기술해설

LED조명 부품기술 동향 및 전망

송상빈〈한국광기술원 신조명연구본부장〉

1. LED조명 부품의 개요

'15년 이후 LED가 형광램프 수준의 가격 경쟁력을 확보하게 될 것으로 예상되면서 조명 시장의 강자로 부각되며 있으며, 현재 삼성, LG 등 700개 이상의 LED 관련 대중소기업이 존재하고 있다.

그러나 국내 LED 관련 기업의 대부분은 조명 제품 조립 회사이며, 후방산업이라 할 수 있는 LED 및 조명 부품 소재 기업은 비교적 적으며 기술 경쟁력도 낮은 상황이다. 특히 최근에는 중국의 저가 부품의 품질 향상과 일본의 핵심 기술 확보로 국산화율이 낮아지고 있어서 이에 대한 대책이 시급하다. 따라서 LED 및 조명 관련 부품에 대한 기술 개발 동향 및 전망을 검토하여 앞으로 우리가 나아갈 방향을 설정할 필요가 있다.

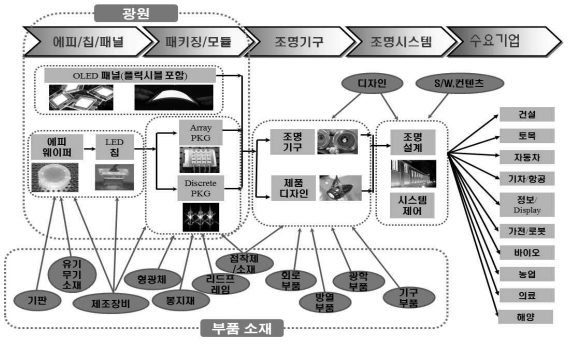


그림 1. LED 조명 부품 소재 공급망

LED 조명은 광원, 조명기구, 시스템으로 구성되는 Suuply Chain을 구성하고 있으며, 이러한 Supply Chain의 후방산업으로 LED광원(칩/패키지), 패키지 소재/부품, 메탈코아 PCB, SMPS, 구동회로, 방열부품, 광학부품(확산판, 렌즈, 반사판) 등으로 구성된다. 이러한 부품에 따라 LED 조명 시장에서의 성능 및 가격 경쟁력에서 좌우되어 소재 및 부품 국산화 및 차별화 기술개발이 매우 필요하다.

2. LED 패키지 및 관련 부품

2.1 개 요

LED패키지는 LED 칩과 리드프레임, 접착제, 와이어, 봉지재, 형광체 등으로 구성되며, 이들 재료는 양산성이나 요구되는 열적, 물리적 특성 등에 따라 사용되는 종류가 달라진다. 이런 특성 때문에 LED 패키지는 LED 조명 제품을 제작하는 기본 단위가 되며, 조명의 수명 및 성능을 좌우하는 역할을 한다.

LED 조명 제품의 성능 향상을 위한 LED 패키지 기술에는 형광체를 이용한 백색 LED 구현 기술, 광학 렌즈 설계 및 제작을 통한 배광 제어 기술, 방열 특성 향상을 통한 신뢰성 및 효율 증대 기술 등이 있다.

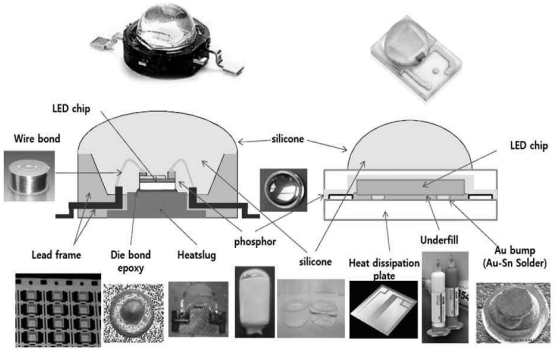


그림 2. LED 패키지 기본 구조 및 소재/부품

2.2 LED 패키지 기술동향 및 전망

LED 패키지 공정 기술은 LED 칩의 접합 방법으로는 플립칩 방법을 이용하는 방법, 고분자 접착제를 이용하여 칩을 접착하는 방법, 그리고 LED 칩에 플레이팅된 유테틱 메탈을 이용하는 방법이 있다. 이들 접착 방법 중 가장 많이 이용되는 방법은 공정성이 가장 뛰어난 에폭시나 실리콘을 이용한 칩 접착 방법이며, 고열전도성이 필요한 칩의 경우 플립칩 접합 방식이나 유테틱 접합 방식이 이용되고 있다.

접착이 끝난 칩은 이 후 전류를 흘려줄 수 있도록 와이어 접합을 하는데 보통 구리, 알루미늄, 금와이어 중에 금와이어를 주로 이용한다. 접합 방법으로는 방향성이 없는 볼와이어 접합 방법과 한쪽 방향으로만 접합할 수 있는 에지 와이어 접합 방법 중에 볼와이어 접합 방법을 이용한다.

봉지재를 토출하는 방법에는 시린지를 이용하여 토출하는 방법, 진공에서 인쇄 방법을 동원하여 프린팅하는 방법, 그리고 압축 금형을 제작하여 압축 몰딩하는 방법 등이 있으며, 필요에 따라서는 이 봉지 공정 중에 봉지재와 형광체를 혼합하여 LED에서 발산되는 빛의 일부를 장파장으로 변환시킨다.

고출력 패키지 기술은 LED 칩의 효율 향상으로 LED 패키지의 광출력 향상 및 고방열 구조 개발을 통한 고효율화가 진행되면서 기존의 리드프레임 플라스틱 패키지 대신에 내열성과 열방출 효과가 극대화된 형태의 COB와 COH 구조 패키지로 발전하고 있다. 대용량 LED 조명 시장 확대에 따른 LED 패키지 집적화 향상 기술이 대두되고 있으며, 방열 특성은 단일 칩구조의 패키지에서 멀티 칩 어레이 구조로 고출력화, 고효율화를 위해 고집적화되고 있다.

