

수공냉 대류방식을 이용한 1.2kW급 LED 조명등 개발

윤병우* · 송종관* · 박장식** · 권홍배***

Development of 1.2kW LED Light with Water-Air Circulation

Byung-Woo Yoon* · Jong-Kwan Song* · Jang-Sik Park* · Hong-Bae Kwon**

요 약

반도체 제조기술의 발달로 고효율 및 고휘도의 LED가 개발됨에 따라 재래식 조명들로부터 LED를 이용한 조명으로 조명산업이 이동하는 추세이다. LED 조명등은 에너지 효율이 재래식 조명보다 뛰어나지만 많은 열이 발생한다는 단점이 있다. 특히 대형 LED 조명등에서는 이러한 발열문제가 심각한 실정으로, LED에 의한 메탈기판의 열은 납땀 부분을 열화시켜 조명등의 수명을 단축시키는 주된 원인이 된다. 따라서 대형 조명등을 개발하기 위해서는 이러한 열 문제를 해결하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 대형 LED 조명등에서 열문제를 해결하기 위한 방법을 제시하였고, 제시한 방식으로 1200W급 LED 조명등을 개발하였다. 본 연구에서 이용한 방법은 LED 조명등에 워터재킷을 설치하여 냉각수를 채웠으며, 소형의 수중펌프를 이용하여 냉각수를 순환시키는 방법을 이용하였다.

ABSTRACT

As the development of high efficiency and high flux density LEDs, the trend of illumination lamp industry transfers from conventional-lamps to the LED-lamps. For energy efficiencies, LED lamps are superior to the conventional lamps, but they have heat problems. Especially, the heat problems are severe for the high luminance lamps. They degrade the soldering point of the metal PCB, and shorten the life cycle of LEDs. So, the solution of the heat sinking is very important to develop high luminance LED lamps. This study suggested a new method to solve the heat problems for high luminance LED lamps, and developed a LED lamp which has 1200W power. In this study, a water jacket is installed to the LED lamp, and the cooling water is circulated by a water pump.

키워드

LED Light, Heat Sinking, Water Cooling, High Brightness LED
LED 조명등, 방열, 수냉식 방열, 고휘도 LED

1. 서 론

LED 기술의 발달로 최근 각종 조명등기구들은 전통적인 방식에서 LED 등기구로 바뀌어가고 있다. 특히

LED는 수명이 반영구적이고 효율이 높기 때문에 세계 각국에서 에너지 절약 차원으로 다양한 조명등들을 LED등으로 전환하려는 정책을 펴고 있다[1]. 미국, 유럽, 호주 등에서는 2013년 이후 백열전구의 생산과 판

*경성대학교 전자공학과(bwyoona@ks.ac.kr)

** 교신저자(corresponding author) : 경성대학교 전자공학과(jsipark@ks.ac.kr)

*** (주)제이비테크

접수일자 : 2015. 04. 13

심사(수정)일자 : 2015. 05. 13

게재확정일자 : 2015. 05. 23

매가 금지되었고, 일부 국가에서는 단계적인 원전폐쇄를 계획하고 있기 때문에 전력공급 부족을 해소하기 위해서 LED 조명산업에 비중을 높이고 있다. 일반적으로 백열전구는 광효율이 10~15 lm/W인데 반하여, 최근 니치아, 커리, 필립스, 오스람 등에서는 180lm/W의 LED 개발을 성공하였고, 2020년경에는 250 lm/W 이상의 고효율 LED를 생산할 것을 목표로 연구를 계속하고 있다. 따라서 LED 조명등 기술은 매우 중요한 산업 중에 하나가 되었다. LED 기술은 디지털로 제어가 쉽기 때문에 각종 제어기술의 발달로 감성조명에 많이 응용되고 있다. 또한 최근에는 LED가 조명뿐만 아니라 무선통신, 의료, 농수산 분야 등 다양한 분야에도 활용되고 있다[2].

