

ELS을 이용한 40W lighting system 개발

(Development of 40W Portable lighting system using ELS)

김 진홍* · 박 정욱 · 김 기훈 · 천 우영

(한국광기술원)

(Jin Hong Kim · Joung Wook Park · Gi Hoon Kim · Woo Young Cheon)

Abstract

ELS(Edge Light System)을 이용한 40W 조명 시스템을 개발하기 위하여, ELS에 적합한 LED를 선정하고, 색온도 제어라 광색제어를 위한 구동회로 및 제어회로를 설계 제작 하였으며, 0.5W R,G,B 4 IN 1 Package 를 적용 하여 LED 180EA를 사용하여 LED Lighting System을 개발하였다. ELS LED Lighting System은 40W급 LED SMPS 구동회로 및 광색/색온도 제어회로 설계, 면발광을 위한 ELS 설계, 방열 설계 및 기구 구조 설계를 통하여 개발되었으며, 직접 시제품을 제작하고 그 성능을 측정하였다.

1. 서 론

각 국가는 전 세계적인 고유가정책에 따라 에너지자립도를 높이기 위하여 최선을 다하고 있다. 미국의 LRC(Lighting Research Center)의 보고서에서와 같이 현재 사용되는 있는 경우 백열전구와 직관형 형광등을 LED로 대체하였을 경우 현재 조명전력 사용 에너지의 최소 20%의 에너지절감효과가 있을 것으로 예상되며, 백열전구와 동일한 수준의 조명에서는 45%의 에너지 절감효과가 있을 것으로 예상하고 있으며, LED의 단점인 눈부심을 최소화 하고 광색제어 및 색온도 제어, 장수명, 등 장점을 최대화 하였다. 이에 따라서 본 논문에서는 미래에 주광과 실시간으로 일치하는 색온도 제어기술이 실내 전반조명용 광원에 적용된다면 주광과 동일한 색온도를 실내에서 실시간으로 느낄 수 있으므로 인간의 생체리듬을 왜곡시키지 않는 Health-care라는 측면에서 매우 중요한 기술이 구현 할 수 있는 ELS LED Lighting System을 개발하였다.

2. ELS을 이용한 40W LED 조명시스템설계

2.1 Edge Lighting 조명을 위한 LED 선정 및 성능측정

LED는 가격이 저렴하고 온도에 민감하지 않으며 신뢰성이 좋으며 휘도 및 광도가 높아야 한다. 특히 색온도 제어를 위해서는 R, G, B LED의 밝기에 따라서 R, G, B 혼합광의 색온도가 민감하게 변화하므로 신뢰성이 매우 중요하고 전류의 크기 변화에 따른 광출력의 제어가 용이한 구조로 되어 있어야 한다.

따라서 색온도 제어 및 Edge Lighting용 조명기구

에 적용하기 위한 LED 선정을 위해서 R, G, G, B 4개의 칩이 한 개의 Package에 결합되어 있는 4 chip in 1 Package를 선정하여 광학적, 전기적 성능을 측정하였다.

측정에 사용된 장비는 LED Package의 광학특성을 측정하는 기기로서 모델명은 OL770 UV/VIS라는 장비를 사용하였다.

LED는 칩의 성능 및 배광분포에 따라 그 종류가 매우 다양하고 제조회사에 따라 전기적·광학적 특성이 다르기 때문에, 색온도 제어에 적합한 LED의 선정을 위해서는 이들의 광학적, 전기적 특성의 측정이 매우 중요하다.

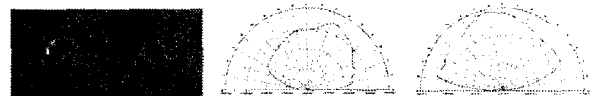


그림 1. 4 in 1 Package 형상(좌) 및 광분포 (Red:중앙, Green:우)

그림 1은 이와 같은 LED Package의 전 후면의 형상을 나타내고 있고, 그 구조를 보면 하나의 Package에 R, G, G, B 4개의 칩이 일체화 되어 있어서 색온도 제어를 위한 광색혼합에 유리하고 R, G, G, B 칩 각각에 대한 전원 입력 단자가 있어서 개별 LED의 전류를 각각 제어할 수 있다.

