

# LED조명설계를 위한 방열특성 비교

(Comparison of thermal dissipation properties for LED lighting system design)

박정욱\* · 김기훈 · 김진홍 · 천우영, 송상빈

한국광기술원

(Joung Wook Park · Gi Hoon Kim · Jin Hong Kim, Woo-Young Cheon, Sang-Bin Song)

KOPTI

## Abstract

LED조명 설계시 고려되는 구조적 특성 및 설계 요소를 기반으로 방열에 영향을 주는 요소를 비교 설명하고 구조적 특성에 따른 방열구조 방안을 사례 연구를 통해 비교 검토한다. 사례연구를 위해 포탄형 LED를 이용한 20W급 투광기, ELS를 이용한 40W급 LED조명등을 대상으로 한다. 방열특성 비교를 위해 일반-PCB와 MC-PCB를 이용한 방열설계 비교와 LED 조명 특성에 따른 구조적 특성을 비교 설명한다.

## 1. 서 론

LED조명에 대한 기술은 최근에 지속적인 발전을 이루고 있으며, LED조명에서 중요한 요소를 지적되는 부분은 기존조명과 동일한 광학적 성능 또는 그 이상의 성능을 발현시키기 위한 기술이다. 이를 위해 광효율 향상 및 광질의 향상성을 위해 가장 중요하게 간주되는 것이 LED 조명시스템에서 방열에 대한 해결책을 찾는 것이다. LED 조명에서 방열이 원활하지 않은 경우, LED의 광효율이 감소, 색온도 변이, LED 및 주변 부품의 수명단축, 시스템의 신뢰성 불량 등의 문제가 발생하게 된다. 특히, 광효율 감소는 제품의 가격을 상승시키는 요소가 되므로 LED 조명시스템의 가격경쟁력을 하락시키는 주된 요인이 된다. 예를 들면, 100W급 보안등을 설계하는 경우 방열이 원활하여 70lm/W의 효율이 나올 경우 7,000lm의 총광속이 나오는데, 방열이 원활하지 않아 온도가 10도 상승하는 경우 LED 특성이 불량하여 효율이 80%가 되었다면 5,600lm으로 감소하게 된다. 이를 7,000lm을 달성하기 위해서 25%의 LED를 추가 사용해야 되므로 가격은 12.5%(LED가격이 전체 제품가격의 50%로 가정) 상승하게 된다. 여기서 전체 용량이 증가되었으므로 방열구조의 추가 부분이 필요하며 이로 인한 추가 가격상승부분과 질량 및 부피가 커져서 제품으로서 가치가 하락하게 된다.

앞서 설명한 것처럼 LED 조명시스템에서 방열특성은 가장 중요한 요소며 LED 조명시스템의 방열구조를 효율적으로 설계하기 위한 착안점을 제시하고 LED 조명시스템의 방열설계에 직접적인 도움을 받을 수 있도록

하기 위해 LED 조명제품 중에서 2가지 제품을 중심으로 설명한다. 또한, 방열특성에 대한 시뮬레이션 데이터와 열특성에 대한 측정 데이터도 같이 비교함으로써 방열설계에 대한 이해와 검증을 병행한다.

2장에서는 방열설계를 위해 이해해야 하는 설계 요소와 LED 조명 설계 방법에 대한 설명을 하고, 3장은 사례를 제시하고 4장에서 각 사례를 비교하고 5장에서 결론을 제시할 것이다.

## 2. LED 조명시스템의 방열설계 방법

### 2.1. LED 조명시스템 제작 과정

LED조명 시스템 설계를 이해하기 위해서는 LED 조명시스템의 제작 과정을 이해해야 한다. LED조명시스템을 제작하는 과정은 LED패키지 선정, 개념설계 후 시뮬레이션, 상세설계, 시제품제작 및 특성 분석, 양산설계를 포함한다. 여기서 LED패키지를 선정하기 전에 LED시스템에 대한 사양을 확정하고 LED조명시스템에 대한 제작 개념이 확립되었다고 가정한다.