LED 조명등은 여러 가지 장점이 있는 반면 몇 가지 단점도 내포하고 있다. LED 조명을 위해서는 직류공급전원이 필요하다. 특히 메탈할라이드등과 같은 높은 휘도의 조명등을 LED 조명등으로 대체하기 위해서는 고전력 전원공급기가 필요하다. 대형 LED 조명등이 경우 변압기를 이용할 경우 부피와 무게에 대한 불편함이 있는데, 이는 고전력 SMPS를 개발함으로써 어느 정도 해결이 가능하다[3]. 하지만 한 개의 메탈기판에 LED를 다수개 탑재하여 조명등을 만들 경우 이들에서 발생하는 열문제가 걸림돌이 된다.

LED 조명등이 고출력이 될수록 LED 소자에서 발생하는 열에 대한 문제는 더욱더 심각해진다. 대출력 LED 조명등을 개발하려면 많은 고효율의 LED 수를 증가시키면 가능하다. 그러나 이 때 가장 큰 문제가 LED 수가 증가함에 따른 방열 문제이고, 이 문제의 해결이 LED 대형화의 관건이라 할 수 있다[4-7]. 즉, 이러한 열문제를 해결하는 것이 대형 LED 조명등 시장을 선점하는데 가장 중요한 요소이다.

본 연구에서는 대형 LED에서 문제가 되는 열문제를 해결하는 방식으로 수공냉 대류방식을 제안하였고, 이 방식을 이용하여 기존의 메탈할라이드등을 대체할 수 있는 1.2kW급 LED 조명등을 개발하였다.

II. LED 조명등의 열포화 현상 해결을 위한 새로운 구조의 제안

LED 조명등은 수명이 반영구적이며 백열등에 비해 10배 이상 광 효율이 뛰어나다. 따라서 에너지자원

의 절약과 효율 증대를 위해서 세계 각국에서는 기존의 조명등을 LED등으로 전환하려는 정책을 가속화하고 있다. 호주와 뉴질랜드에서는 2010년부터 에너지 효율이 낮은 백열등 사용이 전면 금지되었고, 미국과 캐나다에서는 2012년부터 100W 이상, 2014년부터는 40W급 이상의 백열등 사용을 금지시키고 있다. 우리나라는 2012년부터 공공기관의 LED조명 비율을 30%까지 바꾸는 정책을 시행하였고, 2020년까지 전국가적으로 조명을 LED조명으로 60%이상 교체하는 정책을 추진하고 있다. 이를 위해서는 골프장이나 각종 경기장, 공장이나 항만부두 등에 사용하는 대형 조명등도 LED등으로 교체하여야 한다.

하지만 대형 LED조명등에서는 방열 문제가 선결되지 않으면 이 문제의 해결이 어려운 실정이다. LED 조명등은 효율이 우수한 반면 많은 열이 발생한다는 단점이 있다. 이 열은 LED의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 LED와 기판을 연결하는 땀납을 녹이게 되어 LED가 기판에서 떨어지기도 하며, 광효율도 떨어지는 문제점이 있다.

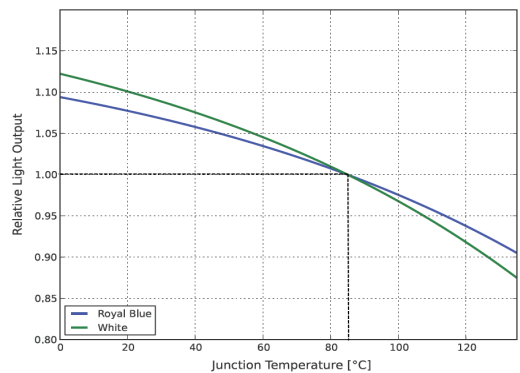


그림 1. LED 접점의 온도변화에 따른 광출력의 변화

Fig. 1 Relative light output as the change of junction temperature

따라서 대형 조명등에서는 특히 열문제의 해결이 심각한 것으로 알려져 있다. LED 조명에서 방열이 제대로 이루어지지 않으면 광속 감소, 색온도 변화, 수명 단축, 기구 변형, 불쾌감 등을 일으키기도 한다.

