

백색과 오렌지 LED를 이용한 가변색온도기능을 갖는 LED가로등에 관한 연구

정병호*, 최낙일**, 김대곤***, 김대승, 조금배, 백형래****
 남부대학교*, (주)기영미다스**, 전남과학대학***, 조선대학교****

A Study of the LED Luminaire for Variable Color Temperature with White & Orange LED

Byeong-Ho Jeong*, Nak-Il Choi**, Dea-Gon Kim***, Dae-Seung Kim****, Geum-Bae Cho****, Hyung-Lae Baek****
 Nambu University*, Kiyong midas co., Ltd.**, ChunNam Techno College***, Chosun University****

Abstract - 기존의 소등이나 메탈할라이드 램프는 수명이 짧아 잦은 유지보수가 필요하다. 8~12m정도의 도로조명은 유지보수 중에 사고가 발생할거나 교통의 흐름에 불편을 가져와 이에 대한 대책이 필요하다. LED조명장치는 반도체 특유의 장수명으로 유지보수의 문제에 솔루션을 가지고 있다. 또한 기존의 조명시스템은 단색으로 색온도의 제어가 어려워 기능성조명장치의 구현이 거의 이루어지고 있지 않지만 반도체조명장치인 LED조명은 다양한 LED칩을 적절히 배치하고 활용함으로써 색온도를 가변시켜 우천시나 안개시에 운전자의 주의를 환기시킬 수 있어 도로안전을 확보할 수 있다.

본 논문에서는 백색LED와 오렌지LED를 혼색하여 우천시나 안개시, 즉, 습도의 변동상황에서 색온도를 가변시켜 운전자나 보행자의 시인성을 확보하고 통행의 주의를 환기시켜 기능성조명으로서의 역할을 부여하는 LED가로등조명장치를 구현하여 이에 대한 성능을 실험하였다.

1. 서 론

세계 조명기구의 연간 소비전력은 2조 1,000억kWh로 전체 전력의 12~15%를 소비하고 있으며 이로 인해 연간 17억톤의 CO2를 배출하고 있다. 고효율 조명기구개발에 대한 요구가 한층 높아지고 있는 상황에서 조명효율을 25%향상시키면 약 2,500억kWh의 전력이 절감되고 1억 5,000톤의 CO2를 절감할 수 있다. LED조명은 뛰어난 에너지 절감과 친환경 효과로 인해 각광받고 있으며 이러한 산업기술의 동향은 고효율 LED조명시스템을 차세대 고효율 대체광원으로 인식하고 있다[1][2].

기존의 도로조명 시스템은 조명의 기능성보다는 운전자나 보행자에게 사물 구별 능력만을 제공해주는 조명시스템이 설계되고 운영되었으나 LED 조명시스템은 탁월한 사물의 식별능력 뿐만 아니라 높은 고연색성을 제공하거나 또는 다양한 기능의 부가로 운전자나 보행자의 주의를 환기시켜 더욱 높은 도로안전을 확보할 수 있는 기능성 가로등 조명장치의 구현이 용이하다. 이러한 특성으로 인해 LED 조명장치는 기존 메탈할라이드램프나 나트륨램프의 단색형태의 조명체계와는 차별화된 높은 가시성과 연색성을 갖도록 하는 부가기능을 갖는 가변색온도 기능을 갖는 가로등 시스템의 개발이 요구되고 있다[3][4].

본 논문에서는 백색LED와 오렌지 LED를 이용하여 고기능성 가변색온도제어 기능을 가진 LED 조명장치의 설계기술 확보와 가변색온도 LED 가로등 시스템을 구현을 위한 제어기법을 확립하여 기존의 조명장치가 가지는 한계를 극복하고 조명시스템분야의 새로운 실용모델을 제시하고자 한다.

