

나노미터 패턴 회절격자 도광판의 광특성

Optical Characteristics of LGP with Nanometer-patterned Grating

홍진수*, 김창교, 이병욱, 이명래

(Chinsoo Hong, Chang-Kyo Kim, Byoung-Wook Lee, and Myoung-Rae Lee)

Abstract : The LGP with nanometer structures resulted in enhancement of optical efficiency. Its fundamental mechanism is to recycle the polarized light via one round-trip through QWP(Quarter-Wave Plate) but the maximum efficiency to reach with this method is limited up to 2. To get the larger efficiency than this limited one a LGP with nanometer-patterned grating is suggested. For its optimum design the computer simulation is performed and suggests a grating that the spatial frequency between adjacent patterns is 500nm, its height 250nm, duty cycle 50%, and its cross section is rectangular. On the basis of simulation results the LGP with nanometer-patterned grating is fabricated and its optical properties such as angular intensity distribution and CIE color coordinates are characterized. The angles of transmitted light are nearly the same as the results expected from the generalized Snell's law. Thus the Mathematica code, developed in this experiment, will be applied to designing the optimized LGP. The LGP with nanometer-patterned grating shows the enhancement of transmitted intensity distribution up to 4.9 times.

Keywords : LGP(Light-Guided Plate), nanometer pattern, grating, Snell's law, backlight unit, simulation, CIE color

1. 서론

모바일이나 개인 휴대용 단말기에서 BLU(Backlight Unit)는 얇고, 가볍고, 휘도가 좋아야 한다는 시장의 요구가 있다. 보통의 BLU에서는 광원, 반사체 및 도광판 이외에 한 개의 확산판과 2장의 프리즘 시트를 사용하여 측면에서 방출된 빛을 면광원으로 변환시키는데 이때 변환효율을 향상시키면 배터리의 수명을 연장하는 효과가 있다. BLU 모듈에서 광에너지의 약 60% 이상이 소모된다.

보통 도광판은 가시광선 영역에서 투명하며 바닥면에 도트 형태의 돌기가 있고, 확산판은 돌기의 상이 뚜렷이 보이는 현상을 제거하고 도광판 면 방향으로 출사하는 빛을 일정 각도로 세워주는 역할을 한다. 프리즘 시트는 이렇게 세워진 빛을 모아주어 방향성 휘도를 향상시키는 역할을 한다.

주기적으로 마이크로 패턴이 형성된 면에 빛이 입사하면 스넬법칙이 적용되어 반사광선과 투과광선은 각기 한 개의 방향으로 진행된다.

나노패턴이 주기적으로 배열된 구조체에 빛이 입사하면 일반화된 스넬법칙을 적용해야 하며 이때 반사광선과 투과광선은 입사조건(입사각, 편광 등)과 패턴의 속성인 공간주기에 따라 광선의 개수와 방향이 결정된다. 투과율과 반사율은 패턴의 속성(패턴의 모양, 패턴 매질의 굴절률 등)에 따라 달라진다.

패턴이 형성되지 않은 평판으로 측면에서 입사한 광선이 임계각보다 큰 각도로 입사하면 전반사가 일어나서 광선이 투과될 수 없게 된다. 마이크로 패턴을 평판에 형성시키면 전반사 조건이 완화되어 투과광선이 발생한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

홍진수, 이명래 : 순천향대학교 전자물리학과

(schpch@sch.ac.kr/lmr8104@naver.com)

김창교, 이병욱 : 순천향대학교 전자정보공학과

(ckkim1@sch.ac.kr/zsleep@hanmail.net)

※ 본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

도광판의 바닥면에 마이크로 크기의 프리즘을 형성시켜 도광판 윗면으로 측면 광원에서 출사된 빛을 직접 반사 및 투과시킬 수 있는데 마이크로 크기의 입자를 포함한 고분자 필름을 이용하여 62% 광효율을 얻으며 광학 필름을 필요로 하지 않는다[1]. 이 방법의 문제는 쇄기 모양의 도광판을 제작해야 하는 문제와 도광판에서 출사되는 빛의 각도를 조절할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

도광판의 바닥면에 V형 홈을 새기고, 이 패턴에 입사한 광선이 도광판의 수직방향으로 빛이 출사되도록 패턴의 형상을 제작한다. 그 밑에 반사판을 사용하지 않고, V형 패턴 면에 금속박막을 직접 코팅하면 광학 필름을 사용하지 않고, 패턴의 모양에 따라 출사각을 조절할 수 있는 도광판을 만들 수 있다[2]. 이때 도광판의 출사각은 수직법선에 대하여 25° 이하가 되며 휘도 균일도는 86% 이상이다. 빛의 출사각이 수직법선 방향이 되는 마이크로 프리즘 형태는 전산모사를 사용하여 얻었으며 이 패턴을 도광판의 바닥면에 형성시키고, 도광판 윗면에는 마이크로 패턴을 직접 제작하였다. 프리즘의 각도를 조절하여 최대 휘도의 출사각이 수직법선에 대하여 $-20^\circ \sim 40^\circ$ 로 변화시킬 수 있다. 균일한 휘도를 얻기 위하여 도광판 바닥면에 있는 마이크로 프리즘 형태의 배치(프리즘의 크기와 밀도)를 조절하였는데 이 방법의 단점은 아직도 휘도 균일도가 낮다는 것이다.

투명한 다중필름을 사용하면 굴절률을 효과적으로 조절할 수 있으며 빛의 입사방향에 따라 비등방성 효과를 구현할 수 있다. 비등방 물질에서 반사된 빛과 투과된 빛은 각기 다른 편광을 가지는데 반사된 편광의 빛은 편광기를 2번 통과하여 투과된 빛의 편광으로 변환시켜 휘도를 향상시키는 방법이다[3].

