

# 유리도광체를 이용한 평판조명용 광확산패턴의 최적설계 연구

## Study of Optimal Light Scattering Pattern Design for Flat Lighting Device using Glass Light Guide

한 정 민\* · 김 원 배†  
(Jeong-Min Han · Won-Bae Kim)

**Abstract** - In this study, it was investigated about optical simulation in high brightness and high uniformity general lighting using glass light guide plate. And we adopt edge-light emission type light plate. Edge-light type lighting has been used LCD application, especially note PC or smart phone backlight unit. Because it had the good properties such as slim shape and light weight. We thought this type was suitable for general lighting application such as wall attached type or ceiling mount type. But many of edge-light type lighting had problems. It called slanted output light rays. That was main key parameter how could control the direction of output light rays. We investigated the solution of this problems, using ray tracing method, we recognized the major fact of the solution relied on the geometric structure of diffusing dot shape. We set the conditions of aspect ratio in diffusing dot shape such as 0.5 to 1. And, at first, we designed diffusing dots shape based on the results of optical simulation and made specimen. as above condition, and acquired good result in confirming dots shape such as the value of the output rays's peak angle was around 75 degrees. And good light distribution characteristics were measured by slated spectro-radiometer. It was shown that the effective ways of designing light distribution characteristics using optical simulation such as ray tracing linear method for making general lighting using glass light guide plate.

**Key Words** : Flat lighting device, Optical simulation, Ray tracing method, Light scattering pattern, Glass light guide

### 1. 서 론

최근 LED 조명의 확산과 더불어 기존의 형광등 및 기타 발광기구와는 차별화된 구조를 사용하여, LED 광원의 특성을 반영한 이용효율을 높이고, 보다 높은 상품성을 가진 새로운 조명기구에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 벽체 혹은 천정재로 매우 얇고 평평한 구조의 LED 조명을 일반조명기구로 사용하기 위해서 유리재질의 도광체를 이용하여 실물 구현하는 것을 목표로 하였다. 유리재질의 도광체의 특성상 광원은 조광대상을 직접 조사하는 직하형 방식이 아닌 유리도 광체의 측면에 배치된 광원에 의해서 발생한 빛을 유리판 전면에 고르게 분산 및 확산시켜 평판 조명을 구현하는 것을 목적으로 하였다[1, 2]. 얇은 재질의 유리 도광체의 특성상 출광된 빛은 기울어진 방향의 출광각을 가지게 되는데, 이렇게 기울어진 방향으로 출광된 빛은 일반조명으로서 사용효율이 감소하게 된다. 일반조명에서의 출광각은 배광곡선을 통해서 확인할 수 있는데, 이러한 배광곡선은 직접조광방식에서 사용할 수 없으며[3], 간접조명에서만 사용할 수 있으므로 사용효율이 감소하게 된다. 따

라서 본 연구에서는 유리도 광체에 부착되는 광확산용 입체 패턴의 형상의 변화에 따른 출광각의 효율을 시뮬레이션을 통해서 검증하고, 실제로 시료를 제작하여 설계에서 의도된 바와 같은 배광곡선 특성이 발현되는 것을 확인하였다.

### 2. 본 론

일반적으로 도광체를 이용한 평면광원의 용도는 평판디스플레이에서의 백라이트에서 많이 사용되며, 특히 TFT-LCD 소자는 스스로 발광하는 방식이 아니기 때문에 발광광원의 소자의 후면에 반드시 장착되어야 한다[4, 5]. 이러한 TFT-LCD 소자에서 사용하는 도광체는 주로 PMMA (poly meta methyl acrylate) 재질의 투명평판소재를 많이 사용한다. 그러나 본 연구에서는 일반조명으로 사용되는 구조의 조명기구를 제작하려는 목적을 가지고 있으므로, 내광성, 투습성 및 강도에서 일반조명용도로 사용되기에 부족한 PMMA 재질이 아닌 유리 소재의 도광체를 사용하였다. 사용된 유리에 대한 기본적인 정보는 표 1에서 나타낸 바와 같다.