그림 1은 LED 접점의 온도변화에 따른 상대 광출력을 나타낸 그래프이다. 그림을 살펴보면

White-LED의 경우 85℃를 기준으로 했을 때 0℃에서는 거의 1.1배의 광량을 출력하는 반면 130℃에서는 0.9정도로 광량이 많이 줄어든다는 것을 알 수 있다.

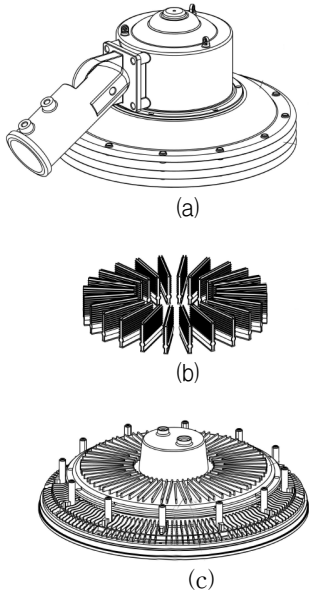


그림 2. 제안하는 수공냉식 LED 조명등의 방열구조

(a) LED 조명등의 후드, (b) 방열판, (c) 워터재킷

Fig. 2 The structure of proposed water-air cooling LED lamp (a) the hood of LED light, (b) heat sink, (c) water jacket

본 연구에서는 대형 옥외용 LED조명등에서 방열 문제를 해결하기 위한 구조로 수공냉식 LED등의 제조 기술을 제안한다. 그림 2는 본 연구에서 제안하는 수공냉식 방열구조이다. 그림 2에서 (a)는 LED조명등의 후드로 전체 조명등을 고정하는 장치이고, (b)는 방열판이며, (c)는 가장 아래쪽에 LED 조명등의 메탈 PCB가 장착되는 것으로, 내부에 냉각수를 채울 수 있는 워터재킷 형태로 구성된다.

그림 3은 워터재킷 내부의 정면도이다. 이 그림에서와 같이 내부에 냉각수를 채우고 순환 펌프를 이용하여 냉각수를 회전시킨다. 이 때 펌프의 토출구에 곡선의 관을 연결함으로써 냉각수가 회전이 되도록 하였다. 이 냉각수가 LED 메탈기판의 열을 빼앗아 그림 1의 (b)에 해당하는 방열판을 통하여 빨리 열을 배출 시킬 수 있는 구조로 설계하였다.

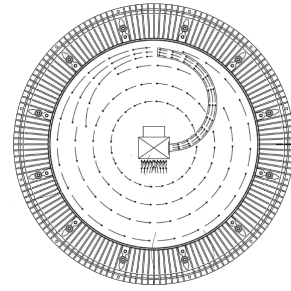


그림 3. 워터재킷 내부의 정면도

Fig. 3 The front view of the water jacket

또한 그림 2 (a)의 가장자리는 공기가 통할 수 있는 구조로 되어있고, 이 후드 안에는 팬이 설치되어 있으며, 이것이 방열판의 공기 순환을 도와줌으로써 방열이 신속하게 이루어지도록 하였다. 또한 방열판이 여러 개 구성되어 있어 통공으로 유입된 공기에 접하는 면적이 넓기 때문에 효율적인 방열이 가능하다. 따라서 효율적으로 LED를 냉각시킬 수 있으므로 LED의 수명을 연장시킬 수 있고, LED를 기판에 밀착시키는 땀납이 녹아서 LED가 이탈되는 현상을 예방할 수 있다.

III. 옥외용 1.2kW LED 조명등의 설계 및 제작

3.1 전원공급기 및 LED의 연결 구조

본 연구에서는 1.2kW급 옥외용 LED 조명등을 개발하였다. 이 조명등의 전원으로 사용할 1.2kW 이상의 전력을 공급할 수 있는 직류전원공급기를 개발하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 300mW급 정전류형 전원공급기를 개발하여 4개를 병렬로 연결하는 방식으로 문제를 해결하였다.

