

반사형 LCD용 반사판의 표면구조의 최적화

김홍철* · 박원상 · 황용석 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

Ⓣ 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

(2001년 8월 2일 받음, 2002년 1월 29일 수정본 받음)

본 연구에서 우리는 반사형 LCD용 반사판을 최적화하고자 한다. 반사판의 새로운 표면구조를 체계적인 수식적 접근 및 분석을 통해 구한 후, 반사특성의 결과를 바탕으로 기존의 표면구조와 비교해서 보다 최적화된 표면구조를 제시하고자 한다. 반사특성의 결과로는 새로운 표면구조가 기존의 표면구조에 비해 동일한 시야각 범위에서 보다 균일한 반사를 분포를 나타내고 있으며, 또한 주변환경을 충분히 고려해서 사용자 위주의 자유로운 시야각 범위 조절이 가능함을 알 수 있다. 결과적으로, 새로운 표면구조는 보다 균일한 반사를 분포를 가지게 됨으로써, 기존의 반사형 LCD의 시야각 의존성을 상당부분 개선할 수 있으리라 본다.

주제어 : Reflector, Viewing angle, Beckmann's equations, Reflective LCDs, Surface structure.

I. 서 론

투과형 LCD는 무겁고 전체 전력소모의 약 70%이상을 차지하는 배면조명으로 인해 많은 불편 및 문제점을 안고 있다. 이러한 이유로 저소비전력과 경량박형의 반사형 LCD에 대한 요구는 더욱 더 증폭되고 있는 추세이다. 반사형 LCD는 주변광을 광원으로 사용하므로 높은 반사율과 주변환경을 고려한 시야각 특성을 요구한다. 반사형 LCD의 성능을 결정하는 요소로서는 반사판, 보상판 그리고 LCD의 구조가 있다. 특히, 본 연구의 주된 관심 영역인 반사형 LCD용 반사판은 최적의 디스플레이를 구현하기 위해 반사되는 빛의 방향을 조절하고 사용자 위주의 시야각 범위를 형성할 수 있도록 설계 및 제작되어야 한다. 그러므로, 반사판을 설계할 때 표면반사에 의한 glare 방향과 다른 방향으로 원하는 이미지의 시야각 범위를 형성하는^{1,2} 동시에, 특정한 시야각 범위내에서 균일한 반사율을 제공할 수 있도록 하는 것이 그 목표이다. 반사판에는 표면구조가 비주기적인 것과 주기적인 것이 있는데 사용자 위주의 시야각을 형성하기 위해 주기적인 표면구조를 다루었다. 하지만, 기존의 주기적인 표면구조는 이러한 반사특성을 구현하는데 여러 가지 한계와 문제점을 드러내고 있다. 이에 본 연구에서는 전혀 새로운 형태의 반사표면구조를 제안함으로써, 기존의 표면구조에 비해 보다 개선된 반사특성을 찾아내고자 하였다. 요컨대, 평균입사각 등의 주변환경의 변화에 따라 자유로운 설계가 가능하도록 할 것이며, 그와 더불어 사용자의 요구조건에 충분히 부합될 수 있도록 요구하는 시야각 범위 내에서 균일한 반사율 분포를 가지는 사용자 위주의 반사특성을 구현할 수 있는 표면구조를 개발하고자 하였다.

II. 기존의 표면구조의 반사특성

본 연구에서 취급하게 될 기존의 주기적인 표면구조로는 이미 일본에서 개발되어 발표된 2차 함수의 수식으로 표현되는 cusp profile^{3,4}과 본 연구실에서 이전에 발표한 $\ln[\cos(ax+b)]$ 의 함수형태로 표현되는 LNCOS profile⁵⁻⁸로서, 그 이전의 반사표면구조에 비해 반사특성이 현저하게 개선된 표면구조들이다. 먼저 각 profile들의 그 원리와 개발배경에 대해 잠시 살펴보면 표면이 주기적인 경우, 그 이론적 해석을 위한 Beckmann 방정식은 (1)과 같다.¹⁰

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

$$W = \frac{\sin 2np\pi}{2n \sin p\pi} e^{ipx}$$

$$F_3 = \sec \theta_i \frac{1 + \cos(\theta_i + \theta_o)}{\cos(\theta_i + \cos \theta_o)}$$

$$p = \frac{\Lambda}{\lambda} (\sin \theta_i - \sin \theta_o)$$

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

$$v \cdot r = \frac{2\pi}{\lambda} [(\sin \theta_i - \sin \theta_o)x - (\cos \theta_i + \cos \theta_o)\zeta(x)] \quad (1)$$

