

고출력 LED 투광등의 방열 기술 동향

(The Technical Trend of Heat Dissipation for High Power LED Flood Light)

김기윤* · 함광근

(Ki-Yun Kim* · Kwang-Keun Ham**)

* 명지전문대학 ** (주)메디레즈

요 약

본 논문에서는 고출력 LED 투광등의 방열 기술 동향을 살펴본다. 이를 위해 LED 방열에 사용되는 대표적 기술로서 LED 패키지 방열 기술, 공랭식 방열 기술, 수냉식 방열 기술, 열전 소자 방열 기술에 대한 기술적 특징을 분석하고 각각의 국내외 관련 기술 개발 현황을 제시한다.

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 저전력, 친환경이라는 기본 특징을 지니고 있으며, 지구 에너지 문제와 온난화 문제를 해결해 줄 대체 소자로서 다양한 분야에서의 적용이 연구되고 있다.

특히 차세대 조명에 활용되는 LED 소자는 저전력으로 큰 밝기를 나타낼 수 있어 전력 효율적이며, 전구 수명이 매우 긴 장점이 있어 선진국을 중심으로 각 나라마다 기존의 전력 소모가 큰 조명을 LED 조명으로 교체하려는 움직임이 빠르게 확산되고 있다. 이러한 흐름에 맞추어 고출력(high power) LED를 이용한 고출력 투광등에 대한 연구도 많은 관심이 집중되고 있는데, 국내외적으로 기술 수준은 100~200W급 LED 투광등이 출시되고 있다.

고출력 LED의 적용에 있어 한 가지 중요한 문제는 방열(power dissipation)이다. 발광 효율은 높아지고 있지만 아직까지 LED 칩의 방열은 상당히 기 때문에 고열이 발생하여 LED의 장시간 수명 보장을 불가능하게 만든다. LED 방열은 LED 수명 및 신뢰성과 직결되는 것으로 이에 관련한 깊이 있는 기술 연구가 절실히 요구되고 있으며, 이에 본 논문에서는 다양한 고출력 LED 투광등 방열기술 개발 현황과 동향에 대해 살펴보고자 한다.

본 논문에서는 고출력 LED 방열기술을 크게 4가지로 분류하여 분석하였다. 본문 2장의 2.1절에서는 고집적 LED 패키지 방열 기술, 2.2 절에서는 공랭식 방열 기술, 2.3절에서는 수냉식 방열 기술, 2.4 절에서는 열전소자 방열 기술에 대해 분석하고 각각의 국내외 관련 기술 개발 현황을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 고집적 LED 패키지 방열 기술

(1) 기술적 특징

LED의 열적인 특성을 정확히 예측하면 LED 설계자들이 제품의 성능을 보다 향상시키고 설계 기간을 줄일 수 있다. 그러나 열 유속(heat flux) 및 LED 패키지 밀도의 증가로 LED 패키지 모듈의 방열이 점점 어려워지면서, LED 모듈의 열 해석과 열 설계 역시 어려운 문제로 대두되고 있다.

먼저 LED 패키지에서 방열의 원인을 살펴보면 첫째, n층 및 p층의 저항 또한 반도체와 금속의 접촉저항으로 인해 발생하는 줄(joule)열이 있으며, 둘째, LED 내에서 발광성 재결합을 하여 광자로 전환되지 못하고 남은 주입 캐리어가 비발광성 결합을 하여 격자진동을 일으켜 발생하는 열이 있으며, 셋째, LED에서 발생한 빛이 외부로 모두 방출되지 못하고 일부 반사되어 흡수된 열이 있다.

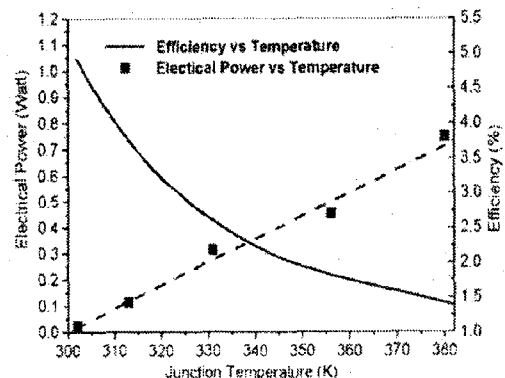


그림 1. 광효율 특성 곡선[1]

그림 1에서는 인입전력에 따른 접합 온도(junction temperature)의 증가 및 접합 온도 증가에 따른 광 효율(eficiency) 감소 특성을 나타내고 있다[1].