그림 4는 개발한 정전류형 전원공급기의 블록도이다. 이 전원공급기는 220V 상용전원을 잡음제거필터를 통과시킨 후 브리지다이오드로 전파정류를 한다. 전파 정류된 전원은 역률제어기(PFC)에 입력되어 무효전력을 최대한 감소시킨다. 역률 제어기의 출력은 DC 400V로 DC-DC 변환을 위하여 고전압 공진제어기로 입력되어진다. 공진제어기에서는 PWM(Pulse With Modulation)을 이용하여 DC-DC

변환을 하고, 이 신호는 정전류제어기를 통하여 10A의 정전류로 DC27~40V의 직류전압을 출력한다.

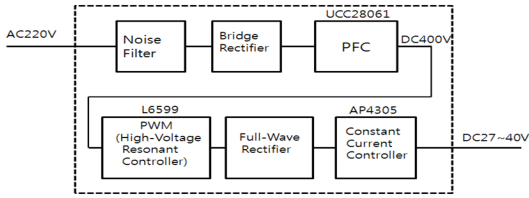


그림 4. 개발한 정전류형 전원공급기의 블록도
Fig. 4 Block diagram of the developed constant current power supplier

본 연구에서 개발한 옥외용 LED 조명등에 사용된 LED는 필립스의 Luxeon M타입의 LXR7-SW57로서, 이것은 세라믹 기판위에 4개의 LED 칩이 전기적으로 직렬로 연결되어 있는 백색 CCT 5700K로 구동전압이 11.2V이다[9]. 여기서 기판은 기구적인 지지와 LED 칩으로부터 열을 기관 바닥의 열패드(thermal pad)로 열을 전달하는 역할을 한다. 이 세라믹 기판은 큰 세라믹 프레임에 의해 둘러싸여 있고, 빛의 방출을 개선시키기 위해 실리콘 돔으로 몰딩되어 있다.

그림 5는 개발한 LED등의 LED 연결 구조이다. 이 그림에서와 같이 LED의 전기적인 연결은 각각 LED 3개씩을 직렬 연결한 것을 한 단위로 하여, 이것을 48개 병렬 연결함으로써 전체적으로 144개의 LED를 사용하였다. 본 조명등의 전원공급기는 정전류형으로 정전류제어기에 연결된 센서 저항을 이용하여 항상 일정한 전류를 흘릴 수 있도록 하였다. 즉 LED의 열 증가로 인하여 저항이 감소하면 공급전압이 일정할 경우 LED에 흐르는 전류가 증가되려고 할 때 정전류 센서에 의하여 자동으로 전압이 제어된다. 따라서 항상 일정한 전류를 공급하게 되고 광출력을 항상 일정하게 유지시킬 수가 있다.

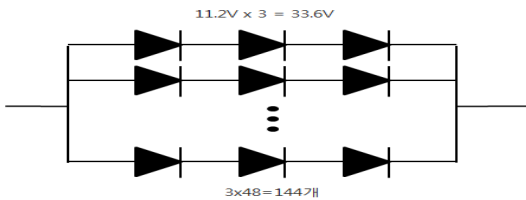


그림 5. 개발한 LED등의 LED 연결 구조
Fig. 5 LED connection of the developed LED lamp

3.2 옥외용 1.2kW급 LED 조명등 개발



그림 6. 개발한 LED 조명등의 전면부
Fig. 6 Front view of the developed LED lamp

그림 6은 개발한 LED 조명등의 정면도이다. 그림 6과 같이 메탈기판에 144개의 LED를 장착했으며, 각각의 LED에는 광집속 렌즈를 장착하여 빛이 집적될 수 있도록 하였다.