LCD에서 액정 양면에 편광기를 사용하므로 BLU에서 액정을 통하여 투과되는 광선은 특정방향으로 편광되어 있다. 따라서 이에 수직방향으로 편광된 빛은 사용할 수 없어 광효율은 그만큼 떨어지게 된다. 이같이 사용할 수 없는 편광의 빛을 반사시켜 QWP(Quarter-Wave Plate)를 통과시킨 후 이 빛

이 반사판에서 반사되어 다시 한 번 QWP를 통과하면 편광 방향이 바뀌게 되어 도광판의 광효율이 향상된다. 선택적으로 편광방향에 따라 빛을 반사 또는 투과시키는 기능을 하는 소자로서 회절격자가 있다. 회절격자를 사용하는 도광판은 높은 휘도 균일도, 적은 부피 및 설계의 유연성 등의 특징을 보인다[4].

나노미터 패턴 편광기를 장착한 방법은 회절격자 방향으로 편광된 빛인 TE-wave (s-편광)과 회절격자에 수직방향으로 편광된 TM-wave (p-편광) 및 QWP를 모두 사용하여 광효율을 높인다[5].

이와 비슷한 방법으로 QWP 대신에 필름에 외부 스트레스를 가하여 복굴절 현상을 유도할 수 있다[6]. 그러나 이 방법은 출사각을 직접 조절할 수 없으므로 색필터가 필요하게 된다. 이 방법의 장점은 프리즘 시트를 필요로 하지 않고, 고가의 광학부품인 QWP를 사용하지 않아도 된다. 도광판 윗면에 알미늄 재질로 나노미터 패턴의 회절격자를 형성시켜 특정 방향으로 편광된 빛은 투과하고, 다른 방향으로 편광된 빛은 반사하게 된다. 즉, p-편광은 투과시키고, s-편광은 반사된다. s-편광된 빛은 스트레스로 유도된 도광판을 두 번 통과함으로써 s-편광이 p-편광으로 바뀌게 되며 이렇게 변환된 편광의 빛은 회절격자를 통과한다. 따라서 저렴한 비용으로 편광기를 구현할 수 있는 장점이 있다. 이 방법에서 최적 스트레스를 인가하기 위하여 도광판 표면에서 인가한 스트레스의 크기와 방향이 매우 중요하다. RGB 세가지 색깔의 대표 파장(625nm, 533nm, 452nm)이 도광판을 왕복할 때 생기는 위상변화는 $(2n+1)\pi$ (n은 정수)이 되도록 한다. 나노미터 패턴 회절격자는 RCWA(Rigorous Coupled-Wave Analysis) 알고리즘을 채택하여 Monte Carlo 방법으로 최적화 설계하였으며 패턴 사이의 간격인 공간주기(spatial frequency)는 140nm, 패턴의 duty cycle은 50%이며 패턴의 높이는 160nm이다. 도광판 바닥면에는 V형 홈을 생성시켰으며 정점의 각도는 74° , 빛면의 각도는 53° 이다. 광원은 LED 어레이를 사용하였다. 결과적으로 보통 도광판 결과와 비교하여 2배의 휘도 향상이 되었다. 도광판 바닥면에 형성된 프리즘의 크기와 밀도를 최적화하여 78% 이상의 휘도 균일도를 얻었다. 나노미터 패턴 회절격자에 입사하는 입사각이 40° 이하가 되면 p-편광된 빛의 투과는 매우 커지고, s-편광된 빛의 반사는 매우 커져서 이렇게 편광된 빛의 투과율 비인 대조비(contrast ratio)는 11,000 보다 커진다.

확산판으로 공간주기가 0.1~10 μm 인 회절격자를 사용한 방법이 있는데[7] 도광판의 형태가 쇠기 형태가 되어 가공하기 어렵다.

출사각을 조절할 수 있고, 색필터가 불필요하여 저비용으로 휘도를 향상시킬 수 있는 방법이 제안되었다[8]. 이 방법은 편광 도광판이며 편광기로서 나노미터 회절격자를 사용하였고, 세 색깔은 435.8nm, 546.1nm, 700nm를 기준으로 분석하였다. 나노미터 회절격자를 설계하기 위하여 RCWA[9] 알고리즘으로 분석하였으며 이 회절격자를 같은 기능을 하면서 가공하기 쉬운 sinusoidal 형태로 하였다. 투과가 가장 잘 되는 첫번째 회절오더의 투과율을 가지고 회절격자의 높이를 350nm로 결정하였다. 이때 입사각이 45° 정도되면 이론적

으로 최대 투과율은 44%가 된다. 색필터가 없는 구조이므로 추정되는 색이 부딪히는 회절격자의 공간주기는 색깔에 따라 달라진다. R에 대한 공간주기는 651.28nm, G에 대한 공간주기는 508.09nm, B에 대한 공간주기는 405.47nm.이다.

나노미터 패턴 공간주기를 변화시키면 출사각 조절이 가능하다. 그러나 이 방법에서 입사각을 45° 이하로 유지하고 나노미터 패턴 회절격자에 한 가지 방향으로 빛이 입사할 수 있도록 도광판을 설계하는 것은 어려운 문제로 남는다.

도광판 윗면에 나노미터 회절격자를 200nm 공간주기로 배치하면 광효율은 1.3배 향상된다[10].

나노미터 회절격자가 휘도를 향상시킨다는 가능성은 Chien에 의하여 발표되었다[11]. 도광판의 바닥면은 마이크로 구조이며 윗면은 나노미터 회절격자이다. 편광된 빛을 재활용하여 휘도 향상이 1.7배 이루어졌다.

