

# SMD형 Y/G/W HB LED의 광특성 비교분석

(Optic Characteristics Comparison and Analysis of SMD Type Y/G/W HB LED)

황명근\* · 허창수 · 서유진

(Myung-Keun Hwang · Chang-Su Huh · Yu-Jin Seo)

## 요 약

광속구(integrating sphere photometer), 분광기(monochromator)등을 이용하여 노랑색(Y), 녹색(G), 백색(W)의 SMD(surface mounted device)형태의 HB LED(high brightness light emitting diode)에 대한 광속(luminous flux, LF), 상관 색온도(correlated color temperature, CCT), CIE 색도좌표(chromaticity coordinate, CC)등 광특성을 실험하여 그 결과치를 비교 분석하였고, 백색 LED에 대해서는 연색지수를 고찰하였다.

## Abstract

The optical characteristics; luminous flux, correlated color temperature, and CIE-chromaticity coordinate etc., of HB LED(high brightness light emitting diode) of yellow/green/white SMD(surface mounted device) type were tested with integrating sphere photometer and monochromator, and the results were comparatively evaluated. And, for the white LED, color rendering indices were considered to analyze.

Key Words : HB LED(high brightness light emitting diode), Luminous Intensity, Chromaticity Coordinate, Color Rendering Index

## 1. 서 론

국가적 차원에서 에너지 절감이 절실히 필요한 실정으로 최근의 조명기술 동향은 LED(light emitting diode)를 사용한 반도체 광원(light source)이 크게 부각 되어가고 있으며[1, 3] 그림 1은 백열구와 형광램프, HID(high intensity discharge)와 LED 등에 관한 광효율(luminous efficacy of radiation)을 나타낸 것이다[2, 3]. LED는 無수은으로 환경 친화적이

고 경량이며 전력절감이 탁월하여 장수명·고신뢰성으로 간단한 구동회로와 색상제어가 용이한 특징을 가지고 있다[1, 4]. 즉 적색(R), 녹색(G), 청색(B), 노랑색(Y), 백색(W)의 SMD(surface mounted device)형 조명용 HB LED(high brightness light emitting diode)의 개발에 따른 기존 조명기기의 대체가 가능하고 앞으로 선도 조명기술로 자리매김할 것으로 기대된다[3, 5~7].

국내외에서 InGaN를 바탕으로 한 고효율 UV LED가 개발 중에 있으며 백색 LED의 측정방법의 제시와 이에 대한 논의가 진행 중에 있다[8 ~ 11].

기존 수직 리드형 HB LED는 공급전류 20[mA]의 한계와 PCB상에서의 열에 의한 패키징의 한계로 방열문제를 해결하여야 만 하였다. 그러나 점차적으로

\* 주저자 : 인하대학교 전기공학과 박사수료  
Tel : 032-860-7408, Fax : 032-863-5822  
E-mail : kilt@korea.com  
접수일자 : 2004년 4월 16일  
1차심사 : 2004년 4월 22일  
심사완료 : 2004년 7월 1일

SMD형 Y/G/W HB LED의 광특성 비교분석

박막(InGaN, AlGaIn, AlInGaIn 등) 및 저결함 GaN 기판 성장 기술과 QD(양자점)형성 및 도핑 기술(GaN), Chip Design 및 Package 기술로서 양자 효율 증대와 내열 설계기술 등의 기술이 진보되어 현재 HB LED의 공급전류가 50~70[mA]의 큰 전류를 흘릴 수 있는 초고휘도(ultra high brightness) LED가 개발되고 있다. 즉, 기판위에 청색 InGaIn나 380[nm] 갖는 UV InGaIn와 360[nm] GaN LED의 성장이 LED의 고효율 및 고연색화를 실현해가고 있다 [12~14].

