

## 복합 나노미터 패턴 도광판의 광특성

### Optical Characteristics of the LGP with Nanometer-patterned Sizes on Its Both Surfaces

홍진수\*, 김창교, 이병욱, 김경래

(ChinSoo Hong, Chang-Kyo Kim, Byoung-Wook Lee, and Kyoung-Rae Kim)

**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 a LGP with 1D PC(one-dimensional photonic crystal) nanometer-patterned on its top and bottom surfaces 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. 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 1D PC LGP on its both surfaces shows the enhancement of transmitted intensity distribution up to 5.7 times.

**Keywords :** LGP(Light-Guided Plate), nanometer pattern, grating, photonic crystal, backlight unit, simulation, CIE color

#### I. 서론

마이크로 패턴이 주기적으로 형성된 면에 빛이 입사하면 스넬법칙이 적용되어 반사광선과 투과광선은 각기 한 개의 방향으로만 진행한다.

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. 이때 투과율과 반사율은 패턴의 속성(패턴의 모양, 패턴 매질의 굴절률 등)에 따라 달라진다.

도광판의 광효율을 향상시키기 위하여 도광판 바닥면에 마이크로 크기의 프리즘을 형성시키고 고분자 필름을 이용하거나[1] 바닥면을 금속 코팅하는 방법[2]이 있다. 이 방법들의 단점은 출사각을 조절이 불가능하고 휘도 균일도가 낮다는 것이다.

1D PC (one-dimensional photonic crystal) 혹은 나노미터 패턴 회절격자를 사용하여 도광판의 광효율을 향상시키는 기본 메커니즘은 편광현상을 이용한다[3-5]. 사용하지 않는 편광의 빛을 재활용하므로 최대 광효율은 이상적으로 2 이하가 된다. 보통은 편광 재활용을 위하여 QWP (Quarter-wave Plate)를 사용하나 필름에 외부 스트레스를 가하여 복굴절 현상을 유도하여 QWP 역할을 대신할 수 있다[6]. 도광판 이외에도 확산판으로 1D PC를 사용하기도 한다[7]. 또한 색필터가 필요 없는 휘도 향상 방법이 제안되었다[8].

도광판 윗면에 나노미터 회절격자를 200nm 공간주기로 배

치하면 광효율은 1.3배 향상된다[9]. 나노미터 회절격자가 휘도를 향상시킨다는 가능성은 Chien에 의하여 발표되었다[10]. 이때 도광판의 바닥면은 마이크로 구조이며 윗면은 나노미터 회절격자이다. 편광된 빛을 재활용하여 휘도 향상이 1.7배 이루어졌다.

본 논문에서는 광효율을 2배 이상 높일 수 있는 방법으로 나노미터 패턴 회절격자를 제안한다.

#### II. 실험결과 및 논의

1D PC 패턴 도광판을 설계하는데 상업용 패키지인 Gsolver [11]와 Mathematica[12]를 이용하여 전산모사를 수행하였다. 이때 패턴의 간격인 공간주기 500nm, 패턴의 높이 250nm, duty cycle은 50%, 패턴의 모양은 직사각형 형태로 입력하였다[13]. 전산모사 결과 도광판 윗면을 통하여 투과하는 광선은 R, G, B 색깔에 대하여 각각 방위각이 0°, 20°, 30°가 되어 도광판으로 적합하다는 것을 알 수 있다. 1D PC에 입사한 한 개의 광선은 여러 개의 반사광선과 투과광선으로 갈라지며 반사한 각개의 광선은 도광판 밑면과 측면에 다중 반사한 후 1D PC에 입사한다. 이렇게 입사한 광선은 다시 여러 개의 반사광선과 투과광선으로 갈라지게 된다. 이런 일련의 반사와 투과 과정을 거치면서 광선의 개수는 기하급수적으로 증가한다. 이 같은 전산모사를 위하여 위에서 기술한 2종류의 소프트웨어 패키지를 결합하여 코딩하였다. 반사광선과 투과광선의 방향은 회절오더  $m_x$ 에 의하여 결정된다.

회절격자의 공간주기  $\Lambda_x$ 와 전달벡터(propagation vector)는

$$k_{\Lambda_x} = \frac{2\pi}{\Lambda_x} m_x \quad (1)$$

(1)로 표현된다. 여기서  $m_x$ 는 정수값을 갖는다. 1D PC에  $(\theta, \phi)$ 로 입사하는 광선은 경계면에서 입사광선, 투과광선 및 반사광선의 진행방향을 나타내는 전달벡터의 접선방향 성분이 연속한다는 조건을 이용하여 투과광선의 방향  $(\theta, \phi)$ 을 결정할 수 있다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

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

홍진수, 김경래 : 순천향대학교 전자물리학과

(schpch@sch.ac.kr/k2class01@naver.com)

김창교, 이병욱 : 순천향대학교 전자정보공학과

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

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

$$\begin{cases} \sin \theta_i = \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 \theta_i + 2n \sin \theta \frac{\lambda_0}{\Lambda_x} m_x \cos \phi_i + \frac{\lambda_0^2}{\Lambda_x^2} m_x^2}}{n_0} \\ \tan \phi_i = \frac{n \sin \theta_i \sin \phi_i}{n \sin \theta_i \cos \phi_i + \frac{\lambda_0}{\Lambda_x} m_x} \end{cases} \quad (2)$$

PMMA 평판 윗면에 나노미터 회절격자 패턴을 식각한 도광판을 제작하는 공정은 참고문헌 14에서 기술하였다.

1D PC가 식각된 도광판은 크기가 3cm×4cm이며 4cm 길이 측면에 4개의 LED어레이 2개를 각 측면에 접착시켰다.

도광판의 양쪽 면에 그림 1과 같이 1D PC 패턴을 형성시켰다.

