

반사형 LCD를 위한 홀로그래픽 반사판의 제작*

우성일 · 백흥일 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창
부산대학교 전자공학과

장주석
부경대학교 정보통신공학과

(1998년 9월 21일 받음, 1998년 12월 11일 수정본 받음)

DuPont 社の 광폴리머를 홀로그램 기록매질로 사용하여, 반사형 LCD에 적용할 수 있는 단색의 홀로그래픽 반사판을 설계 및 제작하였다. 홀로그램 동작파장을 514 nm로 하여 기록함으로써, 녹색 영역에서 가장 밝은 이미지를 구현할 수 있었다. 이미지의 방향을 표면반사와 분리시킴으로써 높은 콘트라스트 비를 얻을 수 있는데, 제작한 홀로그래픽 반사판을 TN-LC cell에 적용하여, 6:1의 on/off 콘트라스트 비를 얻었다.

I. 서 론

LCD(Liquid Crystal Display)는 크게 투과형과 반사형으로 나눌 수 있으며 투과형 LCD의 경우 사용자에게 밝은 이미지를 제공하기 위해서 배면조명을 사용한다. 이러한 배면조명에 의해 전체 시스템의 전력소모가 증가하게 되고 또한 디스플레이의 두께가 증가하게 되므로 최근 증가추세를 보이고 있는 이동통신 기기에는 부적합하다. 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 반사형 LCD에 관한 연구가 중요하다. 반사형 LCD에 사용되는 반사판은 주변광원을 효율적으로 조절하여 사용자에게 밝은 이미지를 제공할 수 있어야함과 동시에 일정한 시야각을 형성시킬 수 있어야 한다.

이를 위해서 반사형 LCD용 반사판은 디스플레이의 표면에서 반사되는 반사성분과 다른 방향으로 일정한 시야각을 형성하여 밝은 이미지를 제공하고 높은 콘트라스트를 구현할 수 있어야 한다(그림 1). 이러한 반사특성을 구현할 수 있도록 blazed reflector와 확산필름을 함께 사용하는 방법,^[1] 홀로그램 방법을 이용한 홀로그래픽 반사판^[2] 등이 제시되었다.

본 연구에서는 홀로그래픽 반사판을 직접 제작하여 제작조건에 따른 반사특성을 살펴보고, 이를 통해 목적에 맞는 제작조건을 찾아보았다.

II. 금속확산 반사판

일반적으로 금속확산 반사판은 얇은 필름형태로 알루미늄이나 은을 증착시킨 구조로 표면의 거친 정도에 따라서 반사특성이 달라진다. 표면의 거친 정도에 따라 반사특성 및 빛의 확산정도가 결정되기 때문에 원하는 반사특성을 구현할 수

있는 반사판의 제작이 어려운 단점이 있다. 또한 기존에 사용되던 금속확산 반사판은 주로 큰 반사율과 함께 넓은 시야각을 확보할 수 있도록 설계되었지만, 반사되는 빛의 방향을 바꿀 수 없어 사용자 위주의 시야각을 형성시키지 못하는 문제점을 가지고 있다. 그림 2는 금속확산 반사판 샘플에 대해서 반사특성을 측정한 결과로 반사판의 성분과 표면의 거친 정도에 따라서 반사되는 성분의 세기와 확산범위가 달라짐을 알 수 있다. 이때 입사광의 입사방향은 수직방향에 대해서 35°이고, 반사판에 의해 반사된 전반사 성분의 방향이 모두 -35°이기 때문에 디스플레이에 적용될 경우 표면에서 반사되는 성분과 그 방향이 일치하게 된다. 주변의 광이 반사판에 의해 반사될 경우 그 반사성분이 전반사 성분과 확산된 성분으로 구성되는데, 전반사 성분에 의해 사용자에게 가장 밝은 이미지가 제공되고 확산된 성분에 의해 일정한 시야각이 형성되므로, 전반사 성분이 표면반사 성분과 방향이 일치하게 되면 사용자는 밝은 이미지를 볼 수 없게 되고 이로 인해 콘트라스트는 저하된다.

