

반사형 LCD를 위한 반사판의 설계

백출일 · 우성일 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

이응상

삼성전관 디스플레이 연구소

(1998년 8월 28일 받음, 1998년 10월 26일 수정본 받음)

최근 이동용 기기의 디스플레이 소자로서 주목받고 있는 반사형 LCD의 핵심 부품중의 하나인 반사판은 반사형 LCD가 최적의 디스플레이 특성을 나타내게 하기 위해서 반사되는 빛의 방향을 조절하는 동시에 사용자 위주의 시야각을 형성할 수 있어야 한다. 하지만 기존의 반사판들은 이러한 기능을 수행하기에는 부족한 점이 많아 실제에 적용되었을 경우 주변광 원에 따라 문제가 되기도 한다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위해서 기존 반사판들의 특성을 몇 가지 샘플에 대한 기초적 실험과 이론적 해석을 통해 살펴보고, 나아가 표면구조와 빛의 산란특성과의 관계를 이용하여 반사형 LCD용 반사표면구조를 설계해 보았다.

I. 서 론

최근 이동성이 요구되는 정보통신기기 시장의 증가로 가볍고 전력소모가 적은 디스플레이 소자에 대한 수요가 늘어나고 있다. 반사형 LCD는 배면조명을 사용하지 않는다는 점에서 기존 투과형 LCD에 비해서 무게가 가볍고 부피가 작으며, 전력소모 또한 작기 때문에 이러한 요구조건을 만족시키는 대표적인 디스플레이 소자이다. 반사형 LCD는 주변광을 광원으로 사용하므로 사용자에게 보다 밝고 선명한 정보를 제공하기 위해서 높은 반사율과 주변환경을 고려한 시야각 특성이 요구된다. 이러한 반사형 LCD의 성능을 결정하는 요소로서는 반사판, 보상판 그리고 LCD의 구조가 있다. 이 세 가지 요소 중에서 반사형 LCD용 반사판은 최적의 디스플레이를 위해 반사되는 빛의 방향을 조절하고 사용자 위주의 시야각을 형성할 수 있어야 한다.

하지만 기존의 확산 반사판은 단순히 표면의 거친 정도에 따라 빛의 산란정도를 조절하는 수준이어서 시야각의 범위가 좁아지면 밝기는 증가하나, 사용자의 시야각 의존성이 높아지는 단점이 있었다. 이러한 빛의 밝기와 시야각 범위를 최적화하기 위한 연구^[1]들이 일부에서 진행되었으나 근본적인 해결책은 제시하지 못하였다. 이를 해결하기 위해 반사 표면구조의 설계를 통한 시야각 의존성 개선에 대한 연구^[2,3]와 홀로그래ムの 재생특성을 이용하여 디스플레이의 밝기와 더불어 콘트라스트까지 향상시키는 반사판에 대한 연구도 진행되었다.^[4]

본 연구에서는 기존 반사판들의 반사특성을 개선하여 보다 나은 반사특성을 나타내기 위한 반사 표면구조의 설계조건을

찾기 위해서 기존 반사판 샘플을 이용한 기초 실험을 통해 반사판의 기본적 특성을 이해하고 반사판 표면구조 설계에 필요한 거친표면에 의한 빛의 산란특성에 대한 이론적 해석법을 연구하여 표면구조와 반사특성사이의 관계를 밝히고, 이를 이용하여 반사형 LCD용 반사판을 위한 반사표면구조를 제시하였다.

II. 반사형 LCD용 반사판의 특성

반사형 LCD는 투과형과는 달리 주변광을 이용하여 사용자에게 여러 가지 정보를 제공하므로 표면반사가 항상 존재하며, 이로 인해 디스플레이의 품질이 저하된다. 이를 해결하기 위해서 반사형 LCD용 반사판은 그림 1에서와 같이 디스플레이의 표면반사에 의한 glare방향과 다른 방향으로 viewing cone을 형성하여 가장 밝고 선명한 화면을 사용자에게 제공할 수 있어야 한다.

표면반사에 의한 glare가 실제 디스플레이에서 어떠한 영향을 미치는지 확인해보기 위하여 일반적인 TN(Twisted Nematic) LC cell에다 반사판으로 각각 기존의 금속확산 반사판과 Polaroid社의 holographic reflector인 IMAGIX™를 사용하여, ON·OFF 특성을 살펴보았다. 반사특성 측정을 위한 실험 구성은 그림 2와 같이 하였으며, 측정의 정확성과 반복성을 위하여 컴퓨터를 이용하여 rotating stage와 detector를 자동으로 제어하였다. 입사각은 35°이며, 543.5 nm의 green He-Ne laser를 빛살 가르개를 이용하여 평행광선으로 만든 뒤 측정광원으로 사용하였다.