도광판 내부의 면에서 반사한 빛은 효과적인 관점에서 편광방향이 바뀔 수 있다. 따라서 LED에서 방출되는 빛이 s-편광과 p-편광 중 어느 한 편광으로 더 많이 분포할지라도 도광판을 통하여 투과되는 광선은 두 편광이 거의 절반씩 차지한다. 앞에서 살펴본 방법들은 사용하지 않는 편광된 빛을 재활용하는데 기본적으로 광효율은 2배 이하가 된다. 광효율의 향상 정도와 동일하게 도광판을 통한 빛의 투과가 있게 된다. 본 논문에서는 광효율을 2배 이상 높일 수 있는 방법으로 나노미터 패턴 회절격자를 제안한다. 본 논문에서는 이런 회절격자를 설계하기 위하여 광선추적 전산모사법을 사용하였다.

II. 전산모사 방법

그림 1은 도광판 바닥면에 생성된 마이크로미터 패턴으로 입사하는 빛의 반사와 투과를 보여준다.

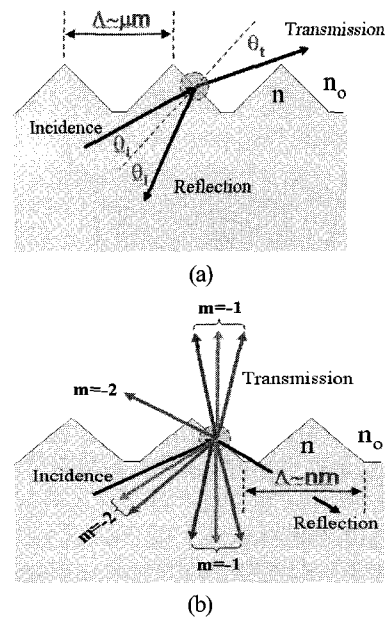


그림 1. (a) 마이크로미터 패턴, (b) 나노미터 패턴에서 빛의 반사와 투과.

Fig. 1. Reflection and transmission of (a) micrometer patterns, (b) nanometer patterns.

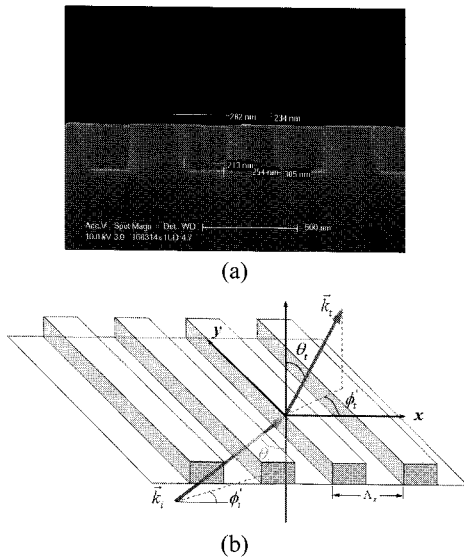


그림 2. (a) 나노패턴된 실리콘 형상, (b) 나노미터 패턴 회절 격자에 입사하는 빛의 투과.

Fig. 2. (a) A nanometer patterned silicon mold, (b) incident light to the nanometer-patterned grating.

그림 1(a)에서 광선이 패턴이 형성된 면에 입사하면 수직 법선을 기준으로 투과각은 스넬법칙

$$n \sin \theta_t = n_0 \sin \theta_i \tag{1}$$

을 만족한다. 그림 1(b)는 나노미터 패턴에서 반사와 투과되는 현상을 보인 것이며 일반화된 스넬법칙에 의하여 반사각과 투과각이 결정된다. 그림 1에서 나노미터 패턴은 마이크로미터 패턴과 비교하여 수직법선 방향으로 빛이 투과된다.

그림 2는 나노미터 패턴의 회절격자에 (θ_i, ϕ_i) 로 입사하는 광선의 투과각을 보인 것이다.

회절격자의 공간주기 Λ_x 는 전달벡터(propagation vector) 성분

$$k_{\Lambda_x} = \frac{2\pi}{\Lambda_x} m_x \tag{2}$$

을 가지며 m_x 는 회절오더이고 정수값을 갖는다. 경계면에서 입사광선, 투과광선 및 반사광선의 접선방향의 성분이 연속한다는 조건을 이용하여 투과광선의 방향 (θ_t, ϕ_t) 가 결정된다.

$$\begin{cases} \sin \theta_t = \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 \theta_i + 2n \sin \theta_i \frac{\lambda_0}{\Lambda_x} m_x \cos \phi_i + \frac{\lambda_0^2}{\Lambda_x^2} m_x^2}}{n_0} \\ \tan \phi_t = \frac{n \sin \theta_i \sin \phi_i}{n \sin \theta_i \cos \phi_i + \frac{\lambda_0}{\Lambda_x} m_x} \end{cases} \tag{3}$$

반사광선의 방향은 (3)의 첫번째 식의 분모를 n 으로 바꾸면 구할 수 있다. (3)은 일반화된 스넬법칙이다.

나노미터 패턴 회절격자에 입사하는 광선은 (3)에 의하여 여러 개의 반사광선과 투과광선으로 쪼개지며 이때 반사율과 투과율은 회절격자의 속성인 공간주기, 굴절률, 패턴의 높이와 duty cycle 및 패턴의 모양에 따라 달라진다.

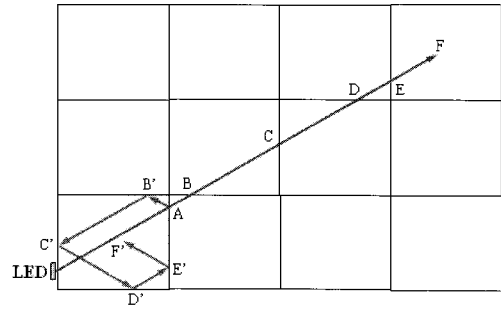


그림 3. 도광판 내부에서 LED로부터 방출된 빛의 궤적.