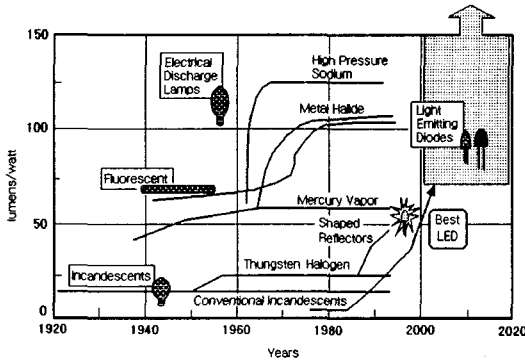


그림 1. LED광원의 미래(2)  
Fig. 1. The future of LEDs. Source(2)

일반 조명용으로 개발된 백색 LED 광원은 대상물에 광이 조사되는 경우, 사람이 보아서 불쾌감이 없는 백색과 양호한 연색성을 가지고 있을 필요가 있어 고효율화와 연색성은 LED광원으로는 중요한 요소이다. 연색성은 백색 LED광원의 스펙트럼 파장으로부터 결정되기 때문에 광원의 응용을 고려하여 위의 두 가지 요소를 만족하도록 설계하지 않으면 안된다[15, 16].

LED의 발광효율 또는 광효율의 단위는 [lm/W]로 표시하며 파장 λ에 있어서 단일 파장의 방사광의 광효율 K(λ)는 다음 식으로 주어진다.

$$K(\lambda) = K_m \times V(\lambda) \text{ ----- (1 식)}$$

여기서 K<sub>m</sub>는 683[lm/W](555[nm])의 녹색에서의 최대값이며, V(λ)는 각 파장의 광효율을 나타낸 것이다.

더욱이 각 파장의 스펙트럼 강도분포계수를 S(λ)라고 하면 각 파장의 광효율은 다음 식으로 주어진다.

$$K(lm/W) = \frac{K_m \int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda} \text{ ----- (2 식)}$$

CIE에서 결정된 연색평가지수는 일반적으로 Ra로 표시하며, 일반 조명용의 전통적인 램프의 백색은 전구색(2,850K)과 주광색(6,500K)으로 구분되며 통상 형광램프의 색도는 이 곡선상에 있어야 하는 것으로 의무화되어 있다. 따라서 Ra≥80은 실내조명용으로서 고품질 백색 LED의 필요조건이며 Ra>95는 도서관에서의 서적 편람이나 정밀가공 설계 등에 필요한 조명조건이다[16].

LED를 사용하여 광효율 및 연색성이 높은 백색을 얻기 위해서는 두 가지 방식이 있는데, 하나는 단일칩형인 InGaIn의 재료로서 청색 및 UV LED를 여기원으로 해서 발광하는 방식이며 광효율은 15~20 [lm/W], 연색성 80~90인 특성을 지니며, 분광 스펙트럼은 그림 2와 같다. 또 다른 하나는 멀티칩형으로 발광색별(InGaIn, AlInGaP, AlGaAs) LED를 하나의 패키지에 장착해서 발광하는 방식이다.

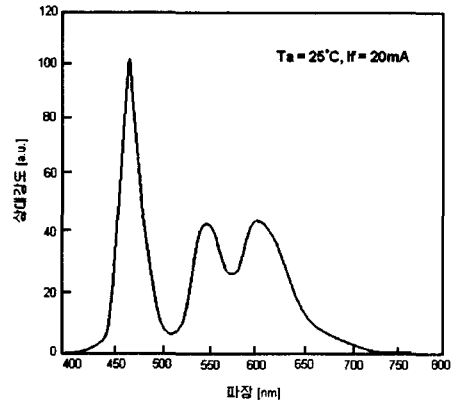


그림 2. R/G/B 형광체를 사용한 단일칩형 백색 LED의 특성  
Fig. 2. The characteristics for single chip white LED

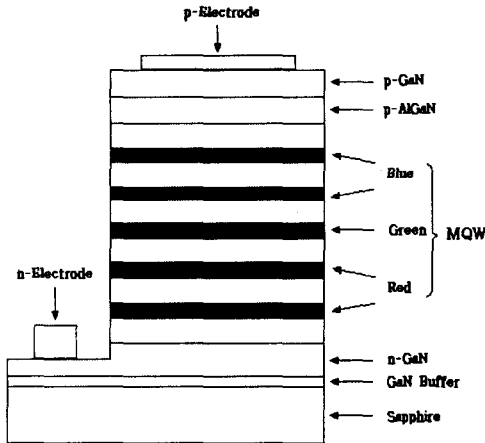


그림 3. 단일칩 백색 LED의 구조도  
Fig. 3. Schematic diagram for single chip white LED

GaN계 화합물 반도체의 UV LED의 실용화로 백색 LED는 1996년부터 상용화되고 있다. 즉 청색 LED에서 황색발광 형광체를 여기하는 방식과 자색·UV LED로 R/G/B형광체를 여기하는 방식이다.

