

LED조명용 소재부품 기술

정희석<한국조명연구원 융합디자인팀 팀장> · 황명근<한국조명연구원 연구개발본부 본부장>

1. 개요

LED 조명산업은 크게 광원, 조명기기, 조명시스템 산업군으로 나눌 수 있으며, 광원은 반도체공정 및 제조산업이고, 조명기기는 다양한 응용분야에 광원을 적용하기 위하여 광학/방열/기구/회로 부품을 조립하는 산업이며, 조명시스템은 조명기기를 센서, 스위치, 제어장치, 통신기술 등을 이용하여 조명환경에 적합하게 네트워크화 하는 산업이다[1, 7].

LED광원은 조명기기 분야의 핵심부품으로서 우수한 광변환 효율, 뛰어난 에너지절감효과, 장수명, 친환경성, 빠른 응답속도, 다양한 디자인 가능 등의 장점을 나타내지만, LED 광원의 기판, 칩/에피 소재, LED 패키지 및 모듈소재, 각종 방열/광학/기구/회로 부품 등의 조립으로 인한 기존 조명 광원보다 비싸다는 단점이 지적되며 이를 극복하기 위한 장수명 보증에 대한 신뢰성이 요구되고 있다[1-2, 7].

특히 광원소재, 패키지, 방열설계, 광학설계, 신뢰성설계 등이 성능 효율, 가격경쟁력 및 수명을 좌우하며, LED 소재/부품의 물성과 관련된 핵심 소재 및 부품기술은 글로벌 조명기업 등이 선점하고 있어, 국산화를 위한 다양한 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 본 고에서는 LED광원 및 조명기기에 사용되는 소재부품 기술의 연구개발 동향에 대해 살펴보고자 한다.

2. LED조명용 소재부품 기술

2.1 LED광원의 소재부품기술

LED를 통해 백색을 구현하는 방법은 여러 가지가 있으나 현재 상용화되어 보편적으로 이용되는 방법이 청색 LED에 황색 형광체를 도포하는 방법이다. 단일 형광체를 사용하기 때문에 제조가 용이하고 황색 형광체의 광변환 효율이 매우 높기 때문에 광손실이 적다는 장점으로 널리 사용되고 있다[3].

백색 LED 패키지의 기본 구조는 청색 LED칩, 다이 프레임(Die frame), 형광체(Phosphor), 봉지재(Encapsulation materials), 골드 와이어(Gold wire), 접착제(Adhesive) 등으로 구성된다. 인가전류가 높지 않은 저출력 패키지는 비교적 제작이 간단한 수평구조(Lateral structure)이며 고출력 패키지에서는 열방출이 원활하고 광출력이 우수한 수직구조(Vertical structure)로 제작된다.

그림 1은 LED 칩의 유형과 부착방식에 따른 4가지 유형을 나타내는데 (a)는 일반 칩을 금속 마운트와 결합시킨 유형이며, (b)는 수직구조 칩을 금속 마운트와 결합시킨 유형, (c)는 일반 칩을 유전체 칩마운트와 결합시킨 유형, (d)는 수직구조 칩을 유전체 칩마운트와 결합시킨 구조이다[4]. 각각의 구조에 따라 장단점이 존재하며 구동전류 및 열저항에 따라 광

출력이 달라지므로 사용조건 및 적용구조에 따라 최적의 설계가 필요하다.

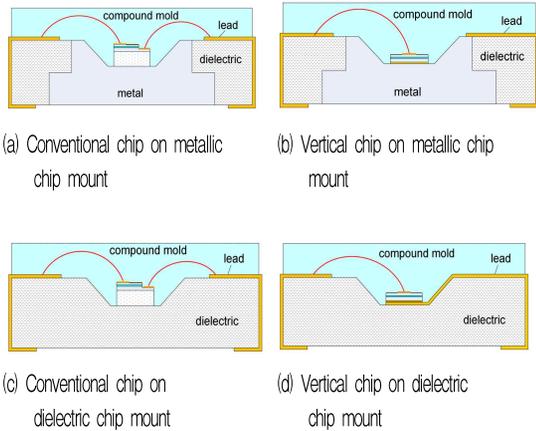


그림 1. LED 칩과 부착방식에 따른 패키지 분류(4)

현재 수십~수백 W급의 일반조명을 LED광원으로 대체하기 위해서는 LED 소자의 출력을 높여야만 가능하며 고출력의 LED 칩을 실장하기 위해 열전도(Thermal Conduction)가 높고 소재 간 접촉면에서의 열저항(Thermal Resistance)이 낮은 기판 소재를 개발하려는 노력이 활발히 이루어 지고 있다. 표 1은 기판의 소재에 따른 분류이다.