LED 패키지 선정하는 단계에서는 LED칩을 선정하여 패키지를 하거나 LED 패키지를 선정하는 과정이다. LED 칩을 선정하여 패키지를 제작하는 경우, LED 칩에 대해 광학적 특성과 열적 특성을 측정하여 사용하기 적합한 칩인지 확인하는 과정이 필요한데 패키지를 위한 공정의 재현성, 패키지 설계 정도 등 패키지 제작과정에 따라 특성이 달라지므로 본 과정에서는 완성된 패키지를 선정하는 방법을 중심으로 설명한다. 제품의 성

1) 본 논문에서는 LED 칩을 제작하는 과정은 생략함.

능에 따라 패키지의 종류를 선정하게 된다. 이 경우 각 회사에서 제공하는 패키지의 사양을 기준으로 제작하려는 제품에 적합한 패키지를 3종 이상 선정하여 각 제품의 특성을 측정한 후, 최종 패키지를 선정한다.<sup>2)</sup> 만약 앞에서 선택된 것 중에 적합한 특성을 지닌 패키지가 없다면 다른 제품을 추가로 선정하거나 특성에 적합한 패키지를 직접 제작해야 한다.

개념설계 단계에서는 LED조명시스템의 개념에 적합한 구조를 간략하게 설계하여 제품 제작 가능성에 대한 검토를 하는 과정이다. 이 과정에서 설계 요소를 확정하게 되는데, LED조명시스템에서 고려해야 되는 설계 요소는 광학적인 요소, 열적인 요소, 전기적인 요소, 구조적인 요소, 디자인적인 요소로 구별된다. 효과적인 개념설계를 위해서는 설계 요소에 대한 우선순위 설정이 선행되어야 하며, 일반적으로 앞서 나열된 순서로 우선권을 갖는다.<sup>3)</sup> 광학적인 요소는 패키지레벨에서 고려되는 광속, 지향각, 색온도 등이 있고 시스템레벨에서 고려되는 배광, 기구효율 등이 있다. 열적인 요소로는 패키지 열저항 및 열 특성, 재료, 열전도 구조, 방열 면적, 열유동 등이 있다. 전기적인 요소로는 전력소비량, 전기효율, LED 배열, 제어효율 및 방법 등이 있다. 구조적인 요소로는 시스템배치, 구조적 안정성, 질량, 기능성 등이 있고 디자인적인 요소로는 광원 및 외관 색상 디자인, 형상 디자인, 조명시스템 특성 등이 있다. 이러한 요소들은 각 설계자가 반영하여 시스템 설계자가 종합설계하여 LED 조명시스템의 개념설계안을 도출하고 이를 기반으로 광학, 방열, 전기 등의 시뮬레이션과 실험용 샘플제작을 수행하여 특성 검토를 통해 개념설계안을 확정한다.

상세설계 단계에서는 개념설계 단계에서 확정된 LED 조명시스템 설계 요소를 기반으로 실제 제품으로 제작하기 위해 필요한 요소들을 설계안에 반영하는 단계다. 이 단계에서는 시스템 설계자가 전체 내용에 대한 확인 및 각 부품에 대한 상관관계를 정의하여 제품에 대한 총괄 설계를 하고 각 부품의 동작 특성 및 점점 내용을 부품별로 제시하며, 각 전문가들의 각 부품별로 설계를 하여 각 부품이 개별 동작확인 가능한 형태의 설계를 진행한다. 예를 들면, LED 회로설계에 대해 시스템설계자는 LED회로의 크기, 모양, 재료, 치부 방법, LED 직병렬 배치 방법, 입력 전압, 배선구조 등을 회로설계자에게 전달하고 회로설계자는 이를 기반으로 LED 패키

지에 적합한 회로를 설계한다.