도광체로 사용되는 평판유리는 그림 1에서 나타낸 기구적 설계구조와 같이 측면의 광원을 통해서 입사된 빛이 유리판의 후면에 부착된 확산패턴의 영향으로 굴절의 방향이 바뀌어 전면으로 출사되는 구조를 가지고 있다. 따라서 측면입사광을 생성하는 양측면의 LED 소자의 사양은 아래의 표 2와 같다.

그림 1에서 나타낸 바와 같이 LED 광원에 의해서 측면에서 입사된 빛은 유리 도광체의 내부에서 전반사되며 전진

† Corresponding Author : Dept. of Electricity & Electronics Engineering, SongWon Univerity, Korea  
E-mail : ooseo16@naver.com

\* Dept. of Electrical Electronic Engineering, Seoil Univerity, Korea

접수일자 : 2017년 11월 6일

최종완료 : 2016년 11월 29일

표 1 도광체로 사용된 유리의 기본적인 물성

Table 1 Basic physical description of glass used as a light guide

Density	[g/cm <sup>3</sup> ]	2.43
Young's Modulus	[GPa]	76.7
Poisson's Ratio		0.21
Shear Modulus	[GPa]	31.7
Vickers Hardness (200g Load)	[kgf/mm <sup>2</sup> ]	638
Fracture Toughness	[MPa·m <sup>0.5</sup> ]	0.69
Coefficient of Expansion	[mm/°C]	78.8×10 <sup>-7</sup>

표 2 유리 도광체를 사용한 평면광원을 만들기 위해 사용된 LED 소자의 사양

Table 2 Specification of LED device used to make flat light source using glass light guide

Dimension	[mm]	7.0*2.0*0.8
Forward Current	[mA]	160
Forward Voltage	[V]	3.05
Luminous Flux	[lm]	66
LED Number of 1 Array	[EA]	16
Array Number of 1 Set	[Pair]	2

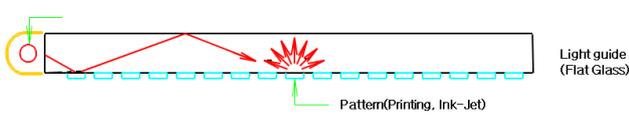


그림 1 평판 도광체를 이용한 평면광원의 구성 원리

Fig. 1 Principle of planar light source using flat plate lightguide

하는 도중에 후면의 광확산 패턴을 만나면서 경로가 변경되어 전면으로 출사되는 구조를 가지고 있다. 그러나 측면에서 입사된 빛은 LED 광원의 특성상 높은 직진성을 가지고 있으므로, 출사되는 빛 또한 그림 1에서 나타난 바와 같이 기울어진 방향으로 출사되는 특성을 보인다. 이렇게 측면지향성이 강한 빛은 일반조명으로 적합하지 않으므로, 광확산 패턴의 입체구조를 최적 설계하는 과정을 통해서 가능한 한 출광면에 수직으로 출광할 수 있도록 만들어 주어야 한다.

그림 2에서는 이러한 확산패턴의 입체구조가 출광각에 미치는 영향을 나타낸 것으로 출광각을 제어하기 위해서 확산 패턴의 개구율(Aspect Ratio)의 최적값을 계산하여야 하는 원리를 나타내고 있다. 일반적으로 잉크젯 혹은 스크린 인쇄를 통해서 도광체에 부착되는 확산패턴은 패턴 형성이 후에 표면장력에 의해서 반구에 가까운 돔(Dome)형 구조를 가지게 되는데, 이 돔형 구조의 기울기 및 넓이를 제어하여 특성을 변화시킬 수 있다. 이러한 특성변화는 스크린 인쇄 방식에서는 스크린의 천공크기 및 매쉬의 크기를 조절하여 달성할 수 있으며, 잉크젯 방식에서는 낙하적(Dropped

Dot)의 약액량이나, 유리체질의 도광체의 플라즈마 처리여부에 따라서 표면극성변화를 통해서 달성할 수 있다.