LED 어레이를 길이가 긴 도광판 측면에 접촉시켰으며 Keithley 2602 모델을 사용하여 LED에 안정적인 전원을 공급

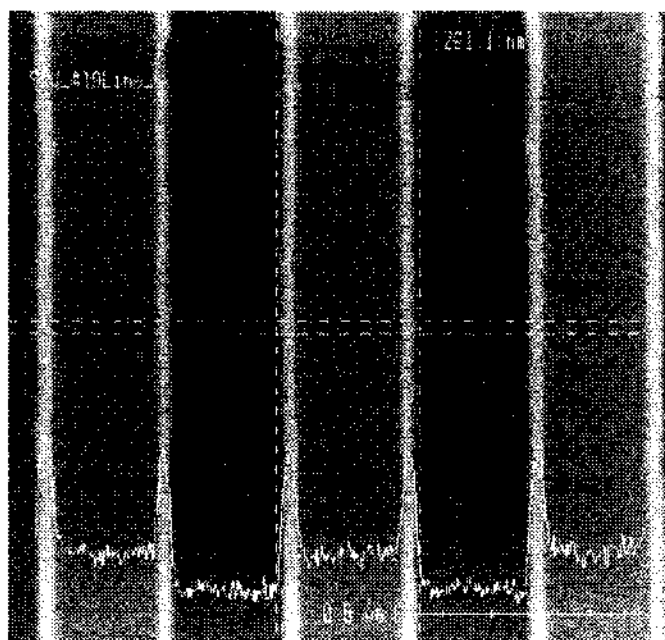
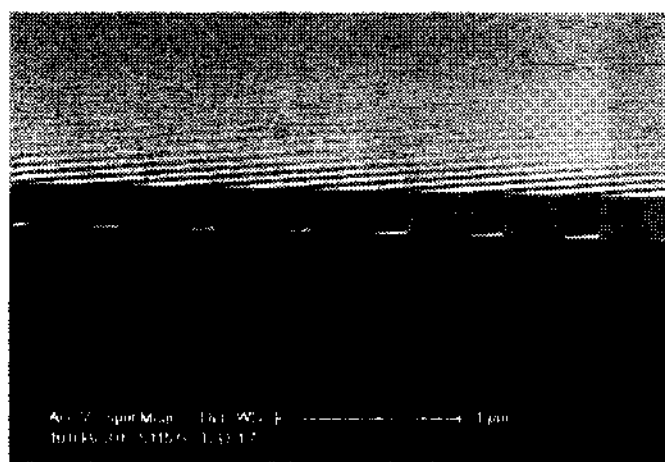
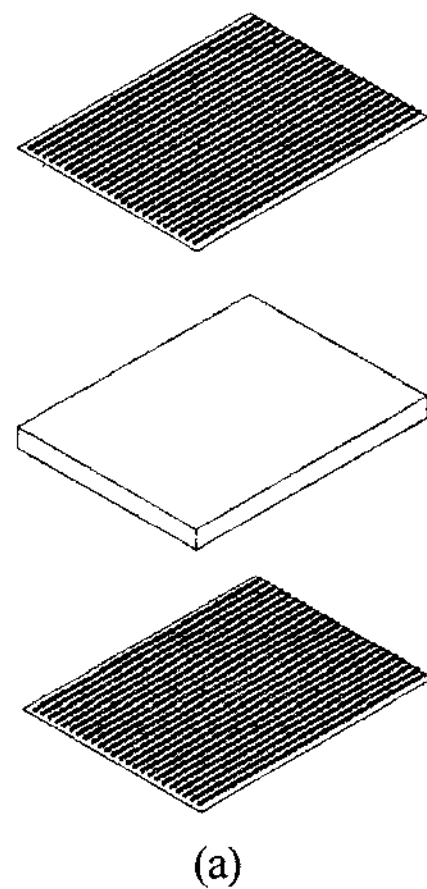


그림 1. (a) 양면에 1D PC가 식각된 도광판, (b) 제작된 1D PC, (c) 제작된 1D PC.

Fig. 1. (a) LGP with 1D PC patterns on its both surfaces, (b) Fabricated ID PC (side view), (c) Fabricated ID PC (top view).

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	Patterned	-	-
4	1D PC	Patterned	Patterned	O	-
5	1D PC	Patterned	Patterned	O	O

하였고, Minolta CS-1000A를 사용하여 휘도와 색좌표 측정을 하였다. CS-1000A의 렌즈로부터 도광판 윗면까지의 거리는 10cm이다. 상업용 BLU(Backlight Unit) 모듈에 도광판을 제거하고 본 실험에서 제작한 도광판으로 교체하여 회전판 위에 설치하였으며 -72°~72°까지 4° 간격으로 각도를 변화시키면서 빛의 세기와 색좌표를 측정하였다.

표 1에 보듯이 나노미터 패턴은 1D PC이며 도광판의 바닥면과 윗면에 1D PC를 식각하였으며 양면에서 PC는 동일한 방향이 되도록 제작하였다. 상업용 도광판의 성능을 기준으로 본 실험에서 제작한 도광판의 성능을 평가하였다. 이때 상업용 도광판의 크기는 본 실험에서 제작한 도광판의 크기와 같은 3cm×4cm이다. 프리즘 시트는 상용에서 쓰는 것을 사용하였으며 확산판은 여러 가지 샘플 중에서 본 실험에서 제작한 도광판과 결합하여 성능이 가장 우수한 것을 선택하였다.