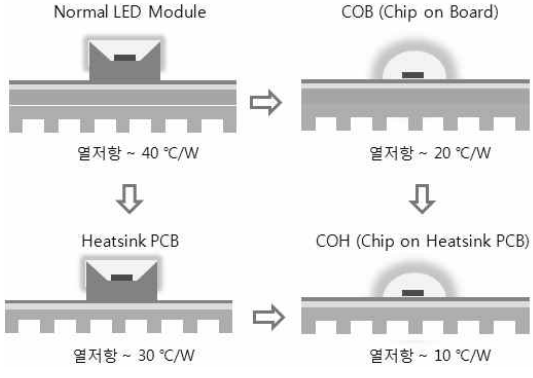


그림 3. LED 패키지의 출력에 따른 분류

LED 패키지의 광효율을 향상하기 위해 기본적으로 칩의 광출력에 의해 80%가 결정되며, LED 패키지 광학 설계, 패키지 방열 설계, 고반사 고투과 특성의 원재료, 형광체 여기 효율, 렌즈 일체화를 통한 광효율 향상이 가능하다. 특히 LED 패키지의 리플렉터 광학 설계 기술, 기판 소재에 사용되고 있는 PPA, LCP, EMC 등 하우징 물질의 반사 특성 및 내열 특성 향상을 통한 광효율 증대가 가능하다.

특히 LED 조명은 사용 목적상 다양한 배광 형태를 구현해야 하고, 그 과정에서 추가적인 2차 광학계 및 렌즈가 필요하여 크기가 커지는 문제가 발생된다. 이를 해결하기 위해, 미국, 유럽, 일본 등 선진 LED 패키지 업체인 Lumileds, Cree, Nichia 등은 광효율 향상 및 지향각 제어를 위해 렌즈 일체 구조의 세라믹 패키지가 개발 및 양산하고 있다. 봉지층 렌즈 일체화 방법으로는 트랜스퍼몰딩 (Transfer Molding), 가압성형(Compression Molding), 진공 인쇄

(Vacuum Printing) 공정이 사용된다.

각도별 고균일 색온도 및 빛 제어 기술에는 형광체를 균일하게 분포시키는 것과 형광체 층을 어떻게 구성 하는 것은 LED 광 특성(지향각에 따른 균일한 색온도 및 광출력 분포 등)에 많은 영향을 미친다. 색분포 균일성 향상을 고려한 다양한 형광체 도포 기술은 전기영동법(Eletrophoresis), 형광체층 부착법, 포토리소그래피(Photolithography), 코팅휘발법(Coating & Volatilization), 코팅밀링법(Coating & Milling) 등이 있으며, 이러한 기술들은 대부분 LED 업체에서 독자적으로 개발되어 지적재산권으로 보호하면서 상용화 진행 형광체를 도포하기 보다는 플레이트 형태로 제작하여 고출력 광원의 발열을 저감시키고 지향각별 색분포 균일성을 향상시키려는 Remote phosphor 방식의 백색광 구현에 대한 연구가 지속되고 있다.

2.3 LED 패키지 소재부품 기술동향 및 전망

LED 패키지 소재는 최종 LED 제품의 전기, 광학, 열학적 특성을 결정짓는 기본 요소로 제품의 성능 및 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 LED 칩을 외부 환경으로부터 보호하고 외부 회로 및 방열판과 연결을 담당하며, 최적의 방열 설계 및 구조 확보에 의한 LED 패키지 수명 및 성능을 결정한다.

봉지재(Encapsulant)는 LED 칩을 열, 수분, 외부충격으로 보호하고 광 추출 효율을 향상시키는 밀봉 재료이다. 광 투과율, 굴절률이 높고, 형광체와 함께 사용될 시 광추출 효율이 높으며, 열적 특성 및 환경변화에 강해야 한다. 또한 리드프레임, 칩, 전극 등과 강한 접착성이 요구되며, 저 흡습성, 성형성, 경제성이 요구된다. 에폭시 계열과 실리콘 계열 봉지제가 널리 사용되나, 고출력 LED chip에 의한 에폭시의 황변문제 때문에 실리콘 봉지제가 대부분 사용 중이다. 그리고 메틸실리콘과 메틸페닐실리콘(통상 페닐실리콘)을 이용한 봉지재가 연구되고 있으나, 각각의 물질의 장단점이 있어서, 이를 보완하기 위한 물질 연구 개발이 진행 중이다.

표 1. LED 패키지 소재 종류와 요구사항

패키지 소재	요구사항
봉지재	고 투과율, 고 굴절률, 고 내열성, 고 접착성, 고 경도 저 흡습성, 저 가스투과율, 저 열수축성 (박리, 크랙)
접착제	고 접착성, 고 열전도도 (열방출), 고 신뢰성 최적화 된 점도/ 전도성/ 유리전이 온도
리드프레임 (플라스틱)	고 신뢰성, 고 반사율 저 열팽창률
리드프레임 (금속)	고 전도도, 고 열전도도, 고 인장강도 저 열팽창률
접합와이어	고 전도도, 고 열전도도, 고 강도, 신뢰성
기판소재	고 열전도도, 고 반사율 저 열팽창률
형광체	고 흡광도, 고 색변환 효율(양자효율) 넓은 발광 스펙트럼, 열 안정성 (thermal quenching)

접착제(die-bonding material, adhesive)는 LED 칩과 리드프레임을 접착하는 소재로 은 입자나 유테틱 결합을 이용한 전도성 접착제와 에폭시/실리콘계열의 비전도성 접착제를 사용한다. 기본적으로 고 접착강도, 내반사성, 내열성을 향상 기술 필요하며, 공정성을 위해 표면 평탄도, 점도, 접착 물질의 소재제약 등의 기술적 이슈가 있다. 최근에는 열 전도성 문제가 크게 대두되고 있고, 접착제 수지 개선 연구 및 은 입자와 같은 금속 소재, 무기물 소재, 탄소나노 소재 등의 필러를 혼합하는 기술 개발이 이루어지고 있으며, Thermal interface material (TIM) 물질군에 포함시켜 판매하는 회사도 있다.

리드프레임용 소재(Lead frame)는 LED Base가 되는 부품으로 LED Chip과 PCB 기판과의 전기신호를 전달시켜주고 빛을 정해진 방향으로 방사하도록 유도하는 기능이 있다. 습기, 진동, 충격 등으로부터 Chip을 보호하며 지지해주는 골격 역할을 하며, 구리 합금, 은 도금, 내열 플라스틱 소재로 구성되며,

열적 안정성, 신뢰성, 가공성, 생산성, 낮은 가격에 대한 기술 개발이 이루어지고 있다. 최근 고출력 LED의 발열 문제와 소재 성능 향상 및 원가 절감 요구로 EMC(열경화성 유무기 복합성분)의 이용이 확산되고 있다. 또한 저점도, 저흡습, 높은 유리전이 온도로 열적 안정성을 갖는 에폭시 수지 개발과 열전도 특성 개선을 위한 실리카, 산화아연 등의 무기물 기반 필러가 개발되고 있다.

