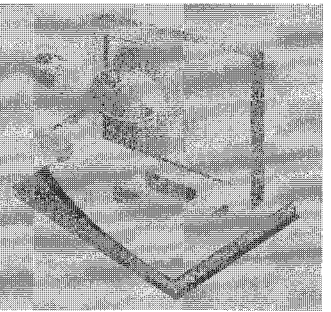


조명용 LED광원의 설계기술 동향



박대희 교수, 양종경 강의교수 (원광대 공대 전기정보통신공학부)

최근 보도 자료에 의하면 LED는 광량개선과 함께 기존 조명의 광원과 같은 연색지수 (Color Rendering Index : CRI)와 색온도 (Correlated Color Temperature : CCT) 특징을 갖추고 있으며, 광량 효율성이 향상되어 와트당 100 [lm] 이상의 제품들이 출시되고 있어 일반 조명으로서 LED의 비중이 급속도로 증가하고 있다. 더욱이 기술 및 자본, 마케팅 능력을 동시에 확보하고 있는 대기업들이 줄이어 LED 조명시장에 합세함으로써 LED 조명기술에 대한 기대가 본격화되고 있으며 또한 국내기업의 대규모 IT 산업과의 융합선언을 통해 단순한 정보표시 소자에서 벗어나 디스플레이용 백라이트, 자동차용 표시등, 의료용 조명 및 일반 조명에 이르기까지 그 응용 분야도 급속히 확대되어 가고 있다.

이러한 시점에 맞추어 여러 기업에서 할로젠 대체용 고효율 LED조명, LED 형광등 및 보안등과 가로등 대체용 LED조명이 대거 출시되고 있으나 광학 및 방열설계 등 기술적 접근이 제대로 이루어지지 않고 있어 전체적으로 낮은 효율 및 연색성 특성을 보이고 있다. 뿐만 아니라 LED소자의 강한 빛에 의한 눈부심으로 인해 미관 및 안정성 면에서 오히려 역효과를 불러일으키고 있다. 또한 일부 업체에서는 LED패키지에 대한 효율만 부각시켜 업계에서는 자칫 시장 신뢰도가 추락할 수 있다는 우려도 나오고 있는 상황이다.

LED를 이용해 조명용 광원을 설계하기 위해서는 가장 중요시 해야 할 사항이 열에 대한 해결 문제이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 LED에 있어 대부분

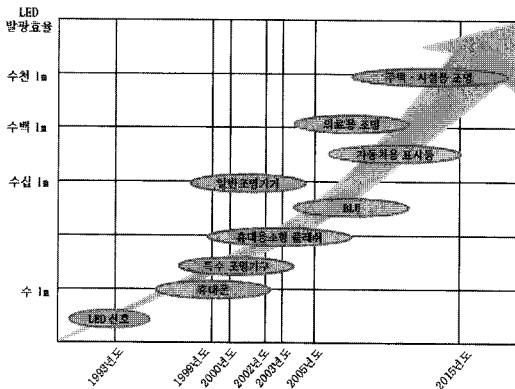


그림 1. LED 광원의 응용변화 추이.

Light source	Luminous Efficacy (lm/W)	Heat Lost (%)			Cost Efficiency (\$/lm)
		Heat lost by radiation	Heat lost by convection	Heat lost by conduction	
Incandescent	10-20	90	10	0	.0003
Fluorescent	75-90	20	70	10	.0005
Cold Cathode Fluorescent	55-65	20	70	10	.02
High Intensity Discharge	100-120	20	70	10	.03
LED	45-50 to 100+	90	10	0	.05~.10

그림 2. LED광원과 기존광원의 특성 비교.

