

**고출력 LED 전구의 구동회로에 관한 연구**

송상빈\*, 김영우\*, 여인선\*\*  
\* 한국광기술원, \*\* 전남대학교

**A Study on the operating circuits for high power LED bulb**

Sang-Bin Song\*, Young-Woo Kim\*, In-Seon Yeo\*\*\*  
Korea Photonics Technology Institute, \*\* Chonnam National University

**Abstract** - 고출력 LED의 전기적·광학적·열적인 특성을 분석한 결과를 토대로 MCPCB를 사용하지 않고 전구 형태의 좁은 면적에 고출력 1W LED를 배열하고, 적외선 카메라와 ICEPAK(열유동해석 프로그램)을 이용하여 14개의 LED 배열에 대한 LED 전구의 최적 방열 및 기구 설계를 실시하였다. LED 전구에 대한 정전압과 정전류 제어방식의 고효율 구동회로를 제작하여, 약 70% 이상의 회로 효율과 약 95% 이상의 고역률, 약 20lm/W 이상의 고효율 LED 전구를 실현하였다. 정전압 구동회로는 동작시간에 무관하게 일정한 광출력을 나타내며, 정전류 구동회로는 초기 시동시 높은 광출력을 나타내고 동작시간의 경과에 따라 광출력 감소율이 높게 나타남을 알 수 있다.

**1. 서 론**

이 논문에서는 백열전구 및 콤팩트 형광램프를 대체할 수 있는 고효율 LED 전구를 설계하였으며, 이를 위하여 고출력 LED의 전기적·광학적·열적인 특성을 분석한 결과를 토대로 MCPCB를 사용하지 않고 전구 형태의 좁은 면적에 고출력 1W LED 14개를 직·병렬 배열하였다. 또한 적외선 카메라와 ICEPAK(열유동해석 프로그램)을 이용하여 1W LED 패키지의 열적인 모델링을 시행하였고, 이를 바탕으로 냉각팬을 사용하지 않고 15W LED 배열에 따른 LED 소자의 온도 상승을 억제할 수 있는 최적의 방열 및 기구 설계를 실시하였다.

이렇게 최적 방열 설계된 LED 배열 및 LED 전구의 구조에 대해 정전압 및 정전류 제어방식의 구동회로를 70% 이상의 고효율과 90% 이상의 고역률을 실현할 수 있도록 설계하여 LED 전구를 제작하였다. 제작된 LED 전구에 대해 동작시간 및 주위온도에 따른 전기적·광학적 특성을 실험 분석하였으며, 각각의 분석된 결과를 가지고 LED 전구의 사용 환경 및 조건과 응용분야에 따른 최적의 회로 방식을 제안하였다.

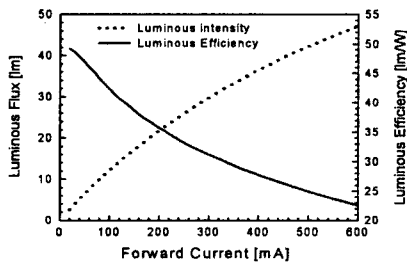
**2. 본 론**

**2.1 고출력 백색 LED의 특성**

LED 전구에 사용되는 LED는 전구의 좁은 면적에 최대의 배광특성과 광출력을 나타낼 수 있는 1W 소비전력에 높은 광속 30lm과 넓은 발산각 100°, 낮은 열저항의 고출력 백색 LED를 선택하였다.

**2.1.1 고출력 LED의 광학적 특성**

그림 1은 선정된 고출력 1W 백색 LED의 순방향전압에 따른 광출력과 발광효율의 특성을 나타낸 것으로, 20mA 전류에서 동작하기 시작하여 정격전류 350mA에 32lm의 광속을 나타내고 최대 인가전류 500mA에서는 42lm의 광속을 나타낸다. 또한 발광효율은 LED의 순방향전류의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다.



〈그림 1〉 순방향 전류에 따른 광속 및 발광효율

**2.1.2 고출력 LED의 열 특성**

고출력 1W LED의 경우, 기존 고출도 LED의 Small 칩보다 칩 면적이 크고 동작전류가 높기 때문에 칩에서 발생되는 열이 매우 높게 나타난다. 이러한 LED 칩의 높은 열 발생은 광출력 및 효율의 감소로 나타나게 되며 제품의 신뢰성에 영향을 미치게 된다.