표 1. 소재(기판)에 따른 LED 패키지 분류

패키지 종류	적용 소재
Plastic Package	PLCC
Ceramic Package	Alumina, AlN sub.
Metal Package	Cu, Al-based sub.
PCB type Package	BT or FR-4 Resin
WLP	Si wafer-based sub.

2.1.1 엔지니어링 플라스틱

현재 가장 많이 사용되고 있는 고출력 LED패키지는 표면 실장형으로 플라스틱 몸체에 열전도도가 우

수한 구리나 알루미늄 등의 금속 히트싱크(Heat Sink)를 칩 하단에 채용하여 설계한다[5]. LED용 플라스틱 패키지 재료의 단점은 단파장의 빛에 의해 변성이 일어날 수 있고 열전도율의 한계가 있다는 것이다. 따라서 내열성이 우수한 엔지니어링 플라스틱(Engineering Plastics) 채용을 적용하고 있다.

엔지니어링 플라스틱(엔프라 혹은 EP)란, 통상 내열성이 100℃ 이상, 강도가 49.0MPa 이상, 굴곡탄성율이 2.4GPa 이상을 갖는 고기능성 수지를 칭한다. 엔지니어링 플라스틱은 내열성이 100~140℃인 일반 엔지니어링 플라스틱과, 내열성이 150℃ 이상으로 고온에서 장기 사용이 가능한 슈퍼엔지니어링 플라스틱으로 대별된다.

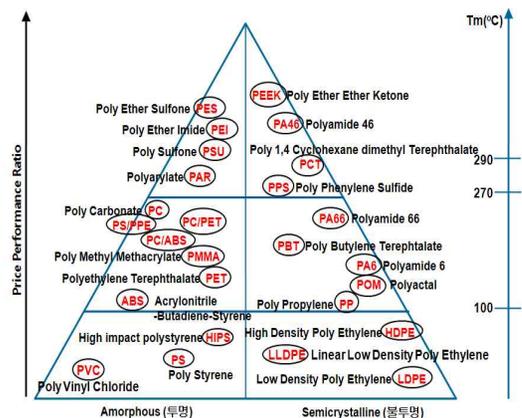
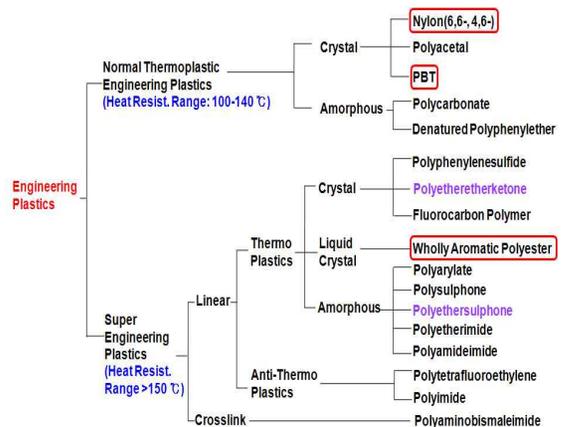


그림 2 엔지니어링 플라스틱 분류

특집 : 그래핀 및 신소재를 활용한 신조명 융합기술의 현황

LED패키지에 기판이나 리플렉터용 재료로 가장 많이 사용되는 수지는 기계적 강도 및 내열성이 뛰어난 Polyphthalamide(PPA), 액정고분자(LCP), 폴리카보네이트(PC), 비스말레이미드트리아진(BT) 수지 등이 있다. 이들 수지는 리플렉터의 반사율을 높이기 위하여 백색화할 수 있으며, 복잡한 형태의 작은 형상도 용이하게 제조할 수 있다는 장점이 있다[6].

2.1.2 세라믹 기판기술

세라믹 적층 패키지는 기존 플라스틱 패키지보다 방열 성능이 우수하고, LED칩과 유사한 열팽창계수를 가지고 있어 장기적인 신뢰성이 우수하다. 또한 소형화가 가능하고 복잡한 배선 형성이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 특히 세라믹 패키지는 무기물 소재로서 자외선에도 매우 안정하므로 자외선에 취약한 플라스틱 패키지 대신 UV LED 응용에도 적용이 가능하다[5].