이러한 문제점을 해결할 수 있도록 홀로그램의 광학적 특

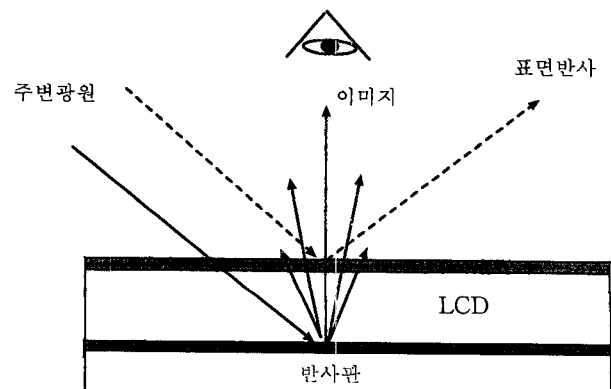


그림 1. 반사형 LCD를 위한 반사판의 반사조건.

*이 논문은 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 일환으로 연구되었음.

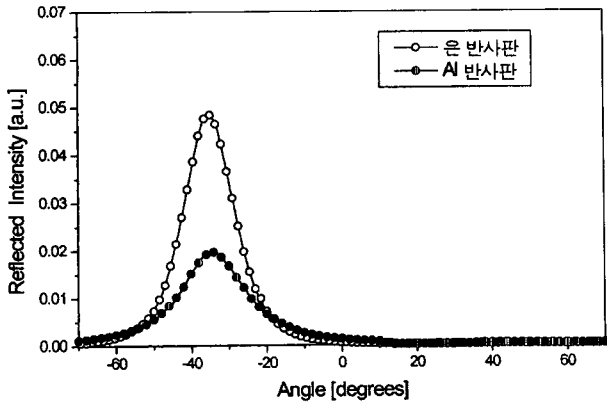


그림 2. 금속확산 반사판의 반사특성 (입사각 : 35°).

성을 이용한 반사판을 제작하여 반사특성을 확인하고 기존의 금속확산 반사판과 비교하여 논의하였다.

III. 홀로그래픽 반사판의 제작

홀로그램은 기준빔과 물체빔의 간섭패턴을 홀로그램 기록물질에 기록한 후 기준빔의 방향으로 기록 시의 파장을 가진 광원을 입사시킬 경우 원래의 물체빔의 특성을 재생할 수 있다.

반사형 LCD용 반사판으로 사용하기 위해서 기준빔의 방향은 일반 사무실 환경에서 주변광원이 입사하는 방향으로 가정되는 디스플레이 표면의 수직방향에 대해서 35°로 가정하였으며, 물체빔은 수직방향에 대해서 일정한 시야각을 가질 수 있도록 빔의 패턴을 형성시킨다. 그리고 홀로그램 기록방식은 이미지의 밝기를 향상시키고 빔의 방향을 효율적으로 바꿀 수 있도록 투과형 위상분류 홀로그램을 이용하였으며, Dupont 社의 광폴리머 HRF-700 반사형 필름을 홀로그램 기록물질로 사용하였다. 이때 홀로그램 필름의 두께는 20 μm이며, 홀로그램 기록절차는 기록 및 자체현상, 그리고 정착의 과정으로 이루어진다.^[1]

기록시 물체빔과 기준빔의 간섭에 의해 광폴리머 내부에서는 두 빔의 간섭정도에 따라 폴리머화 과정이 일어나고 이로 인해, 공간적인 굴절율의 변화가 발생한다. 광폴리머 내부에서 발생하는 공간적인 굴절율 변조에 의해 격자가 생기게 되고, 이러한 격자 면은 굴절율 차에 의해 입사 빔을 반사시키는 반사면의 역할을 하므로, 홀로그램 제작과정에서 입사되는 광을 원하는 각도로 반사시킬 수 있도록 격자 면의 기울어짐 각(slant angle)을 조절하는 것이 가능하다.

홀로그램을 기록한 후 기준빔의 방향으로 기록시 파장의 빛이 입사되면, Bragg 조건을 만족하여 원래 물체빔의 방향으로 빔이 회절하게 된다. Bragg 회절조건은 다음과 같다.

$$2dn \sin(\theta - \phi) = \lambda \tag{1}$$

여기서 d 는 격자간의 간격, n 은 광폴리머의 평균 굴절율, λ 는 입사광의 파장, θ 는 입사광의 입사각, ϕ 는 격자 면의 기울어짐 각이다. 위 식을 살펴보면 입사광의 입사각과 파장의 함수이므로 홀로그램 재생시 재생광원으로 백색광을 사용할 경우

