

등기류 발전에 따른 조명용 LED의 효율 향상 시뮬레이션

왕명근<한국조명기술연구소 책임연구원>, 허장수<인하대학교 교수>

1 서론

2003년 1월 27일 유럽의회 심의 법령(2002/95/EC) RoHS(특정 유해 물질의 사용에 대한 규제) 6개 물질(수은, 납, 카드뮴, 6가 크롬, PBB, PBDE)의 사용 규제가 조명기기를 포함한 전기전자기기에서 2006년 7월부터 실시될 예정인 바 앞으로의 광원류는 이를 해결해야 할 것으로 본다. 이를 해결하기 위한 대표적인 광원이 LED(light emitting diode)라고 볼 수 있을 것이다. 그림 1은 1879년 최초의 조명용 백열구를 시작으로 1990년대 말 무전극 PLS(plasma lighting system) 및 LED램프를 시대별로 나타낸 것이다.

LED는 전기·전자·통신분야의 신호용에서부터 조명·광고용, 손전등, 디스플레이 분야, 자동차의 브레이크등, 간판, 피난 유도등(exit sign), 전광판 등 광범위한 용도로써 IT·BT·NT·ET·光산업 및 반도체기술과 접목이 가능한 기술로서 고부가가치 창출이 가능한 산업이다.

이는 LED가 無수은으로 환경 친화적이고, 초경량이며 전력절감이 탁월하여 기존의 대표적인 조명기기의 대체가 가능(백열전구 대비 75%, 형광등 대비 35% 이상 절전 효과)하고 장수명·고신뢰성으로 간단한 구동회로와 R/G/B 색상제어가 용이하므로 앞으로 21세기 성장동력산업의 접목기술인 디지털 조

명(digital lighting)을 특징으로 한 선도 기술로 자리매김할 것으로 예상된다.




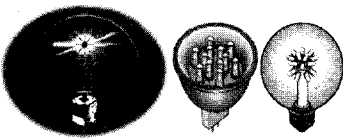
년 도	광 원 류
1879년	 백열구
1938년	 형광등
1964년	 HID램프
1990년대 말	 무전극 PLS 및 LED 램프

그림 1. 조명용 광원의 발전사

현재까지는 LED자체의 가격과 광도 발산이 적어 조명용으로서의 실용화가 크게 부각되고 있지 않으나 대량생산으로 원가의 절감과 LED chip구조의 개선

으로 조명용 LED기술을 개발하고 있다.

그 예로서 일본, 미국 등의 LED조명 선진국은 이미 1998년과 2002년부터 대형 국가 프로젝트로 개발을 하고 있으며 LED의 기술개발을 통한 세계시장 선점의 기회로 삼고 있다. 기존 조명시장 및 정보 디스플레이 산업의 활용이 예고되고 삶의 질적 향상을 통해 옥내외 조명, 평판디스플레이 백라이트, 자동차 헤드라이트 등 산업 전반에 걸친 용도의 다양화로 에너지절약은 물론 고품위, 고효율, 고효율 LED조명의 수요 욕구 창출이 예상된다.

미국은 에너지부(DOE)를 중심으로 "Next Generation Lighting Initiative, Vision 2020"을 2020년까지 18년 간 기존의 형광등 효율의 약 3배 인 200 (lm/W)의 LED광원 개발을 목표로 추진 중에 있으며 에너지 위기에 대한 종합적인 대책의 하나로 국가 핵심주도 사업으로 수행하고 있다.

일본의 경우에는 통산성을 중심으로 "Light for the 21C." 프로젝트를 1998년 착수, 2008년까지 10년 간 형광등 효율의 약 2배인 120(lm/W)의 LED광원 개발을 목표로 추진 중에 있으며 이와 더불어 2010년까지 조명용으로 사용되는 에너지의 20 % 감소를 이루어 CO₂의 배출량을 1990년대 수준으로 내리는 목표로 병행 추진 중에 있다.

이밖에 대만의 기술개발 방향은 조명용 LED광원 개발을 위해 2002년에 국가 핵심사업으로 지정하여 11개 社를 중심으로 2005년까지 일본을 추월하려는 야심찬 계획으로 추진 중에 있으며 캐나다는 LED의 개발보다는 LED를 응용한 기술개발로 TIR사를 중심으로 2001년부터 2004년까지 LED로 어레이 한 제품류들을 프로젝트로 추진 중에 있다.