그림 3에서 보면 일반적인 금속확산 반사판의 일종인 개선 증착필름을 반사판으로 사용한 경우 디스플레이의 표면반사에 의한 glare방향과 image의 방향이 동일한 것을 알 수 있다.

이 논문은 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 선도기술 개발사업의 일환으로 연구되었음.

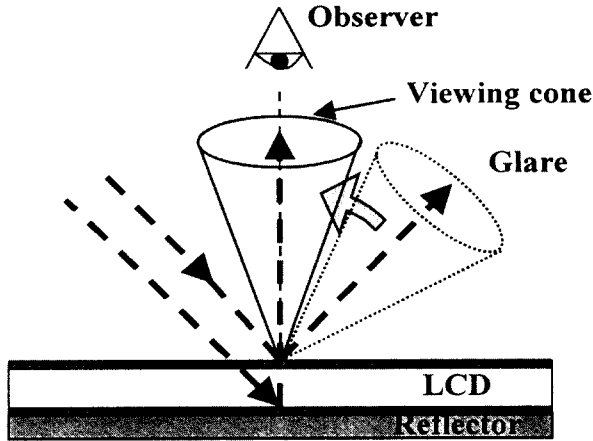


그림 1. 반사형 LCD용 반사판의 특성.

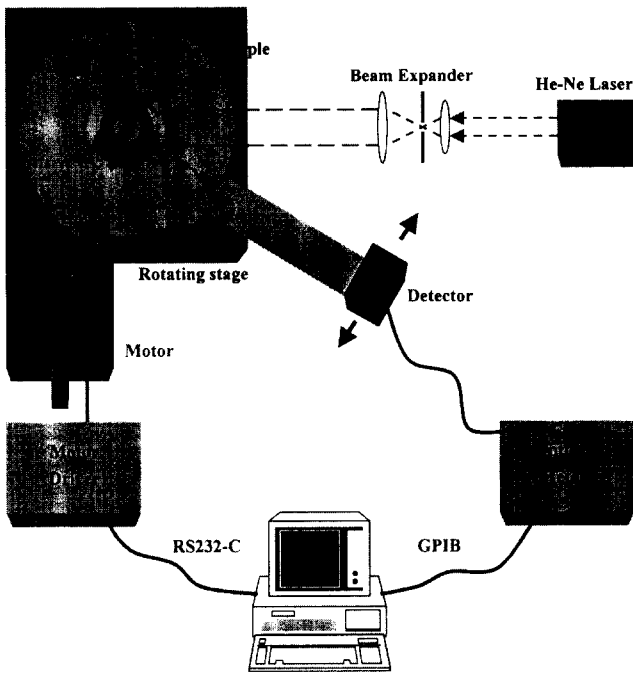


그림 2. 반사특성 측정 구성.

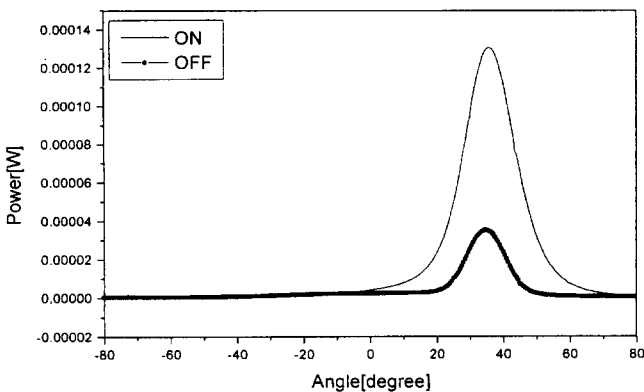


그림 3. 금속확산반사판을 사용한 반사형 LC cell의 ON · OFF 특성.

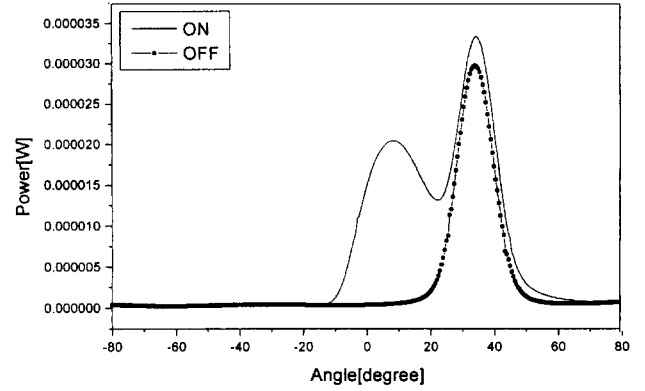


그림 4. IMAGIX™ holographic reflector를 사용한 반사형 LC cell의 ON · OFF 특성.