시제품제작 및 특성 분석단계에서는 설계된 내용을 기반으로 각 부품을 제작하고 개별 시험을 한 후에 각 부품을 시스템으로 구성하여 전체 시스템에 대한 특성을 분석하는 단계다. 각 부품별 시험을 통해 시스템 구성 전에 설계 요소 반영 여부를 확인하고 시스템에 대한 분석에서 각 요소의 영향 평가를 용이하게 한다. 전체 시스템에 대한 특성 분석은 개념설계시 설정한 요소를 기반으로 진행되며, 시스템에 심각한 문제가 발생한 경우를 제외하고 수정보완이 필요한 경우 다른 부품에 영향이 없도록 상세설계 단계에서 설계요소를 보완하여 수정한다.<sup>4)</sup>

양산설계 단계에서는 시제품의 특성을 기반으로 개념설계시 설정한 설계 요소를 우선순위를 수정하여 양산을 위한 개념설계를 한다. 이 과정은 앞서 수행한 과정 전체를 다시 수행하게 되는데, 설계 요소의 추가가 없으며 양산을 위한 단순화와 양산을 위한 설계 요소 변경 등이 추가된다.

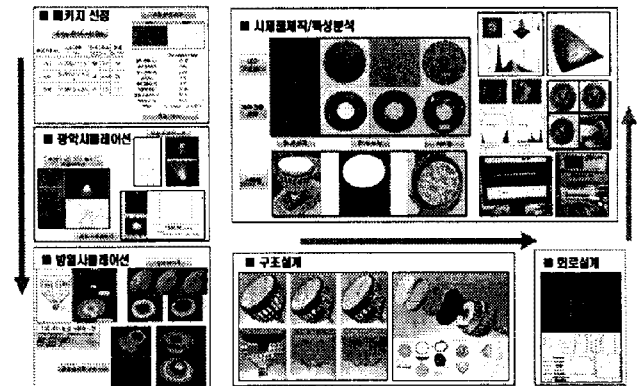


그림 2. LED조명시스템 설계 과정

## 2.2. 방열설계 요소 및 최적의 방열구조

LED조명 시스템 설계에서는 많은 요소들이 검토되지만 방열설계 요소가 광특성에 가장 많은 영향을 준다. LED 조명시스템에서 방열설계 관점에서 고려해야 되는 요소는 열전도와 방열이다. 열전도는 열원에서 방열구조까지 열이 전달되는 것이고 방열을 전달된 열을 시스템 밖으로 배출하는 것이다. 열전도에서 중요한 것은 열저항값으로 재료의 특성 및 형상에 관계되어 있고 복합재료인 경우 접촉된 면의 상태에 따라 달라진다. 방열에서 중요한 것은 매질의 대류특성<sup>5)</sup>이므로 매질의 종류와 열유동이 원활한 구조 및 조건이다. 정리하면, LED 조명시스템의 LED 패키지의 구조에서 설계시 고

2) 사양에 제시된 내용과 실제 특성치가 다른 패키지 제품이 있으므로 반드시 측정을 통한 제품확인이 필요하며, 필요시 실제 제작한 제품의 방열 특성을 감안하여 샘플제작을 통한 특성 분석도 필요.

3) 최근에 가로등의 경우 광학적인 요소, 구조적인 요소가 우선순위가 높은 설계 요소로 대두되고 있음.

4) 심각한 문제가 발생되면 개념설계 요소를 수정하게 되면 이 경우, 전체 제품 설계 내용에 영향을 주게 되므로 보통의 경우 상세 설계 내용에만 반영되도록 함.

5) 복사는 대류에 비해 열원의 온도가 높지 않은 경우에 영향이 미미하므로 LED조명설계시 주요하게 다루지 않음.