표 1. 4 chip in 1 Package의 전기적, 광학적 측정 데이터

	Red	Green	Blue	Full
정격 전류(mA)	20	19.71	20.00	60.00
정격 전압(V)	5.81	5.93	5.83	5.89
정격 전력(W)	0.1162	0.12	0.12	0.35
광속(lm)	2.29	11.14	0.85	14.13
중심 광도(cd)	0.406	1.88	0.13	2.33
지향각(deg)	153.7	156.60	157.40	157.00
방광 효율(lm/w)	19.99	95.32	7.44	40.15
상관색온도(CT)	0	6730	0.00	22501
색좌표	x:070, y:0.39	x:0.20, y:0.70	x:0.15, y:0.25	x:0.25, y:0.25

표 1은 4 in 1 Package의 각 칩에 대한 전기적, 광학적 특성을 나타내고 있다.

그림 1은 4 chip in 1 Package의 R, G 칩 각각의 배광특성 특성을 나타내고 있다. 그림을 보면 Lambertian 배광과 비슷하나 정확한 Lambertian 배광은 아니다. 그러나 조명기구의 광학적 설계를 통하여 조명기구 전체의 배광을 달성하고 광색혼합을 하는 데에는 문제되지 않는다.

2.2 색온도 제어 알고리즘

본 연구에서는 RGB 광색혼합이론을 적용하여 색온도를 제어하였으며, 이러한 RGB 광색혼합이론은 백색을 구현하기 위한 빛의 3원색인 RGB에 대한 자극치 X, Y, Z 함수를 이용하여 색도좌표 x, y값으로 표현하기 위한 것이다. 아래의 그림 2은 삼자극치와 1932 CIE 색도좌표 다이어그램을 나타내고 있다.

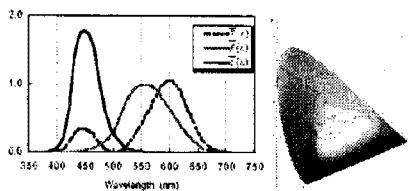


그림 2. 삼자극치 스펙트럼 분포와 1932 CIE 색도좌표 다이어그램

이러한 RGB 광색혼합이론을 이용하여 색온도 알고리즘을 구현하기 위하여, 우선 표 2에서와 같이 RGB LED의 색도좌표 (x, y) 및 휘도계수 (Y)가 정해지면 이로부터 혼합광에 대한 색도좌표를 가법혼색이론을 적용하여 구할 수 있다.

표 2. 목표 색온도의 이론적 R, G, B Duty Ratio (일부)

Target C.T	T _r	T _g	T _b
2500	95	81	16
3000	84	88	28
3500	78	92	35
4000	63	95	44
4500	65	97	52
5000	61	98	59
5500	58	99	65
6000	55	100	70

광색혼합 이론을 적용하고, 4 in 1 package의 R, G, B의 측정값을 이용하여 우리가 달성하고자 하는 목표 색온도에 대한 이론적인 R, G, B LED의 Duty Ratio를 선정하였다. 그 결과를 표2(일부)에 나타내고 목표 색온도에 대한 R, G, B LED의 Duty Ratio 변화를 그림 3에 나타낸다.