이와는 달리 그림 4에서 IMAGIX™ holographic reflector를 반사판으로 사용한 경우는 glare방향과 image의 방향이 완전히 분리됨으로 보다 높은 콘트라스트를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 콘트라스트를 계산해 보면 개선증착필름과 holographic reflector에 대하여 각각 4:1, 47:1이 된다. 이를 통해 사용자에게 높은 콘트라스트의 정보를 제공하려면, 반사형 LCD용 반사판은 glare와 image의 방향을 분리할 수 있어야 함을 확인할 수 있다.

또한, 실제 디스플레이 특성에 영향을 미치는 광원의 파장 영역이, 가시광선 영역인 400~700 nm임으로 이러한 파장영역에서 어느 정도 동일한 반사특성을 지녀야 한다. 하지만 holographic reflector는 아직까지 파장에 따른 반사특성의 변화문제가 완전하게 해결되지 못하였고, 대면적에 적용될 경우 시차문제가 야기되므로 일부 제한된 영역에만 사용되고 있다.^[4]

III. 기존 반사판의 반사특성

기존의 확산 반사판들은 얇은 필름 위에 고반사율 금속인 알루미늄이나 은을 증착시킨 구조를 띄고 있다. 이러한 반사판들의 표면경사각의 분포는 가우스 분포를 따르며, 표면의 거친 정도에 따라 가우스 분포의 범위가 달라져서 반사특성에 영향을 미친다.

이처럼 표면경사각의 분포가 가우스 분포를 나타내는 표면의 반사특성은 식(1)과 같은 Beckmann의 수식을 사용하여 해석할 수 있다.^[5,6]

$$\rho(\theta_i, \theta_o, \phi_o) = \frac{RF_1}{\pi^2 \tan^2 k} \exp\left(-\frac{F_2}{\tan^2 k}\right)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L \alpha^2 dx}$$

$$F_1 = \frac{(1 + \cos\theta_i \cos\theta_o - \sin\theta_i \sin\theta_o \cos\phi_o)^2}{2(\cos\theta_i + \cos\theta_o)^4}$$

$$F_2 = \frac{\sin^2\theta_i + \sin^2\theta_o - 2\sin\theta_i \sin\theta_o \cos\phi_o}{2(\cos\theta_i + \cos\theta_o)^2}$$

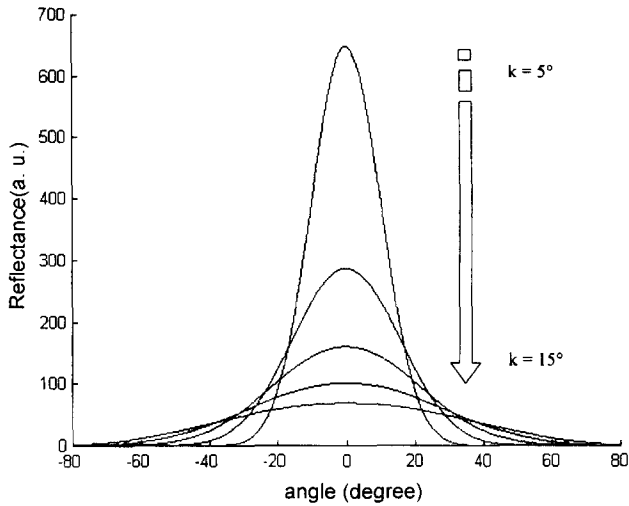


그림 5. Surface Roughness k에 따른 반사특성 (0° 입사).

식(1)에서 산란계수 ρ 는 입사하는 빛의 세기에 대한 반사되는 빛의 세기의 비를 나타내며 R 은 사용되는 금속의 반사율이다. r 은 표면에서 관찰지점까지의 거리이며, L 은 계산에 사용되는 전체 표면의 길이이다. F_1 과 F_2 는 각각 입사각 θ_1 와 반사각 θ_2 , 그리고 방위각 ϕ_0 로 이루어진 파라미터이다. 그리고 surface roughness k 는 표면경사각 α 의 rms값으로 표현되며 표면의 거친 정도를 나타내는 파라미터이다. 식(1)을 이용하여 k 를 바꿔가면서 반사특성을 조사해 보면 그림 5에 나타난 결과와 같이 k 의 크기에 따라 반사특성이 달라짐을 확인할 수 있으며, 이는 표면의 거친 정도가 다른 세 가지 금속 확산 반사판을 입사각 30°에서 반사특성을 측정 한 결과인 그림 6과도 그 경향이 일치한다.