이때, 산란계수(Scattering coefficient) ρ 는 입사광의 전계의 크기에 대한 반사각에 따른 반사광의 전계의 크기의 비를 나타내며, W 는 산란과 밀접히 관계되는 인자이고, F_3 는 입사각 θ_i 와 반사각 θ_o 로 이루어진 인자이다. 또한, p 는 일반화된 grating equation에 해당하며, n 과 n_1 은 각각 반사표면의 길이 L 과 주기 Λ 의 비의 정수부분과 소수부분에 해당한다. 그리고, $O(n_1/n)$ 는 correction term으로서 edge effect를 나타내며, L/Λ 이 정수가 되면 무시할 수 있다. $\zeta(x)$ 는 한 주기가

*E-mail: thestone@hyowon.pusan.ac.kr

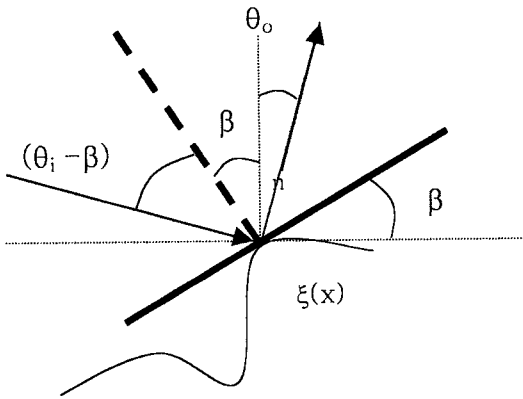


그림 1. 표면구조에서 반사가 조절 원리.

지니는 표면구조(surface profile)의 함수이다. 그러면, 위 수식을 바탕으로 특정한 주기적인 표면구조에서의 반사특성을 살펴 볼 수 있으며, 반사형 LCD용 반사판은 주변환경의 평균 입사각을 충분히 고려해서 사용자 위주의 시야각을 형성할 수 있는 반사특성을 나타내도록 설계된다. 표면구조에 따른 반사각 조절 원리는 그림 1과 같다. 여기서, θ_i 는 입사각, θ_o 는 반사각, β 는 표면 경사각을 나타낸다. Cusp 표면구조는 표면 경사각에 해당하는 각 지점에서의 기울기 분포를 선형적인 일차함수 분포로 뒀으므로 시야각 방향에 따른 반사율의 분포를 균일하게 유지시키고자 하였다. 그러한 결과로 기울기인 일차함수를 적분하게 되면 실제 표면함수인 2차함수의 수식적 표현이 유도된다. 유도된 2차함수가 바로 cusp 표면구조의 수식적 표현이라고 할 수 있다. 반면에 LNCOS profile은 cusp과는 달리 표면구조의 각 지점에서의 표면경사각 분포를 선형적인 일차함수 분포로 설정함으로써 시야각 방향에 따른 반사율의 분포를 보다 균일하게 유지시키고자 하였다. 표면경사각을 일차함수로 두고 전개시키면 결과적으로 $\ln[\cos(ax+b)]$ 라는 함수형태의 수식적 표현이 유도된다. 그러면, 각 profile의 반사특성을 살펴보면 그림 2, 3과 같다. 그림 2는 cusp profile에서 수직입사(입사각 0°)와 비스듬히 입사(입사각 30°)할 때의 반사특성을 나타내고 있다. 그림 2(a)에서 보는 바와 같이, 수직입사시에는 비교적 균일한 반사율 분포를 나타내고 있다. 물론, 중심 시야각 0(주변에서 상대적으로 낮은 반사율을 나타내고 있으며, 시야각 범위가 넓어짐에 따라 이러한 현상은 보다 뚜렷히 드러남을 알 수 있다. 그림 2(a)에서 최대 경사각은 profile이 수평한 면과 이루는 표면경사각의 최대값을 의미하며, 이 각의 조절에 의해 시야각 범위를 자유롭게 조절할 수 있다. 하지만, 실제로 주변광이 반사형 디스플레이에 입사하는 방향은 수직입사보다는 비스듬히 입사하는 경우가 더욱 일반적이며 현실적인 고려라고 할 수 있다. 특히, 일반적인 사무실 환경에서의 평균입사각은 대략 30°에 해당하므로 보통 비스듬한 입사라고 하면 이 방향을 의미한다. 본 논문에서도 비스듬한 입사각은 주로 30°로 간주하였다. 비스듬한 입사시의 반사특성은 cusp profile에 blazed grating을 중첩시킨 표면구조(blazed+cusp profile)⁹⁾에서 살펴볼 수 있으며 그 결과는 그림 2(b)와 같다. 그림 2(b)는 시야각 범위를 일정하게 유지시키면