그림 2에서 표시한 9개 위치에서 수평각도 측정과 수직각도 측정은 -72°~72°까지 4° 간격으로 휘도와 색좌표를 측정하

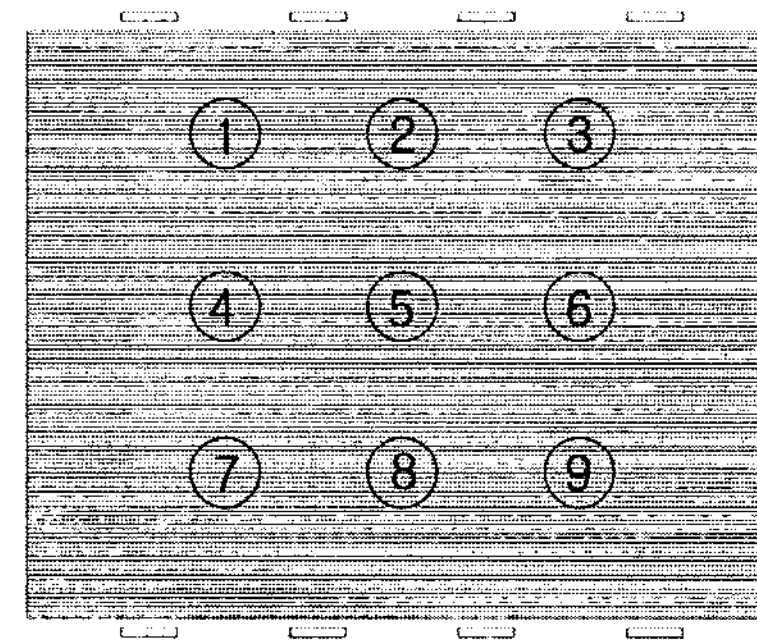
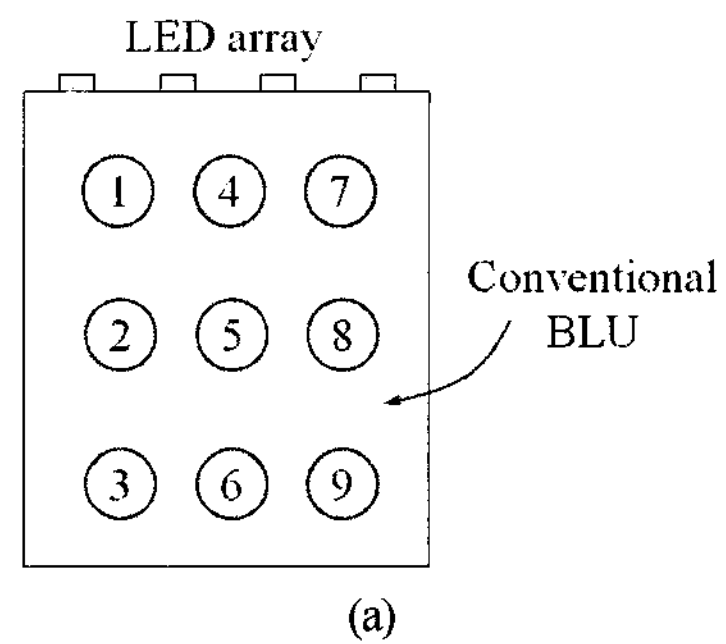


그림 2. (a) 상용 도광판, (b) 나노미터 패턴 회절격자로부터 투과된 광선의 세기 분포를 측정하는 위치.

Fig. 2. Measured positions for transmitted intensity with (a) conventional BLU and (b) nanometer-patterned grating.

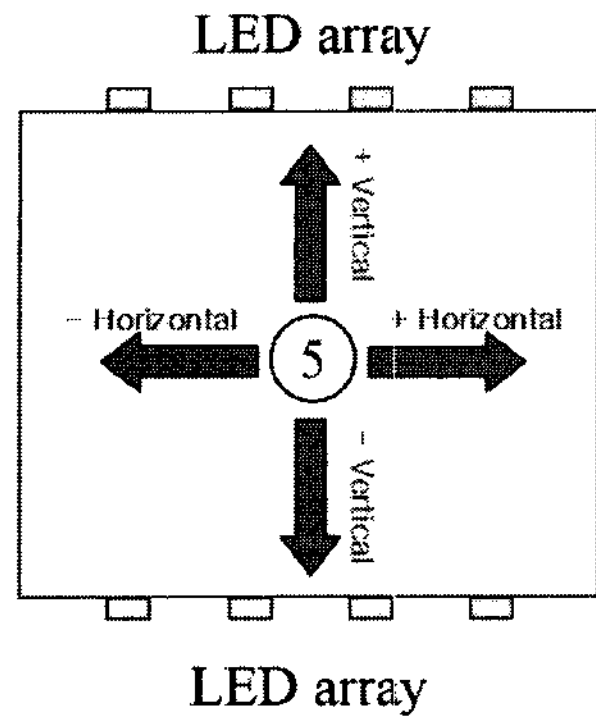


그림 3. 각도에 따른 세기 분포를 측정하는 방법.  
Fig. 3. Method to measure the intensity with varying angles.