지금까지의 결과에서 보듯이 기존의 금속 확산 반사판의 경우에는 조절할 수 있는 파라미터가 surface roughness 밖에 없으므로 결국 반사광이 확산되는 정도밖에 조절할 수 없다. 그러므로 이러한 반사판을 사용한 반사형 LCD에서는 반사되는 빛이 가장 밝은 방향과 디스플레이 표면에서의 반사에 의한 glare방향이 일치하게 되어 실제 사용자는 최적의 콘트라

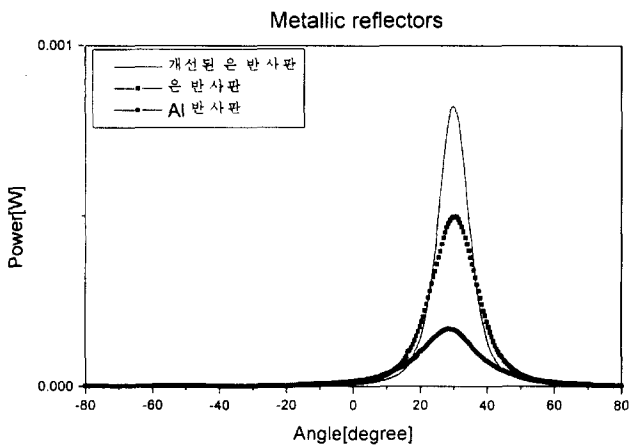


그림 6. 금속 확산 반사판의 측정된 반사특성 (30° 입사)

스트를 얻을 수 없다. 주변의 광원이 충분히 밝을 때는 그다지 문제가 되지 않지만, 그렇지 않을 경우에는 화면의 가독성에 문제가 생기게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 특정한 표면구조와 반사특성사이의 관계를 살펴 볼 필요가 있으며, 기존에 blazed reflector를 확산물질과 함께 사용하는 방법,¹⁷ x^2 형태의 cusp 표면구조를 지니는 반사판 등이 제시되었다.¹²

IV. 표면구조에 따른 반사특성

일반적으로 표면구조의 차원이 입사하는 빛의 파장에 비해서 매우 작으면 그 표면을 편평하다고 하고, 그렇지 않을 경우 표면이 거칠다고 한다.¹⁸ 표면이 편평할 경우 빛은 일반적으로 입사각과 반사각이 동일하다는 Snell의 법칙을 따른다. 하지만 표면이 거친 경우 반사되는 빛은 산란되어 그 방향이 불규칙하게 분포한다. 거친 면의 표면구조와 반사되는 빛의 방향에 대한 관계를 자세히 살펴보면, 그림 7에서 입사각이 θ_1 인 경우 $v = \theta_1 - \beta$ 가 되고 반사각 $\theta_2 = v - \beta = \theta_1 - 2\beta$ 가 된다. 여기에서 보는 바와 같이 반사광의 방향에 영향을 미치는 요소는 표면경사각 β 이다. 그러므로 불규칙하게 거친표면의 경우에는 β 의 범위를 임의로 조절할 수 없으나 주기적으로 거친표면의 경우에는 한 주기가 가지는 β 의 범위를 조절하여 반사광의 방향과 크기를 조절할 수 있다.

주기적인 거친표면의 이론적 해석을 위해서는 식(2)와 같은 또 다른 형태의 Beckmann의 수식을 이용할 수 있다.¹⁵

$$\rho(\theta_1, \theta_2) = WF_3 \frac{1}{\Lambda} \int_0^\Lambda e^{iv \cdot r} dx + O\left(\frac{n_1}{n}\right)$$

$$W = \frac{\sin 2n\pi \pi}{2n \sin \pi} e^{-ip\pi}$$

$$F_3 = \sec \theta_1 \frac{1 + \cos(\theta_1 + \theta_2)}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2} \tag{3}$$

$$p = \frac{\Lambda}{\lambda} (\sin \theta_1 - \sin \theta_2)$$

$$L = n\Lambda + n_1\Lambda$$

$$v \cdot r = \frac{2\pi}{\lambda} [(\sin \theta_1 - \sin \theta_2)x - (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)\zeta(x)]$$