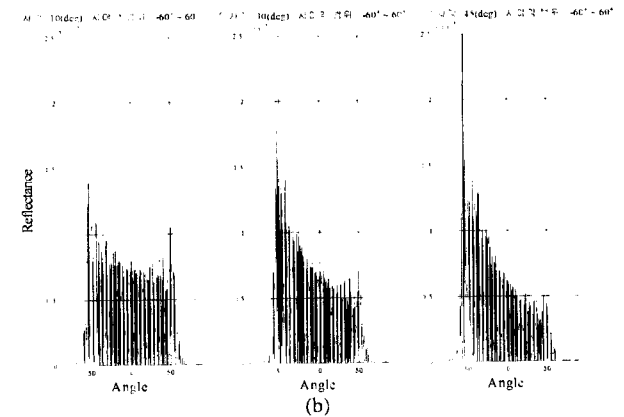
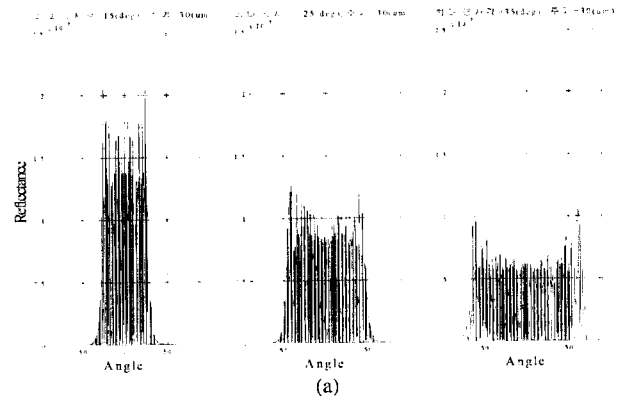


그림 2. Cusp profile의 반사특성 (a) 수직입사(입사각 0°) (b) 비스듬히 입사(입사각 30°).

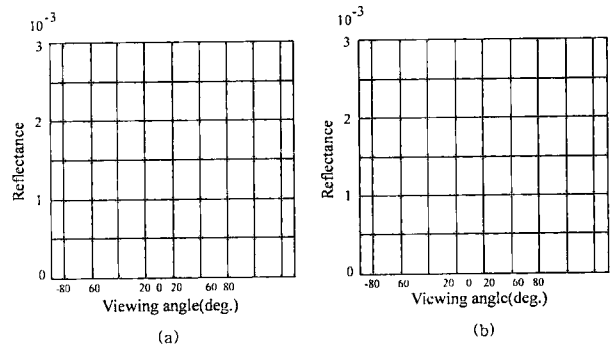


그림 3. LNCOS profile의 반사특성 (a) 수직입사(입사각 0°) (b) 비스듬히 입사(입사각 30°).

서 입사각만 10°, 30°, 45°로 달리하여 나타난 반사특성의 결과이다. 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 각이 기울어지면 반사율의 분포는 불균일한 특성뿐만 아니라, 시야각의 좌우 대칭성마저 깨어져서 어느 특정방향에 대한 시야각 의존성이 커지는 결과로 나타난다. 또한, 각의 비스듬한 정도가 크면 클수록 이러한 현상은 더욱 더 심각해짐을 알 수 있다. 반면에 그림 3은 LNCOS profile의 반사특성을 나타낸 결과이다. 그림 3(a)에서 보는 바와 같이, 수직입사시의 반사특성은 앞서 설명한 cusp에 비해서 보다 균일한 반사율 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 무엇보다도 그림 3(b)에서와 같이 비스듬한 각으로 입사할 때의 반사특성은 cusp에 비해 현저하게 향상된 결

과를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, LNCOS profile은 cusp에 비해 전반적으로 보다 향상된 반사특성을 나타낸다. 하지만, 여전히 균일하지 못한 반사율 분포를 나타내고 있으며, 특히 비스듬히 입사할 때의 반사율 분포는 좌우 불균형이 여전히 심각한 수준임을 알 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 상대적으로 반사율이 낮은 방향에 대해서 다른 형태의 표면구조로 보상을 해 준다거나, 혹은 근본적으로 새로운 표면구조로의 접근이 필요하다고 할 수 있다.