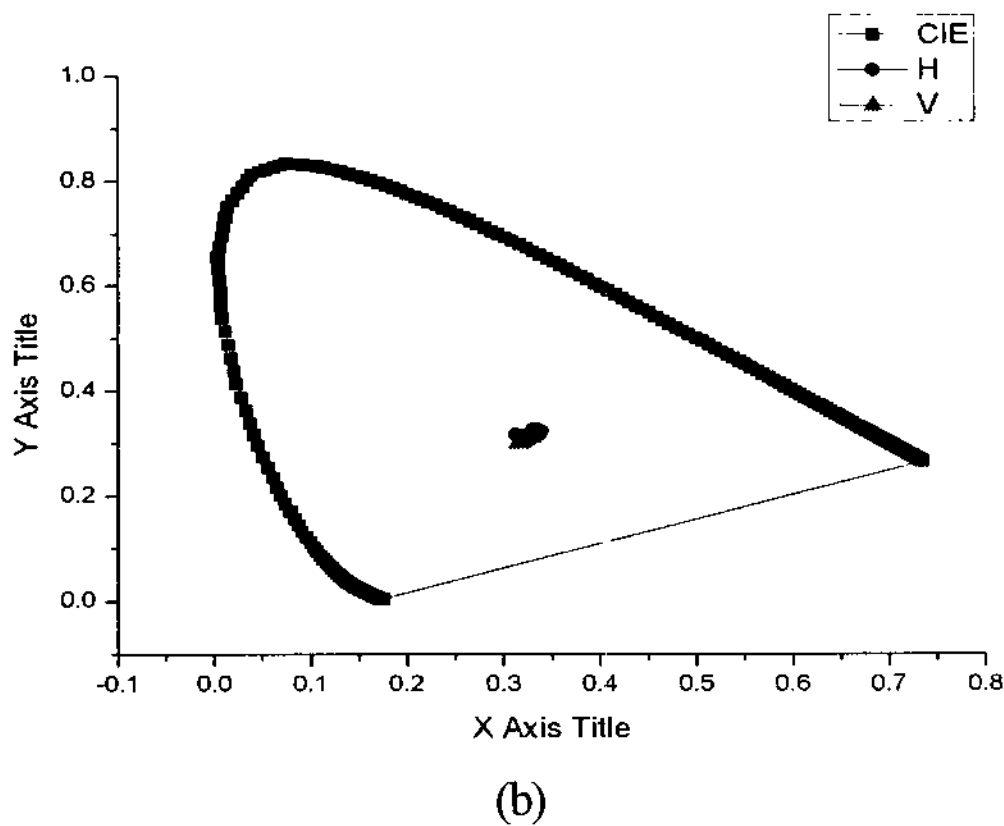
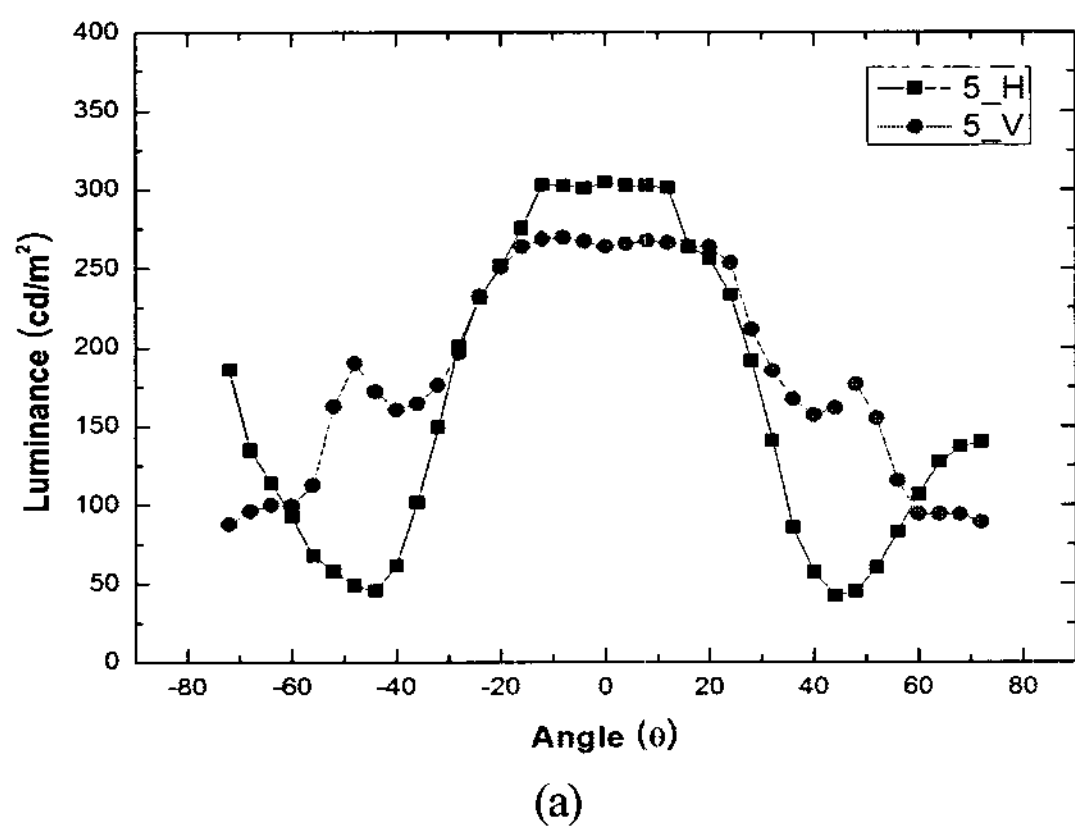


그림 4. 상용 도광판의 5번 위치에서 측정한 (a) 세기분포와 (b) 색좌표.  
Fig. 4. (a) Intensity and (b) CIE color coordinates at position 5 of conventional LGP.

였다(그림 3 참조).

상업용 도광판은 9개의 위치 중 대표적인 5번 위치에서 측정결과가 위의 그림 4에 보여진다.

한 쪽 면에만 1D PC 패턴이 형성된 도광판의 5번 위치에서 측정한 결과가 그림 5에 보여진다.

휴대용 도광판에서 방위각이  $32^\circ$ 가 되면 충분한 시야각이 확보되었다고 볼 수 있다. 그림 4~그림 8에서 방위각이  $32^\circ$  이내로 방출되는 빛의 세기를 합한 결과가 “중앙 각도 영역”이며  $-72^\circ \sim 72^\circ$  각도로 적분한 빛의 세기가 “전체 각도 영역”이다.