국내에서도 경찰청 및 국가 표준규격(KS)으로 LED를 사용한 교통신호등이 이미 제정된 바 있어 기존의 백열전구에서 LED로 제작된 교통 신호등으로 교체·사용 중에 있다. 지금까지 고회도 LED램프 (R/G/B/A/W)에 대한 광속, 연색지수 (CRI), 상관

색온도 (CCT), CIE 색도좌표 등에 대한 기본적인 광 특성에 대한 제시만 하였고 조명용 LED광원으로 서의 등기구 제작이나 효율 및 광도분포 등에 대한 분석 결과는 없었다.

따라서 본 고에서는 조명용 LED광원을 제작하기 전에 Photopia 프로그램을 사용하여 LED 어레이의 배열과 글로브의 여러 형태에 따른 효율을 시뮬레이션으로 비교 분석하여 HB LED를 이용한 조명 개발에 실질적인 도움을 주고자 하였다. 사용된 HB LED의 사양은 표 1과 같고 광속 2.15(lm)인 HB 백색 LED이며 반사판 및 등기구의 글로브 사양은 표 2와 같이 Alanod 410G/3 및 Generic사의 Clean Acrylic를 사용하였다.

표 1. HB LED의 사양

모델명	전력 [W]	광속 [lm]	색도좌표 (x, y)	빔 각도 [°]	광 효율 [lm/W]
NSPW-500	0.072	2.15	0.31, 0.32	20	29.86

표 2. 반사판과 글로브의 사양

구 분	재 질	비 고
반사판	Alanod 410G/3	반사율 88%
글로브	Generic사의 Clean Acrylic	투과율 92%

2. 본 론

2.1 LED배열과 글로브의 형태

등기구에서 글로브 하단부분 엠보는 반구 형태로서 각도는 45°, 지름은 각각 8.2(mm), 5.0(mm)로 하였고 LED발광면의 중심부로부터 거리는 30(mm), 50(mm) 하였다.

그림 2는 등기구 글로브의 엠보 구조로서 각도를 나타낸 것이며 그림 3은 엠보의 3가지 형태를 나타낸

등기구 형태에 따른 조명용 LED 램프의 효율 향상 시뮬레이션

것인데 그림 3의 (1)은 LED의 발광면 중심으로부터 글로브 엠보의 크기를 8.2(mm)로 한 것이고, 그림 3의 (2)는 5.0(mm)의 엠보 크기로 2개를, 그림 3의 (3)은 5.0(mm)의 엠보 크기로 3개를 하였을 때 엠보의 중심부로 하여 글로브의 형태를 나타낸 것이다.

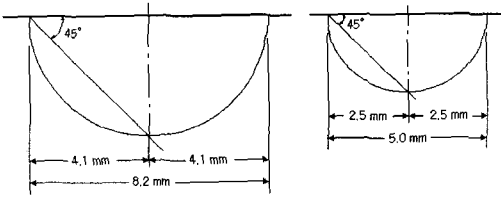


그림 2. 엠보의 구조와 각도

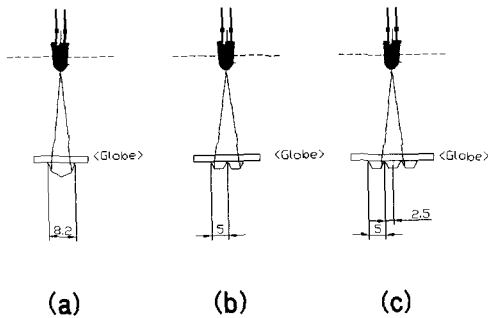


그림 3. LED램프와 적용된 글로브 형태

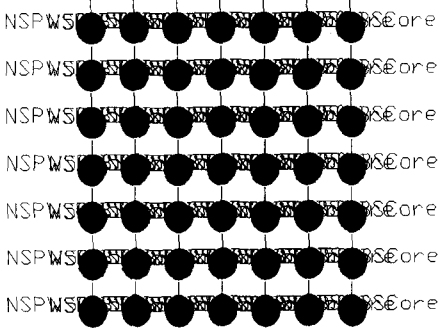


그림 4. LED램프 7×7 (49개)의 어레이 배열

그림 4는 시뮬레이션상에서 HB LED 49개를 가로×

세로(7×7)로 배열한 형태이며 LED의 중심 축으로 각각의 LED 간격을 8.2(mm), 10.0(mm), 15.0(mm) 3가지 형태의 어레이로 배열하여 수행하였다.