려해야 하는 중요 요소는 전도이고 방열구조에서 중요 요소는 전도와 대류가 모두 중요하게 된다. 패키지에서 선정해야 되는 열특성은 LED 패키지의 광추출효율, 열저항, 전면/후면 열방출비율, 열전달용 면적 및 두께 등이며, 패키지를 이용하여 모듈을 설계하는 경우 모듈의 열저항이 추가적으로 포함된다. 방열구조에서는 LED 모듈사이과의 접촉열저항, 체결방법, 구조체의 열특성, 구조의 방열면적 및 방열효율 등이 중요 선정요소다. 패키지에서 열저항이 높은 경우 열전도가 용이하지 않아 방열구조가 좋을지라도 구조적인 방열향상 효과가 적다. 열저항이 적은 패키지를 사용한 경우라도 열전도 되는 면적이 작으면 열확산이 용이한 구조나 방열구조에서 열확산이 용이하도록 전도계수가 높은 재료를 사용해야 방열효과가 향상된다. 패키지에서 전면으로 방출되는 열량이 후면으로 방출되는 열량에 비해 상대적으로 많은 경우는 조명구조 설계시 전면에 열전도가 좋은 재료를 사용하는 것이 유리하며, 후면으로 방출되는 열량이 많은 경우 열확산이 유리한 구조를 갖는 것이 방열에 유리하다.

정리하면 이상적인 방열구조는 열원에서 방열구조까지 열저항을 낮춰서 열전달이 용이하도록 하며 방열구조에서는 대류 물질이 대량으로 유동되도록 구조를 형성해 주고 흐름이 발생하도록 고온부와 저온부의 위치를 설계에 반영할 필요가 있다. 동일한 조건에서 열저항을 낮추는 방법은 방열구조로 가기 전에 열확산 구조를 형성해 주는 것이 유리하며, 구조적으로 접촉열저항을 향상시킬 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 이러한 방열 구조의 특성을 설계 관점에서 어떻게 반영되었는지 다음 사례를 중심으로 설명한다.

### 3. LED조명시스템 방열설계 사례

#### 3.1. 사례 1: 포탄형 LED를 이용한 20W급 투광기

이 제품의 경우 설계 조건은 다음과 같다: 1. 포탄형 LED를 이용하여 추가 광학계를 사용하지 않고 투광기의 빔각을 생성, 2. 일반PCB(FR4) 사용, 3. PAR형 제품 구조 유지, 4. 표준제품으로 사용할 수 있도록 안정성 필요

이에 맞는 방열설계 요소는 다음과 같다: 1. 일반 PCB를 이용한 열전도 구조, 2. 방향성 열유동 유도 구조

기존의 일반PCB에 포탄타입 LED를 이용하여 모듈을 구성하면 방열구조와 연결하기에 어려움이 많고 연결한다 하더라도 열전달되는 접촉면이 적어서 열저항값이 높아진다. 이를 해결하기 위해 모듈의 뒷면 전체를 전극면으로 처리하여 전극면을 따라 열확산이 용이하도록

구성하였으며, 이를 전체적으로 압착하여 체결력에 의해 부분적으로 휘어지거나 열팽창에 의해 휘어지는 것을 방지하였고 이것은 접촉면을 유지하여 열저항이 증대되는 것을 방지한다. 표준등으로 활용하기 위해 시간에 따른 온도의 향상성과 형상에 따른 구조적 온도분포를 균일하게 하기 위해 방열구조에서의 착안점은 LED 모듈의 중심은 방열이 용이하지 않아 열이 적층되어 주변보다 온도 분포가 높는데, 이것을 해결하기 위해 중심에 방열량을 향상하는 구조를 추가하는 것이다. 또한, 열유동을 향상하기 위해 온도가 가장 높은 중심부를 돌출하여 온도의 구배를 생성함으로써 열유동을 위한 조건을 생성해 주었다.

이 제품의 경우 방열구조 없이 LED 모듈만 테스트하였을 경우 10분 동작한 상태에서 최대온도가 78도(상온 23도)까지 상승하였다. 전체 조명시스템을 구성한 뒤에 최대온도는 46도(상온 20도)가 되었다. 또한 구조적 온도의 균일분포도는 최대최소 온도차가 3도였다.

