)에 따른 변화를 표준화하여 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 구성의

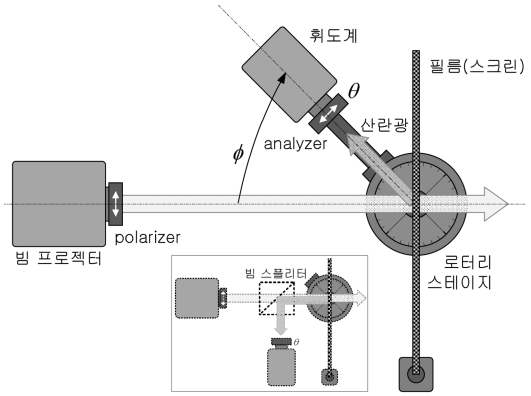


Fig. 6. 반사특성 분석을 위한 실험장치 평면도.

스크린에서 반사광의 편광 방향은 안정되게 유지된다. 측정각이 증가함에 따라 편광 유지 특성이 열화되기는 하나 OX/OX 스크린의 경우 열화의 정도가 가장 작았다. 투사광이 입사하는 면에 산화막 코팅을 하지 않은 non/non 스크린과 non/OX 스크린의 경우 ϕ = 50° 이상의 측정각에서 편광 유지 특성이 열화되기 시작한다.

4. 결과 및 고찰

스크린의 편광 유지 특성에 대한 분석 결과 산란형 편광필름에 산화막(TiO_2/SiO_2) 증착을 통하여 투과모드에서나 확산모드에서 투과, 산란, 반사광 모두에 대하여 편광을 유지하는 특성이 개선됨을 확인하였다. 특히 양면 모두에 산화막을 증착하는 경우 편광유지 특성의 개선 효과가 가장 큼을 알 수 있었다. 양면에 산화막을 증착한 필름을 이용한 편광 스크린의 화질 개선 효과를 실제 영상을 통해서 확인할 수 있다. 다음의 Fig. 8은 DRPF 양면에 산화막을 증착한 필름을 이용한 이중스크린의 경우 후면스크린에 투사한 원경의 잔상이 전면스크린에 맺히는 정도가 현저히 감소함을 보여준다. 그림에서 (a)의 (1)과 (b)의 (3)영역에 보이는 잔상은 후면스크린에 투사한 원경이 전면스크린에 맺힌 이미지로서 화질을 열화시키는 불필요한 요소이다. 후면스크린에서 확산된 원경 이미지 투사광의 편광이 잘 유지되고 있는 양면 산화막 코팅 스크린의 경우 전면스크린에 상이 거의 맺히지 않음을 볼 수 있다.

좀더 정량적으로 분석하기 위해 Fig. 8의 (1)-(4)의 4개 이미지 상의 동일한 위치에 해당하는 100개 픽셀의 그레이 레벨 값을 Fig. 9(a)에 나타내었다. 그림 Fig. 9(b)는

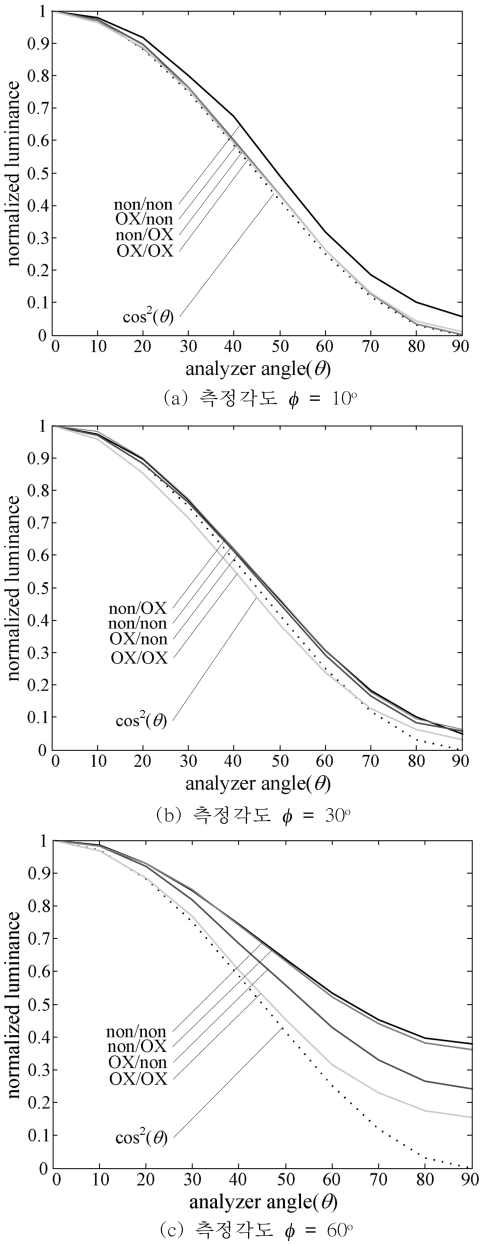


Fig. 7. 확산모드에서의 반사광 편광특성: (a) $\phi = 0^o$ (b) $\phi = 30^o$ (c) $\phi = 60^o$의 측정각에서 analyzer각도(θ)에 따른 반사광의 휘도를 측정하여 표준화한 값.