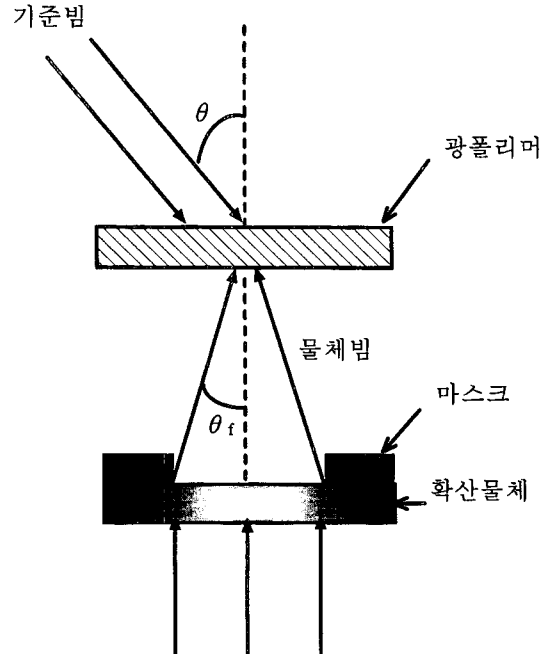


그림 3. 홀로그래픽 확산반사판의 제작을 위한 구성도.

시야각에 따른 컬러의 변화가 발생함을 알 수 있다. 하지만 비교적 넓은 대역을 가짐과 동시에 사람의 눈의 민감도가 가장 큰 녹색 영역에서 재생 특성을 지니도록 제작할 경우 녹색 영역에서 밝은 이미지를 제공할 수 있으며 시야각 의존도도 개선할 수 있다.^[2] 또한 일반적으로 반사형 홀로그램은 투과형 홀로그램에 비해서 파장 선택도가 크기 때문에 백색광원을 사용할 경우에도 단일 색의 이미지를 구현하는데 유리하다.^[4]

본 연구에서 제작한 홀로그래픽 반사판은 입사 빔의 방향을 표면반사의 방향과 분리시킴과 동시에 확산시킬 수 있는 방향성 확산기능을 홀로그램으로 구현 하였다. 먼저 홀로그래픽 확산 반사판을 제작하기 위한 구성도를 그림 3에 도식적으로 나타내었고, 이때 기록광원은 녹색영역의 파장인 514 nm의 Ar laser를 사용하였다. 그림에서 기준빔의 입사각 θ 는 주변광원의 입사방향인 35°로 설정하였으며, 물체빔은 수직방향에 대해 일정한 시야각을 형성할 수 있도록 확산물체를 사용하여 빔의 패턴을 형성시켰다. 이때 사용된 확산물체는 ground glass로 빔의 확산 각이 $\pm 30^\circ$ 이며, 확산되는 각의 특성이 가우시안 분포의 특성을 가지고 있기 때문에, 홀로그램 기록시 광폴리머의 위치에 따라 조사되는 물체빔의 세기가 틀리게 되어 위치에 따라 형성되는 격자의 정도가 달라지게 된다. 결과적으로 홀로그램 재생시 회절효율의 위치의존도가 커지게 되는데, 이러한 문제점은 홀로그램을 기록할 때 물체빔의 빔폭을 기록에 사용하는 광폴리머의 면적보다 충분히 크게 함으로써 개선할 수 있었다. 그리고 홀로그램 기록시 기준빔과 물체빔이 최대의 간섭을 일으키기 위해서, 두 빔의 경로차를 기록광원의 코히어런트 길이보다 작게 하였으며, 두 빔의 편광 방향을 서로 평행하게 하였다. 이때 ground glass에 의한 빔의 편광 상태의 변화나 편광 방향의 변화는 발생하지 않았다.^[5] 그리고 제작시 마스크를 사용하여 홀로그래픽 확산

필름의 수직방향과 수평방향에 대한 확산 패턴을 조절할 수 있으며, 실험에서는 원형 마스크를 사용하여 각 방향에 대해서 같은 특성을 가지도록 하였다.

홀로그래픽 확산 반사판의 확산 특성을 결정짓는 중요한 요소로는, 확산물체의 확산 특성, 물체와 광폴리머간의 거리, 기록물질의 특성 등을 들 수 있다.^[6] 제작된 홀로그래픽 확산 필름의 최대 확산 각은 θ_r 가 되고, 제작시 θ_i 는 약 25° 정도였으며 기준물체로 사용된 확산물체의 확산 각이 클수록 θ_r 를 크게 할 수 있기 때문에, 보다 넓은 시야각을 구현할 수 있는 홀로그래픽 반사판의 제작이 가능하다.