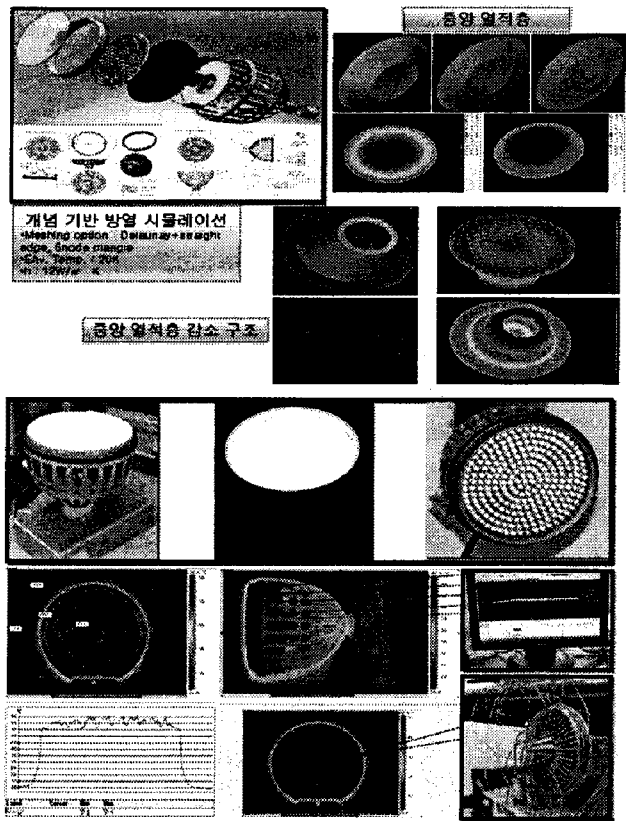


그림 2. 설계(개념설계, 시뮬레이션, 상세설계)(상)와 시제품(접촉식, 비접촉식 온도 측정결과)(하)

#### 3.2. 사례2: ELS를 이용한 40W급 LED조명 설계 조건은 다음과 같다: 1. Edge Lighting System을 구현하기 위한 LED 분리형 구조, 2. slim형 구조, 3. 60W까지 확장형.

방열설계 요소는 다음과 같다: 1. ELS를 적용하기 위한 효율적 열전달용 기능성 프레임, 2. 케이스를 이용한 방열구조

이 제품의 경우 기존의 T5형광램프를 활용한 제품과 유사한 형상을 갖고 색온도 조절 가능한 무드등 기능이 포함되도록 slim한 구조의 제품 설계를 목적으로 하고 있다. 방열 설계 요소에서 중요하게 고려되는 부분은 ELS 시스템을 사용하고 최적화된 slim구조로 설계되면서 방열면적이 적으므로 방열면적확보를 위해 케이스 및 프레임에 활용한 방열구조를 형성하는 것이다. 또한, 조명용 LED와 무드용 LED가 서로 독립적으로 동작하기 위한 구조를 갖기 위해 후퇴형 포켓 구조를 이용한 LED 모듈 프레임을 사용하고 이를 후면 프레임과 전면 프레임에 부착하여 열이 등기구 전체로 전도되도록 구조를 형성하였다. 더 나아가 열 방출이 많은 하면용 LED 모듈을 최대한 뒤로 후퇴시켜 후면프레임에 열전달이 용이하도록 구성하였다.

이 제품의 경우 7시간 동작 후 외부 케이스 온도 43도(LED 모듈프레임 온도(48도), 상온 25도)가 측정되었다.

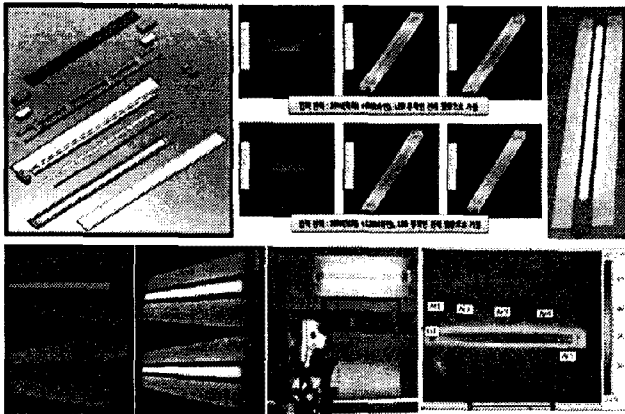


그림 3. ELS를 이용한 LED조명시스템 설계(개념설계, 시뮬레이션, 상세설계)(상)와 시제품(비접촉식 온도 측정결과)(하)