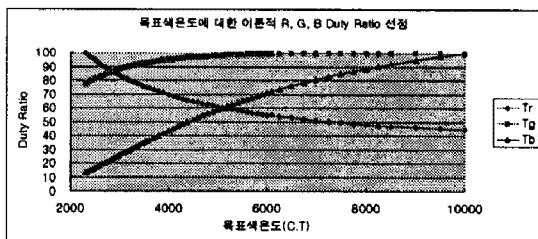


그림 3. 목표색온도에 대한 이론적 R, G, B LED의 Duty Ratio 변화

2.3 조명기구 구조 및 광학 설계

그림 4은 Edge Lighting을 이용한 형광등 대체형 LED 조명기구의 입체도를 각각 나타내고 있다. 전체적인 기구의 크기는 폭 274 mm, 길이 1,214 mm, 높이 53 mm 정도이다. 정면도와 측면도에서 기구 중심의 녹색인 U형 면에 좌향, 우향, 하향의 3 방향으로 3열로 LED가 배열될 것이다. 좌향과 우향으로 향하는 LED의 빛은 그림에서와 같이 도광판을 거쳐 아래로 향하고, 도광판을 발광하도록 하여 색온도 제어를 장식효과를 높이도록 하였다. 또한 하향으로 향하는 LED의 빛은 투과판을 통하여 확산되도록 하여 눈부심이 방지되도록 하고 실내에서 전반 확산조명을 실현할 수 있도록 하였다. 도광판의 두께는 125 mm 이고 확산판의 폭은 1737 mm 이다. 또한 구동회로와 제어회로를 수납하기 위한 공간을 그림에서의 푸른색 부분과 같이 조명기구 양 끝단에 배치하여 구동회로 및 제어회로를 조명기구 내부에 수납할 수 있도록 하였다.



그림 4. Edge Lighting을 이용한 형광등 대체형 조명기구 입체도

이와 같이 조명기구를 설계하고 주어진 LED의 위치에 LED를 한 면에 60개씩 총 180개를 배열하고 광학적 성능을 시뮬레이션 하였다. 그림 5(좌상)는 시뮬레이션 결과 Edge Lighting 조명기구의 Ray tracing 및 배광 특성을 나타내고 있다. 그림 5(우상)을 보면 앞서 설명한 바와 같이 좌향 및 우향으로 향하는 LED의 빛에 의하여 도광판이 발광하는 것을 알 수 있으며 하향 빛은 확산판에 의하여 확산배광의 형태를 취하고 있음을 알 수 있다.

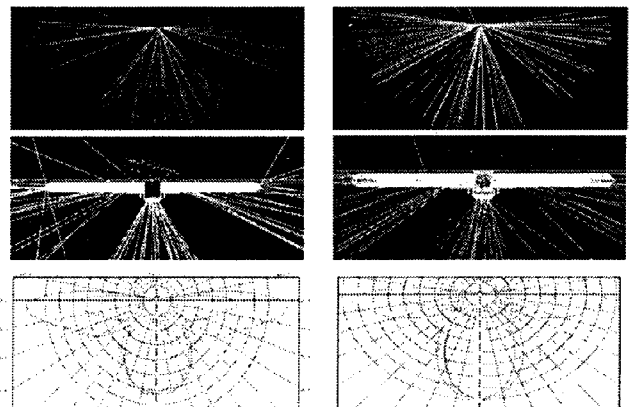


그림 5. 조명기구 ray tracing (상) 및 배광분포 시뮬레이션 (하) - Edge Lighting을 이용한 형광등 대체형 (좌), 형광등 적용 (우)

도광판의 Edge면을 통과하는 빛은 천장 및 조명기

구 수평방향으로 빛을 향하게 하여 천장 면 및 벽면을 조명하는 것으로 하여 간접조명을 구현하고, 눈부심을 방지하도록 설계하였다. 또한 그림 5(우하)는 동일한 조명기구에 형광등 광원을 적용하였을 때의 Ray tracing 결과 이고 그림 5(우하)은 그 때의 배광특성 시뮬레이션 결과이다. 그림 5(좌하)과 그림 5(우하)의 배광 특성 시뮬레이션 결과를 비교하여 보면 그 배광특성이 매우 유사함을 알 수 있다.