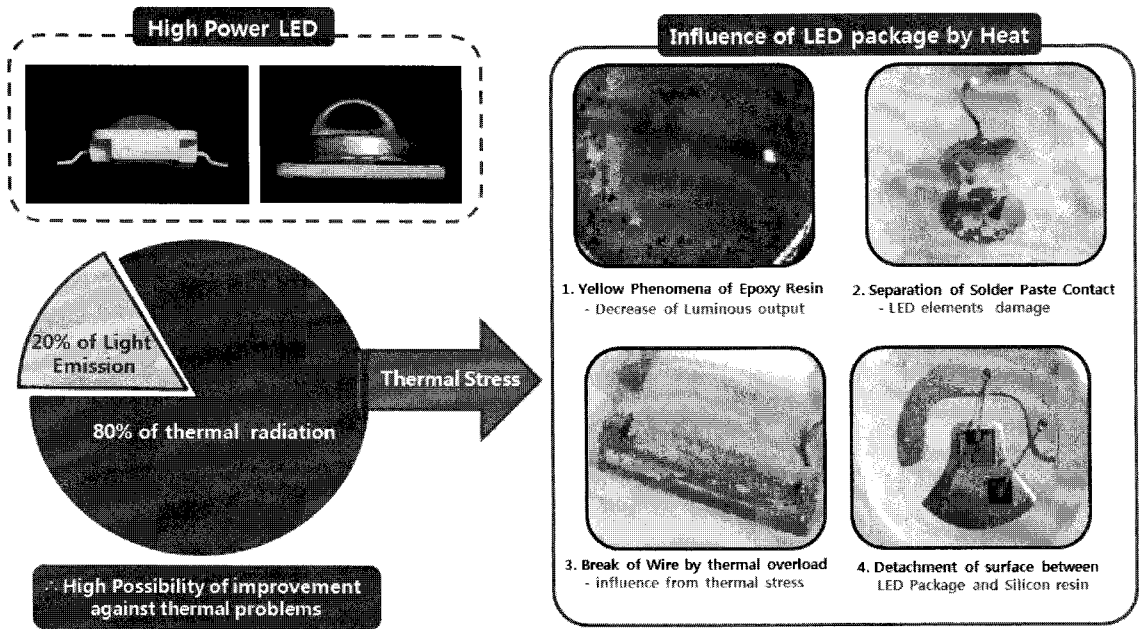


그림 3. LED소자의 열에 의한 구조적 영향.