- 49개 LED를 8.2(mm) 간격으로 배열
- 49개 LED를 10.0(mm) 간격으로 배열
- 49개 LED를 15.0(mm) 간격으로 배열

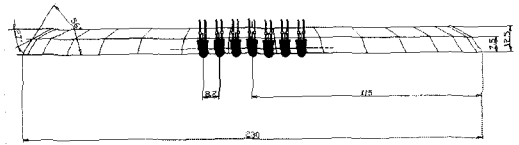
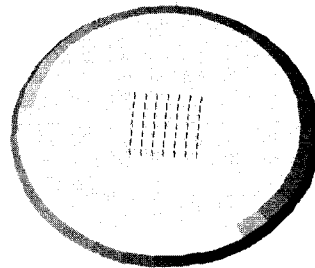


그림 5. LED와 반사갓의 칫수

그림 5는 등기구에서 반사갓의 칫수를 나타낸 것으로 보안등으로 많이 사용되는 원형으로 하여 반사갓의 옆면은 56°, 27°로 설계하고 등기구의 반사갓은 3D로 그림 6에 나타내었다. 그 크기는 230(mm) 원형으로 하였다. 또한 그림 7과 같이 반사갓을 부착한 등기구의 글로브는 5가지 형태로해서 수행하여 비교 검토하였다.

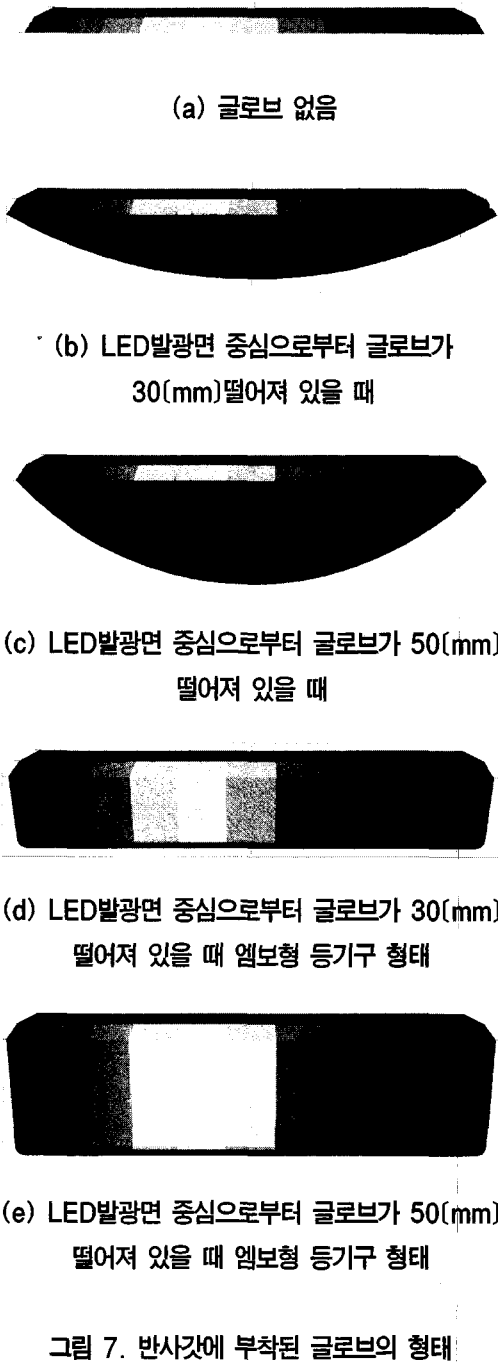


(a) 측면도



(b) 평면도

그림 6. 반사갓의 정면도와 평면도의 3D 형태



2.2 시뮬레이션 과정

다음은 시뮬레이션 과정을 나열한 것으로써

ACAD에서 작업한 LED 어레이 램프로 배열된 파일을 포토피아에서 불러들여 그림 8과 같은 레이어(Layer)의 단위를 인식할 수 있어 LED램프의 발광과 반사갓이 인식되었는지 여부를 확인하였다.

그림 9는 LED 광원이 발광된 상태인데 여기에서 LED의 사양을 확인할 수 있다.