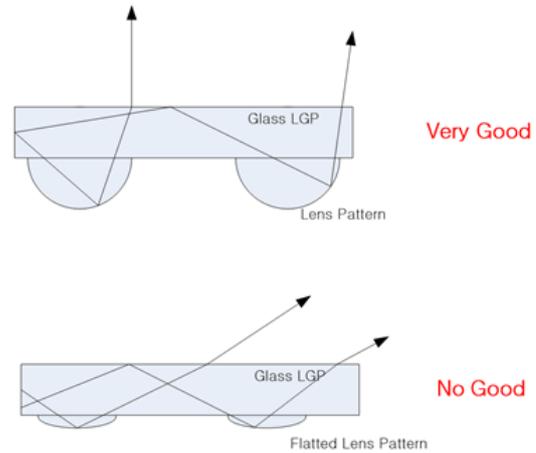


그림 2 도광체에 부착된 광확산 패턴에 따른 출광각의 지향각 변화

Fig. 2 Directional angle change of output angle according to light diffusion pattern attached to light guide

그림 2에서 나타난 렌즈구조의 입체패턴의 경우 개구율의 최대값은 1로써 반구의 돌출된 높이의 길이와 반구의 지름이 서로 같은 값을 나타낸 때를 나타낸다. 1 이상의 값은 구현하는데 기존의 Imprinting 및 사출성형에서의 표면고화층의 발생으로 기술적인 난이도가 높으며, 구현한다고 하여도 진동 및 충격시험에서의 패턴의 부착강도가 나빠지는 특성으로 인해서 설계 기준에서는 제외하였다. 또한 0.5의 개구율을 설정한 것은 이론적으로 이상적인 1 이하의 값에 대한 비교 실험의 의도로 수직방향의 출광량이 어느 정도 감소하는가를 확인하기 위해서 실험 조건으로 설정하였다. 이러한 결과를 바탕으로 아래의 표 3과 같이 시뮬레이션의 조건을 설정하였으며, 광선추적법(Ray-Tracing Method)를 사용하여 각 입체 패턴의 출광현상을 개구율이 1인 경우와 0.5인 경우로 나누어 Light Tool (Light Tools, 미국)를 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다[6-10].

그림 3 및 그림 4에서는 이렇게 시뮬레이션된 패턴의 입체 구조에 따른 배광곡선을 나타내었다[11]. 각 그림에서 (a)는 배광곡선을, (b)는 법선방향에서의 출광량을 나타내고 있다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 그림 4의 개구율 1인 값의 결과에서 보다 높은 출광각을 나타낼 수 있었으며,

표 3 광선추적법에 의한 패턴의 입체구조의 시뮬레이션 조건

Table 3 Simulation condition of pattern structure by ray tracing method

Number of Rays	10,000,000 rays	
Light Guide Plate	Glass	Transmission ratio : 70%
Pattern Shape	Half Dome	Aspect Ratio 0.5 ~ 1
Flux of Lamp	LG Innotech	2112 [lm]