접합 와이어용 소재는 LED chip과 리드프레임을 전기적으로 연결하는 도선의 역할을 하며, 금, 은, 알루미늄, 구리 등과 같이 고 전도성 금속이 주로 사용된다. 공정의 용이성을 위해 금속 이외 첨가제가 사용되며, 고 전류 상황에서 번아웃(burn out) 특성을 보이므로 패키지 설계 및 공정 진행시 고려해야 한다. 최근에는 외부 가스 (황, 산소) 유입시 황화 및 산화되는 현상을 막기 위해 표면을 코팅하는 기술들이 소개되고 있다.

패키징 기판 소재는 광효율을 증대를 위하여 Blue 영역에서 반사율이 높은 Ag 도금을 이용하고, 외부 수분 및 황과 같은 가스로 인해 산화 반응이 발생하여 광효율 저하를 초래하므로 내구성 향상을 개선하기 위한 금속 도금 기술이 개발되고 있다. 최근 LED 발열 문제를 해결하기 위해 방열용 기판 개발이 진행중이며, 고방열 Ceramic 기판, Metal core PCB, FR-4, PCB 등이 주로 사용된다.

형광체 소재는 백색 LED를 만드는 핵심 소재로서, LED에서 발광하는 빛을 흡수하여 형광체의 에너지 준위에 맞는 가시광선을 방출하는 역할을 한다. YAG, TAG, Silicate, Nitride 계열의 고상법으로 제조된 무기물 형광체가 주를 이루며, 이들 형광체의 발광 효율을 높이고, 열적 안정성을 높이는 기술 개발이 진행 중이다. 특히 고휘도 LED 조건에서 형광체 발광효율 감소 문제, 열에 의한 변성 문제, 외부 기체 (산소, 수분, 황)에 의한 성능 감소 문제와 같은 장수명 문제 해결해야 한다. 특히 고 휘도 LED 조건에서 형광체 발광효율 감소 문제, 열에 의한 변성 문제, 외부 기체 (산소, 수분, 황)에 의한 성능 감소 문제와 같은 고 수명 문제 해결이 필수이다. Ag/Au 나노 입자 기반 plasmon 효과를 이용하거나 host 물질의 코어-셀 구조 기반의 광 변환 효율 향상 연구가 진행 중이며, 현재 질화물 형광체 합성기술로 집약되고 있다. 또한 나노 양자점의 크기에 따른 발광 특성 변화를 이용한 나노 형광체에 대한 기술 개발도 진행 중이며, 형광체 합성기술과 더불어 백색 LED 패키지 내부에서 형광체 변환효율과 방출하는 빛의 지향각 등을 균일하게 제어하기 위해서는 Conformal 코팅과 같은 형광체 표면 도포기술에 대한 연구도 중요하다.

3. 메탈코아 PCB

3.1 개 요

LED 패키지와 방열판이나 방열기구에 열전도가 잘 될 수 있도록 해주는 역할을 하는 것이 메탈코아 PCB(Metal Core Printed Circuit Board)이며, 또한 LED 패키지의 전기적 연결 및 고정을 하는 역할을 수행한다. 메탈코아 PCB는 특수기판의 한 형태로 방열성을 높이기 위해 기존의 에폭시수지 PCB가 아닌 알루미늄, 구리, 철 등의 소재를 이용하여 제조한 Rigid PCB의 일종이다.

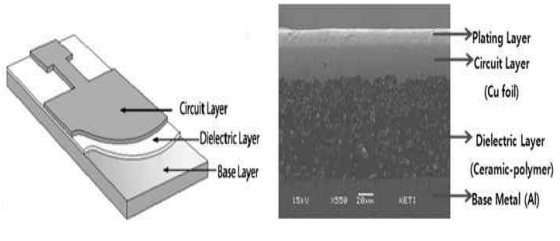


그림 4. MCPCB 기판의 구조

메탈코어기판, 메탈베이스 기판, 방열기판, LED 기판 등으로도 불리기도 한다. 방열성이 우수하고 기

계적 강도가 강해 탑재 부품을 늘릴 수 있으며, 동판을 전원으로 사용할 경우 대전류에 대응할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 기본 재료인 금속의 열팽창계수가 크기 때문에 열팽창계수가 작은 세라믹 등으로 이루어진 칩 탑재시 열 충격을 받아 땜납 크랙이 생기기 쉬운 단점이 있다.

최근 조명용 LED 패키지가 고출력화, 고집적화되는 경향을 보이며, 글로벌 선전사를 중심으로 COB(Chip on board) 타입의 PKG가 출시되고 있다. 높은 발열을 해결하기 위해 MCPCB 기판위에 실장된 형태로 공급하거나 MCPCB 사용을 권장하고 있다.

최근에는 LED Chip에서 발생한 열을 MCPCB를 경유하여 빠르게 히트싱크 전달하기 위해 TIM (Thermal Interface Materials)에 대한 연구가 활발해지고 있으며, 주로 방열 그리스(Thermal Grease), 방열 테이프(Thermal Sheet), 열 반응성 상변이물질(Phase Change Material) 등이 사용되나 열전도도가 1~5W/mK 수준이다.

3.2 기술 동향 및 전망

MCPCB의 성능을 좌우하는 절연층은 주로 Epoxy 계열이 사용되는데, 비록 두께는 100μm 내외로 얇지만 열전도도가 높이 않아 이를 보완하기 위하여 일반적으로 알루미나(Al2O3)를 첨가하여 열전도도를 개선한다. MCPCB의 절연층의 방열 소재는 세라믹 소재, 탄소재료와 같은 고열전도성 필러 소재와 고분자 소재의 열전도성 고분자 물질로 구성된다.

열전도성 복합 소재를 사용하는 이유는 고열전도성 무기 필러 소재가 열전도성이 우수하나 접착력이 없고, 고분자 소재는 접착력은 우수하나 열전도성은 낮기 때문이다. 고분자 복합 재료의 높은 열전도도를 달성하기 위해서는 많은 양의 필러가 들어가게 되는데, 이러한 경우에는 가공 조건이 난해해지고 제품의 물리적 성질이 저해되는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 MCPCB 기판을 생산하는 기업들을 중심으로 고분자 소재의 낮은 열전도도를 개선하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 이를 통해 MCPCB의 열전도도를 최대 10 W/mK 까지 향상시킬 수 있으나, 열전도성 복합재료의 제조 공정 및 가공 조건이 난해한 단점으로 인해 상용화에 제한이 있다.