픽셀 별로 후면스크린 상의 이미지에 대한 전면스크린 상의 잔상 이미지 그레이 레벨의 비율을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 양면에 산화막을 증착한 스크린은 전면스크린에 맺힌 원경 잔상의 그레이 레벨이 DRPF 원판보다 약 30% 정도 감소함을 알 수 있다.

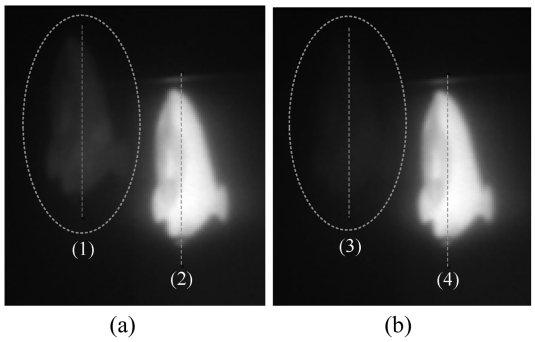


Fig. 8. 실제 영상 비교: (a) DRPF 원판을 이용하여 구성한 스크린에 맺힌 영상, (b) 양면에 산화막을 증착한 DRPF를 이용하여 구성한 스크린에 맺힌 영상 (전면스크린 상의 이미지 (1)과 (3)에 초점을 맞추어 측면 각도에서 촬영한 이미지임).

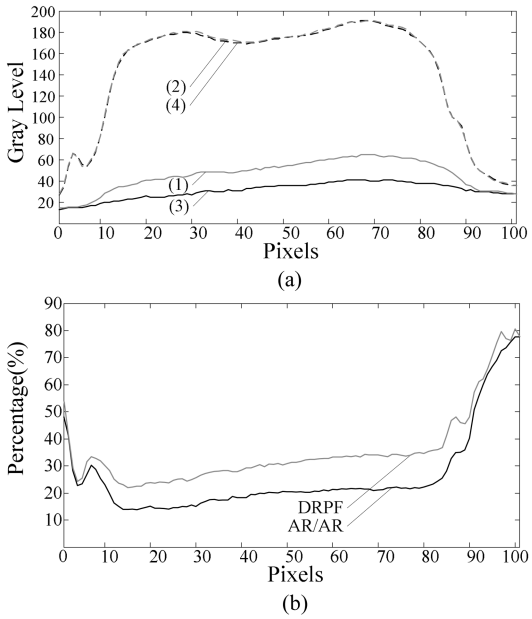


Fig. 9. 후면스크린에 맺힌 근경과 전면스크린에 맺힌 근경의 그레이 레벨 비교: (a) 각 이미지의 픽셀 별 그레이 레벨, (b) 후면스크린에 맺힌 근경의 그레이 레벨과 전면스크린에 맺힌 근경의 픽셀 별 그레이 레벨 비율.

(DRPF 원판의 경우 평균 29.7%, 양면 산화막 증착 필름의 경우 평균 18.9%).

본 연구에서 이용한 TiO_2와 SiO_2 박막의 두께를 AR 두께가 되도록 적절히 선택하는 경우 표면 반사도 역시 최소화할 수 있으므로 추가적인 화질 개선 효과를 기대할 수 있다.

5. 결 론

이중스크린 3D 프로젝션 디스플레이의 스크린으로 이용하는 산란형 편광필름의 표면에 산화막을 진공 증착하는 경우 필름의 편광 유지 특성이 개선됨을 확인하였다. 특히 산화막을 편광 필름의 양면에 증착한 경우 후면스크린에서 산란된 빛에 의하여 전면스크린에 형성되는 잔상의 밝기가 30% 이상 감소함을 확인하였다. 산화막을 무반사(AR) 코팅 두께로 증착하면 다중반사에 의한 화질 열화도 줄일 수 있다.

감사의 글

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10555)의 지원을 받아 수행된 것임.

참고문헌

1. S. Tamura and K. Tanaka, “Multilayer 3-D display adapter,” Applied Optics, Vol. 17, pp.3695-3696, 1978.
2. 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, Vol. E88-C, No.3, pp. 445-449, 2005.
3. C. Lee, S. DiVerdi, and T. Hollerer, “Depth-Fused 3D Imagery on an Immaterial Display,” IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, Vol. 15, N0. 1, pp. 20-33, 2009.
4. J. Jung, B. Song, S. Yoon, G. park, B. Lee, and S. Min, “Real-Time depth-fused three-dimensional display system,” Proc. IQEC/CLEO Pacific Rim 2011, pp. 1949-1950, Sydney, Australia, 2011.
5. 서종욱, 김태호, “후면투사 방식의 이중스크린 3D 프로젝션 디스플레이,” 한국광학회지, 제18권, 제6호, pp. 421-425, 2007.
6. J-W. SEO and T-H. KIM “Double-Layer Projection Display System Using Scattering Polarizer Film,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No.3, pp. 1602-1605, 2008.

접수일: 2012년 10월 19일, 심사일: 2012년 11월 16일, 게재확정일: 2012년 11월 30일