### 3. 사례 비교

두 제품의 방열 설계는 개념이 다른 두 제품을 방열 설계 요소를 기준으로 설계되는 과정을 보여준다. 두 제품은 방열설계 요소 및 설계 특성은 다르지만 각 특성에 맞도록 효율적인 방열이 이루어지도록 설계하였다. LED조명 제품의 특성상 완성된 조명제품의 온도(LED 칩의 온도)를 측정할 수 없기 때문에 외관온도를 측정하였다. 외관 온도는 실제 제품에서 방열설계가 잘 이루어졌음을 확인하는 척도는 아니므로 제품 개발단계에서 광학적 성능 및 전기적 성능을 검토하여 방열능력이 우수한지 확인을 하였다.<sup>6)</sup> 안정적인 방열구조를 가진

6) 시간에 따른 온도분포 변화를 검토하여도 개략적으로 방열 설계가 잘 되었는지 확인 가능하나 반드시 시간에 따른 광학 성능 및 전기적 성능 비교가 필수.

제품의 경우 에이징 시간이 최소화되고 온도, 광속, 전기 측정치가 빠르게 안정화된다.

표 1. 사례 비교

항목	사례 1	사례 2
패키지	포탄타입LED	4in1 LED
PCB	일반(FR4)	Metal core(Al)
열설계 요소	열확산, 접촉저항 최소화, 균일 열분포	방열면적확보, slim구조
온도차	26도(20W)	23도(40W)
의미	포탄타입LED에 적용가능한 방열 설계	프레임을 방열구조로 사용하기 위한 설계
기타	절연체 필요	프레임에 열전도성 높은 재료 사용

### 4. 결론

LED 조명제품을 최적화된 설계를 하기 위해서는 LED 제품 설계 전과정에서 각 설계 요소를 설정하고 각 단계별로 설계 요소의 상관관계를 인지하고 적용해야 한다. 방열 설계에 있어서는 패키지의 선정하는 과정에서부터 실험을 통해 패키지의 방열 성능에 대한 확인이 필요하고 이러한 절차를 통해 방열 설계 요소를 설정하는데 도움을 받아야 효율적인 방열 구조를 설계할 수 있게 된다. 또한, 방열 구조를 설계하는 과정에서도 기능이나 특성에 적합한 구조를 형성함으로써 최적화된 방열 구조를 갖도록 설계해야 한다.

실제로 제품을 제작하기 위해서는 공정의 난이도가 있거나 추가적인 공정이 부가되면 제품으로써 가치가 감소하게 된다. 방열 설계에서도 이러한 부분을 고려하여 단순화가 필요한 경우가 있다. 추후에는 단순화하는 과정에서 방열 특성을 고려하여 설계하는 방법에 대한 방법 및 과정에 대해 연구할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 박정욱, 김기훈, 김진홍, 김경은, "표준화를 위한 PAR38형 태 LED등의 표준제품 개발" 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, pp. 25-28, 2008. 10
- [2] 김기훈, 천우영, 김진홍, 송상빈, "색온도 제어 가능한 승강기용 LED 조명제품 설계", 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회, pp. 71 ~ 76, 2007. 11.
- [3] 김기훈, 김진홍, 송상빈, "실내조명용 LED 광천장 조명기구 설계", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회, pp. 101 ~ 106, 2007. 11.
- [4] 김진홍, 송상빈, 김기훈, 문일권, "소형화를 위한 20W LED 전구 개발", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회, pp. 64 ~ 69, 2007. 5.
- [5] 송상빈, 김진홍, 여인선, "방열특성과 구동방식을 고려한 다운라이트용 LED 전구의 개발", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회, pp. 19 ~ 24, 2006. 11.