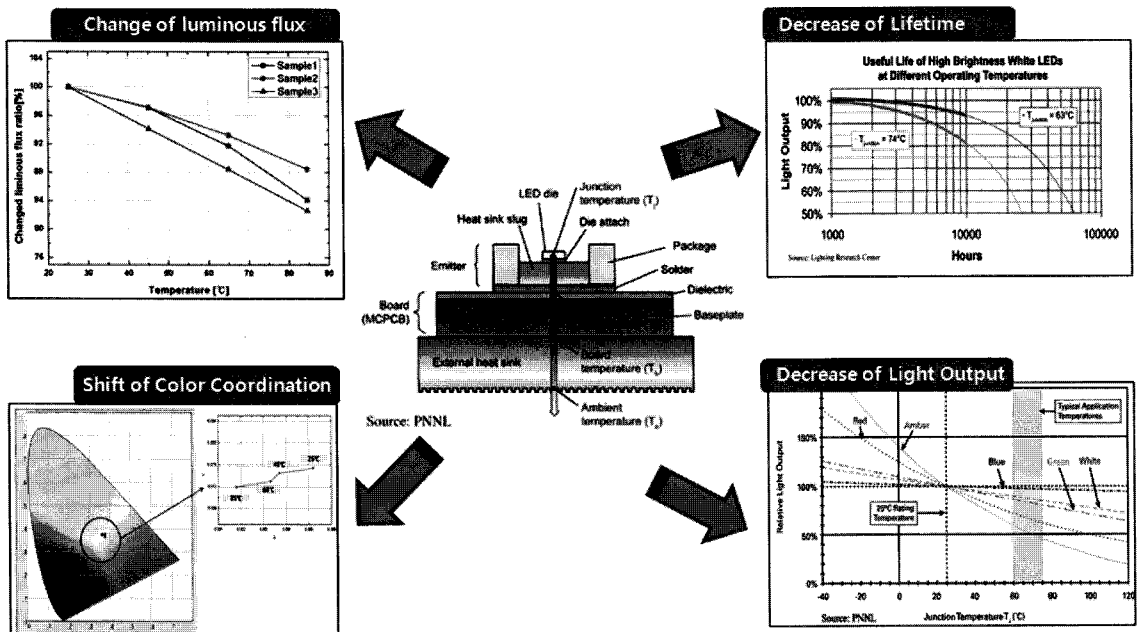


그림 4. LED소자의 열에 의한 광학적 영향.

의 손실은 전도 (Conduction)에 의한 열손실에 의한 것으로 열적인 문제를 최소화함으로써 그 성능을 개선시킬 수 있다.

LED소자의 열에 의한 영향을 보면 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 구조적 측면에서 보면 고효율 LED의 경우 열에 의해 에폭시 레진 (Epoxy Resin)의 황화현상으로 인해 광출력이 감소될 수 있으며 솔더 페이스트 (Solder Paste)부분의 분리현상을 가져올 수 있다. 뿐만 아니라 열 스트레스에 의해 와이어 본딩이 끊어지는 현상과 패키지와 실리콘 레진의 표면이 열팽창계수 차이에 의해 분리되어 LED소자에 영향을 가져올 수 있다.

광학적 측면에서는 온도가 증가함에 따라 광속이 저하되는 특성을 보이며 온도에 의해 접합온도의 증가로 수명이 감소되는 특성을 보인다. 고효율 LED의 접합온도는 LED패키지의 열적 성능에 크게 의존하고 있으며, 실제적인 광출력은 접합온도와 밀접한 관련이 있다. 접합온도의 증가는 PN 접합부분에서 생성된 열이 외부로 원활하게 방출되는 것을 저하시

키고, 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비발광 재결합을 증가시켜 고효율 LED의 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미친다. 또한 열에 의한 색좌표 변화로 디스플레이용에서는 큰 영향을 가져오며 특히 Red, Green, Blue LED소자의 경우 열에 의해 각기 다른 광출력의 변화를 가져오기 때문에 이에 대한 제어 역시 필요하다.

전기적 측면에서는 식(1),(2)에서 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 에너지 밴드갭의 감소로 인해 인가전압이 감소되는 특성을 가져온다. 여기에서 α , β 는 Varshni 파라미터로써 반도체마다 다른 값을 가지고 있다.

$$E_g = E_g|_{T=0K} - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (1)$$

$$\frac{dV_f}{dT} \approx \frac{k}{e} \ln\left(\frac{N_D N_A}{N_C N_V}\right) - \frac{\alpha T(T + 2\beta)}{e(T + \beta)} - \frac{3k}{e} \quad (2)$$