III. 균일한 반사율 분포를 지닌 표면구조로의 최적화

앞서 검토했듯이 기존의 반사표면구조에서는 비스듬히 입사할 때, 반사율의 분포가 여전히 눈에 띄게 불균일한 특성을 나타내었다. 따라서, 이번 장에서는 기존의 반사표면구조의 한계와 문제점을 해결하여 수직입사뿐만 아니라, 비스듬한 각으로 입사시에도 보다 균일한 반사율의 분포를 가지는 새로운 표면구조로 개선하고자 한다.

3.1. 표면경사각 결정

우선 새로운 표면구조로 접근하기에 앞서 사용자가 주변환경에 적합한 시야각 범위를 요구했을 때, 그에 따라 profile의 표면경사각이 어떻게 결정되어서 표면구조가 형성되는지 그 수식적 전개과정을 살펴보았다.

반사각 조절의 원리에 의하면, 그림 1에서 보는 바와 같이 반사각 $\theta_0 = \theta_i - 2\beta$ 이다. 만약, 사용자가 요구한 시야각 범위가 $\theta_L \leq \theta_0 \leq \theta_R$ 이라면 결정되는 표면경사각은 다음과 같다.

$$\tan \beta = z'(x)$$

$$\frac{\theta_i - \theta_R}{2} \leq \beta \leq \frac{\theta_i - \theta_L}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_i - \theta_R}{2} \leq \tan^{-1}[\zeta'(x)] \leq \frac{\theta_i - \theta_L}{2} \quad (2)$$

위 식에서 β 는 표면경사각, θ_i 는 주변환경에 따른 평균입사각, θ_R 은 요구한 시야각 범위의 오른쪽 최대값, θ_L 은 왼쪽 최대값을 의미하며, $\zeta(x)$ 는 surface profile함수이다. 그러면, 식 (2)을 근거로 특정 profile에 적용함으로써 사용자의 요구조건에 맞는 surface profile이 설계될 수 있다.

3.2. 새로운 표면구조로의 최적화

앞장에서 cusp profile에 비해 보다 개선된 표면구조인 LNCOS profile을 소개하였다. 이는 상당부분 반사특성이 향상되었다고 볼 수 있다. 하지만, 비스듬한 각으로 입사할 때 여전히 반사율의 불균형과 균일하지 못한 반사율 분포를 드러내고 있다. 이를 좀더 개선, 보완하기 위해 다른 형태의 표면구조들에 대해 살펴보았다.

우선 비스듬한 입사를 고려해서 어떤 방향에서도 대칭성을 유지하는 원모양의 표면구조에 대해 검토해 보았다. 이를 본 논문에서는 ‘Circular profile’이라 명명한다.^{16,8)} 그리고, 그 요구 시야각 범위가 주어지면 표면경사각을 결정하는 식 (2)에 ‘Circular profile’ 표면구조식을 대입하면 수식적 표현과 인자

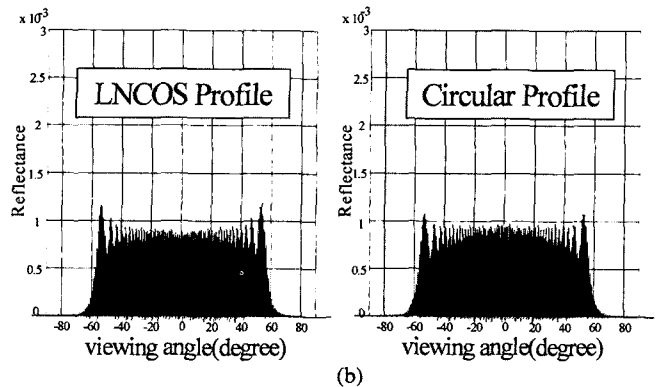
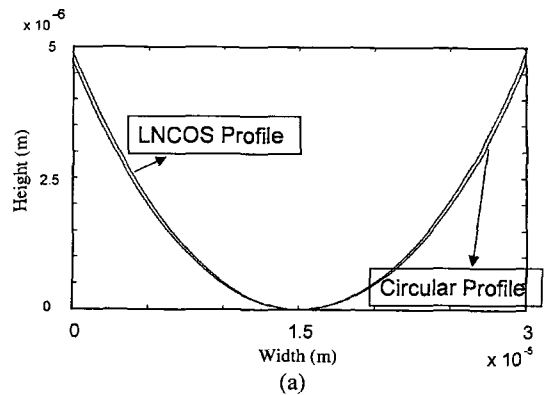