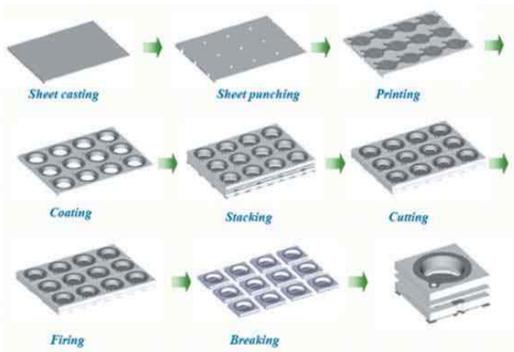


그림 3. 세라믹 패키지 제작 순서도

적층 세라믹 패키지는 그림 3과 같이 적층 및 후막 제조 공정을 이용하여 LED 패키지의 몸체와 배선을 구성한 것으로 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics) 소재와 HTCC(High Temperature Co-fired Ceramics) 소재로 나눌 수 있다. LTCC는 alumina 등을 주성분으로 하는 종래의

세라믹 다층기판(HTCC)이 약 1,500°C 이상의 소성 온도를 필요로 하는데 반해 glass계 재료를 첨가함으로써 1,000°C 이하에서의 저온소성을 가능하게 한 세라믹다층기술이다. LTCC 최대의 특징은 소성온도를 저온화 함으로써 Ag계 또는 Cu계와 같이 저가이고 저융점이며 전기전도도가 높은 금속을 내층 배선용 소재로 사용할 수 있다는 것이다.

2.1.3 유리소재 봉지기술

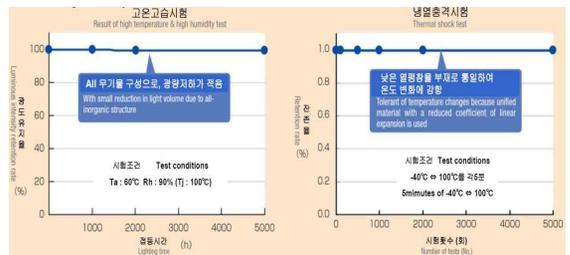
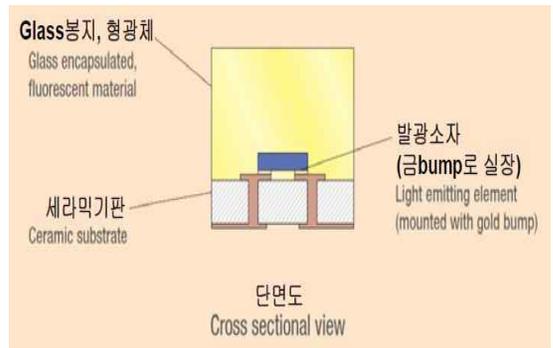


그림 4. 유리봉지 LED 패키지

(출처 : Sumita Optical Glass)

LED패키지에서 봉지재는 LED칩과 와이어를 보호하고 칩의 광추출효율을 향상시키며 형광체와 혼합하여 LED 칩에서 발생하는 파장을 장파장으로 변환시키는 역할을 한다. LED봉지재는 주로 에폭

시 계열과 실리콘 계열이 주로 사용되는데 에폭시의 경우 열적 안정성 및 내자외선 성능이 좋지 않아 황변현상으로 광출력의 급격한 감소가 일어난다. 실리콘 봉지재의 경우 분자 구조상 열적, 화학적으로 안정하며 자외선에도 강해서 고효율 LED 패키징에 대부분 사용되고 있다. 하지만 장시간 사용 시 고분자 수지의 특성 상 열이나 습기에 취약한 단점이 나타난다.

이에 2009년에 도요타 합성주식회사와 스미타 광학유리가 공동으로 LED용 유리 봉지재를 개발했다. 유리 봉지재는 형광체와 유리프릿을 혼합하여 높은 소성온도에서 봉지하는 기술이 핵심이며 내열성이 높아 열화현상에 높은 내구성을 나타낼 뿐만 아니라 패키지의 소형화, 고효율에도 유리하다.

2.2 LED조명기기 소재부품기술

LED조명기기의 소재부품기술은 효율향상을 위한 개발과 함께 제품의 무게나 수명과 관련된 신뢰성에 대한 기술적 차별성을 부각시키고 있다. 또한 고신뢰성을 바탕으로 디자인 중심의 콤팩트화, 경량화가 기술 이슈이고 기존의 소재나 부품을 적용한 대체 기술 중심으로 개발이 이루어지고 있다.