산란계수 ρ 의 정의는 입사하는 필드의 크기에 대한 반사되는 필드의 세기의 비이고, 나머지 파라미터들은 입사각 θ_1 과

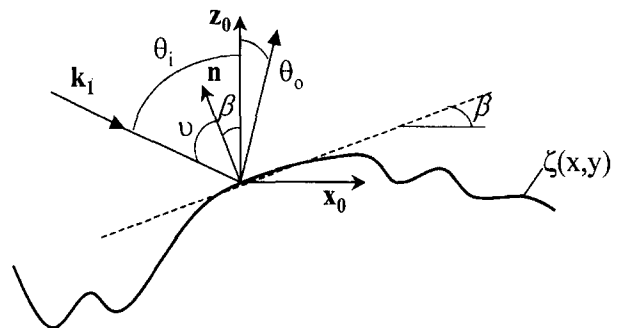


그림 7. Rough Surface에서 반사각 조절의 원리

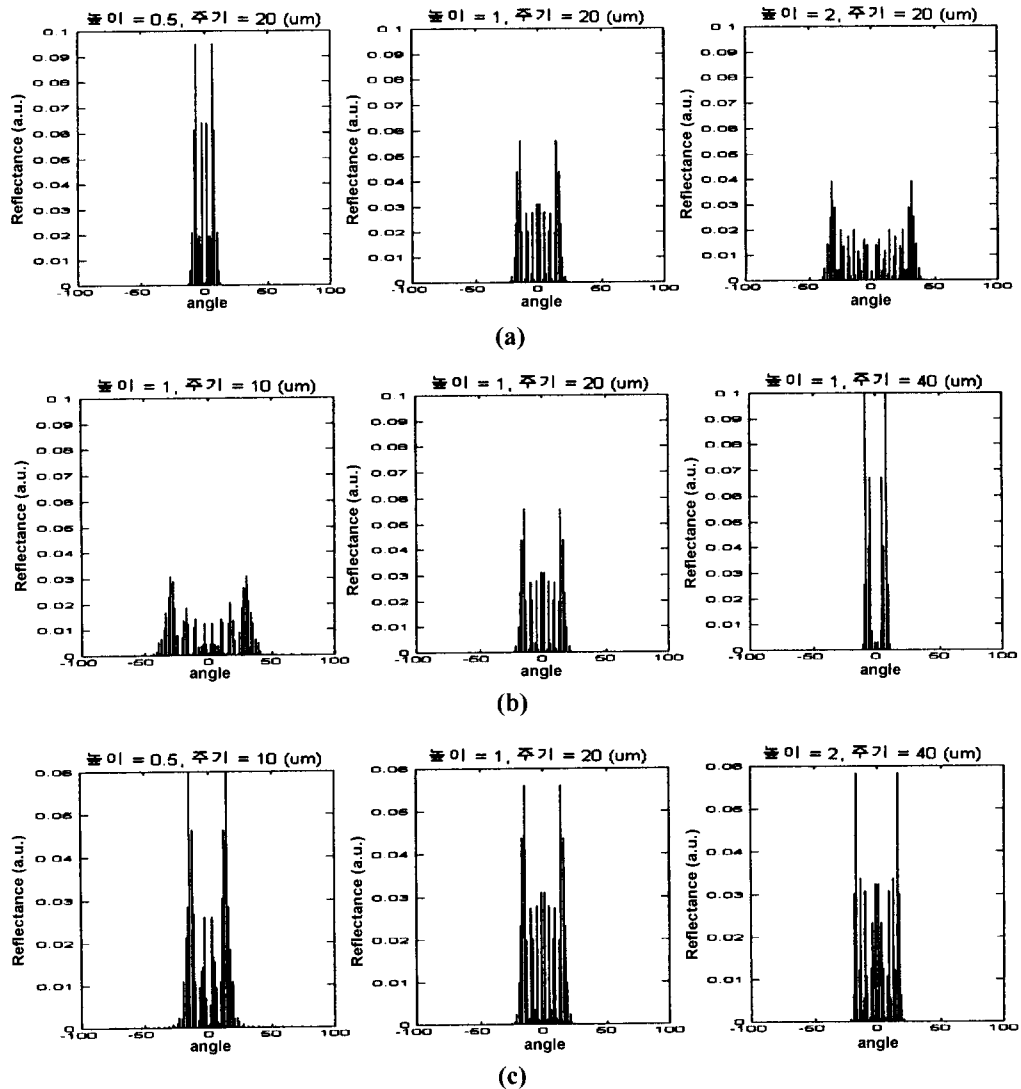


그림 8. Cosine 표면구조의 반사특성 (0° 입사). (a) 높이 변화, (b) 주기 변화, (c) 전체적인 크기 변화.

반사각 θ_2 로 이루어지는 파라미터이다. L 은 반사표면의 길이, Λ 는 주기이며 $\zeta(x)$ 는 한 주기가 지나는 surface profile이다. n 과 n_1 은 각각 반사표면의 길이 L 과 주기 Λ 의 비의 정수부분과 소수부분이다.

이를 이용하여 표면경사각 β 의 분포가 반사특성을 결정한다는 것을 확인하기 위하여, cosine형태의 주기적인 표면구조에 파장 550 nm인 빛이 수직 입사할 경우의 반사특성을 몇 가지 파라미터들을 바꾸어 가면서 조사해 보았다. 그림 8(a)는 주기는 20 μm 로 고정하고 높이를 바꾸어 본 경우이고, 그림 8(b)은 높이는 1 μm 로 고정하고 주기를 바꾸어 본 경우이며, 그림 8(c)는 주기와 높이의 비는 일정하게 유지하면서 크기를 바꾸어 본 것이다.