“Photometric Output Specification”은 EULUMDAT, TM14, IES file format 등이 있는데 일반적으로 국내에서 많이 사용하는 IES로 배광 데이터를 사용하였고 Photometry type은 C로서 각도는 수평각도 0(22.5)90, 수직각도 0(5)90으로 하여 측정거리(test distance)는 약 6.0(m)로 설정하여 수행하였다.

이와 같은 조건 등을 지정한 후 시뮬레이션을 통해 그림 11과 같은 LED 광원의 ray를 얻을 수 있었다.

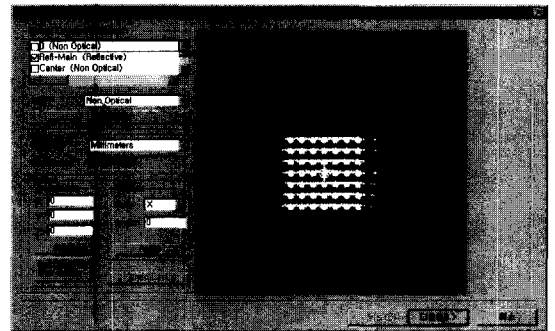


그림 8. 포토피아에서의 LED 배열 형태

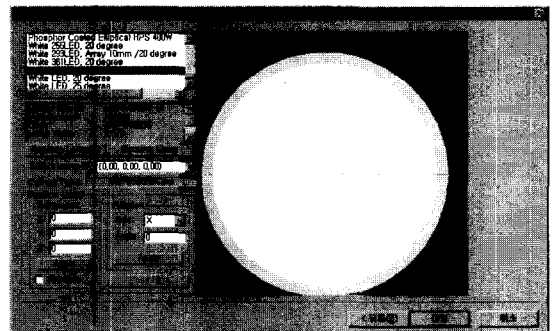


그림 9. 포토피아에서의 LED광원의 발광

등기구 형태에 따른 조명용 LED 램프의 효율 향상 시뮬레이션

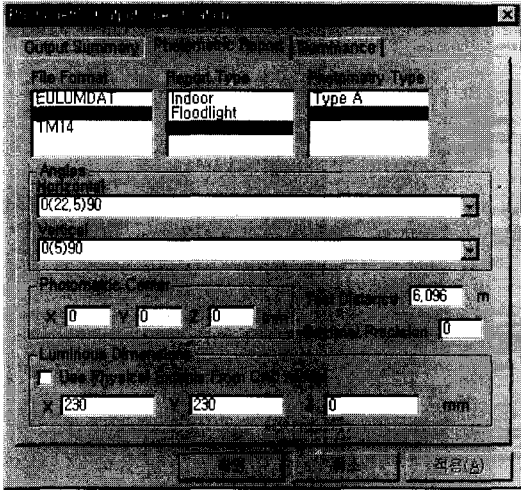


그림 10. 포토메트릭 출력 사양

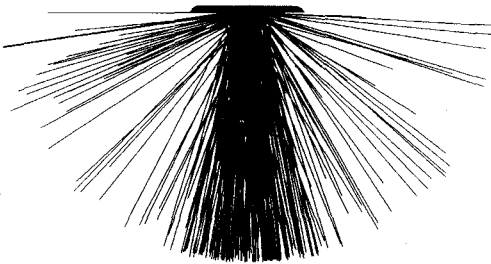


그림 11. LED광원의 Ray 생성 파일

2.3 시뮬레이션 결과

등기구 글로브가 없을 때 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 어레이로 배열했을 때 각각의 효율 분포도는 94.3 %/ 94.8 %/ 95.2 % 로써 15 [mm]로 한 것이 95.2 %로서 가장 높은 효율로 나타났으며, 등기구의 글로브가 있고 LED발광면 중심으로부터 글로브가 30(mm) 떨어진 거리에서 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 배열했을 때 각각의 효율 분포도는 86.6 %/ 86.8 %/ 86.7 % 로써 10(mm)로 한 것이 86.8 %로서 가장 높은 효율로 나타났다.

그림 12는 등기구의 글로브가 없을 때 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 어레이 배열했을

때 효율 분포도를 나타낸 그래프이고 그림 13은 글로브가 있고 반사갓으로부터 글로브가 30(mm) 떨어진 거리에서 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 배열했을 때 효율 분포도를 나타낸 그래프이다.