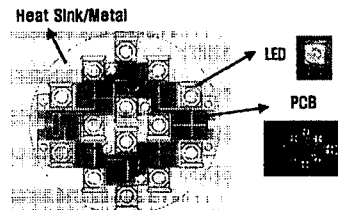
따라서 LED 접합온도의 상승을 억제하기 위해서 최적의 방열 및 기구 설계가 필요하며, 이를 위해 선정된 LED의 열저항을 정확히 측정해야 된다. 따라서 선정된 LED에 공급전력을 0.53W, 0.93W, 1.2W를 공급하여 LED를 점등하고, 적외선 카메라를 이용하여 선정된 LED의 온도 분포를 측정하였다. 그리고 LED소자와 히트슬러그의 온도편차에 대한 Heat Flow를 감안하여 각각의 소비전력에 따른 열저항을 구하고 이를 평균하면, LED 패키지의 열저항 값이 25.1 ℃/W 임을 알 수 있었다.

**2.2 LED 전구의 구성 및 방열 설계**

**2.2.1 고출력 1W LED 배열 설계**

이 논문에서는 그림 2와 같이 LED의 히트 슬러그가 저가격의 범용 인쇄회로기판과 접촉되지 않고 히트싱크와 직접 연결되어 있으며, LED의 애노드와 캐소드는 각각 전기적으로 직접 배열할 수 있도록 저가격 범용 인쇄회로기판에 접합되어 있기 때문에 가격 절감 효과가 있다.

현재 주로 백열전구를 대체하고 있는 콤팩트 형광램프의 소비전력이 약 20W급이므로, 이 논문에서 설계하는 LED 전구도 소비전력을 20W급으로 설계해야 한다. 따라서 구동회로의 소비전력이 약 4W가 소모되는 점을 감안하여 15W급 LED 배열을 실현시키기 위해서 고출력 LED를 14개 배열하였다.



〈그림 2〉 14개의 LED 배열 형태

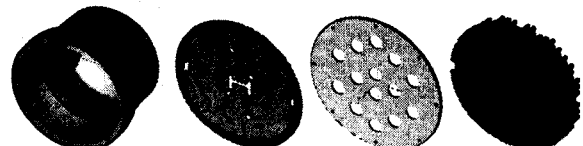
**2.2.2 LED 전구의 구성 및 방열 설계**

LED 전구의 기본 기구물에 대한 구성을 나타낸 것으로, LED 배열, LED 배열 덮개, 히트싱크, 케이스, 그릴(Grill), 구동회로로 구성된다. 전체 LED 전구의 크기는 지름 80mm × 높이 95mm이고, 전체 높이가 95mm는 베이스 30mm, 구동회로 50mm, 히트싱크 10mm, LED 배열 및 덮개 5mm로 매우 콤팩트하게 구성하였다. 이는 기존 일반 백열전구의 높이와 유사하게 설계한 것으로 백열전구 및 콤팩트 형광램프(CFL, Compact Fluorescent lamp)를 대체하기 위함이다.

다수개의 1W 고출력 LED 패키지의 배열에 대한 최적의 방열설계를 위하여, 적외선 카메라로 측정된 LED 패키지의 열저항과 칩 온도에 대해 동일한 특성을 나타내는 LED 패키지 모델을 설계하였다. 이러한 LED 패키지 모델의 구조는 실제 LED 구조인 반사칩, 패키지 몸체, LED 실장을 위한 리드 프레임, 백색 구현을 위한 형광체 및 봉지재, LED 실장을 위한 열 전도성 접착제로 구성된다.

LED 전구의 방열 설계는 14개의 LED 배열과, 이러한 LED 배열에 의해 발생된 열이 편이 구비된 방열판 외에도 전구 케이스 및 덮개를 통하여 방출되기 때문에 이에 대한 적절한 방열 설계가 요구된다. 따라서 이러한 히트싱크와 전구 케이스, 덮개 등의 열 방출 요소에 대한 적절한 Hexagonal Mesh 처리를 시행하고 등가체적으로 통합하여 전산모사를 실시하였다. 그 결과, 등가 체적이 4,299 cm<sup>3</sup> 일 때 LED 소자 온도가 약 76.2℃이고, 히트싱크와 케이스는 약 68.0℃가 나타나는 양호한 특성을 나타내었다.

전산모사로부터 얻어진 등가 체적 4,299cm<sup>3</sup>을 반영하여 그림 3과 같이 전구의 케이스, 방열판과 덮개를 설계하였다.