2.4 시제품 제작 및 방열 시뮬레이션

2.4.1 시제품 제작 및 방열 시뮬레이션

개발하고자 하는 시제품은 그림 6(좌)과 같이 T5형광등을 이용하여 측면으로 무드등 형태의 확산배광을 하고 중심 하면에서 직하방향으로 배광이 만들어지는 형태의 조명기구로 T5형광등 대신 LED모듈을 이용한 조명기구고, 그림 6(우)는 기존 제품을 기반으로 설계된 개념 설계다. 이러한 형태의 제품 개발에서 개념설계 단계에서 설계 요소는 표3과 같다.

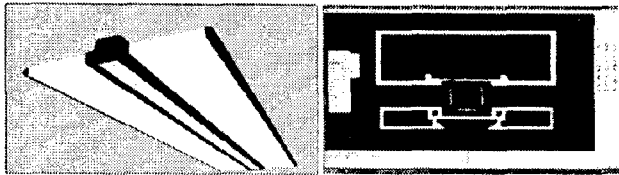


그림 6. T5를 사용하는 기성제품(좌) 및 개념설계(우)
표 3. 시제품 제작을 위해 고려할 설계 요소

설계 요소	설계 반영 내용
Compact 구조	길이 : 폭 : 높이 = 10 : 5 : 1
조립성	LED 및 회로 교체 용이한 구조
직하형과 무드등의 혼합형	직하·무드등의 광혼합 방지용 포켓구조
방열 특성 향상 구조 가능 형태	방열 향상을 위한 후퇴형 포켓구조
광 특성 향상 구조	면발광 특성을 유지 위한 구조
전원 및 제어회로의 내외장형 가변	회로부분의 외장 가능 형태 구성

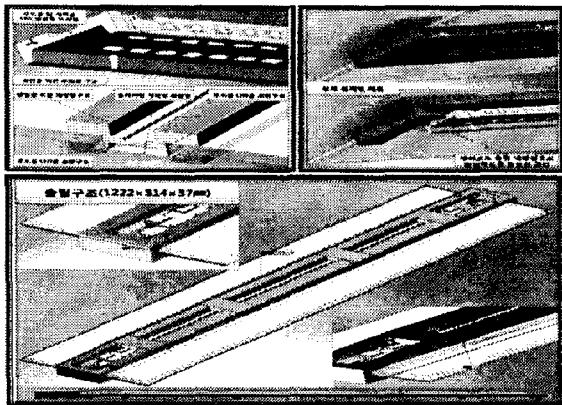


그림 7. 상세 설계 개념이 적용된 부품(좌상), 슬림 구조(우상) 및 최종 설계된 제품(하)
무드용 LED의 경우 색온도를 조절하고 직하 조명용 LED는 백색을 유지하기 때문에 두색이 개별 제어되도록 독립형으로 제작되고 또한 두 색의 혼광을 방지하기 위한 포켓구조를 생성하였다. 이때, 미관상 slim한 구조로 생성하기 때문에 LED 프레임의 slim한 구조로 생성하여 프레임 안에 독립포켓형구조 및 확산배광을 위한

후퇴형 구조를 동시에 설계하여 두 특성을 부과하였다. 하도록 하였으며, 투과판을 쉽게 개방할 수 있도록 슬라이딩 개폐구조를 추가하였다. 그림 7(좌상)은 각 부분에 대한 상세 설계 내용이 반영되어 3D로 설계된 모델이다.

그림 7(우상)은 슬림구조를 갖도록 설계된 내용을 볼 수 있으며, 제어보드 외장형인 경우 전체 기구물의 크기는 1222×314×37mm이고, 제어보드 내장형인 경우 전체 크기는 1222×314×54mm가 된다. 그림 7(하)는 최종 설계된 결과물이다.