이와는 별도로 열전도도가 낮은 폴리머를 포함하지 않는 세라믹 물질만을 이용한 절연층 형성 기술로 양극산화법(Anodizing)을 이용하여 절연층을 형성하는 MCPCB도 개발되고 있다. 양극산화방식의 MCPCB 기판의 경우 유전층의 열전도도가 알루미나 소재를 기반으로 하여 약 8~20W/mK 정도로 우수하나, 사용할 수 있는 기판이 한정되어 열팽창계수를 조절하기가 어려우며 유전층이 형성될 때 많은 공극(Pore)가 발생하게 된다. 절연층에 형성된 다수의 공극으로 인해 절연성능이 떨어지게 되며 MCPCB의 내전압 특성을 만족하기 어려운 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 공극의 발생이 줄어들 수 있는 양극산화법이나 Nano-Plugging 기술을 통해 공극을 제거할 수 있는 연구개발이 진행되고 있으나 공정비용을 줄이는 것이 가장 시급한 과제이다.

표 2. 국내외 주요 MCCL 제조 업체 및 제품 성능

절연층 특성	국내		국외		
	두산 전자	포스코 아주스틸	Denka (일본)	Bergquist (미국)	PTTC (대만)
열전도율 (W/mk)	2~5	2.0	2.6~4.5	3.0	2.0~8.0
내전압특성 (kv@10mA)	〉3.0	〉3.0	〉6.0	〉5.0	〉5.0
박리강도 (kgf/cm)	1.0~1.8	〉1.0	-	1.0	1.0

MCPCB의 열전도도는 주로 절연층에서 결정되는데 기존의 에폭시+세라믹 필러 형태는 유기소재가 사용되어 열전도도를 향상시키는 기술 개발이 필요하다. 최근에는 Anodizing, 플라즈마, 스프레이 코팅 등을 통하여 열전도도가 높은 세라믹을 절연층으로 이용하는 기술이 개발 중이다.

4. 구동회로 및 SMPS

4.1 개 요

SMPS는 Switched-Mode (Switching mode) Power Supply(스위칭 방식의 전원 공급장치)의 약자로 LED에 전원을 공급하기 위한 장치로써, Linear Regulated Power Supply와 달리 반도체 스위칭 소자를 이용한 제어회로를 구성하여 전원을 공급하는 방식이다. LED 조명 시장의 소형화, 경량화, 고효율화를 위해 SMPS는 필수적이다.

구동회로(Driver)는 SMPS의 출력전원(전압/전류/전력)을 받아 LED 구동 특성에 맞도록 전력을 변환하는 DC/DC 컨버터이며, LED의 특성에 맞게 정전류로 구동하는 것이 일반적이다. 구동회로 단품으로 제품화하는 경우는 거의 없으며, SMPS에 포함시키거나, 등기구에 포함시켜 개발되는 경우가 대부분이며, Driver IC의 의존도가 높다.

SMPS의 출력에서 바로 LED를 제어하지 않고 구동회로를 사용하는 것은 구동하고자 하는 LED의 소비전력, 구성형태, 제어 요구 사항 등에 의해 결정된다. 최근에는 LED 조명기구의 대용량화 및 색온도 제어 등으로 인해 Multi channel(다채널)에서 LED의 열간 오차를 최소화 및 Thermal spot 발생 방지, 디밍(Dimming) 제어의 최적화가 이루어져야 하기 때문에 그 중요성이 부각되고 있다.

디밍 방식으로는 크게 PWM 디밍, Linear (Analog) 디밍과 두 가지를 혼합한 방식을 구동회로에 사용한다. PWM 디밍은 일반적으로 많이 사용되는 방법으로 제어가 비교적 간단하지만, 영상촬영 시 플리커 문제가 발생한다. Linear 디밍(analog 디밍, CC 디밍)은 LED의 순방향 전류의 양을 조절하는 것으로써 연속적으로 제어가 가능하지만, 순방향 전류양에 따라 Color shift 가 발생하는 문제점이 있다. 혼합 디밍 방식은 두 방법의 장점을 적절히 조절하여 구현할 수 있으나, 회로 및 제어가 복잡해질 수 있다는 단점이 있이 있다.

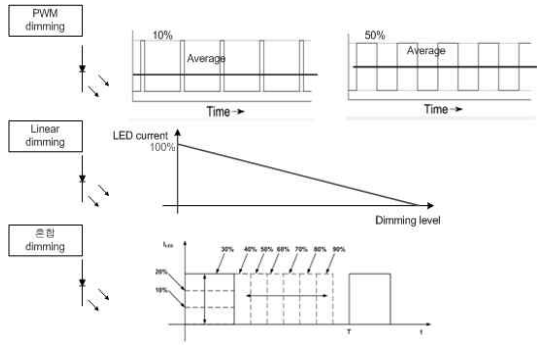


그림 5. 디밍 방법의 개념도

SMPS에 포함되는 기능으로는 정출력 유지기능(정전류, 정전압, 정전력), 역률보상기능, EMI 감쇠기능, 입출력 과전압 및 과전류 보호기능 등이 있다.

4.2 기술 동향 및 전망

최근 LED 조명용 SMPS는 소형화, 저가격화의 추세에 따라 구동회로의 개념 및 범위와 Overlap 되는 경향이 있다. SMPS의 연구동향은 고효율, 소형, 저가격화 등 크게 변화하지 않으나, Topology의 개발 및 스위칭 소자 개발에 큰 영향을 받는다.

먼저 효율 향상 기술은 정상상태 구동 시의 손실을 최소화하는 것과 대기 시 소모되는 전력(대기전력)을 최소화하는 것으로 구분할 수 있다. 구동시의 손실은 손실이 적은 소자들의 개발, 손실이 크게 발생하는 스

위칭 소자의 손실을 저감시키기 위한 구조 및 제어에 대한 연구를 통해 저감시킬 수 있다. 스위칭 손실을 줄여 효율을 향상시키는 기술로써는 준공진형 스위칭(Quasi-Resonant), Active clamping, 공진형 컨버터를 이용한 ZVS, ZCS 제어 기법, Synchronous-buck 컨버터 제어기법 등이 있다. 대기전력(경부하 시 소모전력)을 줄이기 위한 방법으로는 Burst mode 제어기법, start up resistor 손실 제거기법 등이 있다.