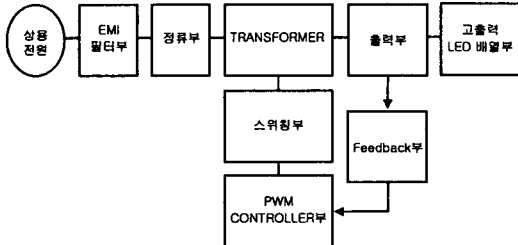


〈그림 3〉 LED 전구의 방열 설계 구조

## 2.3 구동회로의 설계

### 2.3.1 정전압 구동회로

그림 4는 정전압 제어방식의 구동회로에 대한 블록다이어그램을 나타낸 것으로, EMI 필터부를 거쳐 들어온 상용전원(85~265AC)을 브리지정류회로를 이용하여 전파 정류한다. 이러한 전파 정류된 전압에 대해 스위칭 소자 N-MOSFET를 사용하여 PWM(Pulse Width Modulation) 제어하여 LED 배열에 DC 정전압을 공급하는 방식이다. 실제 정전압 구동회로는 L6561 IC를 사용하여 Single stage flyback converter 방식으로 구성하였으며, 출력전압을 정전압으로 구현하기 위한 Feedback 회로는 안정적인 출력전압을 검출할 수 있는 Shunt Regulator KA431을 이용하였다.

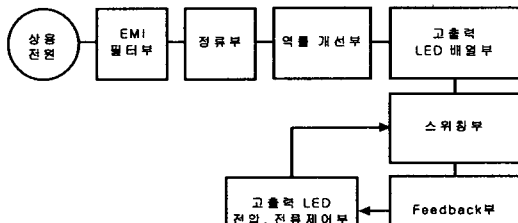


〈그림 4〉 고출력 LED 제어용 정전압 구동회로의 블록다이어그램

### 2.3.2 정전류 구동회로

그림 5는 정전류 제어방식의 구동회로에 관한 것으로, LED 구동을 위한 전용 드라이버 IC HV9910을 이용하여 스위칭부에서 출력전류에 대한 Feedback 신호를 검출하고 검출된 신호를 드라이버 IC가 받아서 스위칭부의 스위칭 Duty 비율을 조절하여 일정한 출력전류를 유지하는 방식으로 구동된다. 이러한 전용 Driver IC를 이용한 구동방식은 고출력 LED의 동작전류를 일정하게 유지하는 방식을 일반적으로 사용하고 있으며 회로가 간단하고 부품수를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있으나, 입력전원에 대한 역률 개선과 Driver IC 및 고출력 LED를 구동하기 위한 별도의 전원을 설계하여 주어야 하는 문제점을 가지고 있다.

PFC IC ML4803와 결합하여 역률개선을 하였으나, PFC IC가 Feedback 신호를 받아서 동작을 개시하는데 LED 드라이버 IC의 PWM 동작 주파수에 의해 Delay Time이 생겨 역률저하가 발생하는 단점이 있다. 본 논문에서 제작한 정전류 제어회로는 역률이 약 95%로 나타났으며, 정전압 구동회로(약 98%이상)보다 낮은 역률을 나타내었다.



〈그림 5〉 고출력 LED 제어용 정전류 구동회로의 블록다이어그램

## 2.4 실험결과 및 고찰

표 1은 정전압 및 정전류 구동회로에 대한 LED 전구의 특성을 나타낸 것으로, 제작된 LED 전구는 약 75% 이상의 회로 효율과 약 95% 이상의 고역률, 약 20lm/W 이상의 고효율 LED 전구를 실현하였다. 정전압 구동회로가 정전류 구동회로보다 회로 및 발광효율이 높고 역률이 높게 나타남을 알 수 있으며, 이것은 정전류 구동회로가 PFC IC와 LED 드라이버 IC를 사용하여 PFC와 LED 제어가 분리된 Two Stage 방식을 사용하기 때문이다.

