한국생산제조시스템학회지 Vol.20 No.3 2011. 6. pp. 361~367
Korean Society of Manufacturing Technology Engineers

기술논문

LED의 광효율 최적설계에 관한 연구

송영재*, 홍민성+

(논문접수일 2011. 04. 23, 심사완료일 2011. 05. 12)

A Study on the Optimal Design for Optical Efficiency of LED

Young-Jae Song*, Min-Sung Hong+

Abstract

In this paper, it was attempted to analyze the optimal design of light emitting diode (LED), a source of back light unit (BLU). LED is beginning with commercialized red LED which is made by GaAsP compound semiconductor, and has been developed focusing on liquid crystal panel.

In order to get the optimal design, optical simulation was made by analyzing luminosity shape, reflector angle, chip depth, and chip position of LED lighting. Final results show that the proposed LED characteristics were useful to increase light efficiency and it has been proven by distribution chart for actual exposed light on the light guide panel (LGP).

Key Words : LED(발광다이오드), Luminosity Shape(발광부 형상), LGP(도광판), BLU(백라이트유닛)

1. 서 론

LED(light emitting diode)는 1962년 GaAsP 화합물 반도체를 이용한 적색 LED가 상품화된 것을 시작으로 GaP:N 계열의 녹색 LED와 함께 지금까지 정보, 통신기기를 비롯한 전자장치의 표시, 화상용 광원으로 이용되어 왔다. 최근 들어서는 LED를 기존의 램프 조명을 대신하는 용도로 채용되는 사례가 점차 증가하고 있다. 이는 LED 자체의 고휘도화, 장수명화, 고색순도화 등 성능향상에 힘입은 바도 크지만, 냉음극 형광램프와 같은 램프조명을 통해서는 장치의 고품위 및 경박단소화에 한계가 있기 때문이다. LED의 채용이 두드러질 것으로 보여지는 분야로는 자동차, 일반 조명 등의 상당히

고휘도에 해당하는 제품시장도 있지만, 디지털 평탄 TV의 주력으로 자리매김을 하고 있는 LCD(liquid crystal display) TV용 백라이트(back light) 시장 또한 무시할 수 없는 거대시장으로 떠오르고 있다. 시장조사기관의 보고에 따르면 2010년 LCD BLU용 LED의 전체 LED 시장에서의 점유율은 약 14%에 이를 것으로 전망하고 있다. 기존에는 LCD 모니터 및 LCD TV에는 주로 냉음극 형광램프가 사용되어 왔지만 최근 수온 등 환경 유해물질의 규제가 심각해짐에 따라 친환경적인 소재부품인 LED로의 전환이 대세로 굳어지고 있다. 환경문제와 더불어 LED를 LCD의 백라이트 광원으로 사용하게 되면 여러가지 이점을 얻을 수 있다[1].

대표적으로 수명이 거의 1만 시간에 가까우며, 소비전력 또한 백라이트 전체 기준으로 보면 냉음극 형광램프 대비 절반 정도로 낮다. 또한 LED를 채용하게 되면 제품의 박형화가 가능하다. 이는 평판 디스플레이의 가장 큰 세일즈 포인트가 될 수 있다. 그 다음으로는 풍부한 색재현성 또는 연색성과 높은 명암비를 얻을 수 있다. 기존 냉음극 형광램프을 사용한 경우 NTSC 기준으로 70%에 불과하던 Color Gmut이 RGB 3색을

* 아주대학교 산업대학원 기계공학과
+ 교신저자, 아주대학교 기계공학부 (mshong@ajou.ac.kr)
주소: 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지