IV. 홀로그래픽 반사판의 반사특성

앞에서 언급한 조건으로 제작된 홀로그래픽 반사판의 시야각에 따른 반사특성을 측정하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 기록시의 파장을 가진 광원(514 nm)이 35° 로 입사된 경우이며, 그림에서 보면 전반사 성분이 -35° 부근에서 나타나고 0° 를 중심으로 빛이 확산되기 때문에 사용자는 이 방향에서 이미지를 관측할 수 있다. 또한 홀로그래픽의 회절효율이 높을수록 전반사 성분이 감소하게 되고 확산 성분이 커지므로 보다 밝은 이미지를 구현할 수 있으며, 실험에서 제작된 홀로그래픽 반사판의 회절효율은 약 50% 가량이었다. 물체빔 패턴의 확산 각을 보다 넓게 함으로써 넓은 시야각을 구현할 수 있는 홀로그래픽 반사판의 제작이 가능하며, 같은 효율을 가지는 홀로그래픽에 대해서 확산되는 각이 커질수록 이미지의 밝기는 감소하게 된다.

일반적으로 홀로그래픽 재생시 Bragg 각으로부터 입사각이 벗어날 경우 회절효율이 감소하게 되는데, 입사각의 변화에 따른 효율의 변화를 그림 5에서 확인할 수 있다. 이때 Bragg 각은 입사광의 파장이 514 nm이므로 35° 가 되고, Bragg 각으로부터 입사각을 어느 정도 편차를 두고 입사시킨 경우에 대해서 각각의 효율을 측정하였으며, 측정된 결과를 Bragg 각으로 입사된 경우의 효율로 나눔으로써 정규화하였다. 홀로그래픽의 효율이 1/2로 감소하는 Bragg 각으로부터의 편차는

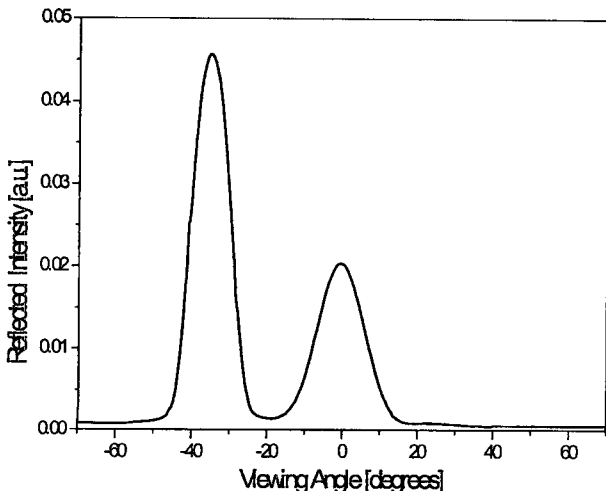


그림 4. 제작한 홀로그래픽 반사판의 시야각에 따른 반사특성.

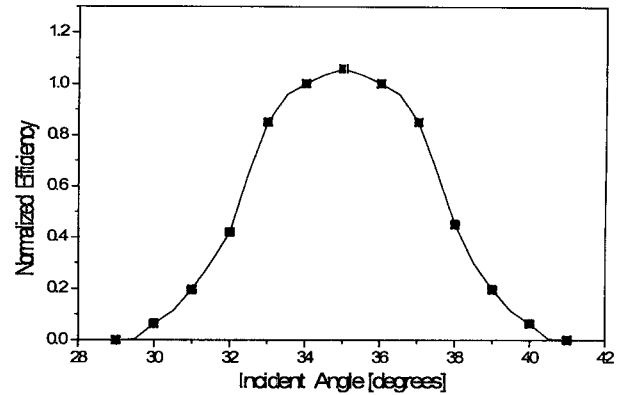


그림 5. 입사각의 변화에 따른 회절효율의 변화.

$\pm 2.5^\circ$ 임을 측정된 결과로부터 알 수 있다.