2. 가변색온도 LED 가로등 시스템의 구성

2.1 가로등 조명장치의 가변색온도 구현방식

일반적으로 색에 대한 정의를 위해 다양한 색표계가 제시되고 있다. 특히, CIE(국제조명위원회) 색좌표에 의한 색온도는 혼색계 표준, 가법 혼색원리 적용하여 표준광원에서 관찰하는 색의 수치화(=xyz색표계)를 이룬 색표계이다. 어떤 광원이나 물체로부터 눈에 입사하는 복사 출력의 분광분포가 $I(\lambda)$ 라고 하면 식 (1)-(3)과 같다.

$$x' = N \sum_{380}^{780} I(\lambda)x(\lambda)\Delta\lambda \quad (1)$$

$$y' = N \sum_{380}^{780} I(\lambda)y(\lambda)\Delta\lambda \quad (2)$$

$$z' = N \sum_{380}^{780} I(\lambda)z(\lambda)\Delta\lambda \quad (3)$$

식 (1)-(3)을 이용하여 색좌표에 반영하면 식 (4)-(7)과 같다.

$$x = x' / (x' + y' + z') \quad (4)$$

$$y = y' / (x' + y' + z') \quad (5)$$

$$z = z' / (x' + y' + z') \quad (6)$$

$$z = 1 - x - y \quad (7)$$

여기서 N은 규격화 상수이고 일반적으로 10nm를 선택한다.

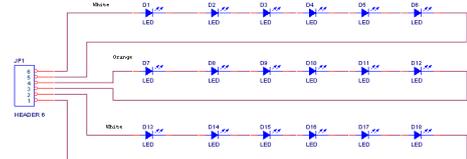
참고로 CIE 표준광원 A, B, C와 몇 가지 색온도의 백열등, 아르곤과 헬륨네온 레이저의 색좌표가 있다. 국제조명위원회에서 텅스텐 백열전구광을 2586 K, 태양광 직사광을 4876 K으로 규정하고 있다.

2.2 습도센서 및 검출회로

정전용량형 습도센서 내에 존재하는 반도체재료의 정전용량은 상대적 인 습도변화에 대해 거의 직선적으로 변하고 그 변화량은 약 0.7 pF/%RH이고 온도의존 특성은 온도범위 10~60 °C에서 0.2 %RH/°C로 변화가 적어 5%RH 허용오차를 가지며 감습 특성에 대한 직선성을 가지고 있어 상대적으로 정밀도가 높다. 본 논문에서는 808H5V5 모델의 정전용량형 습도센서를 적용하였다.

2.3 LED 칩의 활용 및 직병렬 회로 구성

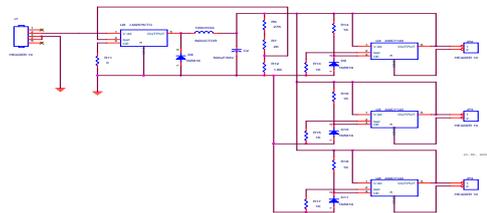
본 연구에 따른 백색과 오렌지를 이용한 조명장치는 <그림 1>과 같은 회로구성으로 LED칩의 직·병렬 회로 구성였고 Cree사의 X-series LED를 이용하여 혼색을 구현하였다. 이러한 혼색조명으로 색온도는 3500~4800 K의 색온도를 확보할 수 있다.



<그림 1> 실험에 적용된 LED칩의 직병렬 회로 구성 (3 parallel & 6 series 방식)

2.4 LED 드라이버 설계

LED 드라이버는 정전압, 정전류 구동특성을 가지며 일정한 광속과 색조를 위해 특히, 전류 레귤레이션 드라이버의 성능이 우수해야 한다.[5] <그림 2>는 본 논문에서 적용된 드라이버회로로 2스테이지구조를 가지며 1스테이지는 LED 포워드전압인가를 위한 전압제어를 수행하고 2단은 전류제어를 수행함으로써 안정된 전원을 확보하여 LED 드라이버로서의 성능을 극대화하였다.

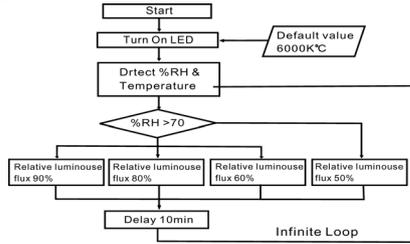


<그림 2> 스위칭 레귤레이터를 이용한 LED 드라이버 회로

2.5 제어알고리즘

오렌지와 백색 LED가 혼색된 가로등 조명방식에서 가변색온도의 구현은 오렌지 LED의 듀티비를 변화시켜 색온도를 제어하는 방식을 취한다. <그림 3>은 실험에 따른 제어 흐름도이다. 시스템의 턴 온과 함께 LED 조명을 설정된 상대습도 70% 이하인 디폴트 값으로 인식하여 이에 따른 록업 테이블 값은 듀티비 0.5로 오렌지 LED를 제어한다. 이후 상대습도와 온도를 검출하여 연산과정을 통해 기상정보를 획득하고 이를 록업 테이블에 반영하여 세 가지 조건의 듀티비를 제어하여 가변색온도 기능을 구현하는 방식이다. 또한 갑작스런 색온도의 변동은 가로등 본연의 역할에 제약을 미치는 점을 고려하여 10min의 지연시간을