소형화, 저가형 기술은 LED 등기구의 공간상, 제조원가 상의 제약에 의해 부품을 최소화하여 소형화 및 저가의 기술을 구현할 필요가 있으며, 이는 성능과 적절히 Trade off 되어야 한다. 대부분 소비전력이 적은 LED 부하에 적용되며, 대표적 기술은 다음과 같다.

- 역률보상회로+DC/DC 컨버터의 2단 구조 혹은 LED 드라이버가 추가된 3단 구조의 형태이며, 이를 1개의 DC/DC 컨버터를 이용한 1단 구조 기술
- 절연구조를 가지는 SMPS에서 2차측 feedback 회로를 제거하기 위한 Primary side control 기술
- AC 직결형 IC 개발 기술

SMPS의 수명은 동작온도에 따른 소자들의 수명에 의해 결정되며, 일반적으로 사용되는 소자 중 온도에 따른 수명특성이 좋지 않은 것이 전해커패시터이다. 따라서 수명이 좋지 않은 전해커패시터를 필름커패시터로 대체시켜 수명을 확보하는 연구가 진행 중이며, 이를 구현하기 위한 방법으로 입력에 고조파전류 주입법, 출력단 제어(Buck-boost 등) 등이 있다.

백열등 대체형 기술은 AC LED에서 AC 전원을 전파정류하여 직접 입력하는 경우가 대부분이며, 120Hz의 리플을 포함하여 플리커 발생에 대한 문제가 대두되고 있다. 일반적으로 100Hz 이상은 사람의 눈으로 보기 어렵지만 120Hz 이하의 플리커는 두통 등의 질환을 유발할 수 있다는 연구결과에(IEEE PAR1789) 따라 에너지 스타에서는 플리커 인덱스, 퍼센트 플리커에 대한 값으로 규제를 하고 있다.

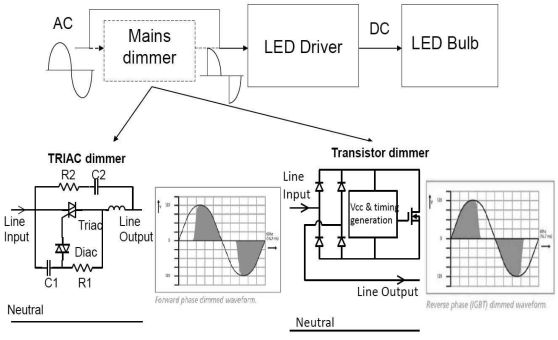


그림 6. Triac 디머와 LED SMPS

또한 기존의 백열등 디밍 장치는 AC 전원전압을 조절하는 Phase cut dimmer(Triac dimmer)에서 Bulb 형 LED가 정상동작하지 않거나 플리커가 발생하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 블리더, 댐핑회로를 적용하는 방법 등이 있으나, 효율이 좋지 않으므로 이들의 효율을 높이기 위한 Active 형태의 블리더 및 댐핑회로 등의 연구가 진행 중이다.

최근 형광등 대체형 기술로 기존의 형광등용 안정기를 통해 전원을 공급받는 호환형 LED램프가 개발되고 있으며, 이를 구현하기 위해서는 형광등 점등 전압을 skip하기 위한 기술과 다양한 형태에서 동작할 수 있도록 하는 임피던스 매칭기술이 필요하다.

구동회로의 광량 편차 보상기술은 LED가 전기적으로 직병렬로 연결되어 사용되는데, 병렬 연결시 각 LED의 동작전압 편차에 의해 열간 전류의 오차가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 Current mirror를 이용한 방법, 수동소자를 이용한 기술개발이 이루어지고 있다.

디밍 제어 기술은 광량 및 색온도 가변 등 디밍 제

어를 많이 적용하는 응용분야에서 주로 PWM 디밍 방식을 적용하지만, 이 때 조명된 물체 혹은 LED 광원을 카메라로 촬영하면 카메라의 구성형태에 따라 촬영된 영상에 공간 혹은 시간 플리커가 발생한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 혼합디밍, LED 열간 교차제어 등의 방법이 있으나, 다양한 조명 환경에서 플리커 제거여부를 판단하기 어려운 상황이다.

고주파수 구동 기술은 정밀 제어가 필요한 응용분야에서 디밍 해상도는 구동회로의 구동주파수에 제한되며, 최근 1~3MHz의 구동주파수를 갖는 IC들이 개발되고 있다. 또한 제어장치와의 통신 연계 기술(통신 인터페이스 IC 및 firmware 기술)은 제어 입력을 받기 위한 통신 인터페이스 구성 기술과 받은 제어입력에 따른 디밍제어를 수행하는 Firmware 기술 혹은 SOC 기술이 필요하다.

5. 방열부품

5.1 개 요

방열 부품은 LED 조명 제품의 수명을 연장하고 신뢰성 및 안전성을 향상시키기 위한 주요 기술로써, 최근 급속도로 효율이 개선되고 있는 LED를 조명 제품으로 상품화할 수 있는 핵심 기술이다. LED 패키지는 동작 온도에 따라 광출력 감소와 스펙트럼 변화, 신뢰성 감소 등 에 막대한 영향을 미침으로 방열부품의 성능에 따라 조명 제품의 성능 및 특성을 좌우한다.

고출력화, 소형화, 경량화, 저가격화되고 있는 LED 조명 제품의 트렌드에 따라 출력은 높아지면서 열전도 및 방출 공간이 작아지는 것을 고려할 때 방열기술은 원가절감과 디자인 향상, 화재 발생 등 제품 안전을 통해 LED 조명 제품의 상업적 가치를 높이는 데에 중요한 요소로 부각되고 있다.

따라서 LED 패키지의 방열구조 및 조명기구의 접촉저항을 최소하기 위해서 전도성을 높이고 조명기구의 구조적 방열을 위해서는 대류와 복사를 높이는 것이 매우 중요하다.

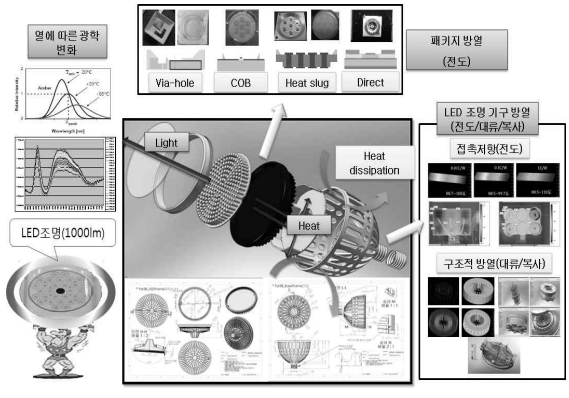


그림 7. LED 조명 방열 구조 및 특징

5.2 기술 동향 및 전망

LED 방열 기술은 LED 칩/패키지 방열기술, Board level 방열기술, System level 방열 기술로 크게 구분할 수 있으며, LED 방열 기술에 대한 특허 출원은 2000년대 중반부터 최근까지 빠른 증가 추세를 나타내고 있다.