다음으로 파장에 따른 홀로그래픽의 회절효율 및 반사 특성을 측정하였다. 홀로그래픽 반사판 제작시 주변광원이 디스플레이의 수직방향에 대해 35° 로 입사한다고 가정하였지만, 일반적으로 주변광은 여러 파장성분을 포함한 백색광원이 어느 정도 각도분포를 가지고 입사하게 된다. 따라서 여러 파장 성분 중 기록시의 파장인 514 nm의 경우에 대해서는 기준빔의 방향인 35° 에서 Bragg 각을 만족하게 되지만, 파장이 달라질 경우에는 Bragg각이 달라지게 되고 그에 따라 빛이 회절되는 각도가 틀리게 되므로 시야각에 따른 칼라의 변화가 발생하게 된다. 그리고 홀로그래픽 확산반사판 제작시 광폴리머 내에는 많은 수의 격자가 형성되는데, N개의 물체빔에 의해 홀로그래픽이 기록될 경우 $N(N-1)/2$ 개의 격자가 형성된다. 기준빔과 각각의 물체빔에 의해 형성되는 격자에 의해 서로 다른 기울어짐 각을 가진 격자면이 형성되고, 이때 기록시와 같은 파장의 광원이 Bragg 조건을 만족하는 각으로 입사할 경우 모든 격자가 동시에 Bragg 조건을 만족하게 된다. 하지만 파장이 달라지면 그에 따른 Bragg 조건을 만족하는 입사각이 달라지게 되어, 그 입사각에 대해서 모든 격자가 동시에 Bragg 조건을 만족할 수 없게되고, 파장이 많이 벗어날수록 Bragg 조건을 만족하는 격자의 수가 감소하게 되어 홀로그래픽의 효율이 더욱 낮아진다. 그림 6에서는 제작한 홀로그래픽 반사판의 반사스펙트럼을 측정한 결과이다. 그림에서 알 수

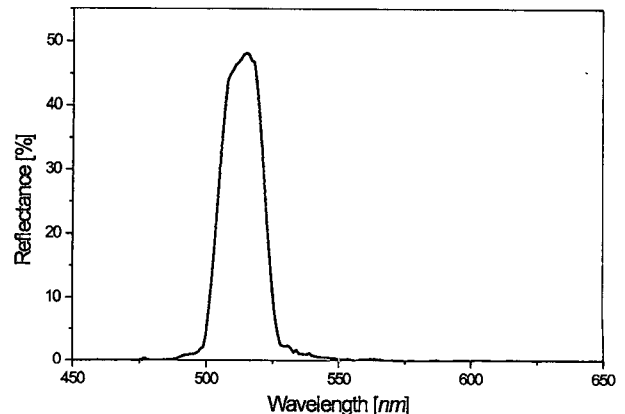


그림 6. 홀로그래픽 반사판의 반사 스펙트럼.

있듯이 홀로그래픽 반사판 제작시 동작과장으로 설정한 514 nm에서 최대의 반사가 일어나고 있으며, 녹색 영역에서 대부분의 반사가 일어남을 알 수 있다. 파장에 따른 반사 스펙트럼에서 최대 반사가 일어나는 514 nm를 중심으로 측정된 FWHM(Full width at half maximum)은 20 nm이다. 따라서 디스플레이에 적용할 경우 녹색 영역에서 가장 밝은 이미지를 구현할 수 있게 되고, 색번짐 현상은 발생하지 않았다.

V. 제작된 홀로그래픽 반사판을 적용한 단위 TN-LC cell의 반사특성

본 절에서는 제작한 홀로그래픽 반사판 및 금속확산 반사판을 TN-LC cell에 적용하여 전압을 인가하여 on/off시의 반사특성을 비교해 보았다. 이때 입사되는 광은 할로겐 램프를 사용하였으며, 입사각은 cell 표면의 수직방향에 대해서 35°로 하였다. 홀로그래픽 반사판을 부착한 TN-LC cell의 구조 및 시야각에 따른 반사특성을 측정하기 위한 구성을 그림 7에 나타내었다. 이때 입사되는 광원을 렌즈를 사용하여 집광한 뒤 평행광이 되도록 하였다. 그리고 cell의 양단에 전압을 인가한 뒤 on/off시의 시야각에 따른 반사특성을 측정하였다.