2.2.1 광학 부품

백색 LED패키지는 청색 LED 칩에 황색 형광체를 도포하는 방법을 사용하는데 최근에는 형광체를 LED칩 위에 직접 도포하지 않고 일정한 간격을 띄우는 리모트 포스포 구조가 연구되고 있다. 이 구조는 패키지 단위에서 뿐만 아니라 조명기기의 부품단위로 적용되어 제품이 출시되고 있다. 리모트 포스포 구조는 형광체를 균일하게 도포할 수 있기 때문에 광효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 전방향 배광분포(Omnidirectional distribution), 글레어, 색온도 및 연색성을 고려하여 자유로운 디자인을 설계할 수

있는 장점을 가지고 있다.

응용제품으로는 필립스의 Retrofit램프 타입의 ‘마스터 램프’라는 모델명으로 출시되어 판매되고 있다. 또한 Intematix사에서는 ‘ChromaLit’이라는 리모트 포스포 광학재료를 별도로 공급하고 있다. 이는 오스람, 필립스에서 제공하는 청색 LED 칩과 조합하여 백색 LED조명기기를 구현하는 형태로 황색형광체가 도포된 광학재료를 별도로 공급함으로써 완제품 조립업체가 자유자재로 색온도 및 연색성을 조절할 수 있다.



그림 5. 리모트 포스포 구조의 LED 램프
(출처 : Philips)

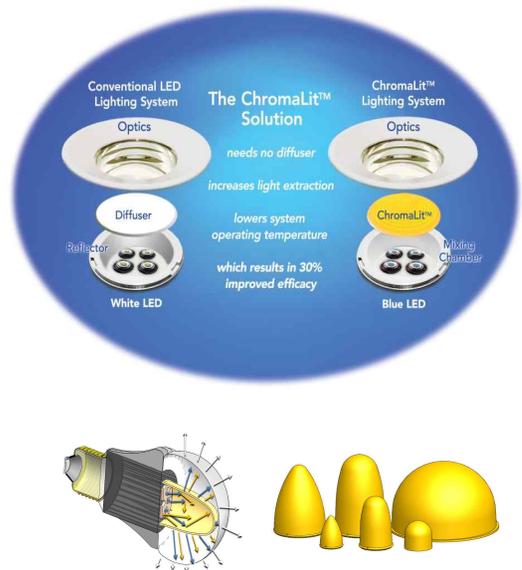


그림 6. 리모트 포스포 광학부품(출처 : Intematix)

2.2.2 열전도 플라스틱

대용량 LED 조명제품의 신뢰성 확보 및 설치 장소의 안전성을 확보하기 위해 방열기구의 경량화가 필수 항목이며 이를 적용하여 제품화하기 위한 방열 구조 설계 및 제작기술로 플라스틱 방열소재에 대한 연구개발 및 제품화가 시도되고 있다. 이는 고방열 특성을 가지는 필러를 플라스틱 매트릭스에 분산 및 정렬하여 복합소재의 열전도도를 수W~수십W 수준으로 높이는 것이다. 이미 Cool Polymers 같은 해외 업체의 경우는 비절연 기준으로 $20W/m \cdot K$ 이상의 열전도도를 가지는 플라스틱 복합소재를 개발하여 판매하고 있으며, DSM사도 Philips에 MR16용 플라스틱 방열판 소재를 공급하고 있으나, 아직 10W 미만의 소형 LED조명에 한정되어 있다.



그림 7. 열전도 플라스틱(출처 : Cool Polymers)

2.2.3 능동방열 부품

50W 미만의 저출력 조명기구의 경우에는 LED패키지에서 방열을 설계하지만 100W 이상의 고출력 제품에서는 고효율 성능과 함께 중량과 부피에 대한 대책이 필요하다. LED조명기구의 장점인 다양한 디자인 연출이 가능함에도 불구하고 고출력 제품에서는 방열대책을 위해서는 중량과 부피가 기존 전통조명 이상으로 커져야 되는 단점이 지적되고 있다. 이에 방열판 설계와 함께 다양한 강제 공냉 및 수냉, 직접 냉각 방법이 제안 및 개발되고 있다. 응용제품으로는 Nuventix사의 SynJet이란 제품으로 진동 다이어프램으로 고속 난기류 발생을 통한 능동방열 솔루션이 있다.