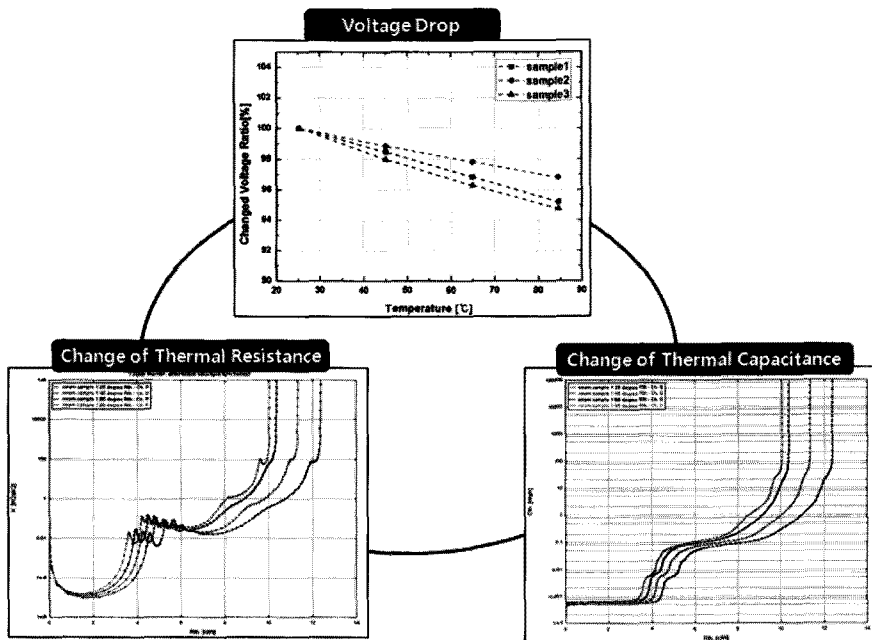


그림 5. LED소자의 열에 의한 전기적 영향.

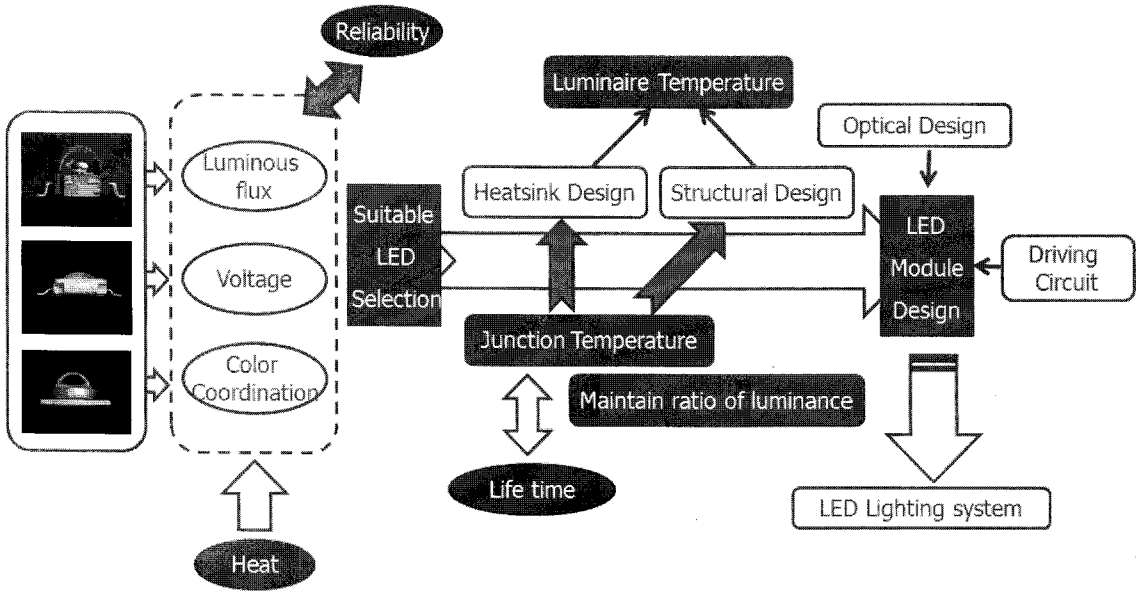


그림 6. LED 조명설계 과정.



그림 7. LED 패키지의 효율 및 형광체 개선.

또한 칩으로부터 Die 접촉부분 및 외부 Heat Slug 부분까지 열에 의해 다른 열저항 및 열용량의 변화를 가져오므로써 열전달 특성에 문제를 가져온다.

따라서 열에 의한 구조적, 광학적, 전기적 특성 평가에 따른 LED 소자패키지의 성능 및 신뢰성을 판정할 수 있으며 LED 조명설계를 위해서 더욱 주목해야 할 부분이다. 그러므로 LED소자의 온도변화에 따른 광속, 인가전압, 색좌표 특성의 변화를 통해 LED소자를 선정할 수 있으며 각각의 설계 파라미터를 고려함으로써 고효율의 광원을 설계할 수 있다.