위의 결과들에서 알 수 있는 사실은 다음과 같다. 첫째, 표면구조의 경사각 분포가 가우스 분포를 따르는 경우의 반사특성과 비교했을 때 각도에 따른 반사되는 빛의 분포가 다르다는 것인데 이는 표면경사각의 분포형태가 다르기 때문이다. 둘째, 주기에 대한 높이의 비가 커질수록 표면의 거친 정도가

커져서 반사되는 빛의 분포가 넓어지는 것을 알 수 있는데, 이는 가우스 표면경사각 분포를 가지는 경우의 반사특성 경향과도 일치하며 표면경사각의 분포범위가 좁아지기 때문이다. 반면에 주기와 높이의 비가 일정하게 유지되는 경우에는 전체적인 크기가 변하더라도 표면경사각의 분포는 일정하므로, 거의 동일한 반사특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

V. 반사형 LCD를 위한 반사표면구조의 설계

디스플레이의 시야특성은 크게 수평 방향과 수직 방향으로 나누어 생각할 수 있으나, 본 논문에서는 주변광원의 입사로 glare가 야기되는 방향인, 수직 방향의 시야각을 개선하는 것을 목표로 하고 있기 때문에 1차원 표면구조에 대해서 설계한다. 이렇게 하면 수평방향으로는 표면 구조가 동일하게 되므로 균일한 시야특성을 얻을 수 있다. 따라서, 표면반사에 의한 glare방향과 다른 방향으로 시야각을 형성하는 동시에 특정한 시야각 내에서 균일한 반사율을 제공할 수 있는 1차원 표면구

조를 설계하여, 디스플레이의 수직방향의 시야각 의존성을 개선하고자 한다.

계산에서 주변광원은 디스플레이의 표면에 대한 수직방향에 대해 30°로 입사한다고 가정하며, 이는 반사형 디스플레이 설계시 일반적으로 사용되는 사무실 환경에서의 주변광원의 입사방향이다. 그리고, 한 주기의 길이는 사용되는 파장영역(400~700 nm)를 고려하여 20 μm로 고정하고, 파장은 가시광선 영역의 중심파장인 550 nm를 사용하였다.

이러한 기능을 수행할 수 있는 반사표면구조를 찾기 위해서 우선 디스플레이 표면반사에 의한 glare방향과 다른 방향으로 시야각을 형성하기 위해서는 특정방향으로 빛의 반사방향을 바꿀 수 있어야 하는데, 이러한 기능을 할 수 있는 대표적 형태인 blazed grating의 반사특성을 해석해 본 결과를 그림 9(a)에 나타내었다. 여기에 사용된 blazed grating은 표면 구조의 대부분이 15°의 경사를 가지므로 β는 항상 15°가 되어 30°로 입사한 빛의 대부분이 0°로 반사된다. 이러한 구조를 이용하여 반사되는 빛의 방향을 조절할 수 있음을 확인하였다.

다음으로 특정 시야각 범위 내에서 균일한 밝기를 사용자에게 제공하기 위해서는 표면구조가 특정범위의 경사각을 균일하게 지녀야 한다. 이러한 표면경사의 분포를 지니는 형태에는 cusp형태가 있다. cusp형태는 식(3)과 같은 surface profile로 표현된다.

$$\zeta(x) = \frac{\tan \xi_{\max}}{\Lambda} x^2 \quad (3)$$

식(3)에서 Λ와 ξ_{max}는 각각 표면의 주기와 최대 경사각이며, 이러한 profile은 -ξ_{max}~ξ_{max}의 범위에서 균일한 경사분포를 가지는 특징이 있다. 그림 9(b)에 ξ_{max}가 10°인 cusp 형태의 표면구조를 해석한 결과를 나타내었다. 여기서 보듯이 ξ_{max}가 10°인 경우에, β의 범위는 -10°~10°가 되어 30°로 입사한 빛의 대부분은 10°~50°의 범위로 균일하게 반사된다. 이를 이용하면 시야각 범위내의 반사특성을 균일하게 할 수 있을 것이다. 실제로 이는 일본에서 EB(Electron beam) exposure방법에 의해 금속전극의 표면구조로 제작된 적이 있다.^[2]