Fig. 3. Tracing of light ray emitted from LED inside light guided plate.

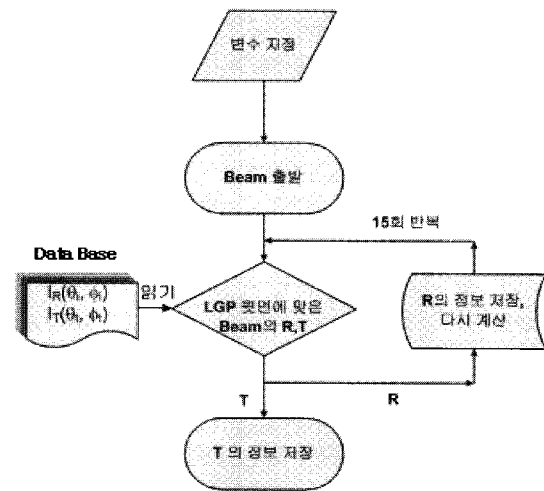


그림 4. 나노미터 패턴 도광판의 윗면으로부터 투과된 빛의 투과율과 진행방향을 저장하는 흐름도.

Fig. 4. Flow chart for saving both the direction of propagation and the transmittance of transmitted light from upper surface of nanometer-patterned LGP.

PMMA 평판 윗면에 나노미터 회절격자 패턴을 식각한 도광판을 제작하는 공정은 참고문헌 12에서 기술하였다. 이렇게 제작한 도광판의 빛의 반사율과 투과율은 RCWA 알고리즘[9]을 채택한 상업용 패키지 GSolver[13]를 사용하였다. 입사조건에 따라 반사광선과 투과되는 광선의 식(3)에 의하여 주어진 방향으로의 반사율과 투과율은 GSolver를 이용하여 데이터베이스로 구축한 후 입사조건을 충족하는 데이터베이스를 불러들여 도광판 전산모사를 수행하였다. 그런데 GSolver는 도광판 내에서 반사되는 광선을 추적할 수 없으므로 Mathematica 패키지[14]를 이용하여 광선 추적을 하였다. 그림 3은 LED에서 방출된 광선이 도광판의 측면과 바닥면에 반사한 후 도광판 윗면에 입사하는 광선의 경로를 나타낸다. 그림 3에서 작은 4각형은 도광판을 나타내며 LED에서 도광판으로 투과된 빛은 나노미터 회절격자가 새겨진 도광판 윗면의 점F에서 반사와 투과가 일어난다. 점 B, C, D, E는 도광판 측면에서 반사하여 도광판 윗면의 점F에서 실제로 빛의 반사와 투과가 발생한다. 점F에서 반사하는 광선은 다시 도광판 바닥면으로 진행하고 그림 3과 같은 과정을 거쳐 다시 도광판 윗면으로 투과 반사한다. 이런 일련의 투과 반사 과

정에서 투과된 광선의 방향과 투과율은 저장하도록 코딩하였다. 본 논문의 전산모사에서는 15회 투과까지 수행하였다. 여러가지 경우에서 시행착오와 경험으로 15회까지 수행하면 결과에 큰 영향을 미치지 않았다. 그림 4는 투과율 데이터를

구하기 위한 흐름도이다.

LED는 램버선 표면(lambertian surface) 방출 조건을 만족한다고 놓았으며 이때 방출되는 빛의 세기는 LED 중심축을 기준으로

$$I = I_0 \cos \theta \tag{4}$$

이다. 여기에서 θ 는 중심축에 대한 방출각이다. LED에서 방출되는 광선의 방향은 random number를 생성하여 결정하였다. LED에서 도광판으로 빛의 투과와 도광판 측면과 밑면에서 빛의 반사는 투과율과 반사율을 모두 고려하였다. 도광판은 $3\text{cm} \times 4\text{cm}$ 이며 4cm 길이 측면에 4개의 LED를 등간격으로 접착시켰다.

R, G B 파장은 CIE에서 규정한 700nm , 546.1nm , 435.8nm 를 선택하였고, LED에서 방출되는 세 색깔의 세기는 같다고 가정하였다. 도광판은 PMMA로 만들어졌으며 색깔에 따른 굴절률(그림 5)을 전산모사에서 고려하였다.

그림 6은 도광판 측면에 어떤 반사체도 없는 경우에 도광판 윗면을 통과하여 투과하는 광선의 세기분포를 R, G B 색

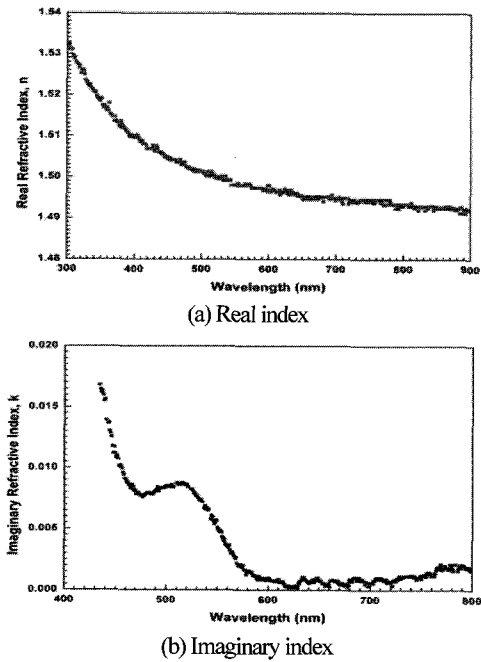


그림 5. PMMA의 굴절률.
Fig. 5. Refractive indices of PMMA.