그림 6은 여러 설계 파라미터를 고려하여 LED 조명설계 과정에 대해 간략화한 것이다. LED소자는 복잡한 공정을 거쳐서 만들어지는 반도체제품으로써 광량이나 파장에 큰 편차를 지니고 있고 형광체를 도포를 통하여 백색을 얻기 때문에 광색, 밝기가 제품에 따라서 큰 편차를 갖는다. 그러므로 LED 조명설계에 있어 열에 의한 특성 분석을 통한 소자 선정 외에 LED소자 특성을 고려한 구동회로 설계, 외부 공기와와의 대류, 복사 특성을 이용한 방열 설계 및

조명기구로서의 배광분포를 위한 광학설계 또한 고려되어야 한다.

우선적으로 LED를 조명용 광원으로 기존의 광원의 특성을 만족하기 위해서는 보다 고출력의 Power LED로의 전환이 요구되며 발광 효율 [lm/W], 색온도 및 연색지수에 대한 향상 또한 중요한 관건이 되고 있다. 최근에는 LED소자 광추출 효율 개선 및 형광체 향상과 Multi-chip과 COB, COP설계를 통한 패키지 기술을 통해 LED소자로서의 특성을 더욱 부각시키고 있다.

방열 설계의 경우는 우선적으로 칩 내부의 접합 온도 (Junction Temperature)를 고려해야 한다. LED 소자의 접합온도는 LED의 성능과 수명에 직접적인 영향을 주기 때문에 열 저항 (Thermal Resistance) 및 열 유동 (Thermal Flow) 특성의 최적화를 통해 접합 온도를 낮출 수 있다. 특히 방열판의 경우 방열소재의 열전도도와 핀의 모양, 간격, 높이, 공기 유동의 흐름을 고려해서 설계해야 한다. 방열판 설계 시 체적을 작게 하면서 표면적을 증대시켜 열 저항을 낮

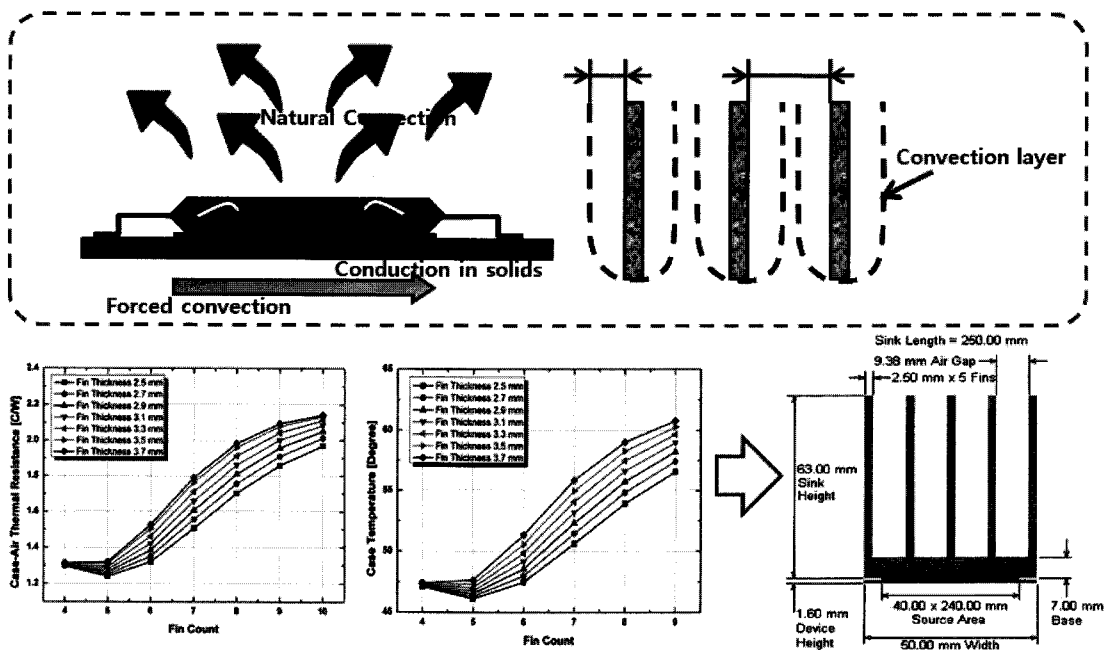


그림 8. 방열판 설계 조건.