2.4.1 상세 설계에 대한 방열 시뮬레이션

상세 설계 과정에서 정의된 포켓형태의 후퇴형 무드용과 직하용 독립 구조를 갖는 LED 프레임을 설계하여 방열 특성 시뮬레이션을 하였다. 상면에서 공기대류 계수를 $10W/m^2 \cdot K$ 으로 가정하면 LED 프레임의 상면 면적 $0.0637m^2$ 에 대해 발생하는 온도는 상온($20^\circ C$)에서 $63.2^\circ C$ 가 된다. 시뮬레이션에서는 상면뿐만 아니라 측면 및 하면에서도 방열이 된다고 가정하기 때문에 최대 온도 $49.9^\circ C$ 가 계산되었다.

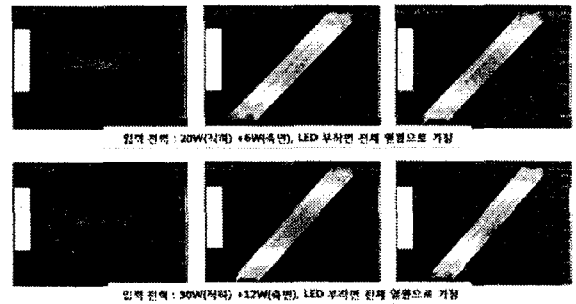


그림 8. 시뮬레이션 결과

2.4.1 광색 색온도 제어회로

DMX 512 신호 체계를 이용하여 RGBA LED의 색온도를 조정 하는데 목적이 있다. SMPS로부터 24V의 전원을 DC CONVERTER 1,2가 각각 5V와 12V로 전원을 변환시켜 PWM DRIVER와 MCU에 전원을 인가해준다. MCU에서는 외부 컨트롤러로부터 DATA를 받으면 그 DATA를 PWM DRIVER로 보낸다. PWM DRIVER는 MCU의 신호를 받아서 전압, 전류를 증폭해주고 이를 S/W DECVICE로 보내 LED의 색온도 및 광색 가변을 컨트롤한다.

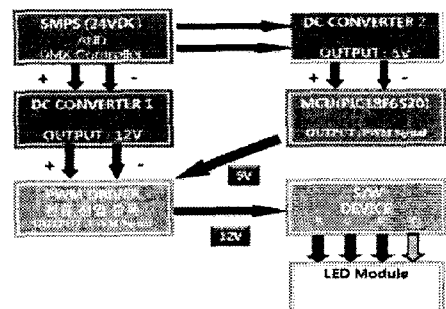


그림 9. 색온도/광색가변 제어회로 Block Diagram

2.4.1 ELS LED 조명시스템 구동회로

건물 실내조명에 사용되는 40W LED 엘리베이터용 전원공급 장치(SMPS)를 개발하기 위해서는 LED 구동 전압에 맞는 출력 전압 및 전류를 제어하고, 외부에서 발생하는 이상 동작 및 이상 전압·전류가 발생할 경우 전원회로를 보호 할 수 있는 보호회로가 구성되어야 한다. 40W 전원회로 설계는 그림 10의 40W 전원회로 Block Diagram에서 볼 수 있듯이 Current mode로 회로를 제어하여 과전압과 과전류에 대하여 구동부분을 보호 할 수 있도록 하고 안정적으로 일정한 전압을 DC-DC 구동부(One-Stage)에 전달 할 수 있게 설계하였다.

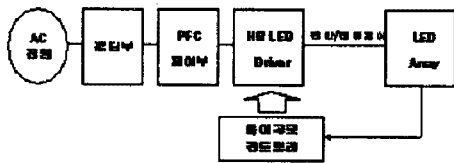


그림 10. 40 전원회로 Block Diagram

3. 시제품 성능 측정

3.2.1 전기적 성능

표 4는 LED Module 시제품의 전기적 특성 측정 결과를 나타낸 것으로, LED DC-DC 구동회로 시제품의 입력 전압 사양은 90~264Vac에서 동작되며, 출력 전압은 24dc, 2A의 출력을 특성을 가지고 있다. 그리고 83% 이상의 회로효율을 나타내고 있다.