그림 8에서 반사판을 부착한 반사형 TN-LC cell의 on/off시의 반사특성을 나타내었다. 먼저 그림 8(a)는 제작한 홀로그래픽 반사판을 적용한 경우로, 전압이 인가된 경우에 0°를 중심으로 피크가 형성됨을 알 수 있다. 따라서 표면 반사가 일어나는 -35°와 이미지를 완전히 분리됨을 알 수 있다. 반면에 그림 8(b)의 경우는 금속확산 반사판을 적용한 결과인데, 전압이 인가된 경우에 -35°를 중심으로 피크가 형성되는데, 이는 표면반사와 방향이 일치하게 된다. 그러므로 이 방향에서 반사성분이 가장 크지만 표면 반사로 인해 사용자는 이미지를 볼 수 없게 된다. 따라서 최대 반사가 형성되는 방향

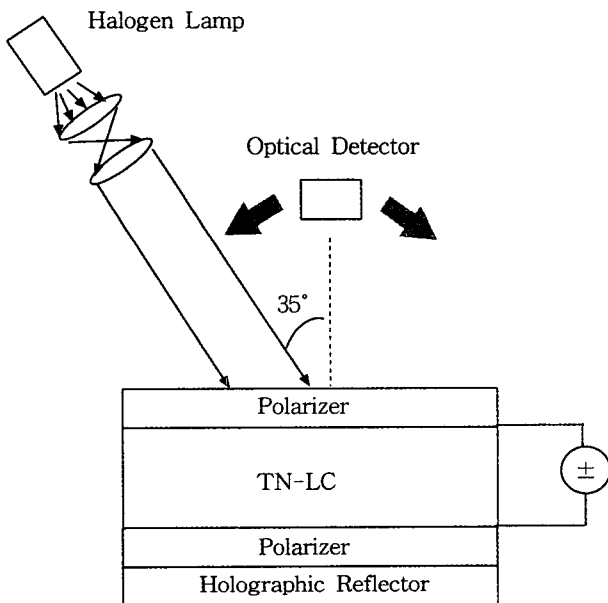


그림 7. 반사형 TN-LC cell의 구조 및 시야각 특성측정을 위한 구성.

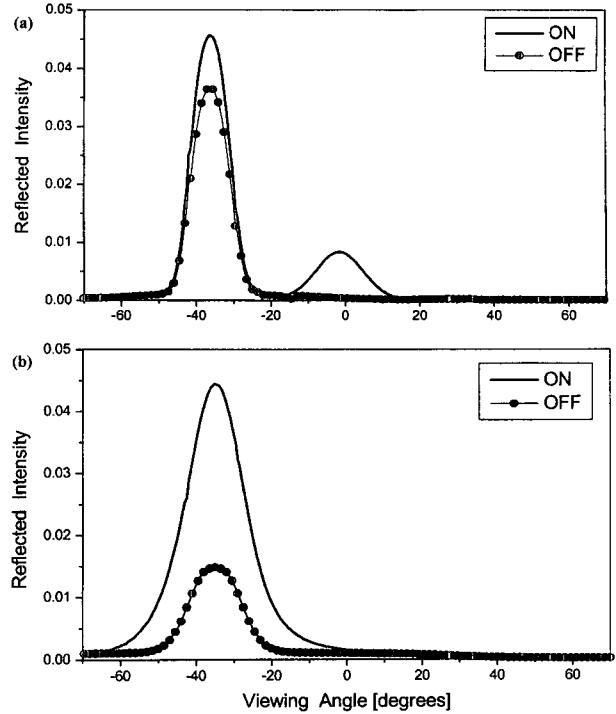


그림 8. 반사형 TN-LC cell의 on/off시의 반사특성 비교.

과 최대 콘트라스트 비가 형성되는 방향이 서로 달라지게 된다. 이는 그림 9에서 확인할 수 있다. 그림 9는 시야각에 따른 콘트라스트 비를 측정한 결과이다. 그림 9에서 보면, 홀로그래픽 반사판의 경우 0°를 중심으로 최대 콘트라스트 비가 형성되는데, 이는 입사광이 홀로그래픽 반사판에 의해서 회절되어 형성되는 최대 피크와 그 방향이 일치하게 된다. 반면에 금속확산 반사판의 경우, 전압 인가시 피크가 발생하는 -35°에서 콘트라스트 비가 급격히 감소하게 됨을 알 수 있는데, 이는 표면반사와 방향이 일치하기 때문이다. 따라서 제작한 홀로그래픽 반사판의 경우 반사방향을 표면반사와 다르게 함으로써 보다 높은 콘트라스트 비를 얻을 수 있다. 제작한 홀로그래픽 반사판을 적용한 반사형 TN-LC cell에 대해서 측정된 최대 on/off 콘트라스트 비는 6:1이다. 그리고 콘트라스트