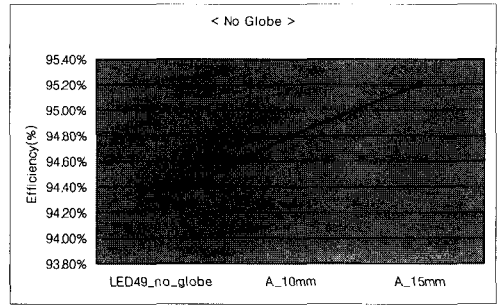


그림 12. 글로브가 없을 때 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/15(mm)로 어레이 배열했을 때의 효율 분포도

그림 14는 글로브가 있고 LED발광면 중심부로부터 글로브가 50(mm) 떨어진 거리에서 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 배열했을 때 효율 분포도를 나타낸것으로써 거의 비슷한 결과인 87.1 %/ 87.5 %/ 87.5 %의 결과를 얻었다.

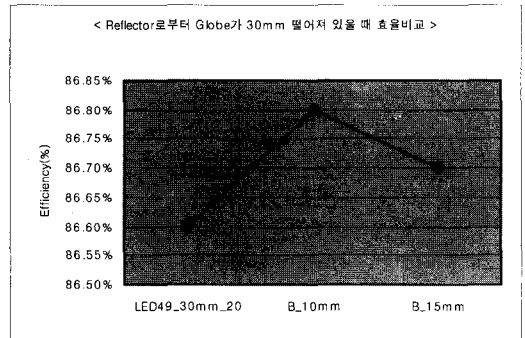


그림 13. 글로브가 있고, LED발광면 중심부로부터 글로브가 30(mm)떨어진 거리에서 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 배열했을 때의 효율 분포도

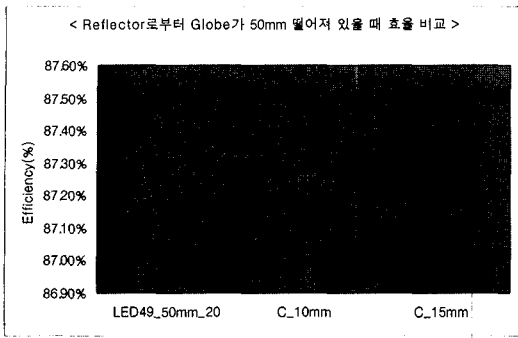


그림 14. 글로브가 있고 LED발광면 중심부로부터 글로브가 50(mm)떨어진 거리에서 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 배열 했을 때의 효율 분포도

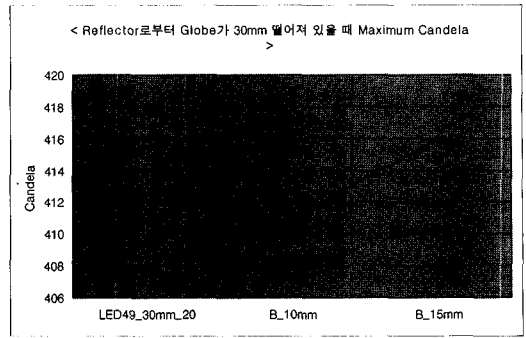


그림 16. 글로브가 있을 때 LED발광면 중심로부터 글로브가 30(mm) 떨어져 있을 때 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 배열했을 때의 효율 분포도

그림 15는 등기구의 글로브가 없을 때 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 어레이 배열했을 때 광도값을 나타낸것으로써 각각 449 [cd]/ 449 [cd]/ 448 [cd]이며, 그림 16은 글로브가 있을 때 LED발광면 중심로부터 글로브가 30(mm) 떨어져 있을 때 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 어레이 배열했을 때 효율 분포도를 나타낸것으로써 418 [cd]/ 411 [cd]/ 416 [cd]로 8.2[mm]로 한 것이 가장 높은 광도의 값을 얻을 수 있었다.

LED의 간격을 LED의 중심부로부터 각각 8.2 [mm] /10.0[mm]/15.0[mm]의 거리 간격을 두어 LED를 어레이로 배열한 LED광원에 글로브의 사용 유·무와 엠보의 형태에 따른 27가지를 포토피아에서 수행하였다. LED광원 발광 효율과 광도를 어떤 형태의 LED광원이 효율적인가를 비교 검토하였으며 그 결과를 요약하면 표 3과 같다.