현재 일반적인 백색 LED라고 하면 InGaN계 청색 LED와 YAG(yttrium aluminum garnet)계 형광체의 조합을 말하며, InGaN MQW(multiple quantum well) 청색 LED를 여기원으로 YAG형광체를 그 위에 도포한 구조로서 그림 3과 같으며, 그림 4는 분광분포를 나타낸 것이다.

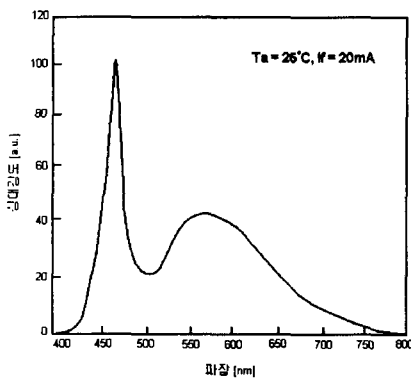


그림 4. Blue LED와 YAG형광체에 의한 백색 LED의 특성곡선  
Fig. 4. White LED spectrum depending on exciting of Blue LED and YAG phosphor

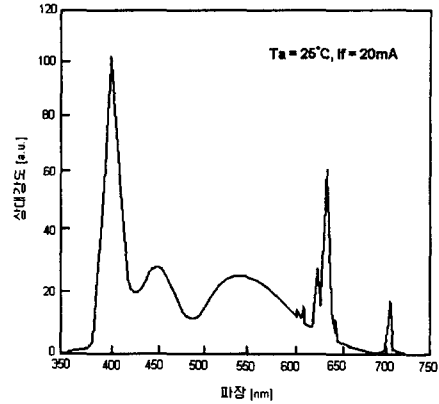


그림 5. UV LED와 R/G/B형광체에 의한 백색 LED  
Fig. 5. White LED spectrum depending on exciting of UV LED and R/G/B phosphor

현재는 LED 1개 당 광속이 약하기 때문에 조명용 광원으로는 다수의 LED를 배열해야 되고 형광물질(phosphor)의 조합으로 백색광 이외에도 여러 종류의 발광색을 내는 것도 가능하여 조명에의 응용범위도 넓어진다.

UV LED와 R/G/B형광체에 의한 백색 LED를 구현하는 방식은 UV 또는 보라색의 LED로 형광체를 여기하여 백색을 나타내는 것이며 현재 여러 연구기관에서 연구되고 있으며 이 방식의 장점은 형광체의 개발상황에 의존하지만 사용할 수 있는 형광체의 종류가 증가하고 고연색화를 기대할 수 있다는 점과 전류나 온도에 대해서 색의 바램이 저감된다는 것이다. 단점으로는 UV를 사용하기 때문에 패키지 등의 밀봉재료의 약화나 UV 누출광에 의한 눈에 대한 안정성이 문제가 된다.

일반적으로 형광체는 UV 쪽의 여기효율이 좋으나, 여기광원으로서 사용하는 InGaN계 LED의 광효율은 400[nm]이하로 급격하게 저하하거나 자외광을 가시광으로 down conversion하기 때문에 stokes shift 등의 에너지 감소가 발생한다. 따라서 현재는 400[nm] 근처의 여기광원을 사용하는 방식의 효율이 좋다. 그림 5에 400[nm] LED와 R/G/B형광체를 조합할 때의 분광분포를 나타내었다. 여기서 400[nm]의 여기광이 상당히 많이 유출되고 있지만 이 원인은 적색 형광체의 흡수 효율이 나쁘기 때문인 것으로 풀이된다.