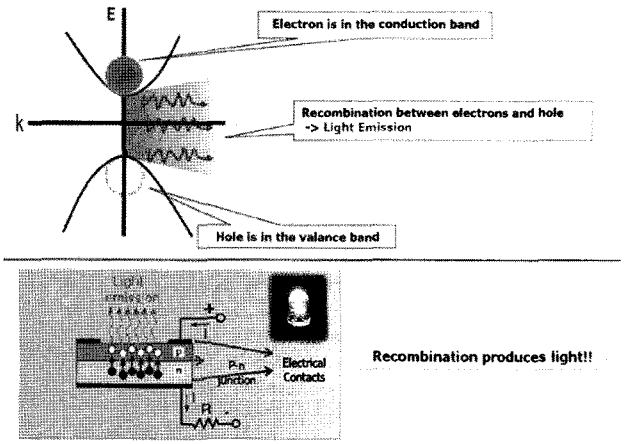


Fig. 1 Principle of LED light

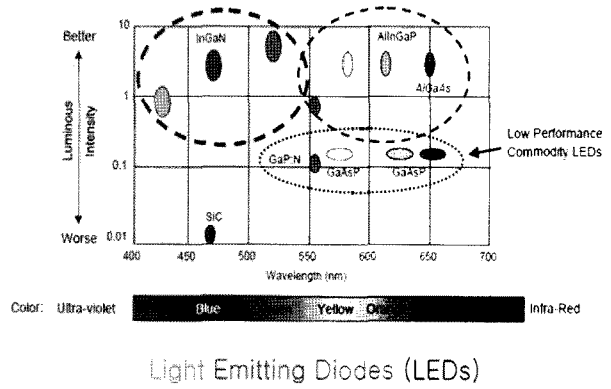


Fig. 2 LED color

혼합하여 백색을 구현하는 경우에는 100% 이상에 달하여 현존하는 모든 디스플레이를 통틀어 가장 우수한 색 재현성을 얻을 수 있다(CRT TV 85~90%, 냉음극 형광램프 방식은 LCD TV 70% 수준)[2].

따라서 본 연구에서는 BLU의 광원인 LED의 설계 및 분석에 의하여 LED의 광학적 특성을 분석하고, LED 광원의 설계 요소인 Reflector, Depth, Chip 형태, Chip의 위치 등을 이용하여 최적설계를 시도하고자 한다.

2. LED 정의 및 관련 이론

2.1 LED 정의

LED는 Fig. 1과 같이 순방향으로는 전기가 통하고 역 방향으로는 전기가 통하지 않게 하는 반도체 소자의 일종이다. 반도체의 P-N 접합구조를 이용하여 주입된 소수캐리어(전자, 양공)를 만들어내고, 이들의 재결합에 의하여 발광하는 것이다. 이는 순 방향으로 일정 전압이 인가되었을 때 불빛을 발하게 되는 것이다.

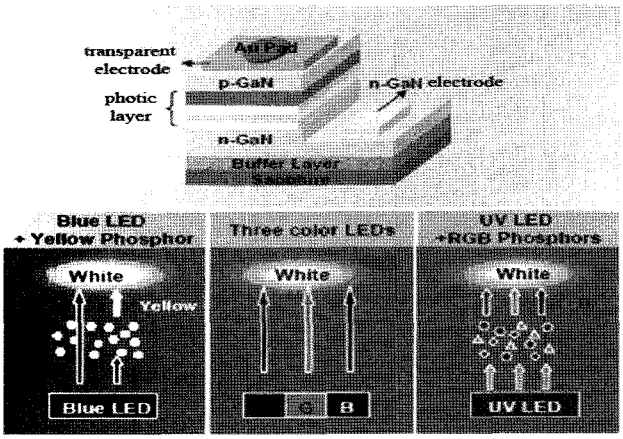


Fig. 3 Method of realization for White

2.2 LED의 발광 색상

Fig. 2와 같이 LED 발광색상은 현재 빨강, 녹색, 청색, 오렌지색, 백색 등이 개발되어 있는데, 이것은 첨가하는 불순물의 함량에 따라 재질의 파장이 달라지기 때문이다. 각 색의 파장은 빨강색의 경우 700nm, 녹색은 565nm, 노랑색은 585nm, 오렌지색은 635nm의 파장을 형성하고 있다. 세계적으로 처음 선보이고 있는 청색 LED 시제품도 휘도가 크게 낮아 상용화를 저해하고 있으나, 최근 질화갈륨비소(GaAsN)와 사파이어(Sapphire)등을 이용하여 기존의 제품에 비해 7배의 휘도를 갖는 제품이 개발되었다[3].

2.3 백색 LED 제조 방법

Fig. 3과 같이 LED를 이용해 백색광을 실현하는 방법은 크게 3가지 방법이 있다. 하나는 적색(Red), 녹색(Green), 청색(Blue) 3종류의 LED를 조합해 백색광을 발생시키는 3파장 방법, 두번째로는 InGAN계 청색 LED를 황색 형광체를 조합한 혼합광으로 백색을 표현하는 방법이다. 세번째로는 근자외계 LED를 적색, 녹색, 청색 형광체를 조합한 혼합광으로 백색을 표현하는 방법이다[4].