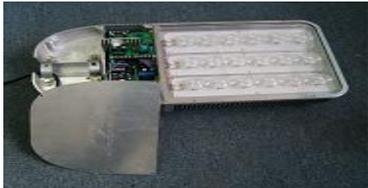
갖도록 하였다. 또한 습도센서의 응답특성이 최대 10min으로 응답하므로 시간지연을 10 min으로 설정하였다.



<그림 3> 습도변화에 따른 제어흐름도

2.6 LED 가로등 조명장치의 기구

LED모듈 및 시스템의 방열 구조는 냉각팬이 없는 무소음, 무보수 구조를 기초로 설계하였고, 이는 중력장(9.80665 m/m²)에 의한 자연대류를 기준으로 가로등조명은 지면으로부터 5m 이내에서 5~7m/h의 풍속을 기준으로 냉각 효과를 검증하였다. 방수 및 Clare 차단을 위한 광원의 밀폐구조로 방열을 위한 공기접촉 면적확대 및 신속한 열전달구조를 갖도록 일체형 구조를 채택하였다. 시제품의 소재는 알루미늄으로 제작 단가와 무게, 방열특성을 고려하여 선정하였다. 제작된 시제품의 무게는 16.7 kg, 방열부 면적은 1,257,640mm²로 방열과 방수하우징에 유리하도록 설계하였으며 LED조명의 온도특성은 25 °C 조건에서 LED 접촉면 82 °C, 방열판 가장자리는 42 °C이다. 또한, 혼색 조명을 위해 빛의 간섭이 효과적으로 이루어지도록 오목한 형태로 3개의 모듈 중 가장자리에 두개의 모듈을 12° 안쪽으로 기울어지도록 설계하여 혼색 조명장치의 장점을 최대한 살리도록 하였다. 이러한 구조는 배광특성에 유리하게 작용하여 보다 넓은 배광특성을 갖도록 한다. <그림 4>은 일체형구조로 제작된 LED 루미네어의 사진이다.

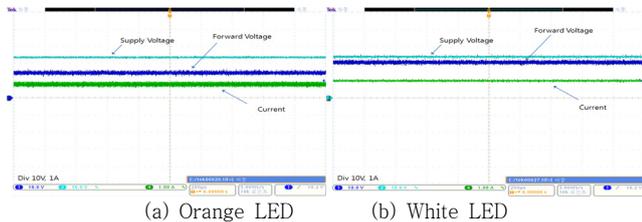


<그림 4> Orange+White LED 루미네어 사진

3. 실험결과 및 고찰

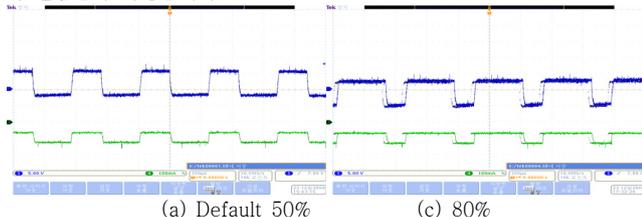
3.1 전기적특성

본 논문에서는 연색성이 우수하도록 하며 가시성을 확보하기 위해 백색과 오렌지 혼색LED를 이용한 가변색온도제어 방식의 시험용 가로등을 제작하여 성능시험을 수행하였다. 그림 7은 백색과 오렌지 LED의 출력특성을 각각 나타낸다. 색온도는 1931, XY Chromaticity 다이어그램 상에서 X=3.5, Y=2.8로 색온도가 약 5,800 K의 색온도를 나타낸다. 조명장치의 특성상 디플트 값을 설정하여 조명의 역할을 할 수 있도록 안전장치가 요구되므로 <그림 5>의 디플트 값은 각각의 조명장치의 기준값이 된다.