(a) Water Jacket



(b) Hood and Fan



(c) Side view of developed LED lamp

그림 7. 개발한 LED 조명등
Fig. 7 Developed LED lamp

그림 7은 개발한 LED 조명등의 사진이다. 여기서 그림 (a)는 워터재킷과 냉각판을 보여주어 있다. 이 워터재킷의 전면부에는 그림 6과 같은 메탈기판이 장착되고, 워터재킷 내부에는 냉각수가 들어있으며, 그 냉각수는 순환펌프를 이용하여 냉각수를 순환시킨다. 그림 7 (b)는 후드부로 이 후드에 그림 7 (a)의 워터재킷을 고정시킨다. 그리고 이 후드 안에는 팬이 위치하고 있고, 이 팬이 뜨거워진 워터재킷을 냉각시킨다.

IV. 개발한 시스템의 방열 특성 분석

본 연구에서는 LED조명등에서 방열문제를 해결하기 위한 수공냉 대류방식을 이용한 LED조명등 시스템을 제안하였다. 또한 1.2kW LED 조명등을 개발하여 실제로 테스트를 하였다.

LED는 칩의 온도가 지나치게 올라가면 효율이 떨어지고 성능이 열화되며, 납땜 부위가 떨어지기도 한다. 따라서 LED 조명등의 개발에서는 방열이 큰 애로점으로 알려져있다.

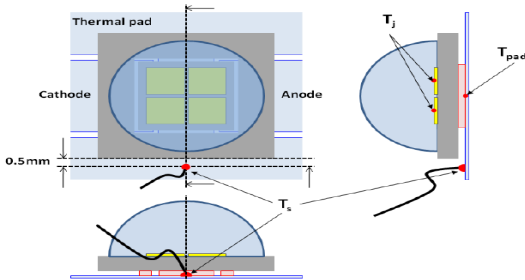


그림 8. LED 접점 온도 측정법
Fig. 8 The method of LED junction temperature measurement

본 연구에서는 Luxeon M LED를 사용하였다. 제품에 장착한 LED 접점의 온도를 정확하게 재는 것은 어렵기 때문에 주변의 온도를 잰 후 계산식을 이용하여 접점의 온도를 알아낸다. 그림 8은 LED 접점온도를 측정하는 방법에 대한 것이며, 다음과 같은 식을 통하여 접점의 온도를 계산한다[10].

$$T_j = T_{thermalpad} + R\theta_{j-thermalpad} \cdot P_{electrical} \quad (1)$$

여기서 각각 T_j 는 LED 접점의 온도, $T_{thermalpad}$ 는 열패드의 온도, $R\theta_{(j-thermalpad)}$ 는 접점과 열패드 사이의 열저항이며, $P_{electrical}$ 는 LED에 공급되는 전력 소모량이다. 하지만 실제 시스템에서 $T_{thermalpad}$ 를 직접 측정하는 것은 어렵기 때문에 LED 접점온도는 PCB의 LED 칩 가장자리로부터 0.5mm 떨어진 부위의 온도 T_s 를 측정함으로써 식 (2)를 이용하여 계산한다[10]. 이 때 T_s 를 측정하는 위치는 그림 8에서와 같이 LED의 애노드와 캐소드 중심의 연장선상이다.

$$T_j = T_s + 3I_f V_f \quad (2)$$

여기서 I_f 는 LED에 흐르는 순방향 전류, V_f 는 개별적인 LED에 걸리는 전압이다.

본 연구에서는 개발한 LED 조명등에서 냉각수를 이용한 수공냉식과 냉각수가 없을 때 사이의 온도를 측정하고 비교하였다. 그림 9는 온도를 측정하는 방법에 대한 사진이다.