LED 칩에서 생성된 열을 주변으로 효과적으로 전달시켜야만 접합 온도를 낮출 수 있다. 기본적으로 열전달은 매체와 매체사이에서 온도차이가 있을 경우 전도(conduction), 대류(convection), 복사(radiation) 등의 방법으로 이루어지는데, LED 패키지는 다양한 물질들로 적층되어 있으므로 특히 전도 특성에 의한 방열이 매우 중요하다.

또한 패키지는 메탈 PCB(MCPCB)와 방열판으로 연결되어 전도에 의한 방열을 유도하고 있다.

방열을 고려하여 LED 패키지를 개발하는데 있어 주된 기술 개발의 흐름은 세라믹 패키지와 메탈이 적용된 패키지이며, 열 특성이 좋은 실리콘 웨이퍼를 패키징 소재로 사용하기도 한다. 이외에도 서벌 비아(thermal via)를 통한 방열 및 히트 파이프(heat pipe)를 적용한 패키징 등이 다양하게 제시되고 있다[1].

(2) 관련 기술 개발 현황

일본 우시오라이트사[2]는 LED 발광 소자의 고밀도 기술과 LED의 방열 문제를 해소하는 방법을 구사하여 세계 최초의 고집적LED 모듈을 개발했다. 독자적인 연구개발에 의하여 완성한 고집적 LED 모듈은 $\pm 30\mu\text{m}$ 라는 정밀도로 기판 1mm²당 약 1.76개의 LED 발광 소자 마운트를 가능하게 하고, 4mm×14mm의 기판에 최대 327개까지 LED 발광 소자를 고집적시킬 수 있다. 마운트에서 LED의 최대 문제인 방열을 해소시키기 위해 기판의 소재를 개발하고 완전히 새로운 접착 방법을 채용하여 신뢰성과 고품질의 LED를 실현하였다.

기판에는 열전도성이 높은 소재를 사용하고 LED 광소자와 기판의 접착에는 고융점 금속접착재를 채용하여 방열 성능을 높이고 높은 광속 유지율을 얻었다.

LED 광소자를 보호하는 수지 커버와 색도를 조정하는 광재료는 일반적으로 열의 영향을 받기 쉽고 수지 온도 상승에 의한 열화를 일으킨다. 특히 수지 커버는 LED의 온도 상승을 일으키는 원인도 된다. 고집적 LED는 이러한 것들이 불필요하고 장수명과 빛의 성능 감쇠 억제 효과를 얻을 수 있다.

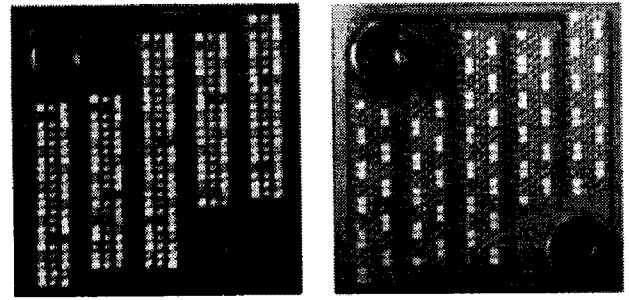


그림 2. 우시오라이트사의 고집적 LED 모듈[2]

일본 유니티카 주식회사[3]는 대표적인 고성능 플라스틱인 나일론 수지의 열전도율을 대폭으로 향상시키는 기술을 개발하였다. 지금까지 나일론 수지 단독으로는 열전도율 0.2W/(mK)가 최대이었지만, 이번 개발에 의해 열전도율을 단번에 50W/(mK) 수준으로 높이는 것이 가능해졌다. 이번에 나일론 수지의 폴리아미드 구조와 배합 성분을 특수 설계해 유니티카가 개발한 합성 기술을 응용함으로써 열전도성 필러를 대량으로 배합해도 용해 유동성이 뛰어나고, 기계적 물성이 뛰어난 나일론 수지 재료를 얻는데 성공하였다.