SMD형 Y/G/W HB LED의 광특성 비교분석

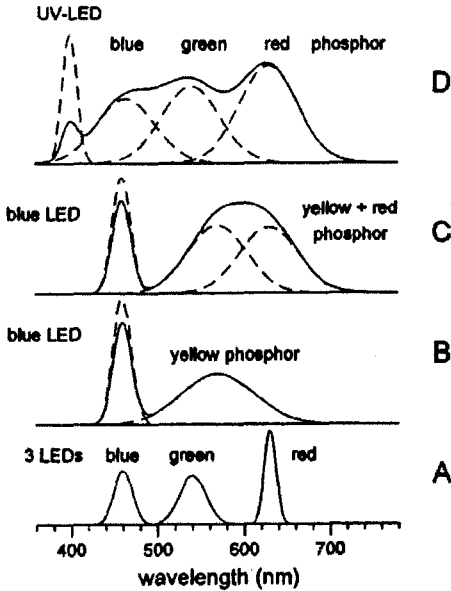


그림 6. GaN 백색 LED의 스펙트럼 특성  
Fig. 6. Spectral wavelength for GaN LED families

단일 칩에 형광체를 접목시키는 기술은 최신기술로서 1995년도 후반에 들어서 고휘도 청색 LED가 일본 Nichia社에서 상용화되면서 청색 LED를 여기 광원으로 사용되고 여기광을 노랑색(560[nm])의 YAG계 형광물질을 통과시킴으로써 백색광을 구현하게 되었지만 청색(450~470[nm])과 노랑색과의 파장 간격이 넓어서 색 분리로 인한 섬광효과(halo effect)를 일으키기 쉽다는 단점이 있다[10]. 그림 6은 GaN 백색 LED의 여러 가지 분광분포 특성 예를 나타낸 것이다[15].

따라서 본 논문에서는 SMD형 HB LED램프인 Y/G/W에 대한 광속, 연색지수, 상관 색온도, CIE 색도좌표 등에 대한 기본적인 광 특성과 분광분포에 대한 특성을 분석하여 조명용으로의 적용 가능성을 분석하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험조건

HB LED의 광속, 가시광선 영역에서의 분광분포(spectral energy distribution, SED)측정 등을 위해

여 100[mm]인 소형 적분구(integrating sphere)를 사용하고, 개인용 컴퓨터(PC)에서 LIS 제어 프로그램을 사용하여 실험하였다. 비교 측정을 위한 표준 발광다이오드(reference LED)는 외경이 5[mm]로서 NML(national measurement laboratory)에서 공급 받은 것을 사용하였다.

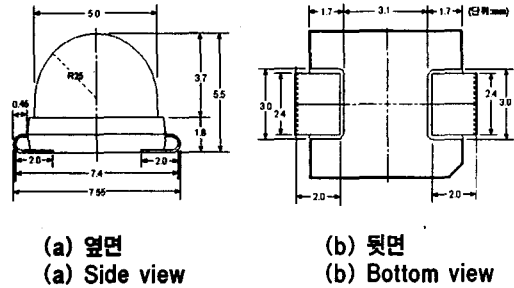


그림 7. SMD형 HB LED 구조  
Fig. 7. Dimensions of SMD type HB LED

실험에 사용된 LED의 크기와 구조는 그림 7과 같으며 국내에서 개발된 것으로서 표 1과 같이 Y/G/W로서 상온 25[℃]에서 전류는 70/50/50[mA]인 SMD형 HB LED로 실험하였으며 실험을 위한 장비 및 설비의 설치도는 그림 8과 같다.

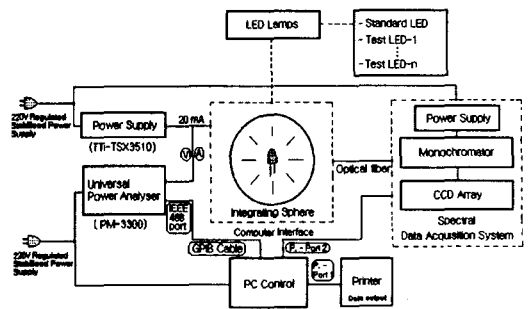


그림 8. HB LED의 실험을 위한 장비 설치도  
Fig. 8. The actual experimental set up diagrams

2.2 SMD형 HB LED의 광특성

2.2.1 광속과 광효율 특성비교

HB LED의 광속과 광효율을 측정하기 위한 조건

에서 온도는 25[°C]±2[%], 버닝시간 4~7[분], 전류는 50~70[mA]로 하여 공급전압은 2.5~3.7[V]로 하였을때 Y/G/W의 광속은 3.03/2.17/3.11[lm]으로서 광효율은 15.1/10.8/15.5[lm/W] 이었다. 표 2는 HB LED의 광속과 광효율의 결과치를 나타낸 것이다.