3. LED 최적화 구조해석

3.1 최적화 해석을 위한 LED 선정

Table 1은 LED를 해석하는데 있어 변수요소를 줄이기 위하여 기본적인 조건에 대해서는 고정시킨 변수들이다. 또한 Fig. 4는 LED 지향특성을 측정하는 방향을 나타낸다. X-X 지향각 측정은 LED의 장축에 대한 지향특성을 나타내며, Y-Y 지향각 측정은 LED의 단축에 대한 지향특성을 나타낸다.

3.2 Chip 발광 분포에 따른 해석

Fig. 5는 3.1절에서 Chip의 시뮬레이션 조건인 LED Chip

Ray의 윗면에서 발광 및 120°의 지향특성을 설정한 것에 대한 현상을 보여준다.

3.3 발광 형상에 따른 광효율 해석

Fig. 6과 같이 LED 내부 Reflector Angle, Depth, Chip의 위치를 고정시키고 발광 형상을 Table 2와 같이 5가지로 시험

Table 1 Fixed conditions for LED interpretation

Item	Content
LED Size	5.6 * 3.0mm
LED Height	LED Total Height : Over 0.6t (Heat Slug Thickness : 0.2t)
LED Chip	Emitting Structure : Top surface Emitting Chip Size : 1.0 * 1. * 0.1mm Mount Chip : 1 ea Chip Radian Angle : 120°
ETC. Material	Silicone Refraction Index : RI 1.4
Reflectance	Pre-Mold Reflectance : 90% Ag Heat Slug : 95%

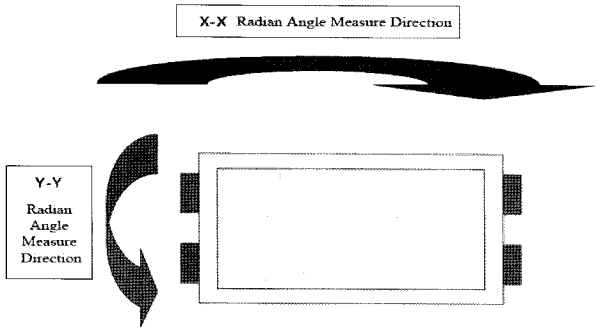


Fig. 4 LED radian angle measure direction

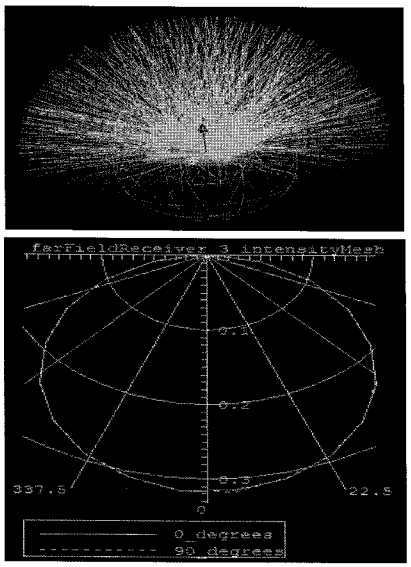


Fig. 5 LED Chip ray luminosity distribution and radian angle

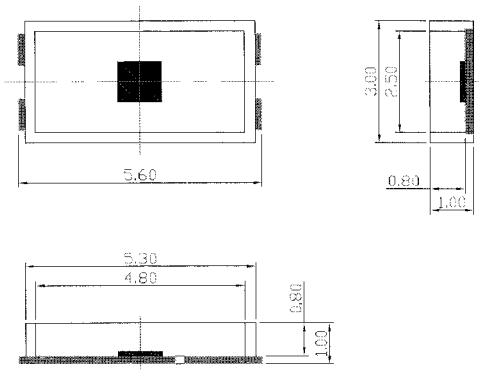


Fig. 6 Fix LED structure for interpretation luminosity shape

Table 2 Case DOE of luminosity shape

Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	
Case4	
Case5	

Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	
Case4	
Case5	

Fig. 7 LED chip ray on luminosity shape

하였다.

Fig. 7은 각 발광 형상별 LED Chip에서 발광부로 빛이 추출되는 현상을 보여주며 이와 같이 LED Chip에서 나오는 Ray의 반사 경로를 확인할 수 있었다.