방열 기술에 있어서 방열판은 물론 PCB, 케이스, 접착제, 페인팅 도료 등 사용되는 모든 소재가 제품의 방열 기능에 영향을 미치므로 LED조명을 구성하는 부품의 열전도성을 높이고 케이스나 방열판과 같은 외부소재의 열방사력도 중요한 요소로 작용한다. 특히 부품간의 접촉부분에서 발생하는 열저항과 관련하여 점착소재의 선택이 중요하며, 방열그리스의 사용을 통해 열저항을 줄이고 부품간의 공기층의 제거를 통해 제품의 방열특성을 높일 수 있다.

방열 문제 개선을 위해 열전도도가 우수한 다양한 재료를 조명 제품에 도입하는 경우가 있으나, 단가가 중요한 조명 제품 특성상 고가의 재료를 채용하기에는 현실적으로 무리가 있다. 또한 조명 제품의 대용량

화에 의한 열 방출 에너지의 증가는 방열 부품(주로 금속성 재료를 사용, Al 등)의 크기 및 무게가 증가하게 되어 조명 제품의 디자인과 설치 및 취급시에 문제가 발생되고 있으므로 소형화, 경량화 방열 기술 개발이 필요하다.

대량 생산을 위한 금형 및 다이캐스팅 기술은 조명 제품 디자인에 대한 자유도를 향상시키는 중요한 요소로써 금속성 방열 부품에 대한 금형 설계 및 제조, 공차 기술이 매우 중요하다. 또한 현재 방열 부품은 크게 히트싱크, 사파이어웨이퍼와 LED를 접착하는데 쓰는 방열접착제(Interface Material TIM1), PCB와 히트싱크를 접착하는 데 쓰이는 방열접착제 TIM2, 방열코팅재 등이 있다.

열전도율을 높이기 위한 TIM1의 첨가제로 과거에는 알류미늄을 사용했으나 최근에는 카본파이버, 그라파이트, 카본 나노튜브등이 활용되고 있으며, 이미 인텔, AMD에서 차세대 방열 소재로 일부 사용 중으로 수년 내 상용제품이 등장할 것으로 예상된다. 카본파이버는 경제적이면서 성능이 우수하지만, 전 세계적인 공급이 부족한 상황으로 그라파이트가 주목받고 있다.

현재 대두되고 있는 방열기술로는 고열전도성 필막코팅 및 표면코팅 기술, 이종접합 결합 및 적층 기술, 능동형 피에조 쿨러, 고방열 Filler 배합 기술, 방열 설계 및 해석 기술 등이 있다.

먼저 주로 방열 부품으로 많이 사용되고 있는 Heatpipe와 Heat spread는 내부 작동유체의 상변화 현상을 이용하기 때문에 열전달계수가 매우 높고 액상과 기상의 밀도차로 인해 유동이 발생하므로 펌프와 같은 구동장치가 필요 없다. 또한 기계적인 움직임이 없기 때문에 내구성이 있으며 단순하며 소음이 없는 것이 특징이나 두께가 감소함에 따라 기상의 작동유체가 지나가는 내부 공간이 감소하여 압력강하가 급격히 증가하게 되고 열전달 성능이 낮아진다.

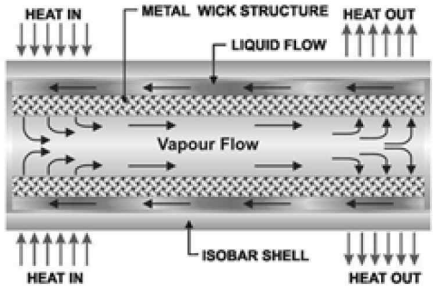


그림 8. Heat Pipe 단면도

이 방식은 가격 측면 때문에 노트북 등과 같이 고가의 응용 제품과 얇고 넓은 형태의 제품에 heatspread를 사용하여 열원에서 발생하는 열을 빠르게 주변부로 고르게 확산시키는데 사용된다. 최근 외부의 충분한 공기 흐름이 있고 조명 제품이 외부 공기와 충분히 개방되어 있는 150W 이상의 대용량 실외조명 분야에 사용되고 있다.

냉각팬은 고출력을 요하는 조명제품의 경우 방열판에 의한 자연공랭방식만으로 효과적인 방열을 기대하기 어려우므로 팬과 같은 별도의 방열 시스템을 통해 강제적인 냉각 효과를 주는 방식이 사용된다. 냉각팬은 소음이 발생할 수 있을 뿐만 아니라 제품의 디자인적인 측면에서의 제약을 수반하게 되며, 팬모터의 작동에 따른 진동의 영향을 최소화할 수 있는 LED 조명 시스템의 설계가 수반되어야 한다.

최근 대두되고 있는 신기술 쿨링 시스템은 공기 중으로 열을 방출시키는 공랭방식과 달리 수냉식 방열기술로서 물이 지닌 강한 흡열기능을 통해 제품의 열을 신속하게 제거하는 리퀴드 쿨링 시스템이나 열전소자를 활용한 냉각 방식, 방열판 주위의 공기를 진동시킴으로써 활발한 대류작용을 일으키는 시스템 등이 시도되고 있다. 기존의 방식에 비해 효율이 뛰어나고 부피가 적고, 소음이 없다는 장점을 갖고 있으나 대중화를 위해서는 높은 제조단가를 낮추는 것이 필요하다.

Patterning & Package on Heat Sink는 PCB

가 아닌 방열판 위에 초박형 회로 패턴을 공압 방식을 통해 인쇄하여 그 상부에 직접적으로 LED 칩을 실장하는 기술이다. PCB를 장착할 필요가 없는 만큼 공정을 단순화하고 제조원가를 낮출 수 있고, LED 조명 디자인 개발에 대한 제약도 완화시킬 수 있다. 그러나 공정이 복잡하고 수율이 낮은 문제점이 있어서 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

방열 플라스틱 및 방열 표면 처리 활용 기술은 가볍고 디자인 자유도가 높으며 비교적 열전도도가 높은 폴리머 소재를 이용하거나 열전도도가 높은 방열소재를 방열부품에 옅게 코팅하거나 마이크로/나노 스케일의 구조물을 형성하여 표면적을 극대화함으로써 대기방열을 통한 열확산을 증가시키는 방식이다. 최근 폴리머 소재는 기존의 금속성 방열소재보다 열전도도가 매우 낮아서 그 효율성이 낮으며, 현재 그래핀이나 탄소나노튜브와 같은 열전도도가 우수한 소재를 활용한 방열도료, 방열판 및 방열시트에 대한 연구가 진행되고 있다.