표 1. HB LED의 공급전류  
Table 1. The supply current of HB LED

구 분	칩 재료	공급전류 If(mA)
노 랑	AlInGaP	70
녹 색	InGaN	50
백 색	InGaN	50

표 2. HB LED의 광속 및 광효율 측정조건에 따른 결과치  
Table 2. Result value of Luminous Flux and Efficacy for HB LED

구 분	측 정 조 건				광속 (lm)	광효율 (lm/W)
	온도 (°C)	버닝 (분)	전압 (V)	전류 (mA)		
노랑색	24.7	6.0	2.5	70	3.03	15.1
녹 색	25.3	4.0	3.1	50	2.17	10.8
백 색	24.5	7.0	3.7	50	3.11	15.5

### 2.2.2 분광분포 특성비교

HB LED의 분광분포 특성 결과를 발광색별로 실험하여 제시하였다. 측정조건은 온도 19.4~25.3[°C], 버닝시간은 4~10[분], 공급 전류는 광속 측정시와 동일한 50~70[mA]로 하였다.

노랑색 HB LED의 피크파장은 610[nm], 반치폭 25[nm], CIE 색도좌표는  $x = 0.6311, 0.3626$ , 주파장은 602[nm]로서 분광분포 곡선은 그림 9와 같고, 녹색 HB LED의 피크파장은 510[nm], 반치폭 68[nm], CIE 색도좌표는  $x = 0.2027, 0.6263$ , 주파장은 527[nm]로 분광분포 곡선은 그림 10에 제시하였다. 또한 백색 HB LED의 피크파장은 460[nm], 반치폭 40[nm], CIE 색도좌표는  $x = 0.2986, 0.2599$ , 주파장은 559[nm]로서 분광분포 곡선과 CIE 색도좌표는 그림 11과 같다.

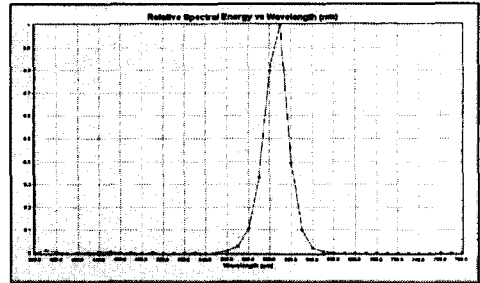


그림 9. 노랑색 HB LED의 분광분포 곡선  
Fig. 9. SED of yellow HB LED

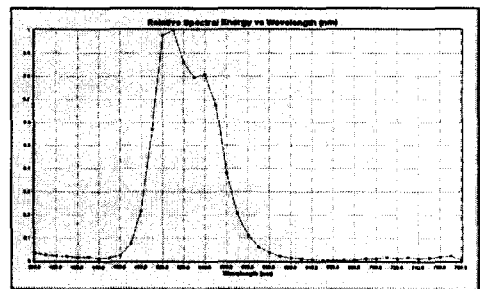
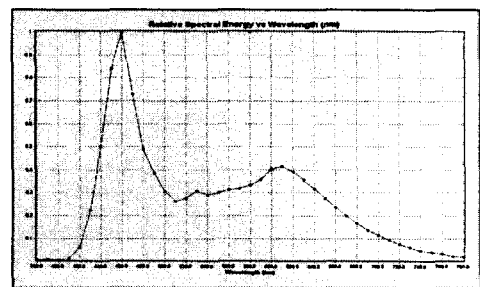
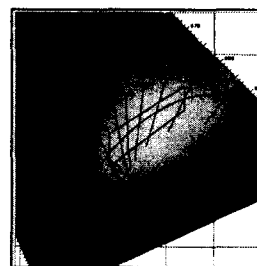