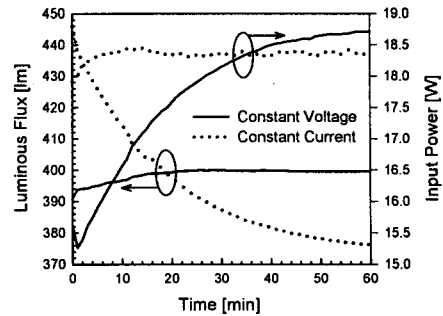
〈표 1〉 구동방식에 따른 LED 전구의 특성

구분	입력전력 [W]	역률[%]	출력전력 [W]	회로효율 [%]	광속 [lm]	발광효율 [lm/W]
정전압	18.7	98.6	14.4	76.7	396	21.2
정전류	18.4	95.2	13.7	74.5	376	20.1

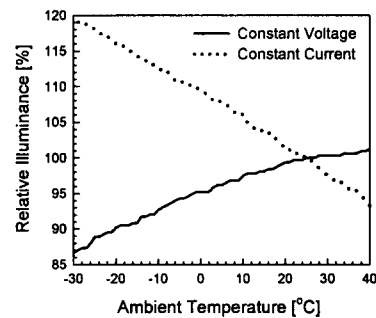
그림 6은 구동회로에 따른 시동특성을 나타낸 것으로, 초기 시동 시에는 정전류 구동회로가 정전류 구동방식보다 낮은 소비전력과 높은 광출력을 나타내는 것을 알 수 있다. 그러나 동작시간이 약 20분 이상 경과한 후에는 정전류 구동회로보다 정전압 구동회로가 광출력이 높고 소비전력이 낮아져서 발광효율이 높아짐을 알 수 있다. 이것은 LED의 동작시간 및 LED 소자 온도의 증가에 따라 증가부가 작아지기 때문이다.

그림 7은 구동회로에 따른 온도특성을 나타낸 것으로, 정전류 구

동회로는 주위온도가 낮을수록 광출력이 높아지고 정전압 구동회로는 주위온도가 높을수록 광출력이 높아지는 특성이 있다. 따라서 동작시간이 짧고 주위온도가 낮은 응용분야는 정전류 구동회로가 적합하고, 지속적인 점등동작과 주위온도가 높은 응용분야는 정전압 구동회로가 적합함을 알 수 있다.



〈그림 6〉 구동방식에 따른 LED 전구의 광출력 특성



〈그림 7〉 구동방식에 따른 LED 전구의 주위온도 특성

## 3. 결 론

이 연구에서는 고출력 LED의 전기적·광학적·열적인 특성을 분석한 결과와 적외선 카메라와 ICEPAK(열유동해석 프로그램)을 이용하여 14개의 LED 배열과 LED 전구의 최적 배열 및 기구 설계를 실시하였다. 또한 이러한 LED 전구를 최적 제어하기 위한 정전압과 정전류 제어방식의 구동회로를 제안하였고, 각각의 구동회로를 제작하여 LED 전구의 전기적·광학적 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고출력 1W LED를 사용한 LED 전구를 개발하는데 있어서, 기존 고출력 LED MCPB를 사용하지 않고 일반 PCB를 사용하는 LED 모듈 구조를 개발하여 저가격화를 실현하였다.
2. 고출력 LED 전구의 컴팩트화, 고효율화를 실현하기 위하여, 정전압과 정전류 구동방식을 제시하고, 회로효율 약 75% 이상의 고효율화와 약 95% 이상의 고역률을 실현하여 고효율 LED 전구를 개발하였다.
3. 정전압 구동방식은 동작시간에 무관하게 일정한 광출력을 나타내고 주위온도가 증가함에 따라 광출력이 증가하며, 정전류 구동방식은 초기 시동시 높은 광출력을 나타내지만 동작시간의 경과에 따라 광출력 감소율이 높게 나타나고 주위온도의 감소에 따라 광출력이 증가하는 특성을 나타낸다.
4. 따라서 짧은 동작시간(약 30분)과 저온 동작하는 경광등, 복도등, 섬광등 등에는 정전류 구동회로가 적합하고, 오랜시간 점등되고 고온 동작하는 실내등, 독서등 등에는 정전압 구동회로가 적합함을 알 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] N.Narendran, N.Maliyagoda, L.Deng, R.Pysar, "Characterizing LEDs for General Illumination Application: Mixed-color and phosphor-based white sources," Proceedings of SPIE, Vol.4445, 2001.
- [2] 송상빈, 임성무, 권용석, 여인선, "고출력 RGB 발광다이오드의 구동전압에 따른 발광효율 비교", 대한전기학회 학제학술대회 논문집, pp1710-1712, 2003.
- [3] N. Narendran, L. Deng, R. M.Pysar, Y. Gu, and H. Yu "Performance Characteristics of High-Power Light-Emitting Diode," Third international conference on solide state lighting, proceeding of SPIE, 2003.