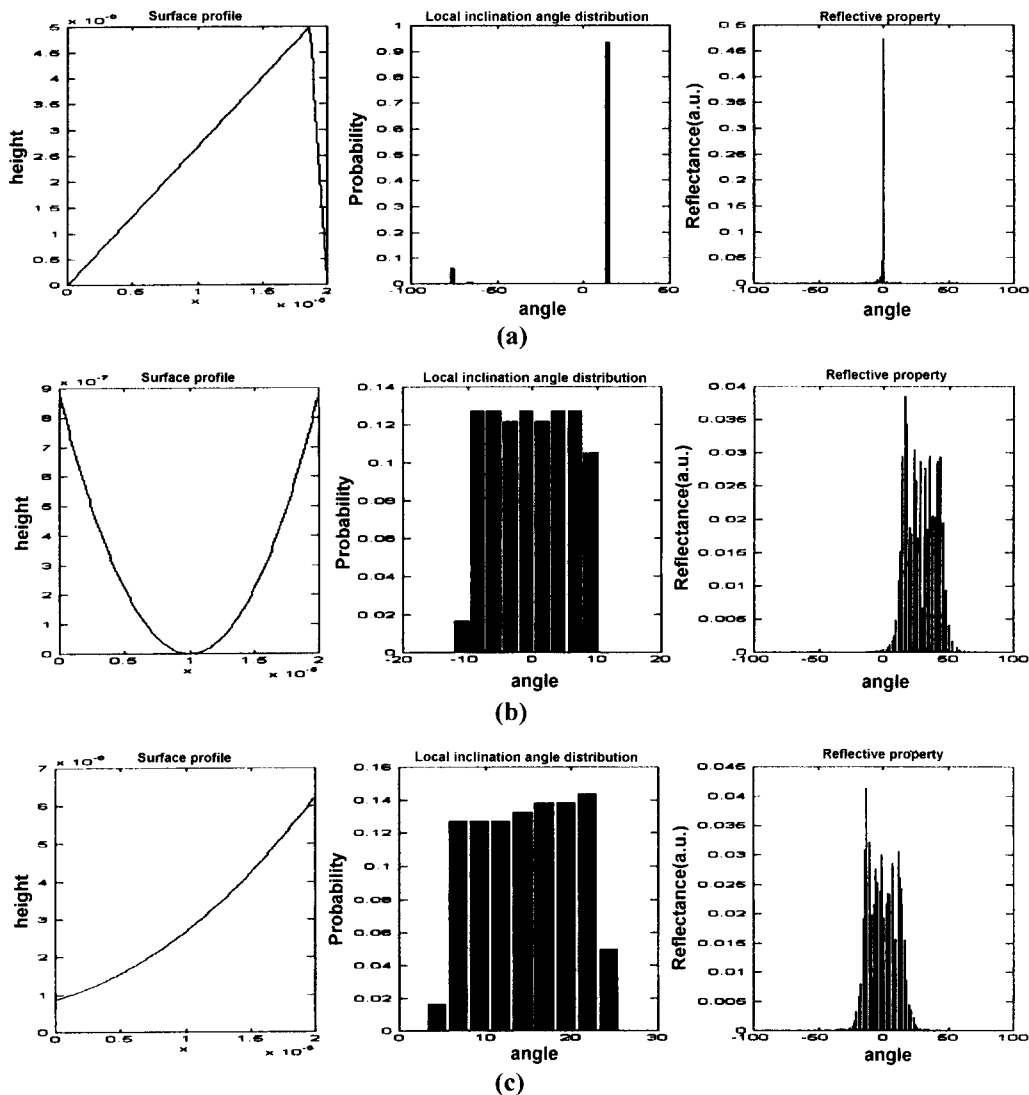


그림 9. 표면구조에 따른 반사특성 (30° 입사). (a) Blazed grating 표면구조, (b) Cusp 표면구조, (c) Blazed grating + Cusp 표면구조.