Table 3의 광 해석 결과 LED의 발광 형상에 따라 LED의 광속 및 지향특성이 달라진다. 광속의 경우는 Fig. 8과 같이 Chip과 Reflector Angle부분의 형상이 가까울수록 광속 특성이 저하되었다. 그 이유는 LED에서 적용되는 Reflector 재료의 반사율이 90% 수준이므로 Chip과 근접 할수록 Reflector에 충돌하는 횟수가 증가하여 LED Blue Ray Power가 감소하여 효율이 낮아졌다. 또한 형상별로 Reflector에 충돌하고 나오는 LED Ray의 경로가 달라져 각기 다른 지향 특성이 나오는 것으로 확인되었다.

3.4 Reflector Angle에 따른 광효율 해석

LED의 Reflector Angle에 따라 LED의 광효율 특성은달라진다. Table 4와 같이 3가지로 Reflector Angle을 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 9는 Reflector Angle별 LED Chip에서 발광부로 빛이 추출되는 현상을 보여주는 그림이다.

Table 3 Radian angle for luminosity shape

Case No.	Case DOE Result Graph	Radian Angle
Case1		X-X : 125° Y-Y : 120°
Case2		X-X : 130° Y-Y : 123°
Case3		X-X : 125° Y-Y : 125°
Case4		X-X : 130° Y-Y : 122°
Case5		X-X : 125° Y-Y : 125°

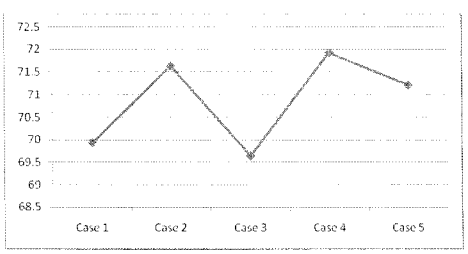


Fig. 8 Speed of light vs. luminosity shape

Table 4 Case DOE of reflector angle

Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	

Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	

Fig. 9 LED chip ray on reflector angle

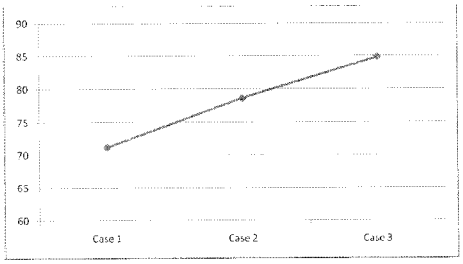


Fig. 10 Speed of light vs. reflector angle

Table 5의 광 해석 결과를 통하여, Fig. 10과 같이 Reflector Angle에 따른 LED Chip에서의 Ray 경로를 추적해 보면 Reflector Angle이 클수록 Ray의 경로가 Reflector에 충돌하고 발광부 상부로 이동하는 양이 상당히 증가되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 이 결과는 LED의 지향특성에서도 그대로 반영되어 지향각이 줄어들었다.

Table 5 Radian angle for reflector angle

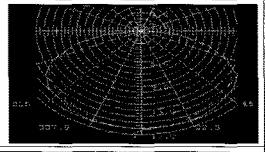
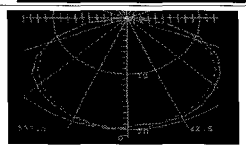
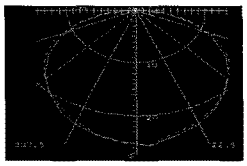
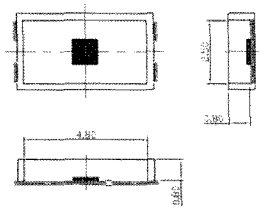
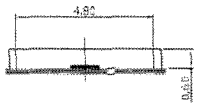
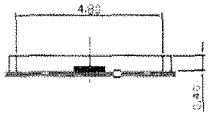
Case No.	Case DOE Result Graph	Radian Angle
Case1		X-X : 125° Y-Y : 125°
Case2		X-X : 122° Y-Y : 122°
Case3		X-X : 120° Y-Y : 120°