그림 4. LNCOS profile과 Circular profile의 표면구조 및 반사특성 비교(수직입사, -60°~60°) (a) 표면구조 비교 (b) 반사특성 비교.

들은 식 (3)와 같이 표현된다.

요구 시야각 범위 : $\theta_L \leq \theta_0 \leq \theta_R$, 평균입사각 : θ_i

$$\zeta(x) = R - \sqrt{R^2 - (x - tT)^2}$$

$$R = r \times T$$

$$r = \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta_L + \theta_i}{2}\right) - \sin\left(\frac{\theta_R + \theta_i}{2}\right)}$$

$$t = \frac{\sin\left(\frac{\theta_R + \theta_i}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\theta_R + \theta_i}{2}\right) - \sin\left(\frac{\theta_L + \theta_i}{2}\right)} \quad (3)$$

위 식에서 R 은 원의 반지름을 의미하며, r 과 t 는 시야각 범위와 평균입사각에 의해 결정되는 인자이다.

식 (3)를 이용한 반사특성을 앞장에서 언급한 LNCOS profile과 비교 및 분석해 보았다. 그림 4에서 LNCOS profile과 Circular profile간의 표면구조 형태 및 반사특성을 비교해 놓았다. 그림에서 보는 바와 같이 표면구조는 거의 비슷한 형태를 띠고 있지만, 반사특성은 다소 차이점을 나타내고 있다. 물론, 그림 4은 수직입사시의 표면구조 및 반사특성이라 두드러진 차이점은 없다. 하지만, 비스듬히 입사하게 되면 점차 그 차이점이 뚜렷해진다. 그림 5와 6에서 그 결과를 확인할 수 있으며, Circular profile은 어떠한 시야각 범위에서도 거의 균일한 반사율 분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 다소

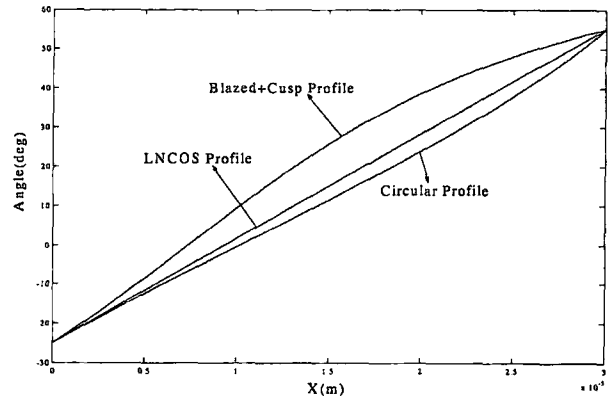
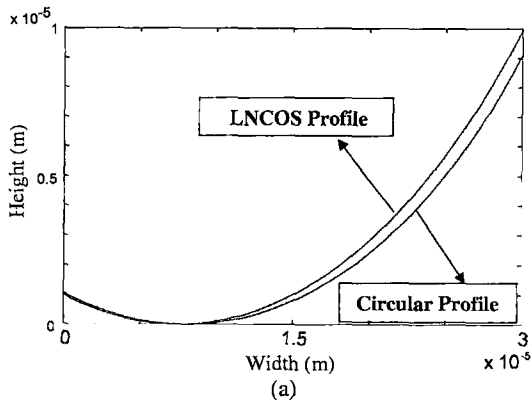


그림 7. Profile들간의 표면경사각 분포 비교(30° 입사, -80°~80°).