2.2 공랭식 방열 기술

(1) 기술적 특징

공랭(air cooling)식 방열 기술은 넓은 의미로 공기와 접촉하여 냉각이 이루어지는 모든 방열 기술을 의미한다. 공랭식 방열은 일반적으로 널리 적용되는 냉각 방법으로 고출력 LED 투광등의 경우 공랭 방법으로 방열판을 이용하거나 드물게 팬(fan) 등을 결합하여 공랭하고 있다.

방열판의 재질로는 전도성이 좋은 알루미늄과 구리 등의 메탈재질이 사용되며 고출력 LED 모듈로부터 발생하는 열을 최대한 많이 흡수하기 위해 가능한 적은 공간을 차지하고 많은 표면적을 갖는 구조로 설계한다. 아울러 방열판의 두께, 핀 길이를 길게 구현하면 방열 효과를 개선할 수 있다. 즉, 베이스 두께가 너무 얇으면 방열체의 열을 충분히 흡수하지 못하게 되고, 핀의 배열이 너무 조밀하면 상호간의 열 간섭으로 충분히 방열체의 열을 식히지 못하게 된다. 핀의 길이가 길면 공간에 차지하는 부피가 커지고 가공이 어려운 단점이 있으나 표면적이 넓어지기 때문에 방열효율이 좋아진다.

(2) 관련 기술 개발 현황

(주)대진디엠피는 발열문제를 해결하기 위해 공기구멍과 팬을 사용한 공랭식(에어쿨링) 기술을 채용하고 있다. 공기흐름은 냉각에 있어 빠질 수 없는 요소로서, 흡기팬으로 흡입된 외부의 차가운 공기는 모듈 내부로 흘러들어 열을 냉각하게 된다. 이후 더워진 공기는 상승하게 되어 배기팬을 통해 외부로 빠져나감으로 공기의 순환이 완성되게 된다.

광성전기산업(주)는 그림 3과 같이 램프 브래킷의 내측에 히트 싱크를 직접 부착하는 대신 램프 브래킷에 형성된 구멍을 통하여 히트 싱크를 램프 브래킷의 상측으로 일부 노출시켜 고정하여 노출된 히트 싱크의 일부를 통하여 열을 공랭한다[4].

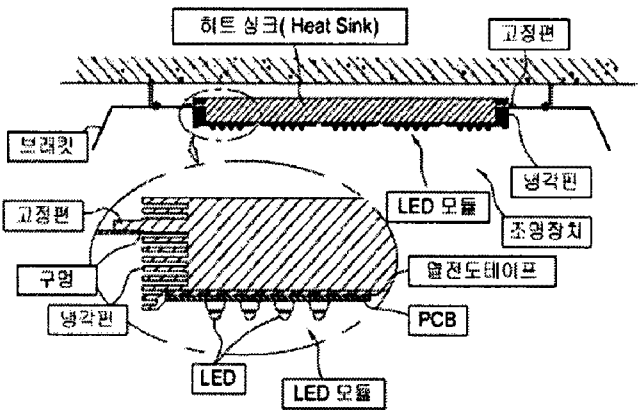


그림 3. 공랭식 LED 방열 구조 예(4)

2.3 수냉식 방열 기술

(1) 기술적 특징

고출력 LED 램프의 방열구조로 최근 적극 연구되고 있는 방식으로, 고출력 LED 램프의 방열구조를 수냉(water cooling)식으로 구성하여 LED의 구동에 따라 발생하는 열을 효율적으로 발산시키는 방식이다.

밀폐 용기에 물이나 냉매 등을 담아 가열된 LED 부분의 온도가 상승된 냉매가 자연적인 회류현상(또는 대류현상)에 의해 주위 차가운 냉매와 섞여 순환되는 자연 수냉 방식이 있으며 펌프 등을 이용해 인위적 또는 강제적으로 냉매를 순환시키는 강제 수냉 방식이 있다. 기본적으로 냉각 성능은 수냉식이 공랭식보다 우수한 것으로 알려져 있으나 수냉식의 경우 냉매 저장을 위한 저장소의 부피와 무게가 공랭식보다 많이 차지하는 단점을 가진다.