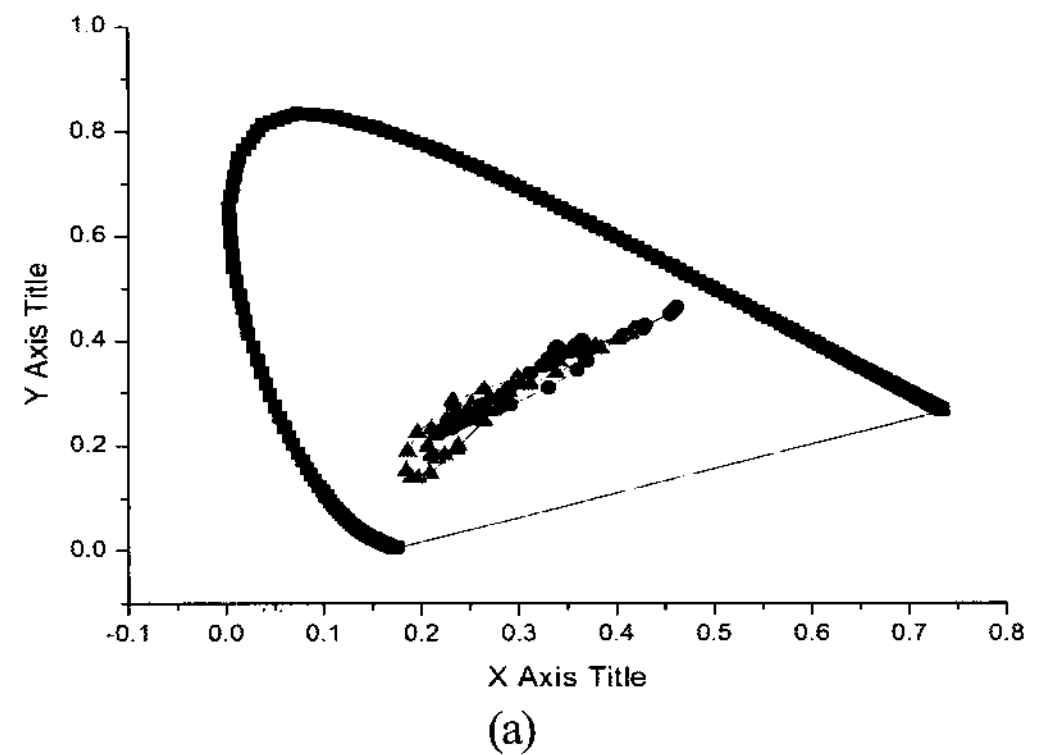
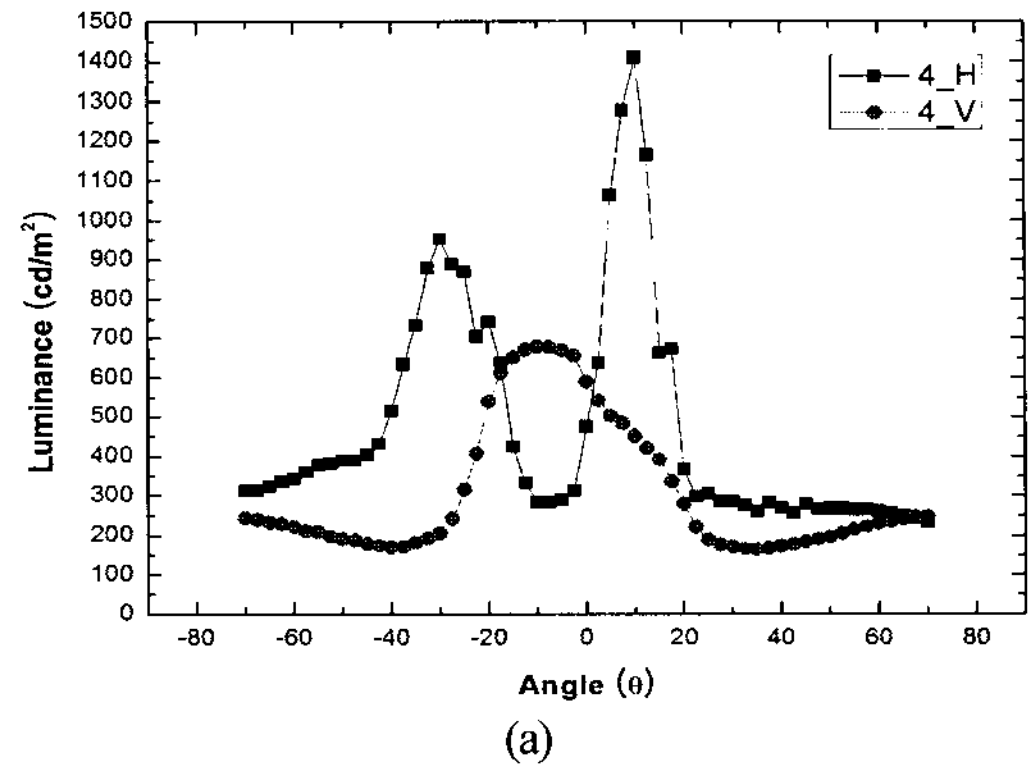


그림 5. 한쪽 면에 1D PC 패턴이 식각된 도광판의 5번 위치에서 측정한 (a) 세기분포와 (b) 색좌표.  
Fig. 5. (a) Intensity and (b) CIE color coordinates at position 5 of nanometer-patterned grating LGP, Number 2.