<그림 5> 백색+오렌지 LED의 전압 전류 출력특성

<그림 6>는 오렌지 LED에서 상대습도를 검출하여 마이크로 컨트롤러를 사용한 PWM 제어하여 평균 출력전압의 변화에 따라 색온도제어의 실험결과 파형들이다.

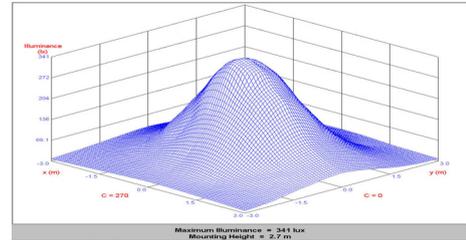


<그림 6> 백색+오렌지 LED PWM 제어특성

상대습도가 50%, 60%, 70% 그리고 80%로 변화할 때 습도센서 검출하여 듀티비의 가변에 따른 출력전압의 변화를 보여주고 있으며 습도가 높아질수록 듀티비가 커져서 LED의 광량이 커지도록 제어설계가 이루어졌다.

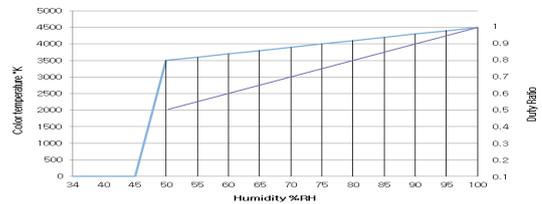
3.2 광학적 특성

<그림 7>는 Goniophotometer를 이용하여 제작된 LED조명장치의 지향각 및 광도를 측정된 측정결과를 컴퓨터 인터페이스를 통해 나타내고 있다. 배광특성의 측정을 위한 스태프는 6단계의 1도 각도로 설정하여 측정하였고, 측정거리는 12m이다.



<그림 7> LED luminaire 3D Lux diagram

제한된 방식의 LED조명장치의 색온도는 <그림 8>과 같이 초기 광량의 확보를 위해 오렌지 LED를 50%듀티비로 제어하기 때문에 4800 K의 색온도를 유지하지만 습도의 변화에 따라 최대 3500 K까지의 색온도가 변화한다.



<그림 8> 오렌지 LED제어에 따른 색온도변화상태

4. 결 론

본 논문에서는 가변 색온도기능을 갖는 LED 조명장치의 개발에 따른 백색과 오렌지 혼색 방식의 LED조명장치를 제작하여 그에 따른 전기적, 광학적 특성을 분석하였다. 제작된 162W급 LED가로등은 백색과 오렌지색의 혼색 LED어레이 구성을 통해 오렌지LED의 색온도를 외부의 습도변화에 따른 색온도의 변화가 3500 K~4800 K제어가 이루어지도록 제작하였다.

이러한 기능성조명장치를 통해 시인성을 확보하고 우천시나 안개상황에서 식별능력의 향상시키는 기능을 더욱 강화하도록 설계 및 제작하였다. 이러한 다양한 LED 어플리케이션은 향후에 LED조명장치로서의 활용도를 높여 기존의 필라멘트 방식이나 방전등 방식의 조명장치가 가지는 한계를 극복할 수 있는 미래 조명시스템의 전환을 대비할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] O. Moisio, P. Pinho, E. Tetri and L. Halonen, "Controlling colour temperature of LED-luminaire," in Proceedings of the 10th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources - Toulouse, France, 2004, pp. 375-376.
 [2] 황명근, 조미령, 신상욱, 이세현, 이주성, 정봉만, "R/G/B 및 백색 LED광원의 색도좌표와 주파장의 비교 고찰", 한국조명전기설비학회 2007 춘계학술대회 논문집, pp 166-169 2007
 [3] Borbély, A., A. Sámson, and J. Schanda. "The Concept of Correlated Color Temperature Revisited," Color Research & Application 2001, 26(6), pp.450-457.
 [4] 한수빈, 박석인, 송유진, 정학근, 정봉만, 김규덕, "최근의 LED구동 IC의 종류 및 특성" 한국 조명설비학회 추계 학술대회 논문집, pp. 105-107, 2008
 [5] 송상빈, 김기훈, 김진홍, 천우영, "광색가변 및 색온도 제어용 100W 급 투광기 개발", 한국조명전기설비학회 추계 학술대회 논문집, pp. 89-94, 2007