(2) 관련 기술 개발 현황

일본 고이즈미 산업[5]에서 보석 판매점의 카운터에서 사용하는 형태의 쇼케이스형 LED 조명을 장착한 수냉식 LED 모듈을 개발하였다. 유리 케이스 상부에 일렬로 LED를 배치하고, 그 뒷면을 물 등의 냉매가 순환할 수 있도록 하였다. LED 모듈을 수냉으로 냉각시킴으로써, 손님이 손을 대는 경우가 많은 유리 케이스가 가열되는 것을 막을 수 있다. LED의 경우에는 형광등과는 달리 UV(Ultra Violet)의 방사가 적고, 백열 전구보다 열선의 방사가 적다. 이 때문에 LED는 진주 등의 소재를 사용하는 보석 또는 화장품 쇼케이스의 조명용 광원으로 적절한 것으로 알려져 있다.

국내 드림바이오컴[6]은 그림 4와 같은 자연 수냉 방식으로 발열을 최대 60도씨까지 낮출 수 있는 수냉식 가로등, 보행등 및 실내등을 개발하였다. 특히 시중에서 유통되고 있는 400W 급 나트륨등을 대체할 수 있는 150W 급 수냉식 LED 가로등을 개발하였다.

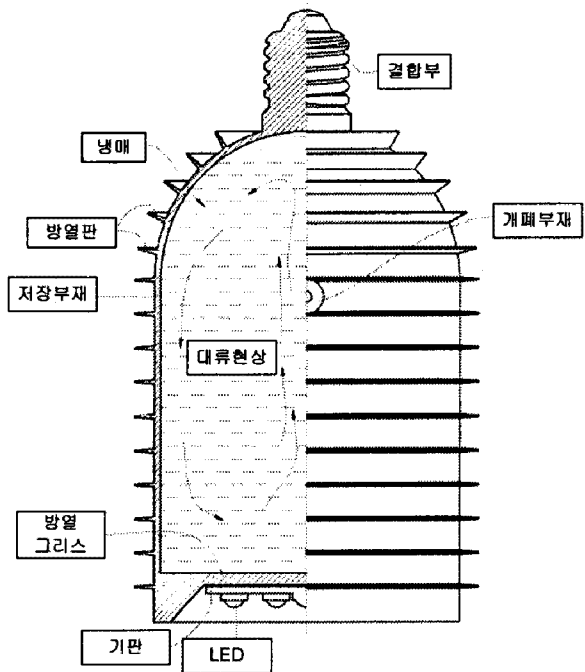


그림 4. 수냉식 LED 방열 구조 예(6)

2.4 열전소자 방열 기술

(1) 기술적 특징

열전소자(thermoelectric element)는 펠티어(Peltier) 소자 또는 전자냉각 소자라고 부르며, 이 소자를 적용한 모듈을 이용하여 냉각 시스템을 구성하면 적극적인 국소 냉각이 가능하기 때문에 이

와 같은 인위적인 냉각 방식을 이용하여 발열문제가 심각한 고출력 LED의 점접 발열을 줄이려는 시도가 이루어지고 있다[7],[8]. 그러나 이 방식은 추가적인 전원인가가 필요하므로 전력소모가 발생하게 되며 부피가 커지게 되는 단점이 있다.

열전 소자는 그림 XX 과 n형과 p형으로 구성된 1쌍의 금속과 반도체를 이용하여 폐로를 구성하고 금속 전극으로 접합할 경우, 직류전압을 인가하면 n형에서 p형으로 전류가 흐르게 되는데, 이 때에 n형 반도체에서는 전류 방향과는 반대 방향으로, p형에서는 전류 방향으로 열의 이동이 생기기 때문에 냉각효과를 기대할 수 있다.