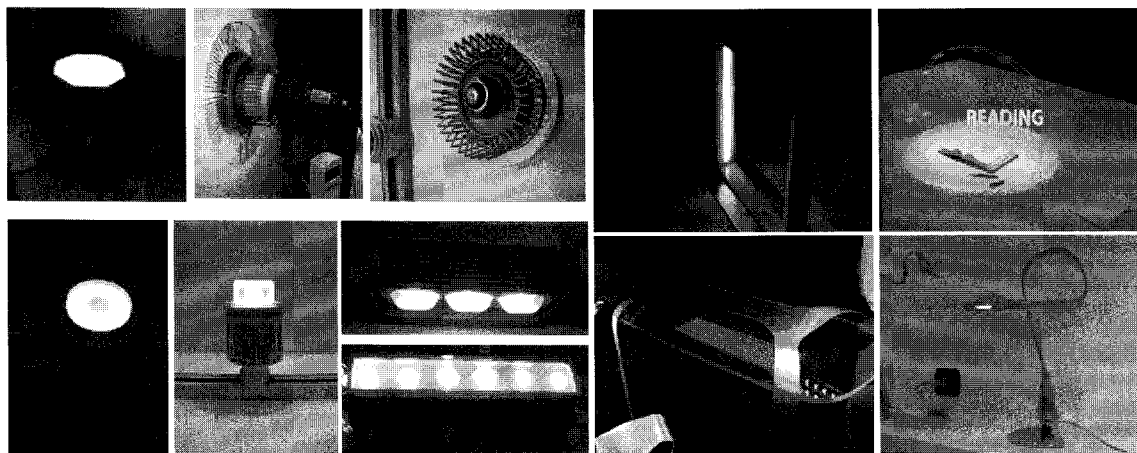


그림 9. LED조명을 위한 방열 및 시스템 디자인 기술.