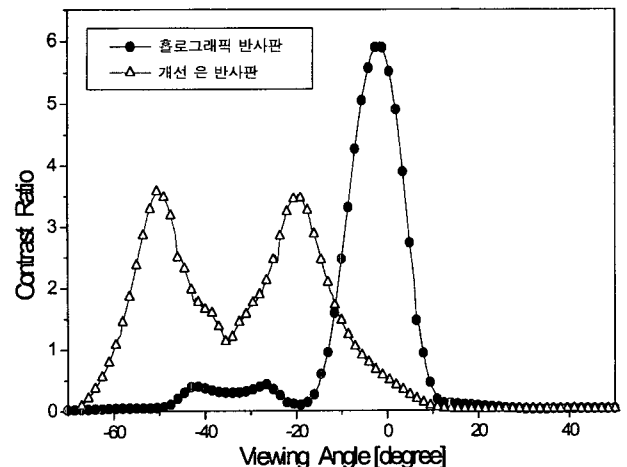


그림 9. 콘트라스트 비의 시야각 특성.

트 비가 2이상일 때 이미지를 구분할 수 있다고 가정할 경우 홀로그래픽 반사판을 적용한 반사형 cell에 대해서 시야각이 18°이다.

얻을 수 있었다. 실험에 의해서 측정된 최대 콘트라스트 비는 6:1이었으며 이는 홀로그램의 효율을 높임으로써 더욱 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

VI. 결 론

반사형 LCD에 사용되는 반사판은 이미지의 밝기를 개선시키고 높은 콘트라스트 비를 얻기 위해서 디스플레이의 표면에서 반사되는 성분과 방향을 분리시켜 사용자에게 이미지를 제공해주어야 한다. 이러한 반사특성을 얻기 위해 홀로그램의 재생 특성을 이용하여 홀로그래픽 반사판을 제작하여 반사특성을 확인하였으며, 특히 제작 시 동작파장을 녹색 영역의 514 nm로 함으로써 사람 눈의 민감도가 가장 크고 대역이 넓은 녹색 영역에서 가장 밝은 이미지를 얻을 수 있는 반사판의 제작이 가능하였다. 그리고 반사형 홀로그램의 큰 파장 선택도로 인해서 색 번짐 현상은 발생하지 않았으며, 또한 제작한 반사판을 단위 TN-LC cell에 적용하여 on/off시의 반사특성을 확인한 결과 이미지와 표면반사의 방향을 완전히 분리시킴으로써 금속화산 반사판에 비해 높은 콘트라스트 비를

참고문헌

- [1] I. Hiyama, O. Itou and K. Kondo, "High-performance reflective STN-LCD with a blazed reflector", SID 97 Digest, 655 (1997).
- [2] A. G. Chen, K. W. Jelley, G. T. Valliath, W. J. Molteni, P. J. Ralli and M. M. Wenyon, "Holographic reflective liquid-crystal display", J. SID, 3/4, 159 (1995).
- [3] 박진상, 신동학, 장주석, 정신일, "광폴리머 필름의 홀로그램 기록 특성", 대한전자공학회 논문지, vol. 33A, 1853 (1996).
- [4] R. R. A. Syms, *Practical Volume Holography*, (Clarendon Press, Oxford, 1990).
- [5] S. Wadle and R. S. Lakes, "Holographic diffusers: polarization effects", Opt. Eng. 33, 1084 (1994).
- [6] S. Wadle, D. Wuest and J. Cantalupo, "Holographic diffusers", Opt. Eng. 33, 213 (1994).

Fabrication of a holographic reflector for reflective LCDs

Sung-Il Woo, Heum-Il Baek, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon and Jae Chang Kim
Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Ju-Seog Jang
Dept. of Telematics Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

(Received September 21, 1998, Revised manuscript received December 11, 1998)

We designed and fabricated a monochrome holographic reflector for reflective LCDs with DuPont holographic photopolymer as a holographic recording media. By recording at 514 nm as holographic operating wavelength, it was possible to get the brightest image in green color. High contrast ratio is possible due to misalignment of the images with surface reflection and we achieved on/off contrast ratio of 6:1 by applying the fabricated holographic reflector to a TN-LC cell.