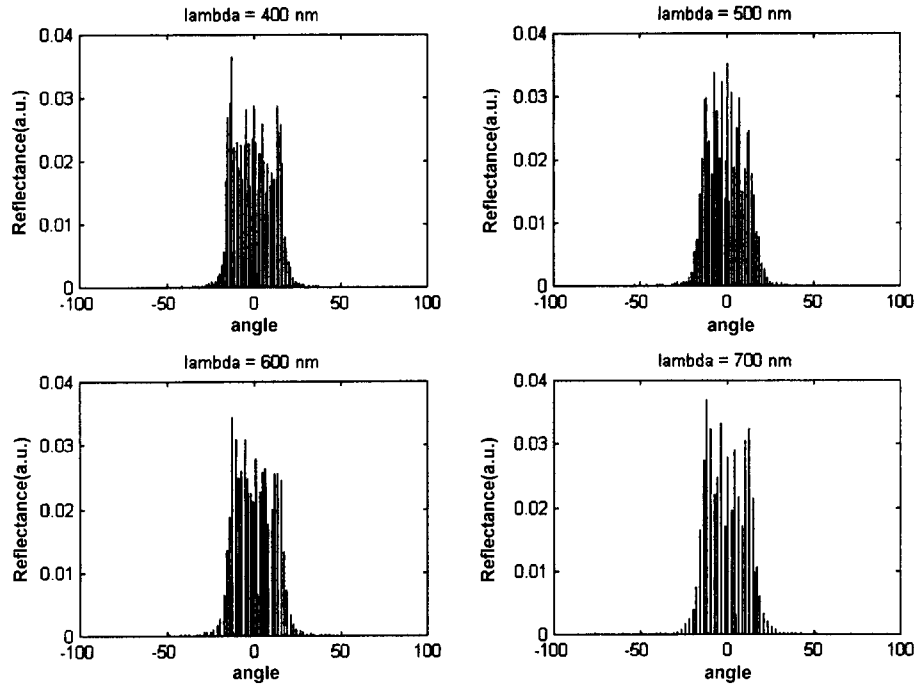


그림 10. 파장변화에 따른 반사특성 (왼쪽 위부터 시계방향으로 400, 500, 600, 700 nm).

그림 9(c)는 위의 두 결과에서 착안하여 *blazed grating*과 *cusped* 형태를 중첩시킨 표면구조에 빛이 30°로 입사한다고 가정했을 때 반사특성을 조사해 본 것이다. 이 경우 β 의 범위는 5°~25°이므로 결과적으로 대부분의 빛이 -20°~20°의 범위로 반사된다. 이러한 표면구조의 제작이 가능하다면 실제 디스플레이에서 표면반사에 의한 glare방향과 다른 방향으로 시야각을 형성하고 그 범위 내에서 균일한 밝기를 사용자에게 제공할 수 있다.

지금까지의 결과에서 계산에 단일파장과 격자구조를 사용함으로써 간섭현상으로 인한 반사되는 빛의 공간적 균일성에 문제가 있었다. 하지만 실제로 단일파장이 아닌, 가시광선의 파장영역(400~700 nm)에서 사용되므로 이러한 문제는 해결될 수 있다. 또한, 이렇게 설계한 반사표면이 파장에 따라 반사특성이 변하지 않는지 확인해 보기 위해서, 파장을 400, 500, 600, 700 nm로 바꾸어 가면서 반사특성을 계산하여 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 여기서 보면 파장이 변하더라도 반사되는 빛의 범위가 거의 동일함을 확인할 수 있다.

위의 결과들에서 주기적인 표면구조에서 한 주기가 지나는 경사각의 분포를 인위적으로 조절함으로써 사용자가 원하는 반사특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

반사형 LCD용 반사판으로 사용되고 있는 기존 금속 확산

반사판의 단점을 실험과 이론적 해석을 통해 확인하고, 이의 바람직한 개선방향을 조사하였다. 여러 가지 표면구조에 따른 반사특성을 해석해 봄으로써 표면구조와 반사특성사이의 관계를 밝히고, 이를 이용하여 반사형 LCD에서 디스플레이의 수직방향의 시야각 의존성을 개선할 수 있도록, 표면반사에 의한 glare방향과 다른 방향으로 시야각을 형성하는 동시에 특정한 시야각 내에서 균일한 반사율을 제공할 수 있는 1차원 반사표면구조를 설계하여 그 특성을 확인하였다. 이러한 반사표면구조를 실제로 제작하여 반사형 LCD에 적용한다면 고품질의 디스플레이를 실현할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] E. Mizobata, H. Ikeno, H. Kanoh, H. Hayama, S. Kaneko, *SID 96 Digest*, 149 (1996)
- [2] N. Sugiura, T. Uchida, *AM-LCD '95 Digest*, 153 (1995)
- [3] N. Sugiura, T. Uchida, *SID97 Digest*, 1011 (1997)
- [4] A. G. Chen, K. W. Jelley, G. T. Valliath, W. J. Molteni, P. J. Ralli, M. M. Wenyon, *J. SID*, 159 (1995)
- [5] P. Beckmann, A. Spizzichino. *The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surface*, (Pergamon/Macmillan, N.Y., 1963), pp. 3-69
- [6] T. Koizumi, T. Uchida, *P. SID*, 157 (1988)
- [7] I. Hiyama, O. Itou, K. Kondo, *SID97 Digest*, 655 (1997)
- [8] J. C. Stover, *Optical Scattering Measurement and Analysis*, (SPIE, Washington, 1995), pp. 29-57

Design of reflectors for reflective LCDs

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

Eung-Sang Lee
Samsung Display Devices Co. Ltd., Kyung-Ki Do, Korea

(Received August 28, 1998, Revised manuscript received October 26, 1998)

Reflectors for reflective LCDs are required to be able to control the direction of the image and viewing angle range for optimal display. To achieve these required characteristics, we performed elementary experiments on conventional reflectors, and theoretically analyzed the reflective property of rough surfaces by using scattering theory. We also proposed a reflector structure by which we can control the direction of the image and viewing angle characteristics simultaneously. If we fabricate and apply this reflector to the reflective LCDs, we can realize high performance display.