표 3. 시뮬레이션 결과

효율과 광도치						비 고
8.2(mm)		10.0(mm)		15.0(mm)		
효율(%)	광도(cd)	효율(%)	광도(cd)	효율(%)	광도(cd)	
94.3	449	94.8	449	95.2	448	글로브 없음 그림 7(a)
86.6	418	86.8	411	86.7	416	글로브 거리 30mm 그림 7(b)
87.1	415	87.5	417	87.5	411	글로브 거리 50mm 그림 7(c)
86.7	402	88.0	397	88.5	396	글로브 거리 30mm 그림 7(d) /엠보 8.2mm 그림 3(a)
88.6	402	88.7	397	89.4	400	글로브 거리 50mm 그림 7(e) /엠보 8.2mm 그림 3(a)
87.5	400	88.1	401	88.7	395	글로브 거리 30mm 그림 7(d) /엠보 5.0 mm (센타) 그림 3(c)
88.5	396	89.0	395	89.5	398	글로브 거리 50mm 그림 7(e) /엠보 5.0mm (센타)그림 3(c)
87.5	397	87.8	397	88.5	396	글로브 간격 30mm 그림 7(d) /엠보 5mm 그림 3(c)
88.5	398	88.9	403	89.4	401	글로브 간격 50mm 그림 7(e) /엠보 5mm 그림 3(b)

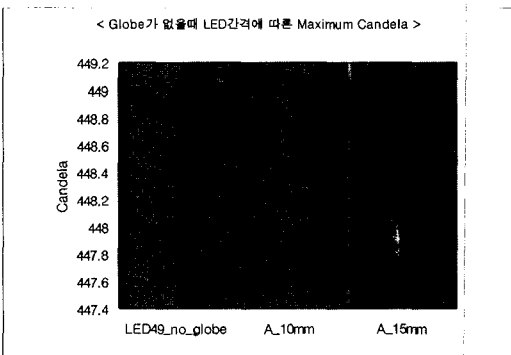


그림 15. 글로브가 없을 때 49개의 LED를 각각 8.2/ 10/ 15(mm)로 어레이 배열했을 때의 광도 분포도

3. 결과 및 고찰

등기구 반사판 및 엠보싱 형태에 따른 고휘도 백색 HB LED를 Photopia 프로그램을 사용하여 LED광원의 효율을 분석하였다.

1) LED를 8.2[mm]간격으로 어레이로 배열한 결과, 등기구의 글로브가 없는 반사갓의 효율이 94.3%로 가장 높았고, 글로브의 엠보 지름이 8.2 mm이고 반사갓으로부터 50[mm]떨어진 반사갓이 88.6%로 그 다음으로 효율이 높았다.

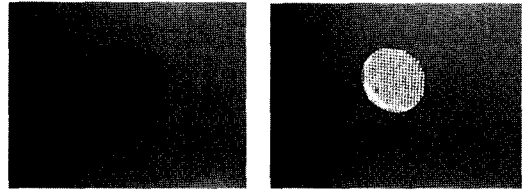
2) LED를 10[mm]간격으로 배열한 결과, 등기구의 글로브가 없는 반사갓의 효율이 94.8%로 가장 높았고, 그림 3의 (c)번과 같은 글로브의 반사갓의 효율이 89%로 두번째로 높았다.

3) LED를 15[mm]간격으로 배열한 결과, 글로브가 없는 반사갓의 효율이 95.2%로 가장 높았고, 그림 7 (e)에서 그림 2의 글로브의 지름이 8.2[mm]로 한 것과 5[mm]로 한 형태가 반사갓의 효율이 89.4% 그 다음으로 높았다.

이 결과 글로브를 사용하여 등기구를 제작할 경우 위 3번의 경우에서 즉 LED를 15[mm]간격으로 배열 후 그 중에서도 엠보 형태 글로브의 지름이 8.2[mm]인 형태로 하는 것이 가장 좋은 효율의 결과를 얻었다. 만약 글로브가 엠보 형태가 아닌 볼록 원형 형태로 할 경우에는 그림 7의 (c)처럼 설계를 하면 비용이 가장 적게 들것으로 예상된다.