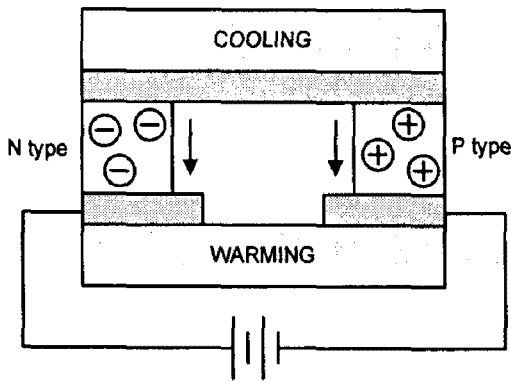


그림 5. 열전 소자 모델

열전 소자의 고온부와 저온부의 흡열량은 다음 식과 같이 온도 및 전류와 관계되어 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$Q_c = aT_c I - 0.5I^2 R - C\Delta T$$

여기서,

- Q_c : 열전소자의 흡열량 [W]
- a : Seebeck(제백) 계수 [V/°C]
- T_c : 저온부의 온도[°C]
- C : 열전소자의 컨덕턴스 [W/°C]
- ΔT : 접점의 온도차[°C]

위 식에서 우변의 첫 번째항은 펠티어 효과에 의한 흡열량, 두 번째항은 줄 열, 마지막 항은 고온부에서 저온부로의 열 전달량을 나타낸다.

(2) 관련 기술 개발 현황

(주)도시환경이엔지[7]는 그림 6과 같이 수냉식과 열전소자를 결합한 방열 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 열교환 매체가 담긴 워터자켓과 워터자켓 내부의 열교환 매체(냉매)를 냉각시키기 위한

열전소자로 구성되어 있어 열전 소자 구동을 위한 전력소모량을 줄일 수 있도록 설계하였다.

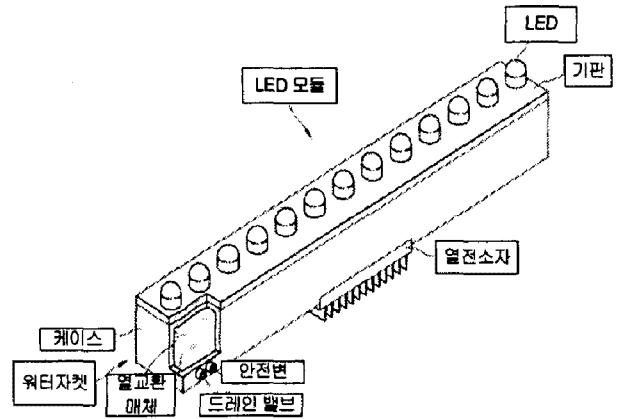


그림 6. 열전 소자 적용 LED 방열 구조 예(7)

3. 결 론

앞서 살펴본 바와 같이 현재 고출력 LED 방열은 다양한 방법이 있으며, 새로운 연구가 끊임없이 시도되고 있다. 그러나 고출력 LED 투광등에 적용될 방열 기술은 투광등이 설치되는 환경(옥내, 옥외, 온도, 습도, 진동 조건)에 따라 적용 기술 및 최적 방열 설계가 이루어져야 한다. 아울러 어느 지엽적인 한 부분만을 개선하고 연구될 것이 아니라 LED 패키지, 기판, 방열판, 주변의 방열재, 등기구 등을 복합적으로 연구하여야 할 것으로 판단되며, 무게와 부피를 줄이고, 비용이 적게 들며, 전력 소모가 적은 방향으로의 고효율 방열 기술 개발이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 신우환, 김재필, LED 패키징 기술입문, 북스힐, 2008.
- [2] KISTI, 글로벌 동향 브리핑(GTB), 고밀도 기술과 방열 문제를 해소한 고정적 LED 모듈 개발, 2009. 03. 22.
- [3] KISTI, 글로벌 동향 브리핑(GTB), 최고수준의 고열 전도성을 가지는 나일론 수지의 개발, 2009. 02. 18.
- [4] 공개실용신안 20-2008-0003545, 교류 전원용 발광 다이오드 모듈을 구비한 공랭식 조명장치, 광성전기산업(주)
- [5] KISTI, 글로벌 동향 브리핑(GTB), 조명기기용 LED 모듈의 방열 대책 기술, 2005. 03. 08.
- [6] 공개 특허 10-2009-0024876, 수냉식 엘이디 램프, 드림 바이오컴.
- [7] 등록 특허 10-0818745, 냉각장치를 가진 발광다이오드 모듈, (주)도시환경이엔지.
- [8] 어익수, 양해술, 최세일, 황보승, "펠티어 소자를 이용한 40(W)급 LED 조명기구의 방열에 관한 연구", 한국산화기술학회 논문지, 제8권, 제 4호, 2007.