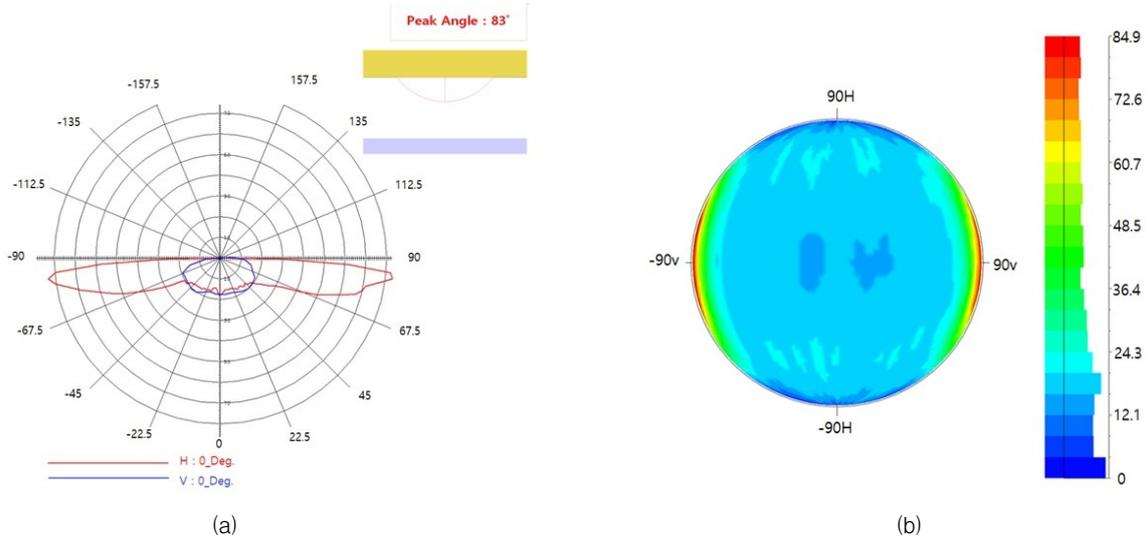


그림 3 개구율이 0.5인 경우의 유리도광체를 이용한 평판조명의 배광곡선 시뮬레이션 결과

Fig. 3 Simulation result of light distribution curve of flat plate illumination using glass light guide with aspect ratio of 0.5

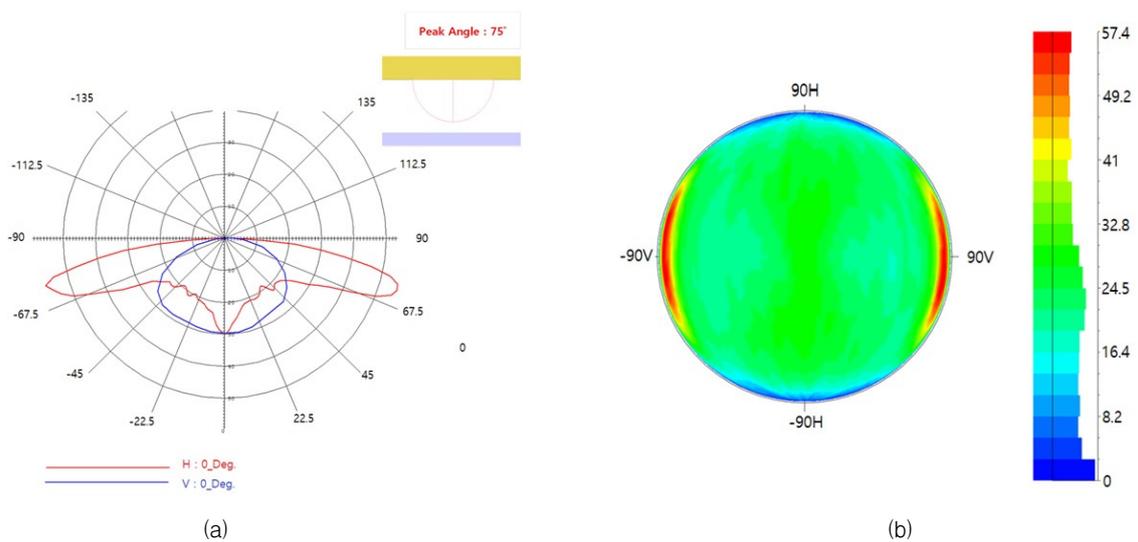


그림 4 개구율이 1인 경우의 유리도광체를 이용한 평판조명의 배광곡선 시뮬레이션 결과

Fig. 4 Simulation result of light distribution curve of flat plate illumination using glass light guide with aspect ratio of 1