그림 10. 녹색 HB LED의 분광분포 곡선  
Fig. 10. SED of Green HB LED



(a) 분광분포 곡선



(b) CIE 색도좌표

그림 11. 백색 HB LED의 분광분포 곡선과 CIE 색도좌표 특성  
Fig. 11. SED and CIE CC characteristics of white HB LED

표 3. HB LED의 분광특성 실험 조건 및 결과  
Table 3. The testing results of HB LED

구분	실험 조건				피크 파장 (nm)	반치폭 (nm)	CIE 색도좌표 (x, y)	주파장 (nm)
	온도 (°C)	비명 (분)	전압 (V)	전류 (mA)				
노랑색	19.4	10.0	2.5	70	610	25	0.6311, 0.3626	602
녹색	25.3	4.0	3.1	50	510	68	0.2027, 0.6263	527
백색	24.5	7.0	3.7	50	460	40	0.2986, 0.2599	559

2.2.3 백색 HB LED의 연색특성

백색 HB LED의 평균 연색지수(Ra)는 76, 특수 연색지수(Ri)는 43.5[%], CCT는 9,518[K]의 결과치를 얻었다.

상관색온도가 높은 이유는 청색 형광체를 많이 사용한 것으로 예상되며, 연색지수 번호별 실험 결과치는 표 4와 같다.

표 4. 백색 HB LED의 연색지수  
Table 4. CRI of white HB LED

구분	번호	십벌	측정치	ISCC*
연색지수	R1	7.5R6/4	65	light grayish red
	R2	5Y6/4	74	dark grayish yellow
	R3	5GY6/8	94	strong yellow green
	R4	2.5G6/6	75	moderate yellowish green
	R5	10BG6/4	70	light bluish green
	R6	5PB6/8	71	light blue
	R7	2.5P6/8	89	light purple
	R8	10P6/8	75	light reddish purple
평균연색지수 (CRI)	Ra	76		
특수연색지수	R9	4.5R4/13	12	strong red
	R10	5Y8/10	55	strong yellow
	R11	4.5G5/8	71	strong green
	R12	3PB3/11	62	strong blue
	R13	5YR8/4	66	light yellowish pink
	R14	5GY4/4	96	moderate olive green
	R15	1YR6/4	57	-
		Ri	43.5	

\* ISCC : International Society Color Council

3. 결과 및 고찰

최근 개발된 SMD형 HB LED의 광특성을 실험·분석한 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) Y/G/W순으로 피크파장은 610/510/460[nm], 주파장은 602/527/559[nm], 광속은 3.03/2.17/3.11 [lm], 광효율은 15.1/10.8/15.5[lm/W]로서 우선 응용면에서 MR이나 베이스 타입 등의 형태로 LED광원을 제작하여 스탠드, 복도등, 비상유도등, 침실용 등의 용도에 사용 가능하다고 보며 R/G/B의 색상제어로 무대조명, 카지노 등의 경관조명용으로도 활용할 수 있다고 생각된다.

2) 백색의 SED특성은 청색LED와 YAG형광체에 의한 특성 곡성임을 알 수 있었고, 광속 3.11[lm], 광효율 15.5[lm/W]는 기존의 필라멘트 백열구와 유사한 광효율 특성임을 알 수 있었다. 특히 Ra는 76, Ri는 43.5로서 기존의 삼파장 형광등과 비교하면 뒤지지 않는 연색성으로서 응용 조명용으로 사용이 가능하다고 생각된다.

SMD형 HB LED는 수 년내에 더 높은 광효율로 많은 용도의 조명용으로 사용할 수 있을 것으로 보며, 특히 한전의 송전철탑용 "태양전지식 LED 항공 장애등"의 글로브(globe) 광출력 향상설계와 함께 저광도용(7W/40 cd)[17]으로 시도해 볼 만한 가치가 있다고 생각된다.