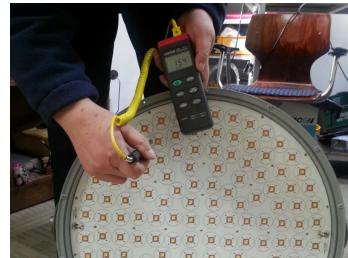


그림 9. LED 조명등의 온도측정 방법
Fig. 9 The method of temperature measurement

표 1은 본 연구에서 개발한 수공냉식 조명등과 기존의 냉각수가 없는 조명등 사이의 LED 접점온도를

경과 시간에 따라 비교한 것이다. 조명등을 켜고 5분 후 수공냉식 조명은 40°C인 반면 공랭식에서는 85°C까지 급속하게 상승한다. 20분이 지나면 각각 60°C와 90°C, 1시간 후에는 60.5°C와 93°C, 4시간 후에는 62.5°C와 95°C가 됨을 알 수 있었다. 따라서 오랜 시간 동안 조명등을 켜놓았을 경우 수공냉식에서는 62.5°C, 공랭식에서는 95°C정도가 됨을 알 수 있다. LED 조명등의 수명이나 효율이 LED 접점의 온도와 밀접한 연관이 있으므로 본 연구에서 개발한 수공냉식이 대형 LED조명등 개발의 열 문제 해결책이 될 수 있음을 알 수 있었다.

표 1. 수공냉식과 냉각수가 없는 조명등의 온도비교

Table 1. Comparison of the temperature between proposed and conventional LED lamps

Elapsed time (minutes)	5	20	30	60	120	180	240
water-air cooling(°C)	40	60	60.1	60.5	61.5	62.5	62.5
Air cooling(°C)	85	90	92	93	93	94	95

V. 결론

LED의 고효율 및 반영구적 수명으로 인하여 기존의 조명방식에서 LED 조명등으로 전환이 가속화됨에 따라 대형 LED 조명등이나 서치라이트 등에서도 LED등으로 전환의 필요성이 증대되고 있다. 하지만 대형 등에서는 발열문제가 심각하여 가장 큰 걸림돌이 되고 있다.

본 연구에서는 LED 조명등에서 심각한 문제가 되는 발열 문제를 해결하기 위하여 수공냉식 방열 구조를 제안하였고, 실제 제품으로 1.2kW급으로 128,000루멘(lm) 정도의 광속을 발하는 LED 조명등을 개발하였다. 그리하여 4시간가량 계속 LED조명등을 동작 시키면서 재래식의 조명등과 방열 특성을 비교해 본 결과 현저하게 우수한 방열을 확인하였다. 향후 조명등 무계에 영향을 주는 냉각수를 조절할 수 있도록 개선하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 중소기업청의 자율형 산학연 컨소시엄 사업과 부산광역시의 BB21사업의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] J. Song, J. Park, and B. Yoon, "Design and Implementation of Transformerless 40W LED Light Driver Circuit for Ships," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7, no. 3, July 2012, pp. 485-490.
- [2] I. Kong and H. Kim, "Experiments and its analysis on the Identification of Indoor Location by Visible Light Communication using LED lights," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science* vol. 6, no. 5, May 2011, pp. 1045-1052.
- [3] H. Shin, "Development of constant current SMPS for LED Lighting," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 10, no. 1, Jan. 2012, pp. 111-116.
- [4] J. Kwon, H. Kim, K. Park, Y. Kim, and G. C. Hoang, "Thermal Characteristics of Designed Heat Sink for 13.5W COB LED Down Light," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 9, no. 5, May 2014, pp. 561-566.
- [5] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowese, P. S. Martin, and S. L. Rudas, "Illumination with solid state lighting technology," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 8, no. 2, Mar. 2002, pp. 310-320.
- [6] J. Yoon and J. Lee, "A Study on Temperature Characteristics of White LED," *Conf. of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers*, May. 2011, pp. 166-167.
- [7] Y. Cho, "Heat Radiation of Multichip 10W LED Light Using Thermoelectric Module(TEM)," *J. of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 7, no. 1, Feb. 2012, pp. 46-50.

저자 소개



윤병우(Byung-Woo Yoon)

1995년~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 신호처리, 영상처리, VLSI설계, 소나시스템



송종관(Jong-Kwan Song)

1997년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 디지털신호처리, 디지털신호처리 응용 등임



박장식(Jang-Sik Park)

2011년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 신호처리, 음성 및 음향신호처리, 영상처리 및 이해, 임베디드시스템



권홍배(Hong-Bae Kwon)

2000년~현재 (주)제이비테크 대표이사

※ 관심분야 : LED 조명등 개발, 빌지알람시스템 개발, 전원공급기개발 등