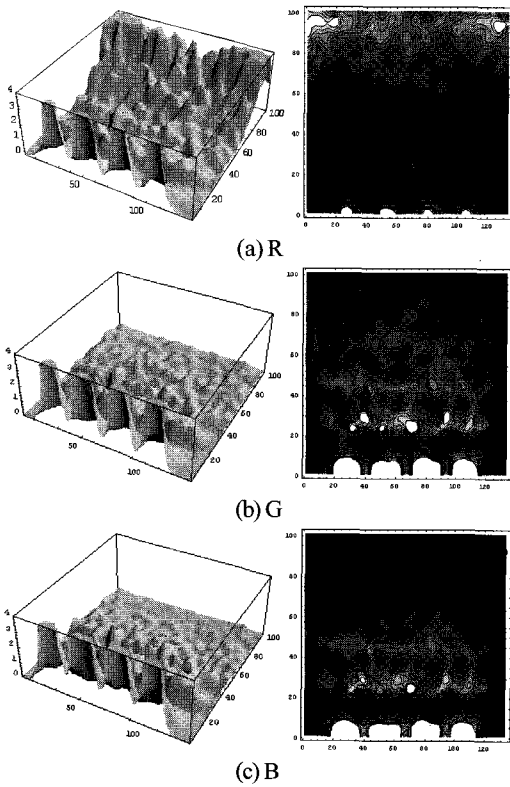


그림 6. 나노미터 패턴 LPG로부터 투과된 빛의 세기 분포.
Fig. 6. Intensity distribution, transmitted from the upper surface of nanometer-patterned LPG.

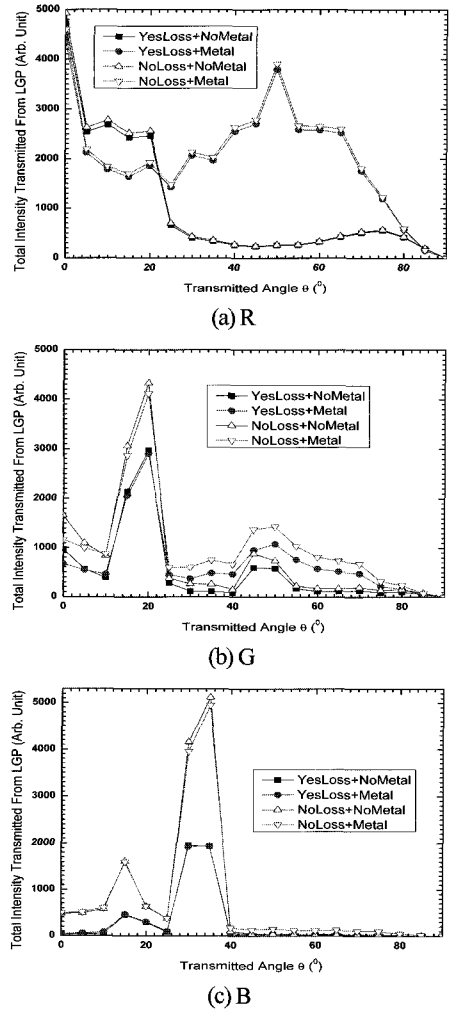


그림 7. 도광판으로부터 투과된 광선의 방위각 θ_i 에 따른 빛의 세기 분포.
Fig. 7. Total intensity transmitted from LPG with respect to transmitted azimuth angle θ_i .

깔 별로 나타낸 것이다.

도광판의 윗면을 통하여 투과된 광선의 투과각 θ 에 따라 투과된 광선의 세기분포는 그림 7에 보여진다.

“YesLoss”와 “NoLoss”는 각기 PMMA의 R, G, B 색깔에 대하여 흡수를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 나타내며 “NoMetal”과 “Metal”은 도광판 측면을 각 색깔에 대하여 표면깊이(skin depth)의 5배 정도 알미늄으로 코팅한 경우를 나타낸다. 광선의 최대 투과 세기에 해당되는 작은 R, G, B 색깔에 대하여 각기 $0^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 가 된다.

III. 실험 결과 및 논의

4개의 LED로 구성되어 있는 LED 어레이를 도광판의 4cm 길이 측면에 설치하였으며 LED의 전원공급을 위하여 Keithley 2602 모델을 사용하였고, 휘도 측정을 위하여 매크로렌즈가 장착된 Minolta CS-1000A를 사용하였으며 렌즈에서 도광판 윗면까지의 거리는 10cm이다. 제작된 도광판은 상업용 BLU (Backlight Unit) 모듈에 장착하여 회전판 위에 설치하였으며 $-72^\circ \sim 72^\circ$ 까지 4° 간격으로 변화시키면서 빛의 세기와 색좌표를 측정하였다.

표 1. 도광판의 종류.

Table 1. LGP types.

| Number | LGP Type | Bottom | Top | Prism | Diffuser |
|--------|--------------|-----------|-----------|-------|----------|
| 1 | Conventional | Patterned | - | - | - |
| 2 | 1D PC | - | Patterned | - | - |
| 3 | 1D PC | - | Patterned | O | - |
| 4 | 1D PC | - | Patterned | O | O |

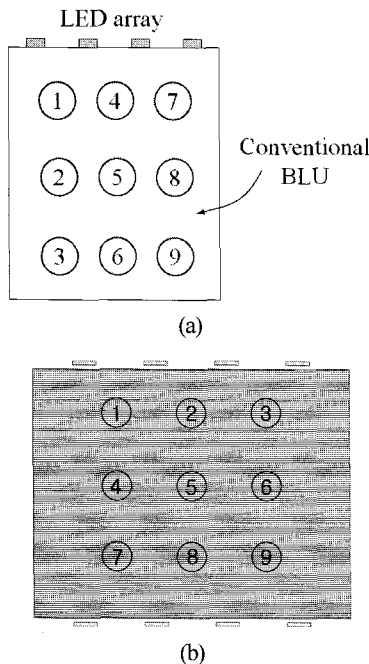


그림 8. (a) 상용 도광판, (b) 나노미터 패턴 회절격자로부터 투과된 광선의 세기 분포를 측정하는 위치.