Table 6 Case DOE of depth

Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	

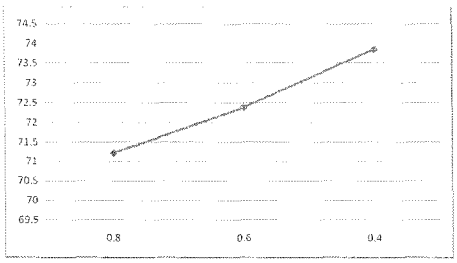
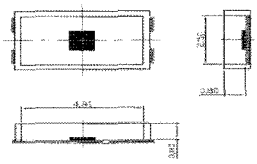
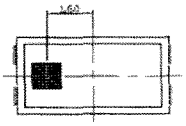
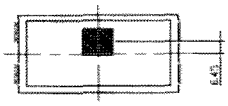
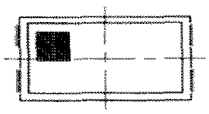


Fig. 11 Speed of light vs. depth

3.5 내부 Depth에 따른 광효율 해석

LED의 Depth에 따른 광효율 특성을 시험하고자 Table 6과 같이 3가지 경우의 Depth를 시험하였다. 동일한 Reflector Angle을 가지고 있으면서 Depth가 각기 다른 경우 LED의 X-X(장축), Y-Y(단축) 지향각 차이는 전혀 없었다. 그러나 Fig. 11에서와 같이 Depth가 낮을수록 LED 광효율은 더 우수한 것으로 나타났다. 그 이유는 LED Chip에서 나오는 Blue Ray가 LED Reflector에 충돌하는 횟수가 그만큼 감소함에 따라 Blue Power의 양이 줄어들어 효율이 향상되는 것으로 확인되었다.

Table 7 Case DOE of chip position

Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	
Case4	

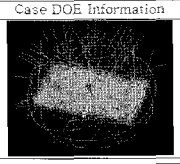
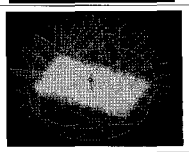
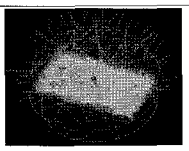
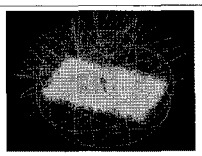
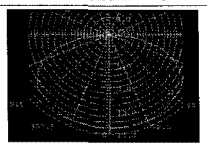
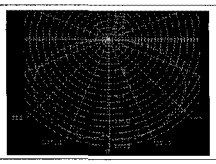
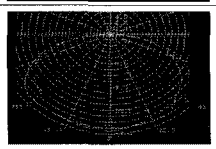
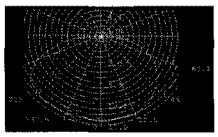
Case No.	Case DOE Information
Case1	
Case2	
Case3	
Case4	

Fig. 12 LED chip ray on chip positions

Table 8 Radian angle for depth

Case No.	Case DOE Result Graph	Radian Angle
Case1		X-X : 125° Y-Y : 125°
Case2		X-X : 125° Y-Y : 125°
Case3		X-X : 125° Y-Y : 125°
Case4		X-X : 125° Y-Y : 125°

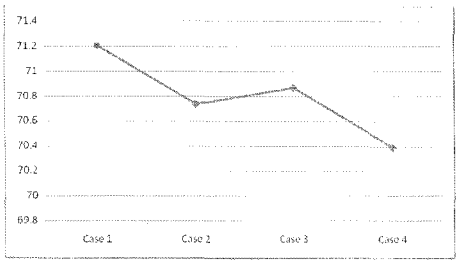


Fig. 13 Speed of light vs. chip position

3.6 LED Chip 위치에 따른 광효율 해석

LED의 광효율 특성은 LED Chip의 위치에 따라 달라지므로 Table 7과 같이 4가지로 Chip의 위치를 변화하며 시뮬레이션을 진행하였다. Fig. 12는 Chip 위치별 발광부로부터 빛이 추출되는 현상을 보여준다.

Table 8과 같이 LED Chip 위치에 따라 지향특성이 달라지지는 않았다. 단, Chip에서 나오는 Ray가 Chip에서 가까운 Reflector에 더 많이 충돌하는 현상이 나타났고, 이 현상으로 인하여 LED Chip이 위치한 반대방향으로 빛이 더 추출되는 지향특성이 나왔다. 즉, 빛이 출사되는 것이 좌우 대칭이 아닌 비대칭 현상으로 빛이 나오는 것이 확인되었다. 또한 Reflector에 가까울수록 Reflector에 의한 Power의 감소로 인하여 휘도 특성이 저하되는 것이 확인되었으며, Fig. 13을 통하여 광속은 X-X축의 Reflector 영향이 Y-Y측의 Reflector 영향보다 크다는 것을 알 수 있었다.