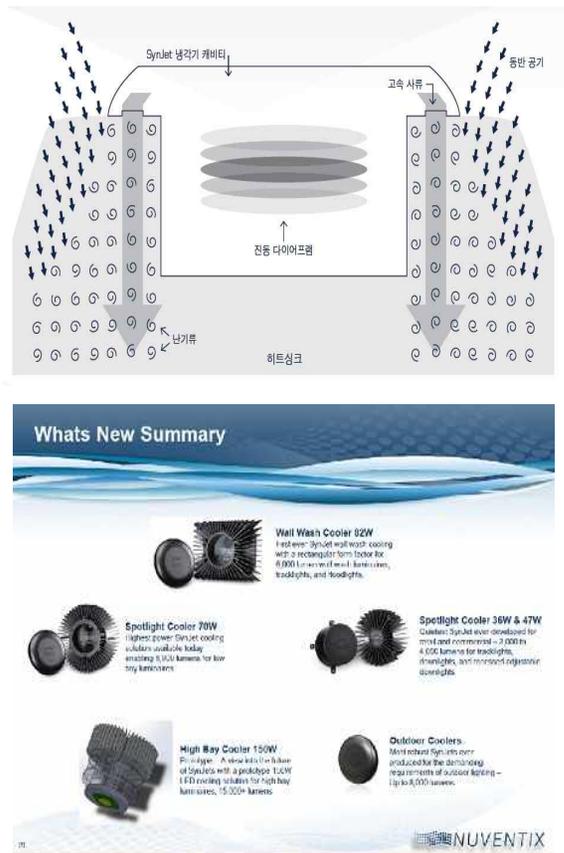


그림 8. 능동방열 부품(출처 : Nuventix)

3. 맺음말

지금까지 LED조명 소재부품기술에 대해 살펴보았다. LED 조명기기는 우수한 광변환 효율, 뛰어난 에너지절감효과, 장수명, 친환경성, 빠른 응답속도, 다양한 디자인 가능 등의 장점을 나타내지만, LED 광원의 기판, 칩/에피 소재, LED 패키지 및 모듈소재, 각종 방열/광학/기구/회로 부품 등의 조립으로 인한 기존 조명 광원보다 비싸다는 단점이 지적되고 있다. 따라서 이를 극복하기 위해 광원소재, 패키지, 방열설계, 광학설계, 신뢰성설계 시 신소재 및 부품 개발에 주력하고 있으며 저가격화, 경량화, 수명보증과 함께 국산화를 위한 노력이 이루어지고 있다. LED 조명기기의 보급 확산을 위한 소재 부품의 기술개발과 함께 대량 생산을 위한 지속적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 중소기업청, “2013 중소기업 기술로드맵”, 그린조명, 2013.01.
- [2] 한국산업기술진흥원, “2011 산업기술로드맵”, 정보통신(LED/광), 2012.03.
- [3] 장호원, “고출력 LED조명 광원의 개발 동향”, 전기전자재료 제25권 제5호, 2012.05.
- [4] 육지현, 홍대운, 이상재, “LED 램프 패키지 설계를 위한 기본 지침”, 한국광학회지 제22권 제3호, pp. 141-150, 2011.06.
- [5] 조현민, “고출력 LED 패키지 기술개발동향”, 전자부품, 2009.09.
- [6] 신무환, 김재필, “LED 패키징기술 입문”, 북스힐, 2008.08.
- [7] 장우진, 황명근, 이정섭, “LED 조명제어”, 서울교과서, 2011.03.
- [8] <http://www.lighting.philips.co.kr>
- [9] <http://www.intematix.com>
- [10] <http://www.coolpolymers.com>
- [11] <http://www.nuventix.com>

◇ 저자 소개 ◇



정희석(鄭熹錫)

2002년 광운대학교 전기공학과 졸업.
2009년 광운대학교 전자물리학과 졸업(석사). 2002년~현재 한국조명연구원 연구개발본부 융합디자인팀 팀장. 본 학회 정회원.

Tel : (032)670-8888

Fax : (032)670-8889

E-mail : ng119@kilt.re.kr



황명근(黃明根)

1988년 서울과학기술대 졸업. 1991년 한양대 졸업(석사). 2004년 인하대 졸업(박사). 현재 한국조명연구원 연구개발본부 본부장/수석연구원. 2009년~현재 부천LED조명RIS사업단 단장. 2008~2010년 한국산업기술대학교 겸임교수. 2003~2006년 세종대학교 겸임교수. 국제조명위원회(CIE)한국위원회 부회장. 2007년 2월~2007년 9월 지식경제부 THE-7 Runners 조명분과 기획위원장. 현재 대한전기학회 C분과 편집위원. 2006년 1월~현재 본 학회 편수이사 및 LED신광원 조명기술연구회 위원장.

E-mail : mkhwang@kilt.re.kr