Fig. 8. Measured positions for transmitted intensity with (a) conventional BLU and (b) nanometer-patterned grating.

표 1은 실험에서 사용된 도광판이며 상업용 도광판의 성능을 기준으로 본 실험에서 제작한 도광판의 성능을 평가하였다. 이때 상업용 도광판의 크기는 본 실험에서 제작한 도광판과 크기가 같은 것을 선택하였다. 프리즘 시트는 3M사에서 제작한 것을 사용하였으며 확산판은 여러 가지 샘플 중에서 본 실험에서 제작한 도광판과 결합하여 성능이 가장 우수한 것을 선택하였다(D122SIII). 이때 도광판은 광원에서 멀어질수록 도트 패턴의 크기가 작아지고 밀도가 증가하는 것을 사용하였다.

그림 8에서 표시한 9개 위치에서 수평각도 측정과 수직각도 측정은 $-72^\circ \sim 72^\circ$ 까지 4° 간격으로 휘도와 색좌표를 측정하였다(그림 9 참조).

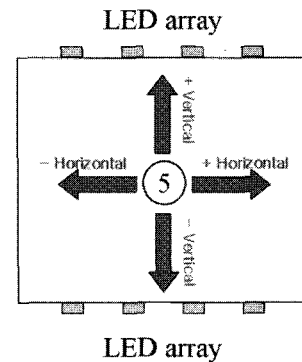


그림 9. 각도에 따른 세기 분포를 측정하는 방법. Fig. 9. Method to measure the intensity with varying angles.

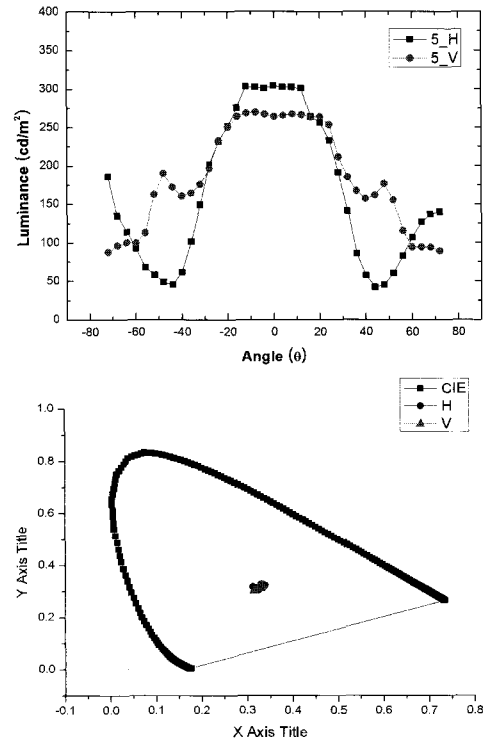


그림 10. 상용 도광판의 5번 위치에서 측정된 세기분포와 색좌표.

Fig. 10. Intensity and CIE color coordinates at position 5 of conventional LGP.

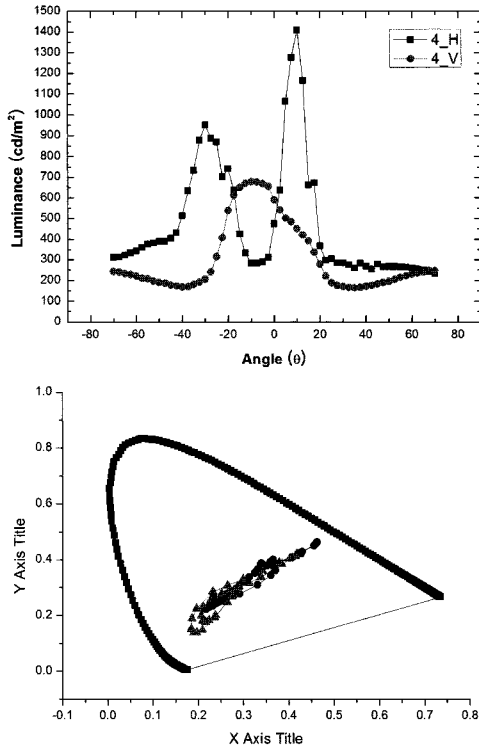


그림 11. 나노미터 패턴 회절격자 도광판의 5번 위치에서 측정된 세기분포와 색좌표.
Fig. 11. Intensity and CIE color coordinates at position 5 of nanometer-patterned grating LGP.

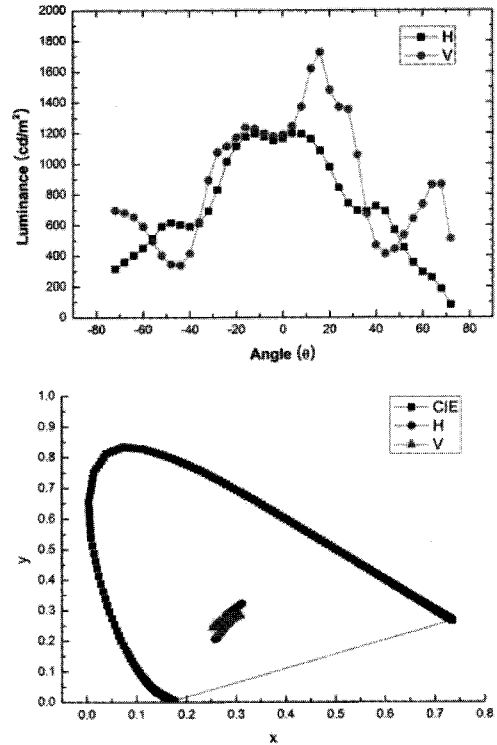


그림 13. “나노미터 패턴 회절격자 도광판/프리즘 시트/확산판”의 5번 위치에서 측정된 세기분포와 색좌표.
Fig. 13. Intensity and CIE color coordinates at position 5 of nanometer-patterned LGP with crossed prism sheets and one diffuser.