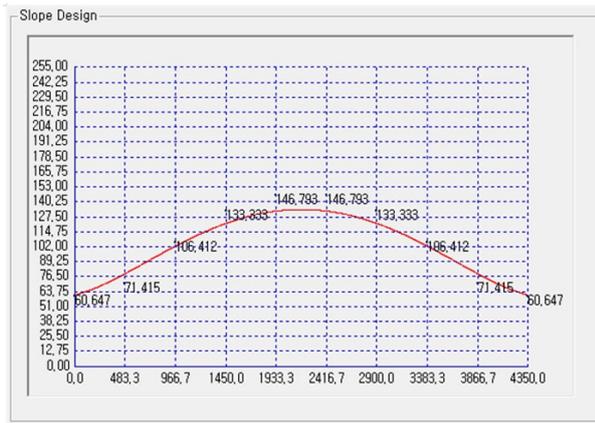
이 조건을 만족하는 범위에서 실물 구현을 실시하였다.

그림 3 및 그림 4에서 나타난 바와 같이 개구율을 0.5로 정한 경우에는 Peak Angle은 83도로써 법선방향에서 83도 기울어져 거의 평면과 근접하여 출광하고 있으며, 개구율을 1로 정한 경우에는 Peak Angle 이 75도로써 이보다 양호한 특성을 보이고 있다. 또한 법선방향 출광량을 나타내는 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 중앙부의 휘도개선효과가 개구율이 1인 경우에 보다 명확하게 향상됨을 알 수 있었다.

실물 구현은 그림 5에 나타난 바와 같이 광원의 거리에 따른 밀도를 조절한 동일한 크기의 확산패턴을 잉크젯 방식으로 인쇄하여 제작하였다. 이 때 광원과 밀접한 부분은 패턴의 밀도가 조밀하지 못하여 검은색을 띄게 되고 광원과 멀어지는 중앙부에서는 패턴의 개수가 많아져 백색을 띄는 이 미지로 확인됨을 알 수 있다.

또한 개구율 1의 높은 값을 달성하기 위해서 사용된 유리 평판의 표면에 플라즈마 처리를 통해서 표면극성을 조절하였다. 이상의 공정을 적용하여 제작된 시료에 대한 실물평가를 통해서 경사면 출광량 및 법선방향의 출광량을 측정하여 출광특성을 분석하였다.

그림 6에서는 실물제조 후 분광광량측정기 (Spectroradiometer, SR-3(Minolta, Japan)을 이용하여 중앙부의 휘도 및 경사면 출광량은 10도에서 85도까지 5도 단위로 실물시료의 중앙부 1개소를 측정하였다. 분광광량측정기는 법선방향 및 경사에 따른 출광량을 단위면적당 총광량으로 측정함으로써 시뮬레이션 설계가 유효했는가를 판단하는 기준으로 사용하였다. 특히, 출광광량의 측광을 통해서 조명으로서 고른 조도 분포를 나타내고 있는 가를 평가하였다. 아래의 그림 7의 결과와 같이 법선방향의 휘도는 중앙부가 가장 밝은 형태로



(a)



(b)

그림 5 광 확산 패턴의 광원과의 거리에 따른 인쇄 밀도의 변화 및 패턴 이미지

Fig. 5 Change of printing density and pattern image according to distance of light diffusion pattern from light source