3.7 LED 최적화 해석결과 및 분석

최종 해석 결과를 토대로 도광판(light guide panel)을 제작

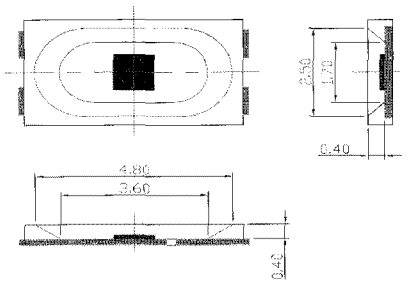


Fig. 14 Final optimized LED structure

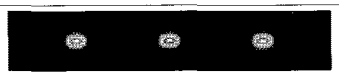
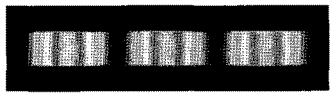
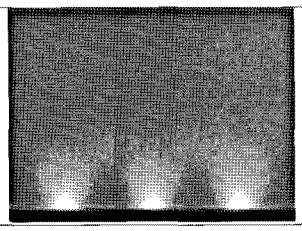
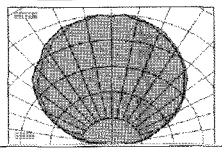
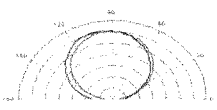
	LGP Simulation Graph
LGP Pass Before	
LGP Pass After	
LGP Lay distribution	

Fig. 15 Optimally designed LGP

Table 9 Final optimized LED radian angle

	LED Radian Angle Graph	Radian Angle
Simulation data		X-X axis 120° Y-Y axis 124°
Real Data		X-X axis 120.5° Y-Y axis 126.9°

하고(Fig. 14-15 참조) 이를 Table 9와 같이 지향 특성 시뮬레이션 결과와 비교하여 98% 유사성이 확인되었다. 또한 최종 설계에 대한 광 해석 결과 초기 100% 추출 Power에서 최종적으로 88%의 광효율을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 BLU 디스플레이 분야에서 LED의 채용률이 높아지고 있는 가운데 LED의 구조 최적화를 통한 광특성 향상을 위하여 Luminosity Shape, Reflector Angle, Depth, Chip의 위치를 분석하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) LED 설계에 있어서 내부 Reflector Angle과 Depth가 LED 광효율 향상에 있어 가장 중요한 역할을 하였다. Reflector Angle이 클수록 Ray의 경로가 Reflector에 충돌하고 발광부 상부로 이동하는 양이 상당히 증가되는 것을 볼 수 있었다. 또한 Depth가 낮을수록 LED 광효율은 더 우수한 것으로 나타났다.

(2) LED Chip 위치에 따라 지향특성이 달라지지는 않았지만 Chip에서 나오는 Ray가 Chip에서 가까운 Reflector에 더 많이 충돌하는 현상이 나타났고, 이 현상으로 인하여 LED Chip이 위치한 반대방향으로 빛이 더 추출되는 지향특성이 나왔다. 또한 Reflector에 가까울수록 Reflector에 의한 Power의 감소로 인하여 휘도 특성이 저하되는 것이 확인되었다.

(3) LED Chip의 Ray의 Power가 감소하는 것을 막기 위하여 최대한 LED 내부에서 빛이 충돌되는 횟수를 최소화시켜야 한다.

(4) 최종 해석 결과를 토대로 도광판을 제작하고 지향 특성 시뮬레이션 결과와 비교한 결과 98%의 유사성이 확인되었다. 또한 최종 설계에 대한 광 해석 결과 초기 100% 추출 Power에서 최종적으로 88%의 광효율을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

(1) IT SoC Magazine (Guide to LED), 2008.

(2) Cho, Y. T., 2011, "Heat Radiation of LED Light using Cu Plating Engineering Plastic Heat Sink," *KSMTE*, Vol. 22, No.1, pp. 81~85.

(3) National IT Industry Promotion Agency, 2007, "New Technology- LED Back Light," *Weekly Technology Paper*, Vol. 1283.

(4) Korea Electronics Technology Institute, 2008, LED Technical Road Map.