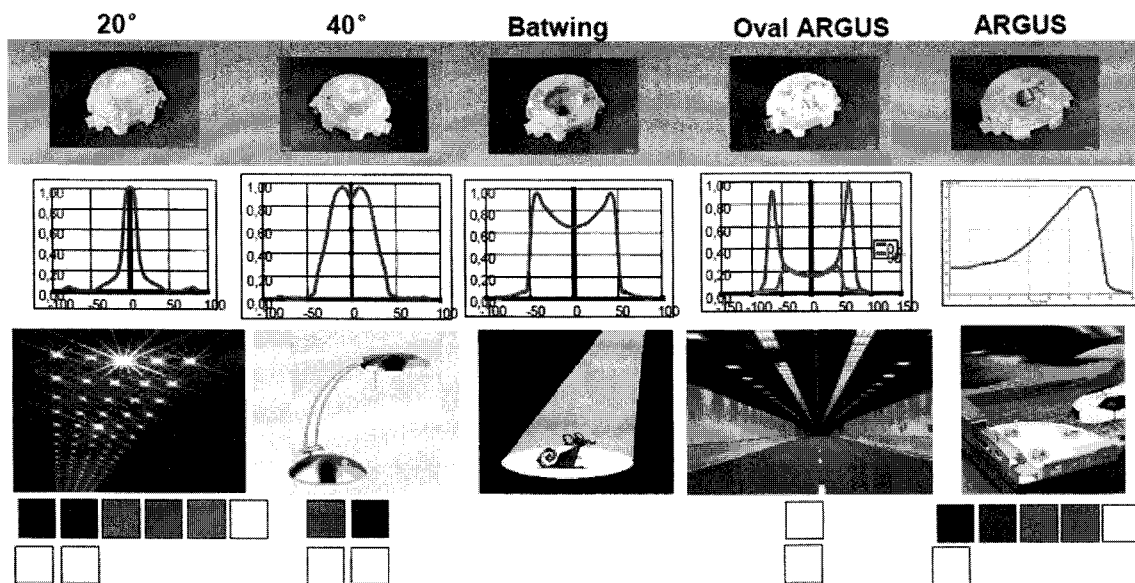


그림 10. 용도에 따른 2차 렌즈 (오스람社).

추는 이상적인 방법이다. 이러한 방열판은 핀으로부터 공기로의 열전달율은 핀과 밑면의 온도 분포, 핀 형상, 히트싱크 재료의 열전도율, 공기 순환량에 영향을 받는다. 따라서 방열판 발열량을 증가시키기 위하여 핀과 밑면의 표면적 증가, 핀 형상 변화, 공기 순환량 증가를 통해 대기와의 평균 열전달계수를 증가시킬 수 있다. 또한 그림 9에서 보는바와 같이 구조적 설계의 경우 역시 기존의 조명방식에서 탈피하여 열의 유동을 최대한 용이하게 할 수 있는 형태로 구성되어야 한다. 단순한 방열판의 설계가 아닌 방열판을 디자인으로의 전환하는 형태 또한 고려해 봐야 할 요소이다.

광학설계의 경우는 설치장소나 용도에 따라 다양한 조도분포와 배광곡선이 요구되며 배광특성 곡선을 고려한 렌즈 설계와 LED모듈의 발광면의 균일한 조도 및 균제도 확보를 위한 2차 Lens의 설계가 요구된다. 특히 가로등 및 보안등에 대한 연구가 활발히 이루어짐에 따라 그 광학 설계가 더욱 중요시되고 있으며 빛 공해 및 눈부심에 대한 특성 또한 고려되

고 있다. 그림 10은 다양한 용도에 따른 다른 배광 곡선을 가진 2차 렌즈이다. LED의 가장 큰 장점이 특정 부분에 대한 집중적인 광조사로써 특정용도에 알맞은 렌즈 설계를 통해 광 이용효율을 증가시킬 수 있으며 에너지 절약에 기여할 수 있다.

또한 조명용 LED광원은 다양한 디자인을 고려한 조명설계가 가능하므로 설치 장소와 용도가 확대되고 있다. 그림 11에서 보는 바와 같이 조명용 백색광원은 시설용과 주택용으로 구분되고, 옥내용과 옥외용으로 구분되어진다. LED광원은 효과적인 조명, 지향성이 높은 장점을 살려 필요한 곳에 이용되고 있다.

이와 같이 다양한 용도로써 사용되는 있는 LED광원은 수요가 크게 증가하고 있으며, 특히 고휘도 LED의 세계 시장규모는 백색 LED를 중심으로써 비약적으로 증가되고 있다. 특히 한국, 대만, 일본은 세계시장에서 큰 점유를 하고 있으며, 성능과 가격 면에서도 매우 경쟁이 치열하다.

조명용 백색 LED광원의 시험방법의 표준화는 시

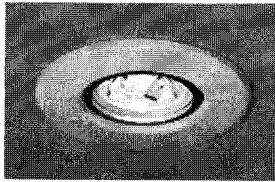
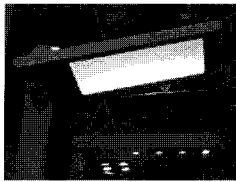
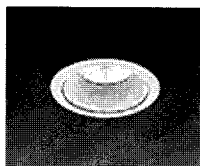
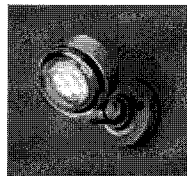
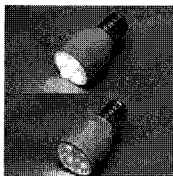
구분	옥내조명		옥외조명
시설용 LED 광원			
구분	옥내조명	옥외조명	LED 전구
주택용 광원			

그림 11. 설치장소 및 용도에 따른 LED조명.