References

- (1) 황명근, 조명공학개론, pp. 153~162. 도서출판 성우, 2003. 9.
- (2) Agilent Technologies Inc, "A Guide to Human Visual Perception and the Optical Characteristics of LED Displays", 1999. 11.
- (3) G. Zorpette, Let There Be Light, pp. 70~74, IEEE, spectrum, 2002. 9.
- (4) 이정욱, 김훈, "LED를 이용한 가변색 광원의 개발", 한국조명전기설비학회 논문집, pp. 91~98, 1999. 11.
- (5) M. K. Hwang, C. S. Huh, "A Study on Optics and SED Characteristics of LEDs lamp", J. KSES, Vol. 23, No. 1, pp. 68~75, 2003. 3.
- (6) 황명근, 허창수, 서유진, "조명용 백색 LED 광원의 등기구 형태에 따른 광도 및 기구효율 분석," 조명·전기설비학회논문지, 제18권 제3호, pp. 20~26, 2004. 5.
- (7) M. K. Hwang, C. H. Lee, C. S. Huh and C. S. Park, "A Study on Optic Characteristics of LEDs lamp", LS-10, Proceedings, 2004. 7.

- [8] D. Eisert, U. Strauss, S. Bader. "White Light Sources Based on InGaN", Proc. Int. W/S. on Nitride Semi.'s, IPAP conf. series 1 pp. 841~844. 2003.
- [9] S. Nakamura, T. Mukai and M. Senoh: Appl. phys. Lett. 64(1994) 1687.
- [10] M. Iwaya, R. Nakamura, S. Terao. "High-Efficiency GaN/AlxGa1-xN Multi-Quantum Well Light Emitter Grown on Low-Dislocation Density AlxGa1-xN", Proc. Int. Workshop on Nitride Semi.'s, IPAP conf. series 1 pp. 833~836. 2003.
- [11] QE 127, Measurement of LEDs.
- [12] T. Mukai, K. Takekawa and S. Nakamura: Jpn. J. Appl. Phys. 37(1998)L839.
- [13] T. Mukai, and S. Nakamura: Jpn. J. Appl. Phys. 38(1999)5735.
- [14] N. Narendran, N. Maliyagoda, L. Deng, and R. Pysar "Characterizing LEDs for General Illumination Applications: Mixed-color and phosphor-based white sources", SPIE Proceedings, Vol. 4445, 2001.
- [15] C. van Tright, Color Rendering, a Reassessment, color research and Applications, Vol 24, No. 3, pp. 197-206, June 1999.
- [16] Tünde Tarczali, Peter Bodrogi and János Schanda, Colour Rendering Properties of LED Sources, QIE 2nd LED Mea. Sym., Gaithersburg, 2001.
- [17] 한전규격, 태양전지식 LED 항공장애등, 2004. 5.

## ◇ 저자소개 ◇

### 황명근 (黃明根)

1988년 서울산업대학교(공학사). 1991년 한양대학교(공학석사). 2000년 인하대학교 전기에너지 및 재료공학(박사수료). 1992년~1995년 동방중전기(주) 개발부장, 1996년~1998년 (주)건화이엔아이 기술연구소 책임연구원. 1998년~2004년 현재 (재)한국조명기술연구소 책임연구원. 2003년~2004년 현재 세종대학교 겸임교수. 대한전기학회 및 한국조명전기설비학회 정회원.

### 허창수 (許昌洙)

B. S. in Electrical eng., 1981. Inha Uni., M. S. in Electrical eng., 1983. Inha Uni., KIEE member. KIEEME member. KIIEE member. The Korean Institute of Telematics & Electronic member. The Korean Solar Energy Society member. The Institute of Electrical & Electronic Engineers member. The Int'l Ass. of Science & Technology for Development member. The IEE of Japan member (A, B, C, D, E). 1993~Present: Professor (Dep. of Electrical Eng., Inha Uni.). 1983~1993: Head (Division of Electrical Materials & Functional Materials Lab of KERI).

### 서유진 (徐有鎭)

1999년 서울산업대학교 전기공학과(학사). 2001년 인하대학교 산업대학원 전기공학과 (석사). 2004년 현재 인하대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 1981년~1996년 벽산건설(주)근무. 2004년 현재 (주)서진설계기술단 대표이사. 건축전기설비기술사. 한국조명전기설비학회 평의원.