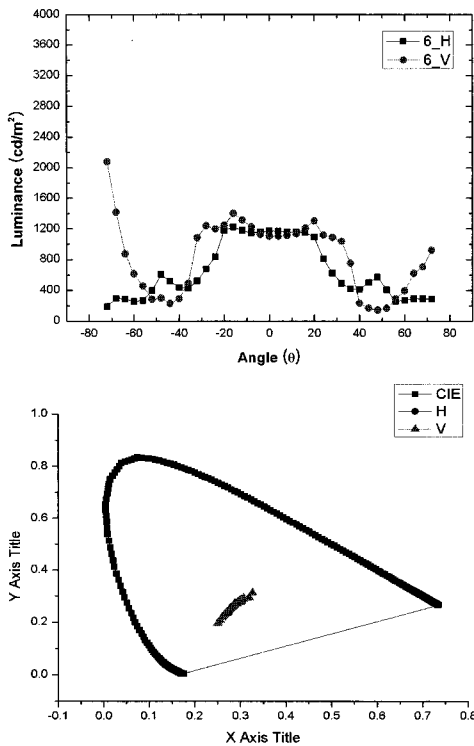


그림 12. “나노미터 패턴 회절격자 도광판/프리즘 시트”의 5번 위치에서 측정된 세기분포와 색좌표.
Fig. 12. Intensity and CIE color coordinates at position 5 of nanometer-patterned LGP with crossed prism sheets.

표 2. 각도 세기 분포, 색좌표 및 색좌표 표준편차 (1D PC는 나노미터 패턴 회절격자를 의미한다).

Table 2. Angular intensity distribution, CIE color coordinate values and their standard deviation (1D PC means the nanometer-patterned grating).

| LGP | Total Angle Region -72°-72° | Central Angle Region -32°-32° | CIE x Average | CIE y Average | CIE x Deviation | CIE y Deviation |
|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| conventional | 6419.98 | 3959.85 | 0.3205 | 0.3176 | 0.0052 | 0.0073 |
| 1D PC | 17989.55 | 9514.94 | 0.3137 | 0.2766 | 0.0664 | 0.0426 |
| 1D PC/Diffuser | 16809.35 | 8546.96 | 0.2914 | 0.2807 | 0.0266 | 0.0189 |
| 1D PC/Prism | 31291.94 | 19510.58 | 0.2636 | 0.2849 | 0.0323 | 0.0295 |
| 1D PC/Prism/Diffuser | 20970.8 | 13800.35 | 0.2859 | 0.2605 | 0.0124 | 0.0292 |

상업용 도광판은 9개의 위치 중 대표적인 5번 위치에서 측정결과를 그림 9에 보여진다.

나노미터 패턴 회절격자는 4번 위치에서 측정결과가 그림 10에 보여진다.

그림 10, 그림 12 및 그림 13을 살펴보면 도광판에서 방출된 빛은 방위각이 32° 이내가 되므로 표 2에 나열한 각 도광판 데이터에서 -32°~32° 각도 범위로 방출하는 빛의 세기를 합한 결과가 “중앙 각도 영역”이며 -72°~72° 각도로 적분한 빛의 세기가 “전체 각도 영역”이다.

IV. 결론

나노미터 패턴 회절격자가 형성된 도광판을 설계하기 위한 목적으로 광선추적 전산모사를 수행하였다. 보통 사용되

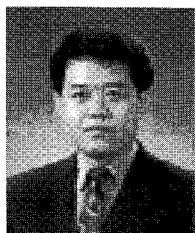
고 있는 도광판에서 광선의 투과방향은 도광판 면에 대하여 $\sim 75^\circ$ 정도 기울어진 상태인데 회절격자 도광판에서는 최대 투과각도가 30° 정도 되는 것으로 나타났다. 위치에 따른 투과광선의 투과각은 일반화된 스넬법칙에 의하여 예측된 결과와 일치함을 알 수 있다. 전산모사 결과로부터 도광판 회절격자의 공간주기 500nm, 높이 250nm의 기둥형태의 나노미터 패턴을 찾았으며 이를 바탕으로 나노미터 패턴 도광판을 제작하였다.

나노미터 패턴 도광판은 상용 도광판에 비하여 중앙 각도 영역의 휘도가 2.4배 증가되며 색좌표는 편차가 커져서 색분리 현상이 일어난다. 제작된 도광판/프리즘 시트 BLU는 중앙 각도 영역이 상용 도광판에 비하여 약 4.9배 광효율이 증가하였다. 따라서 상용 도광판과 비교하여 휘도가 높아지므로 배터리 수명이 연장되는 효과가 있다. 프리즘 시트를 첨가하여 색좌표 x값 편차와 y값 편차는 절반과 0.69배로 줄어들어 색분리 현상이 크게 줄어든 것을 알 수 있다. 제작된 도광판/프리즘 시트/확산판 BLU는 상업용 BLU에 비하여 중앙 각도 영역의 휘도가 약 3.5배 향상되었으며 색좌표 편차는 제작된 도광판의 색분리에 비하여 색좌표 x값 편차와 y값 편차는 각기 0.18배와 0.68배가 되어 색분리 현상이 크게 줄어들었다. 확산판을 사용하면 색좌표 x값 편차는 3배 이하로 감소하고, 색좌표 y값 편차는 변함이 없다.