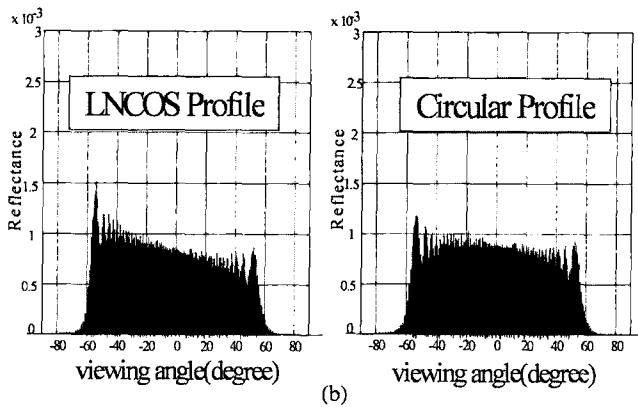


그림 5. LNCOS profile과 Circular profile의 표면구조 및 반사특성 비교(30° 입사, -60°~60°) (a) 표면구조 비교 (b) 반사특성 비교.

에서 낮은 반사율의 분포를 나타내는 시야각 부분을 보상해주는 역할을 한다고 볼 수 있다. 그림 7은 30°로 비스듬히 입사할 때 이러한 세가지 표면구조의 표면경사각 분포를 나타내고 있으며, 보다시피 Circular profile은 다른 profile들의 표면경사각의 증가위치에 비해 아래쪽에 자리하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 시야각 범위를 좌우시야각으로 보았을 때, 30° 입사시에 오른쪽 시야각 부분이 왼쪽에 비해 반사율이 상대적으로 크게 낮아서 오른쪽 시야각을 형성하게 되는 왼쪽부분의 표면경사각의 증가속도를 늦춤으로써 이 부분에서 입사광이 반사할 때 차지하는 반사판의 표면적을 보다 넓게 해주었다. 이러한 결과로 반사율의 전체적인 분포가 균일한 모습을 띠게 되는 것이다. 이처럼 30°로 비스듬히 입사해서 이 정도 수준의 반사율의 분포를 구현해 낼 수 있다는 것은 기존의 profile들의 문제점을 현저하게 개선하였다고 볼 수 있다.

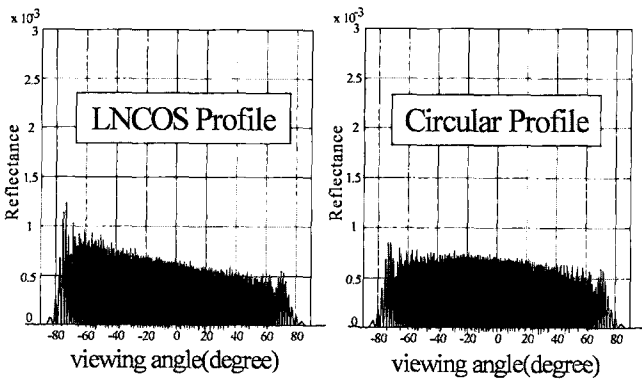


그림 6. LNCOS profile과 Circular profile의 반사특성 비교(30° 입사, -80°~80°).

IV. 결 론

본 논문에서는 반사형 LCD의 성능향상을 위한 방법들 가운데에서 중요한 영역중의 하나인 반사형 LCD용 반사판의 표면구조를 최적화하였다. 기존에 일본에서 개발한 cusp profile은 수직입사시에 비교적 균일한 반사율 분포를 나타내었다. 하지만, cusp profile에 blazed grating을 중첩시켜서 비스듬히 입사하게 되면 시야각에 따른 반사율의 좌우 대칭성이 깨어지면서 반사율 분포의 균일성이 급격히 떨어지게 되었다. 즉, cusp profile은 시야각 의존성이 상당히 크다고 할 수 있다. 따라서, 이러한 문제점을 어느 정도 해결한 표면구조가 LNCOS profile로서, 이는 표면경사각의 선형적 분포를 바탕으로 균일한 반사율의 분포를 얻고자 하였다. 수직입사뿐만 아니라, 비스듬히 입사할 때의 반사특성은 cusp profile에 비해 상당히 개선되었다. 하지만, 여전히 시야각에 따른 반사율의 분포는 균일하지 못하였으며 좌우 시야각의 반사율 차이는 제법 뚜렷히 구별되는 수준이었다. 따라서, 이러한 문제점을 좀 더 개선하기 위한 노력으로 접근한 표면구조가 Circular profile로서, 이는 원의 독특한 기하학적 특성이라 할 수 있는 대칭적 구조를 고려해서 접근한 표면구조이다. 특히, 기존의 profile들과는 달리 표면경사각의 증가율이 느리다가 점차 커