6. 광학부품

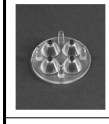
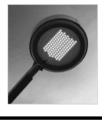
6.1 개 요

LED 패키지는 중심각을 기준으로 前방위 램버시안(Lambertian) 배광 분포를 나타냄으로 이를 조명기구화 할 경우 조도균제도가 매우 낮은 단점이 있다. 특히 백열전구, 형광램프 등 기존 광원 대체용 LED 제품은 조도균제도가 0.3이하로 매우 심각한 수준이다. 또한 LED 패키지가 작은 발광면적으로 인해 높은 휘도가 발생되어 눈부심이 초래한다. 따라서 조명환경을 최적화하기 위해 조도균제도 향상과 눈부심 억제 등을 위해 2차 광학부품이 필요하다. 특히 실내조명이나 도로조명의 경우, 넓은 면적을 균일하게 조사하기 위해 중심각에서 멀어진 곳에 밝기를 증가시키면 높은 눈부심이 발생하여 안전에 큰 문제를 야기한다.

또한 LED 조명 광학 기술은 점차 LED 광원이 소형화 및 대용량화되고 있으며, LED 조명의 경량화를 유도하기 위해서는 2차 렌즈의 크기 또한 소형화되고 있다. 이러한 LED 광원 및 렌즈 소형화 경향은 근접영역(Near-field)에서의 광학 설계를 요구하고 있다.

광학부품(2차 광학계)는 조명 환경에 따라 렌즈, 반사판, 확산판으로 분류할 수 있다.

표 3. 광학렌즈 종류 및 활용

실내등 렌즈	전반사 TIR 렌즈	가로등 렌즈	보안등 렌즈	특수 LED 렌즈
				
				

6.2 렌즈 기술동향 및 전망

LED 패키지에서 발산하는 빛을 원하는 각도로 원하는 밝기로 보내는 역할을 함으로서, 원하는 위치에서 필요한 조도가 생성되도록 하여 에너지 절감의 효과를 얻을 수 있도록 하여야 한다. 주로 실내조명, 실외조명, 디지털 제품, 자동차 헤드라이트, 건물 조명 및 해양조명에 이르기 까지 LED 렌즈는 다양한 제품에 활용되고 있으며, 폭 넓은 분야에 고품질의 LED 빛을 제어하는데 사용되고 있다.

렌즈에 내재된 기술로는 광효율 향상 기술, 표면 패턴형상 기술(고전적인 색띠 불량 문제해결 및 자연광 구현), 열제어 기술, 배광제어를 위한 광학설계 기술 등이 있다. 특히 광학설계 기술은 가장 중요한 기술이며, 패키지에서 나오는 확산 광 패턴의 배광

을 투사, 집속, 확산, 분산 등 원하는 영역에 원하는 양의 광에너지를 전달하기 위해서 정밀한 조명 광학계 설계 기술이 필요하다. 렌즈의 크기를 최소화하여 기구부의 크기를 축소하고 이를 통해 원가절감 및 기구부 한계 무게를 줄일 수 있는 기술과 한 번의 수지 주입을 통해 성능이 균질한 다량의 렌즈를 사출하여 렌즈 부품의 가격을 낮출 수 있는 기술이 매우 중요하다.

렌즈와 관련하여 연구되고 있는 광학설계 기술은 LED광원을 체적광원으로 인식하고 접근하는 설계 기술과 LED광원을 다채로운 색을 균질하게 혼색할 수 있는 혼색 광학계 기술, 시스템조명, 감성조명, 차량용 전조등 등과 같이 색 제어 및 배광제어가 매우 까다로운 문제를 가지는 백색 LED 광학계의 광특성 제어를 위한 기술이 개발되고 있다.

또한 최근에는 컴퓨터 지원 설계, 해석 및 공차분석에 이르는 일련의 과정을 통한 실제 제작 성능 예상을 위한 One-Stop 분석기술CAA(Computer Aided Analysis) 광학분석 기술과 디스펜싱(dispensing), 실리콘 금형성형기술, 장비 및 자동화 기술, 실리콘, 금형 이항기술, 두꺼운 렌즈 성형기술, 다중 캐버티(Multi Cavity)성형기술, 사출 압축 성형 기술 등이 부각되고 있다.

그림 9. 렌즈에 내재된 기술 현황

6.3 반사판 기술동향 및 전망

최근에 실외조명의 경우에 미국, 영국, 호주 등 국가 규제와 다크스카이협회(IDA)와 국제조명위원회(CIE), 영국조명기술자협회(ILE) 등 국제 기구도 다양한 규제 방안 마련으로 해외 선진국들은 각 나라 실정에 맞는 빛공해 규제를 실시하고 있으며, 이는 향후 수년 내에 국내 기업들의 해외 진출에 큰 장벽으로 작용할 것으로 예상된다. 실내조명의 경우에도 LED의 높은 휘도와 확산광의 부족으로 눈부심이 초래하여 이를 해결하기 위한 반사판 사용이 늘고 있다.

반사판에 내재된 기술로는 가시광 영역대의 높은 반사율 및 정반사(Specular)특성을 높이는 Al 박막 증착 혹은 코팅 기술이 요구되는 고반사율 코팅 기술과 광효율 향상 기술, 열제어 기술, 배광 제어를 위한 광학설계 기술, 대량생산을 위한 프레스 기술 등이 있다. 특히 다른 광학부품보다 방열성능이 우수하여 배광 제어에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 방열 면적을 넓혀 전면부 방열 기능을 높이는 기술과 반사판의 코팅재의 확산 및 반사 특성과 패키지에서 나오는 확산 광 패턴의 배광을 확산 및 반사를 통해 원하는 영역에 원하는 양의 광에너지를 전달하기 위한 고급 조명 광학계 설계 기술이 내재되어 있다. 그리고 금속 반사체 표면에 코팅된 고순도 박막의 광특성을 유지하면서 원하는 형상을 가지는 반사판을 한번의 프레싱 기법으로 찍어 내는 기술, 반사판 부품의 가격을 낮출 수 있는 기술도 중요하다.