본 실험에서 제작한 도광판은 광효율은 많이 향상되나 색분리 문제는 문제점으로 남는다. 본 실험에서 사용된 프리즘 시트는 마이크로 패턴을 채택한 상업용 도광판에 적합한 형태이므로 나노미터 패턴 회절격자 도광판에 적합한 프리즘 시트를 개발할 필요가 있다.

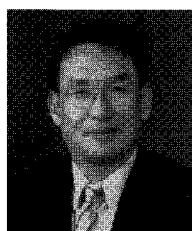
참고문헌

- [1] T. Okumura, A. Tagaya, Y. Koike, M. Horiguchi, and H. Suzuki, "Highly-efficient backlight for liquid crystal display having no optical films" *Applied Physics Letters*, vol. 83, no. 13, pp. 2515-2517, Sept. 2003.
- [2] D. Feng, G. F. Jin, Y. B. Yan, and S. S. Fan, "High quality light guide plates that can control the illumination angle based on micropism structures" *Applied Physics Letters*, vol. 85, no. 24, pp. 6016-6018, Dec. 2004.
- [3] W. F. Weber, C. A. Stover, L. R. Gilbert, T. J. Nevitt, and A. J. Ouderkirk, "Giant birefringent optics in multilayer polymer mirrors" *Science*, vol. 287, pp. 2451-2456, March, 2000.
- [4] G. L. Chen, C. Leu, and T. C. Yu, "Light guide plate with diffraction gratings and backlight module using the same" U.S. Patent 7,085,056 (1 August 2006).
- [5] H. P. D. Shieh, Y. P. Huang, and K. W. Chien, "Micro-optics for liquid crystal displays application" *IEEE/OSA J. Disp. Technol.* vol. 1, no. 1, pp. 62-76, Sept. 2005.
- [6] X. Yang, Y. Yan, and G. Jin, "Polarizing light-guide plate for liquid crystal display" *Opt. Express*, vol. 13, no. 21, pp. 8349-8356, October 2005.
- [7] S. Ochiai, "Light guide plates and light guide plate assembly utilizing diffraction grating" U.S. Patent 5,703,667 (30 December, 1997).
- [8] Y. Ye, D. Pu, Y. Zhou, and L. Chen, "Diffraction characteristics of a submicrometer grating for a light guide plate" *Appl. Opt.* vol. 46, no. 17, 3396-3399, June 2007.
- [9] T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Chaemi, T. Thio, and P. A. Wolff, "Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays" *Nature (London)*, vol. 391, pp. 667-669, Feb., 1998; M. G. Moharam, Eric B. Grann, and Drew A. Pommet, "Formulation for stable and efficient implementation of the rigorous coupled-wave analysis of binary gratings" *J. Opt. Soc. Am. A* vol. 12, no. 5, pp. 1068-1076, Sept. 1995.
- [10] S. H. Kim, J.-D. Park, and K.-D. Lee, "Fabrication of a nano-wire grid polarizer for brightness enhancement in liquid crystal display" *Nanotechnology*, vol. 17, no. 17, pp. 4436-4438, Sept. 2006.
- [11] K. W. Chien and H. P. D. Shieh, "Design and fabrication of an integrated polarized light guide for liquid-crystal-display illumination" *Appl. Opt.* vol. 43, no. 9, pp. 1830-1834, March, 2004.
- [12] 이병욱, 이태성, 이종하, 이근우, 홍진수, 정재훈, 김창교, "나노 임프린팅 기술에 의한 나노패턴을 갖는 PMMA 도광판 제조 기술" 한국전기전자재료학회 2007년도 추계학술대회 논문집, pp. 414-415, Oct., 2007.
- [13] GSolver 설명 사이트 <http://www.gsolver.com>
- [14] Mathematica 설명 사이트 <http://www.wolfram.com>; D.-K. Kang, J.-W. Seo, and D.-G. Gweon, "Signal increasing method in confocal scanning microscopy in fluorescence mode using curved mirror" *ICCS*, vol. 01, pp. 93-99, 2001.



홍진수

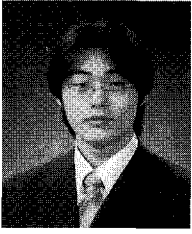
1957년 4월 24일생. 1980년 연세대학교 물리학과(이학사). 1982년 연세대학교 물리학과(이학석사). 1993년 University of Texas 물리학과(이학박사). 1994년~현재 순천향대학교 전자물리학과 교수. 관심 분야는 광학, 디스플레이.



김창교

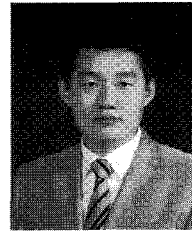
1957년 10월 17일생. 1981년 연세대학교 전기공학과(공학사). 1983년 연세대학교 전기공학과(공학석사). 1992년 Vanderbilt University 전기공학과(공학박사). 1993년~현재 순천향대학교 전자정보공학과 교수. 관심분야는 디스플레이, MEMS, 나

노소자.



이 병 옥

2004년 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사). 2006년 순천향대학교 전기공학(공학석사). 2006년~현재 순천향대학교 대학원 전기로봇공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 디스플레이, 나노패터닝 공정.



이 명 래

2008년 순천향대학교 정보물리학과(이학사). 현재 순천향대학교 대학원 물리학과 석사과정 재학중. 관심분야는 광학, 디스플레이.