약간의 반사율의 불균형이 남아 있어서 중심 시야각 0°를 기준으로 한 좌우 대칭성이 깨어지지만 전체적으로 거의 균일한 반사율의 분포를 구현해 내고 있으며 기존의 profile의 한계와 문제점을 상당부분 개선하였다고 볼 수 있다. 이는 원(circle)이라는 기하학적 구조의 특징 때문이라 볼 수 있으며, 특히 표면경사각의 분포면에서 Circular profile은 blazed+cusp profile¹⁾ 및 LNCOS profile에 비해 profile의 x값 변화에 따른 표면경사각의 증가율이 상대적으로 떨어진다고 할 수 있다. 따라서, 이러한 특성이 blazed+cusp profile과 LNCOS profile

지는 경향을 나타내었다. 이러한 경향성이 낮은 반사율을 나타내는 시야각 부분을 보상해 줌으로써 거의 균일한 반사율 분포를 나타내었으며, LNCOS profile에 비해서도 보다 우수한 반사특성을 나타내었다. 이는 비스듬한 입사시에도 사용자 위주의 거의 완벽한 반사특성을 구현할 수 있음을 의미한다.

참고문헌

- [1] 백흥일, 우성일, 이기동, 김재창, 윤태훈, "반사형 LCD를 위한 반사판의 설계," 제2회 한국 정보디스플레이 학술대회 논문집, pp. 5-6, 1998.
- [2] 백흥일, 이기동, 윤태훈, 김재창, "반사형 LCD를 위한 반사판의 설계," 제3회 광정보처리 학술발표회, vol. 3, no. 1, pp. 18-21, 1998.
- [3] N. Sugiura and T. Uchida, "Optimization of property of reflector for reflective color LCDs," *AM-LCD'95 Digest*, 1995, pp. 153-156.
- [4] N. Sugiura and T. Uchida, "Designing bright reflective full-color LCDs using an optimized reflector," *SID97 Digest*, Boston, USA, 1997, pp. 1011-1014.
- [5] J. C. Kim, W. S. Park, H. C. Kim, G.-D. Lee, and T.-H. Yoon, "Optimization of morphology of reflective LCDs," *Mol. Cryst. and Liq. Cryst.*, vol. 368, pp. 175-182, 2001.
- [6] H. C. Kim, W. S. Park, G.-D. Lee, T.-H. Yoon, and J. C. Kim, "Optimization of the surface structure of reflector for reflective LCDs," *IDMC 2000*, Seoul, Korea, 2000, pp. 279-282.
- [7] J. C. Kim, W. S. Park, H. C. Kim, G.-D. Lee, and T.-H. Yoon, "Optimization of morphology of reflector for reflective LCDs," *ILCC 2000*, Hiroshima, Japan, 2000, p. 595.
- [8] 김홍철, "반사형 LCD용 반사판의 표면구조의 최적화," 부산대학교 석사학위논문, 2001.
- [9] 백흥일, "반사형 LCD의 성능향상에 관한 연구," 부산대학교 석사학위논문, 1999.
- [10] P. Beckmann and A. Spizzichino, "The scattering of electromagnetic waves from rough surface," pp. 3-69, (Pergamon/Macmillan, N.Y., 1963).

Optimization of the surface structure of reflector for reflective LCDs

Hong Chul Kim[†], Won Sang Park, Yong Soek Hwang, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim

Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

[†]*E-mail: thestone@hyowon.pusan.ac.kr*

(Received August 2, 2001 ; revised manuscript received January 29, 2002)

Reflectors for reflective LCDs must be designed to be able to control the direction of the image and the viewing angle range for optimal display. In this paper, we tried to optimize the reflector for reflective LCDs. The conventional surface structures showed many defects and problems. Therefore we made efforts to improve the surface structures of the conventional reflectors through both a theoretical approach and analytic work. As a result, we proposed surface structures which showed almost uniform reflectance within the viewing angle range specified by a user even at any oblique incidence. By using Beckmann's equations, we could check the reflective property of the proposed surface structures.

Classification code : DT.010.