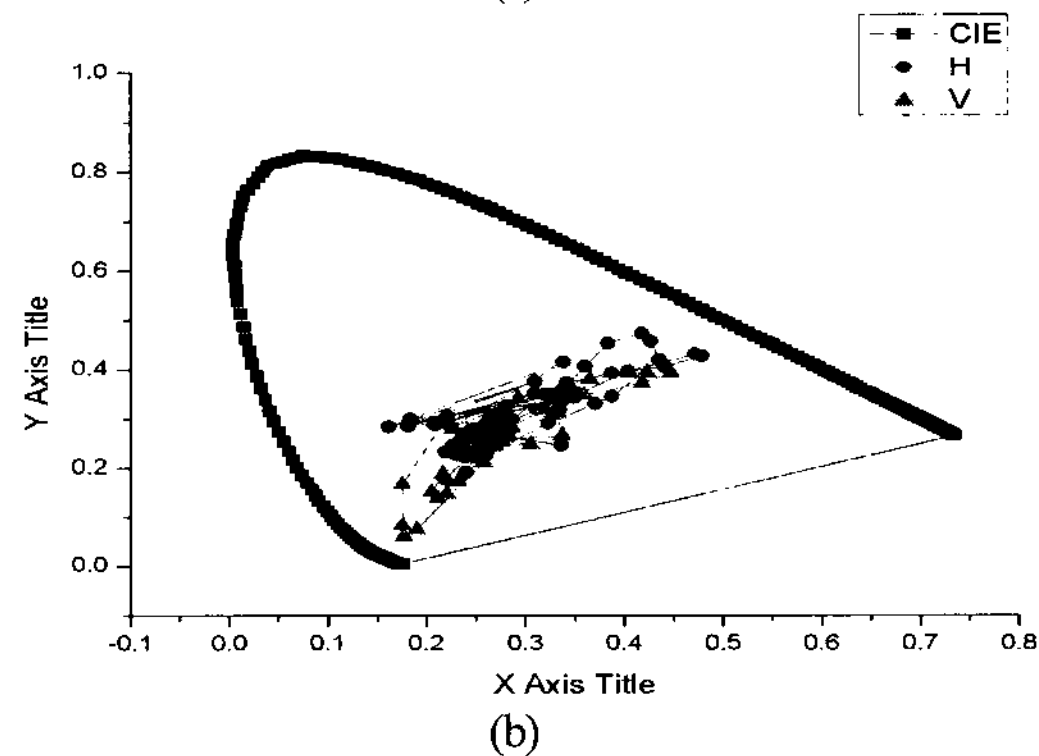
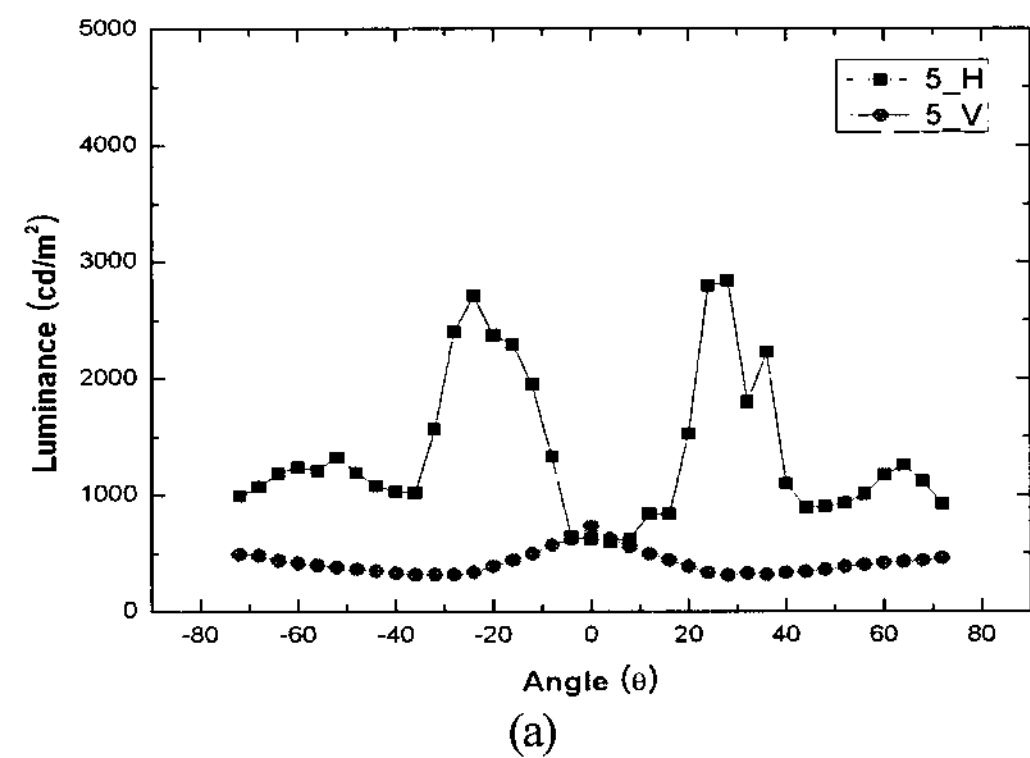


그림 6. 양쪽 면에 1D PC가 식각된 도광판의 5번 위치에서 측정한 (a) 세기분포와 (b) 색좌표.  
Fig. 6. (a) Intensity and (b) CIE color coordinates at position 5 of the LGP nanometer-patterned on both surfaces, Number 3.