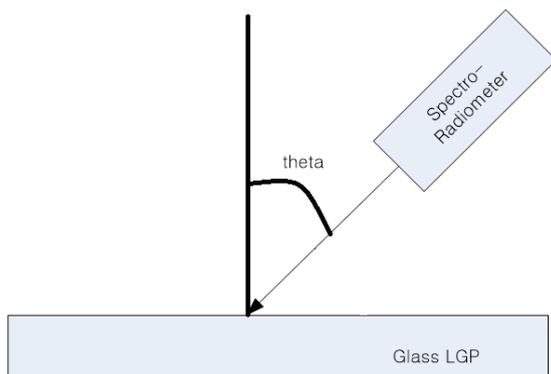


그림 6 경사면 출광량의 측정 방법

Fig. 6 Measuring method of light output on the slope

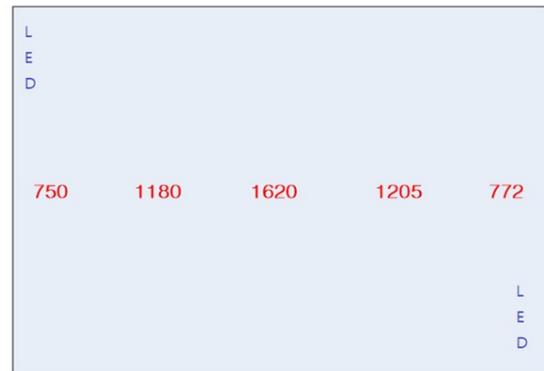
그림 5에서의 패턴밀도의 설계가 적절하였음을 알 수 있었다. 또한 표 4에서 나타낸 바와 같이 Peak Angle 이 시뮬레이션 단계에서의 예측과 유사하게 일치하는 특성을 나타냄

을 알 수 있었다. 측정결과 70도와 75도 사이에서 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 이는 시뮬레이션의 단계에서 예측한 75도 Peak Angle 의 값과 유사하게 일치하고 있음을 알 수 있었다.

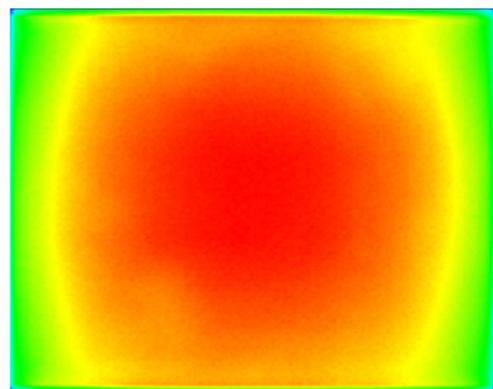
표 4 경사면 출광 광량의 분광광량 측정기의 측정결과

Table 4 Spectro-radio metric results of the incidence light quantity on the inclined plane

Theta	Luminance [nit]	Theta	Luminance [nit]
5	1640	50	2500
10	1680	55	3100
15	1720	60	3890
20	1780	65	4370
25	1820	70	5820
30	1880	75	6183
35	1920	80	5730
40	2110	85	5125
45	2240		



(a)



(b)

그림 7 실물 시료의 법선방향 광량 측정결과 및 휘도분포 사진촬영 결과

Fig. 7 Results of the normal direction light amount measurement and the luminance distribution photographing

### 3. 결 론

본 연구에서는 유리소재의 도광체를 사용하여 일반조명에 사용될 수 있는 평판 조명기구를 설계하여 제조하는데 필요한 광확산패턴의 최적설계방법 및 이에 대한 시뮬레이션 결과와 설계기준을 준수하여 제작된 실물에 대한 평가결과를 비교하여 평가하였다. 유리소재는 통상 도광체로 사용되는 합성수지 계열의 소재와 비교하여 표면강도가 우수하고 마감이 미려하여 실내 조명소재로의 높은 가능성을 가지고 있으며, 이러한 유리소재의 도광체에 최적화된 광확산패턴을 사용할 경우 설계의 목적에 근접하는 실물제작이 가능하여, 일반조명으로의 사용가능성을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션 결과 75도로 예측되었던 Peak Angle이 실물에서도 70-75사이의 값으로 근접하게 구현됨을 알 수 있었으며, 이를 통해서 충분한 법선출광회도를 달성하여 일반조명에 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 법선방향의 광량값에 비해서 경사진 출광값의 최고치가 4배 가깝게 높게 나오고 있으므로, 직하방식의 직접조사 방식의 조명으로의 사용은 아직 어려울 것으로 판단되었다. 그러나 계속적인 설계 및 소재에 대한 연구로서 이러한 문제를 극복 할 수 있을 것으로 예상된다. 특히 개구율 값에 설정은 지속적인 연구를 통해서 실물구현이 용이한 수준의 최적값에 대한 연구가 보다 진행될 필요가 있다고 생각되었다. 대한 아울러, 유리소재의 도광체는 기존의 건축자재로 사용되는 유리의 용도와 중첩하여 사용될 수 있으므로, 벽 천장, 유리온실, 창문 등의 발광을 가능하게 하여 건축자재로서의 사용가능성을 높이고 박형이며 투명한 특징을 이용하여 보다 고부가가치의 조명기구로 사용될 수 있어 관련 산업의 경쟁력 강화에 기여할 것으로 판단된다.