LED조명은 IT·BT·NT·ET·光산업과 반도체기술이 접목되는 고부가가치 산업으로써 조명·디스플레이 산업과 접목이 가능하고 국가의 에너지절약 정책과 첨단 광원시스템 기술이며 전력절감 효과와 환경친화, 초경량, 에너지절약형 다기능 광원 시스템 기술임에는 틀림 없다 하겠으며 HB LED 어레이 배열과 등기구의 글로브 형태에 따른 효율과 광도분포도를 고찰해 봄으로써 앞으로 21C. 디지털조명이라고 일컫는 LED를 사용한 LED 광원(light source)

개발에 많은 도움이 되고자 하였다.



(a) 점등 전 (b) 점등 후
사진 1. LED광원의 점등 전·후의 사진(광속 측정)

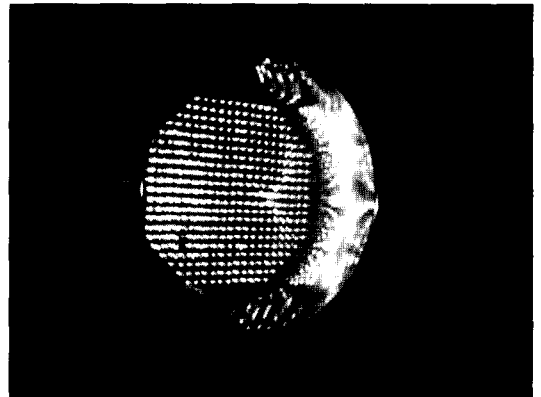


사진 2. 저자가 개발한 조명용 LED광원의 배광측정 모습

<앞으로의 LED의 핵심기술개발내용>

- 1) 박막(InGaN, AlGaIn, AlInGaIn) 및 양자점 형성/제어기술(GaN, InGaIn)
- 2) 형광체 합성기술
- 3) 반도체 p형 도핑 기술(GaN, AlGaIn)
- 4) 조명용 고효율 LED Chip Design 및 Packaging기술
- 5) 최적 조명용 LED램프 등기구 설계
- 6) LED램프 및 시스템의 전기적, 광학적 특성 정밀측정/분석기술
- 7) 조명용 LED램프 및 시스템의 평가기술/표준규격 개발 등

참고 문헌

- [1] G. Zorpette, Let There Be Light, pp. 70~74, IEEE Spectrum, 2002. 9.
- [2] 한국광기술원, 광 반도체 산업 기술개발을 위한 신기술 동향분석 및 전략수립 보고서, 2003. 3.
- [3] 이정욱, 한달영, 김춘, "LED를 이용한 가변색 광원의 개발", 한국조명전기설비학회 논문집. pp. 91~98, 1999. 11.
- [4] M. K. Hwang, C. S. Huh, "A Study on Optics and Spectral Energy Distribution Characteristics of LEDs lamp", Jour. of the KSE Society, Vol. 23, No. 1, pp. 68~75, 2003. 3.
- [5] 황명근, 조명공학개론, pp. 153~162. 도서출판 성우, 2003. 9.
- [6] CIE 127, Measurement of LEDs.
- [7] Agilent Technologies Inc, "A Guide to Human Visual Perception and the Optical Characteristics of LED Displays", 1999. 11.

for Development. Member, The Institute of Electrical Engineers of Japan. Member (A,B,C,D,E), 1993~Present : Professor (Dep. of Electrical Engineering ,INHA Uni.), 1983~1993 : Head (Division of Electrical Materials and Functional Materials Lab of KERI).

◆주관심분야: EMC Analysis of New Light Source (Electrodeless, LED etc), Electrical Materials and Functional Materials. PV System.

◇ 저자 소개 ◇



황명근(黃明根)

1961년 4월 3일생. 88년 서울산업대 졸업(학사). 91년 한양대 졸업(석사). 00년 인하대 박사수료. 98년~현재 (재)한국조명기술연구소 책임연구원.

03년~04년 현재 세종대학교 겸임교수. 대한전기학회, 전기전자재료학회, 태양에너지학회 정회원, 당학회 정회원.

◆ 주관심분야: 신광원 및 LED광원 분석, 설계
조명용 LED광원 효율향상 기구 설계



허창수(許昌洙)

Date of birth: 27. 1. 1955, B.S. in Electrical engineering, 1981. INHA Uni., M.S. in Electrical engineering 1983. INHA Uni.

KIEE Member, KIEEME Member, The Korean Institute of Telematics and Electronic. Member, The Korean Solar Energy Society. Member, The Institute of Electrical and Electronic Engineers. Member, The International Association of Science and Techonology