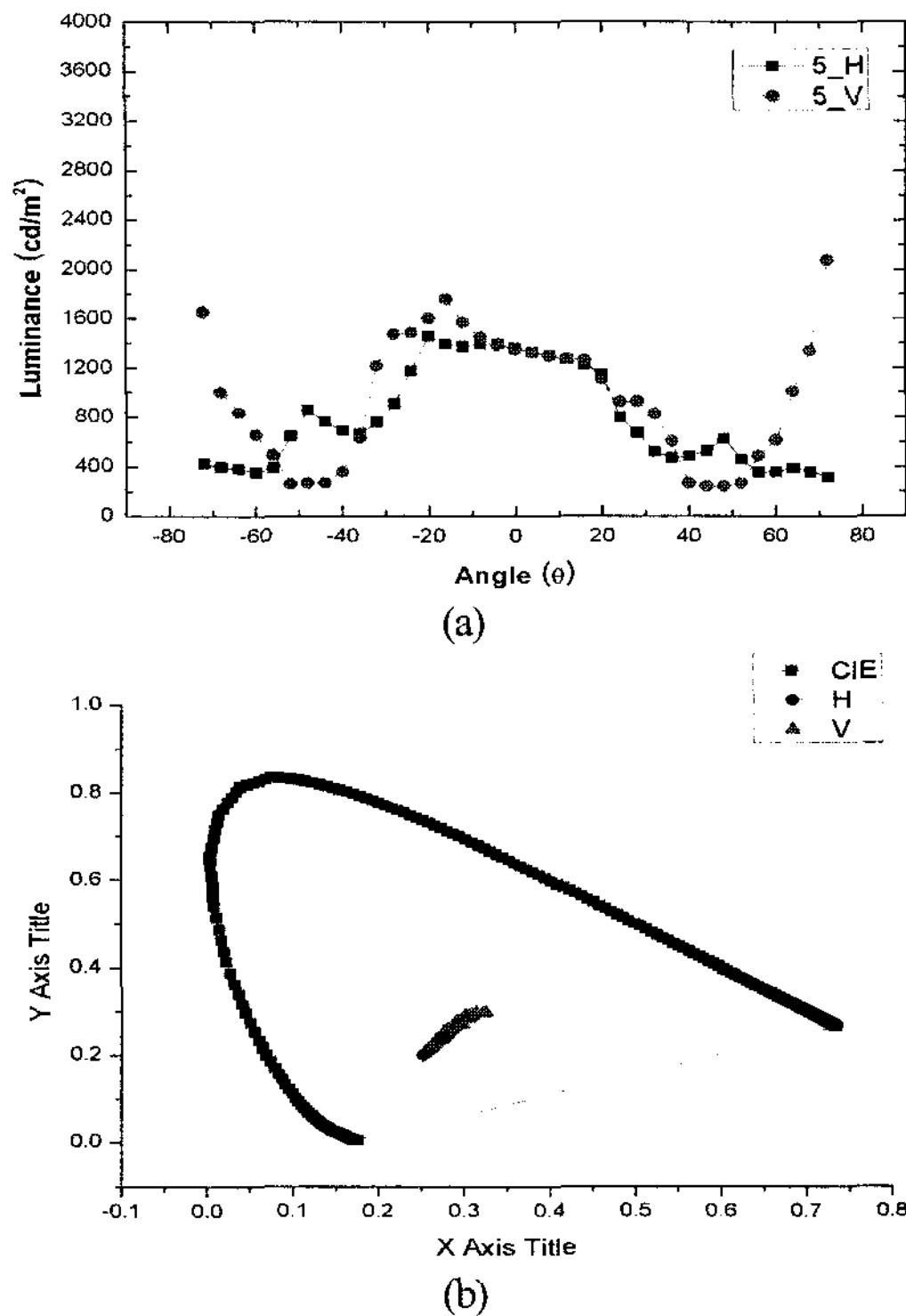


그림 7. 양쪽 면에 1D PC가 식각된 도광판/프리즘 시트의 5번 위치에서 측정된 세기분포와 색좌표.

Fig. 7. Intensity and CIE color coordinates at position 5 of nanometer-patterned LGP with crossed prism sheets, Number 4.