표 1. 국제조명위원회 (CIE)에 있어서 LED표준화.

구분	내용
TC1-62	LED광원의 연색성
TC2-45	LED의 광속측정- CIE127의 보완
TC2-46	LED의 광도측정에 관한 CIE1150의 규격
TC2-50	LED Cluster 및 LED Array의 광 특성의 측정
TC2-58	LED의 방사휘도· 휘도의 측정
R4-22	LED 신호등
TC6-55	LED의 인체의 안전성

장 확대와 제품의 보급을 위해 시급하나, 아직은 국가규격과 국제규격은 미흡한 상황이다. 이 같이 LED를 이용한 조명용 광원을 위한 표준화는 기업별 혹은 단체별로 만들어지고 있으며, 몇 년 안에 국제적인 규격 및 표준화가 이루어질 전망이다. 이에 국제조명위원회 (CIE, Commission Internationale de l'Eclairage)는 광과 조명에 관한 기본표준이나 계량의 방법에 대하여, 또는 국제 및 국가표준을 작성하는데 지침을 작성하는 활동을 하고 있으며 LED관련 표준화의 진행은 표 1과 같다.

향후 LED조명은 에너지 절감효과가 큰 장시간 조명이 필요한 주차장, 공공지역, 경관조명 등의 분야를 비롯해 스포츠, 레저, 산업용 시설에 빠르게 적용될 것으로 보이나 성능이나 가격 면에서 아직 미치지 못하는 것이 현실이다.

그러나 조명용 광원으로 백색 LED의 기대는 크며, 실용화를 위해 발광효율의 향상, 연색성, 가격문제, LED 광원의 기능평가 및 인체에 미치는 영향에 대한 연구 또한 지속적으로 고려되어야 할 것이다. 또한 현재 거대한 LED 조명 경쟁시장에서 주목받기 위해서는 기존의 광원에 끼워 맞추는 방식에서 탈피하여 보다 LED본연의 특색을 부각시킬 수 있는 방안 또한 모색되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] <http://www.led.or.jp>
- [2] <http://www.tlt.co.jp>
- [3] <http://www.jelma.or.jp>
- [4] <http://www.LightEmittingDiodes.org>

저|자|약|력



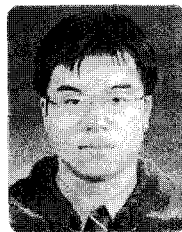
성 명 : 박대희

◆ 학 력

- 1979년 한양대 전기공학과 공학사
- 1983년 한양대 대학원 전기공학과 공학 석사
- 1989년 일본 오사카대학 공학박사

◆ 경 력

- 1979년 - 1991년 LG전선 연구소 선임연구원.
- 1991년 - 현재 원광대 공과대학 전기정보통신공학부 학장/교수
- 1999년 - 2000년 Mississippi State University 연구교수
- 2004년 - 현재 원광대 전기응용신기술연구센터 센터장
- 2006년 - 현재 LSW 2006 국제워크숍 조직위원장
- 2008년 - 현재 대한전선(주) 사회이사
- 2009년 - 현재 한국전기전자재료학회 부회장



성 명 : 양종경

◆ 학 력

- 2001년 원광대 전기전자정보공학부 공학사
- 2006년 원광대 대학원 전자재료과 공학 석사
- 2009년 원광대 대학원 전자재료과 박사수로

◆ 경 력

- 2004년 - 현재 원광대 전기응용신기술연구센터 연구원
- 2008년 - 현재 원광대 공대 전기정보통신공학부 강의교수