### References

[1] Katsuya Fujisawa, Ikuo Onishi and Yasufumi Fujisawa, "Edge-light backlight unit using optically patterned film," *Japan Journal of Applied Physics*, vol. 46, no. 1, pp. 194-199, 2007.

[2] Katsuya Fujisawa, Ikuo Onishi and Yasufumi Fujiwara, "Edge-light backlight unit using optically patterned film with plural LED placed on side as light source," *Japan Journal of Applied Physics*, vol. 46, no. 38, pp. L933-L935, 2007.

[3] Ko-Wei Chien, Han-Ping D. Shieh and Hugo J. Cornelissen "Efficient polarized backlight for transfective liquid crystal display illumination," *Japan Journal of Applied Physics*, vol. 44, no. 4A, pp. 1818-1819, 2005.

[4] Akihiro Tagaya, Suguru Ishii, Kazuaki Yokoyama, Eizaburo Higuchi and Yasuhiro Koike, "The advanced highly scattering optical transmission polymer backlight for liquid crystal displays," *Japan Journal of Applied Physics*, vol. 41, pp. 2241-2248, 2002.

[5] Koichiro Kakinuma, "Technology of wide color

gamut backlight with LED for liquid crystal display television", *Japan Journal of Applied Physics*, vol. 45, no. 5B, pp. 4330-4334, 2006.

[6] K. Kalantar, S. Matsumoto, T. Mizuno, T. Katoh, "Backlight unit with double surface light emission using a single micro-structured light-guide plate," *SID Digest*, vol. 35, pp. 1182-1185, 2004.

[7] Y. S. Kim, S. Lim, "Design of high uniformity LED backlight," *SID Digest*, vol. 36, pp. 1321-1324, 2005.

[8] J.-M. Han, and D.-S. Seo, "Electric-optical characteristics of back light unit with LED light source in low temperature condition," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 8, no. 2, pp. 93-96, 2007.

[9] J.-M. Han, C.-H. Ok, J.-Y. Hwang, and D.-S. Seo, "Characteristics of motion-blur free TFT-LCD using short persistent CCFL in blinking backlight driving," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 8, no. 4, pp. 166-169, 2007.

[10] J.-M. Han, C.-H. Ok, and D.-S. Seo, "The effect of color reproduction properties at TFT-LCD using high color reproduction CCFL," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 8, no. 5, pp. 215-217, 2007.

[11] C.-C. Hu, T.-L. Su, W.-M. Pai, W.-C. Lan, "New concepts of LCD-TV backlight design with variable lamp pitch", *SID Digest*, vol. 37, pp. 1428-1430, 2006.

### 저 자 소 개



#### 한 정 민 (Jeong-Min Han)

승실대학교 전기공학과 학사  
 승실대학교 전기공학과 석사  
 연세대학교 전기전자공학부 박사  
 서일대학교 전기공학과 조교수



#### 김 원 배 (Won-Bae Kim)

조선대학교 전자공학과 학사  
 조선대학교 컴퓨터공학과 석사  
 조선대학교 전기공학과 박사  
 송원대학교 전기전자공학과 교수