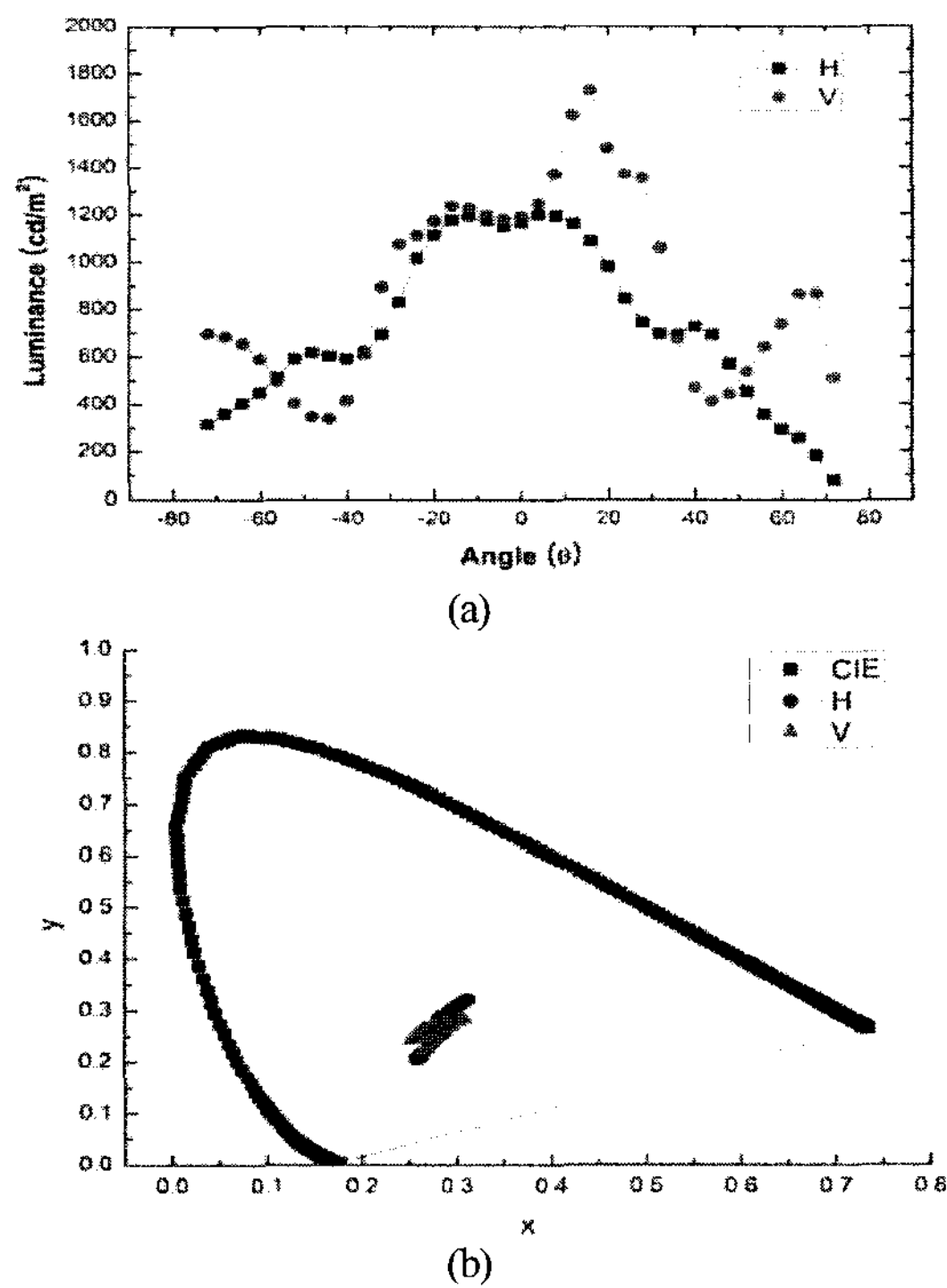


그림 8. 양쪽 면에 1D PC가 식각된 도광판/프리즘 시트/확산판의 5번 위치에서 측정된 세기분포와 색좌표.

Fig. 8. Intensity and CIE color coordinates at position 5 of nanometer-patterned LGP with crossed prism sheets and one diffuser, Number 5.

표 2. 각도 세기 분포, 색좌표 및 색좌표 표준편차.

Table 2. Angular intensity distribution, CIE color coordinate values and their standard deviation.

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	0.3204	0.3176	0.0052	0.0073
1D PC	17989.55	9514.94	0.3137	0.2766	0.0664	0.0426
1D PC-1D PC	31373.91	14626.00	0.3152	0.2623	0.0639	0.0303
1D PC-1D PC 프리즘	33376.09	22760.03	0.2669	0.2820	0.0152	0.0287
1D PC-1D PC 프리즘 확산판	29848.84	19470.15	0.2822	0.2530	0.0117	0.0217

### III. 결론

나노미터 패턴 회절격자가 형성된 도광판을 설계하기 위한 목적으로 전산모사를 수행하였다. 보통 사용되고 있는 도광판에서 광선의 투과방향은 도광판 면에 대하여 ~75° 정도 기울어진 상태인데 회절격자 도광판에서는 최대 투과각도가 30° 정도 되는 것으로 나타났다. 위치에 따른 투과광선의 투과각은 일반화된 스넬법칙에 의하여 예측된 결과와 일치한다. 전산모사 결과로부터 도광판 회절격자의 공간주기 500 nm, 높이 250nm의 기둥형태의 나노미터 패턴을 찾았으며 이를 바탕으로 나노미터 패턴 도광판을 설계하였다. 도광판의 한쪽 면에 나노미터 1D PC 패턴을 형성한 것과 양쪽 면에 1D PC 패턴을 형성한 도광판을 제작하였다.

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.

상업용 도광판에 비하여 1D PC 도광판은 중앙 각도 영역의 휘도가 2.4배 향상되었으며 색좌표 편차는 x 편차와 y 편차가 각기 12.7배와 5.8배 크게 나타났다. 도광판의 양쪽 면에 1D PC가 식각된 1D PC-1D PC 도광판은 중앙 각도 영역의 휘도가 3.7배 향상되었고, x, y 색좌표 편차는 1D PC와 거의 대등하였다. 1D PC-1D PC/프리즘은 중앙 각도 영역의 휘도가 5.75배 향상되었고, x, y 색좌표 편차는 각기 2.9배와 3.9배로 크게 나타났다. 1D PC-1D PC/프리즘/확산판 도광판은 중앙 각도 영역의 휘도가 4.9배 향상되었고, 색좌표 편차는 각기 2.2배와 2.9배로 확산판을 첨가하면 휘도는 약간 떨어지나 색좌표는 향상되어 색분리가 줄어들게 된다.

### 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 micropattern 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. Ouderkerk, "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, Yingbai Yan, and Guofan 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] 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.

[10] 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.

[11] <http://www.gsolver.com>

[12] <http://www.wolfram.com>

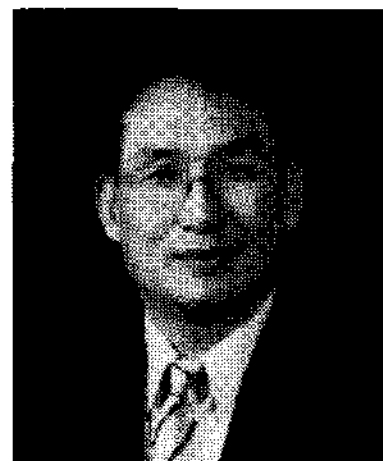
[13] 정재훈, 김경래, 신원진, 홍진수, 이병욱, 이태성, 이종하, 이근우, 김창교, "PMMA 기판 위에 형성된 나노미터크기의 회절격자 패턴의 도광판에의 응용해석" 2007년도 대한전기학회 전기물성응용부분회 추계학술대회 논문집, pp. 248-249, Nov. 2007.

[14] 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.



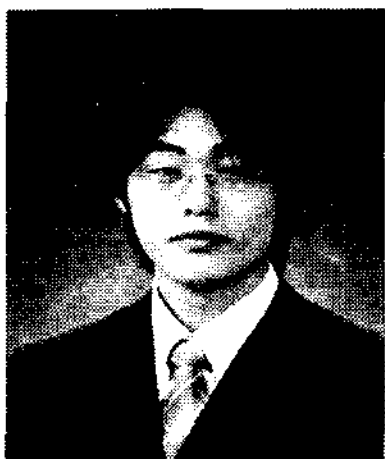
**홍진수**

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



**이병욱**

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



**김경래**

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