반사판과 관련하여 최근 연구되고 있는 광학설계 기술은 LED 패키지의 광 발산 패턴을 반사판의 형태와 재질 등의 설계를 통해 조명기구의 원하는 형태의 배광을 제어하기 위한 기술과 광 반사율을 높여 광효율을 향상시키는 기술, 반사판에 의한 눈부심 발생 가능성을 억제 시키는 반사판 소재 특성 및 광학설계 기

술이 있다. 또한 얇고 가벼운 반사판 사출 또는 금형 기술과 고효율 반사반의 소재 개발 기술, 생산성 향상 및 원가 절감 기술 등이 부각되고 있다.

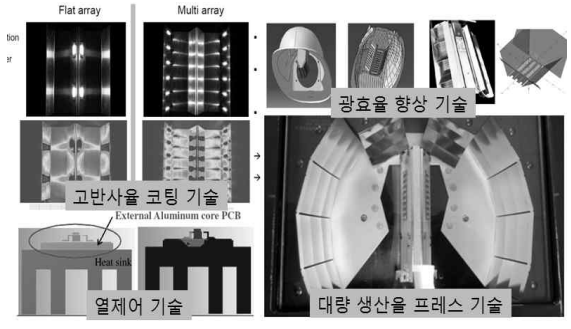


그림 10. 반사판에 내재된 기술 현황

6.4 확산판 기술동향 및 전망

확산판은 백열전구나 평면조명기구에 주로 사용되며, 특히 방향성이 큰 LED와 같은 광원의 직접적인 발광을 막아 빛을 고르게 확산시켜 눈부심을 억제시키는 역할을 수행한다. 확산체의 재질 및 광학적 특성에 따라 투과된 빛의 확산 정도가 달라지고, 확산성이 높으며 투과율이 좋을수록 좋은 성능으로 평가를 하고 있다.

확산판 광효율 향상 기술은 확산판의 재질 및 내부 구조에 따른 높은 투과율과 함께 고르게 확산되는 빛을 제어하는 기술(서로 상반된 특성)이 중요하며, 확산판에 사용되는 재질로는 주로 폴리카보네이트(PC)나 아크릴(Acrylic, PMMA)이 사용한다. 조명기구 다자인에 따라 바리솔이나 한지 등과 같은 특이한 재질을 확산판으로 사용하기도 한다. 또한 빛 확산을 위한 광학설계 기술이 매우 중요하며, 확산배광과 눈부심 억제, 광원의 색을 왜곡시키지 않고 정확한 광원의 색온도 및 광색 구현이 필요하다.

기존 Bat-wing 배광형태를 가지는 형광램프 조명기구를 확산판 채용 평판형 LED 조명기구로 대체하여 동일 공간/위치에 적용하였을 경우, 균제도가 다소 떨어지는 단점이 발생하는 등 문제점이 있다. 따라서 평판형 LED 조명기구를 다양한 건축 공간에 적용하기 위해서는 건축 공간에 적합한 다양한 배광 형태 구현이 가능해야 한다. 이를 문제점을 해결하기 위해 최근에는 확산판에 다양한 형태의 광학적 패턴을 통해 실현하고 있다.

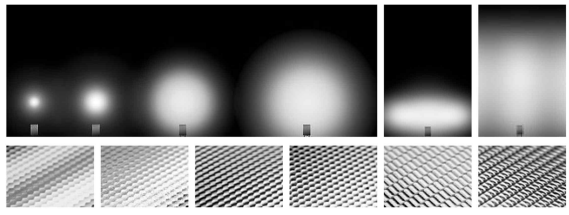


그림 11. 확산판의 광학 패턴에 따른 배광

확산판의 부피 및 무게를 최소화하여 기구부의 크기를 최소화하고 이를 통해 원가절감 및 기구 전체의 무게를 줄일 수 있는 기술과, 다양한 형태의 건축화 조명기구에 적합하도록 바리솔과 같이 확산판을 유연(Flexible)하게 하여 LED 조명기구의 디자인 자유도를 향상시킬 필요가 있다. 무엇보다도 성능이 균질한 다량의 확산판을 성형 사출하고 절단 및 타공, 가공 등 작업성이 용이하여 가격을 낮출 수 있어야 하며, 광원에서 발생되는 열에 따라 성능 저하가 없도록 내후성 및 내열성 기술도 필요하다.

7. 결 론

국내 LED 조명 제품의 품질 및 가격 경쟁력 강화를 위해 가장 중요한 부품 소재 산업을 육성하기 위해서는 먼저 다양한 용도에 적합하도록 고성능・고품질화 및 컴팩트화를 실현하기 위한 광원 및 부품 소재에 연구를 추진해야 한다. 또한 LED 패키지/광학/방열/회로 부품의 일체화와 엔진화를 통해 대량 생산 및 저가격화를 실현하고 부품 소재업체 및 조명 업체 간 협력 및 Supply Chain을 형성하는 것이 필요하다.

최근 중국의 부품 소재 분야의 추격과 국내 잠식이 이루어지고 있는 상황에서 LED 조명 관련 부품 소재의 국산화가 매우 시급하다.

참 고 문 헌

〔1〕 한국광산업진흥회, "2014 국내외 광산업 현황 및 전망", 2014.
〔2〕 한국산업기술평가관리원, "중소기업 기술로드맵(에코조명분야)", 2013.
〔3〕 U. S. Departmrnt of Energy, "Solid-State Lighting Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan," 2014.
〔4〕 Strategies Unlimited, "Strategiew in Light 2014," 2014.
〔5〕 송상빈, "LED조명 기술 및 제품 동향", 한국조명전기설비학회 Vol.25, No.5, 2011.
〔6〕 한국광기술원, 한국광산업진흥회 등 발표 및 데이터 자료.

◇ 저 자 소 개 ◇

송상빈(宋相彬)

1969년 10월 1일생. 1994년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업. 1997년 2월 동 대학원 석사 졸업. 2006년 8월 동 대학원 졸업(박사). 2005년~현재 한국광기술원 신조명사업단연구본부 본부장. 2001~2005년 한국항로표지기술협회 시험검사원 부장. 2000~2001년 (주)루멘텍 대표이사. 1997~1998년 LS산전(주) 사원. 본 학회 평의원 및 학술이사.

주요관심분야 : LED/OLED 조명 및 응용분야, 자연광 모사 기술, 색온도 가변 기술 등

E-mail : sbsong@kopti.re.kr