표 4. LED 구동회로시제품의 전기적 특성 측정결과

Vin [Vac]	Iout[A]	Vout[Vdc]	Pout [W]	Pin [W]	Effi[%]
90~264	1.1	24	40	47.93	85.76%

4.2.2 광학적 성능

개발된 시제품의 색온도 범위 및 색온도 변화에 대한 R, G, B LED의 duty ratio 값은 그림 11(좌)와 같고 그림 11(우)와 같이 색온도 가변 범위는 3000~8,000K까지임을 알 수 있다. 그림 11(우)를 보면 Edge Lighting을 이용한 형광등 대체형 조명기구의 색온도가 3000~8,000K까지 변화할 때에 흑체의 궤적을 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

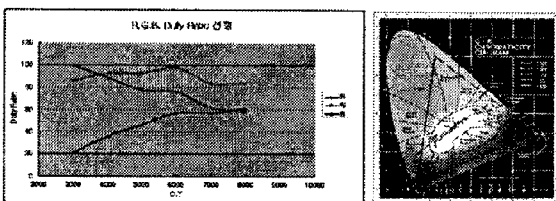


그림 11. 색온도에 따른 duty ratio (좌)와 측정된 흑체 궤적 (우) 변화

표 6은 은 색온도 변화에 따른 CIE 1931 색좌표 x, y 값 및 lm에서의 조도 값을 나타내고 있다. 조도값을 보

면 417 lx ~ 355 lx 까지 색온도에 따라서 변화하며 R, G, B LED의 Duty Ratio를 모두 100으로 하였을 때는 465 lx가 측정되었다.

표 6. 색온도 변화에 따른 CIE 1931 x, y 값 및 조도 측정값

색온도	색좌표	x	y	Ev
3000		0.4363	0.4015	417
4000		0.379	0.3727	423.2
5000		0.342	0.3511	411.5
6000		0.3222	0.3341	428.7
7000		0.3065	0.3163	359.6
8000		0.2935	0.3057	355
Full		0.3077	0.2053	465

그림 12는 광기술원이 보유하고 있는 Goniameter를 이용하여 시제품의 배광 성능 및 View Angle을 측정한 결과로 확산 배광의 특성을 그대로 나타내고 있으며 View Angle 또한 최대 광도의 1/2 기준으로 100° 이상을 만족시켰다.

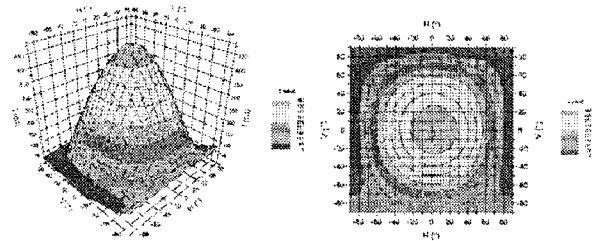


그림 12. Goniameter를 이용한 시제품의 배광 특성 측정 결과

4. 결론

ELS(Edge Light System)을 이용한 40W 조명 시스템을 개발하기 위하여, ELS에 적합한 LED를 선정하고, 색온도 제어라 광색제어를 위한 구동회로 및 제어회로를 설계 제작 하였으며, 0.5W R,G,B 4 IN 1 Package 를 적용 하여 LED 180EA를 사용하여 LED Lighting System을 제작하였다. 시제품 제작 결과 회로효율 85% 이상, 색온도 3000~8000K로 6단계로 제어 가능하며, View Angle 또한 최대 광도의 1/2 기준으로 100° 이상을 만족시켰다

주광과 실시간으로 일치하는 색온도 제어기술이 실내 전반조명용 광원에 적용된다면 주광과 동일한 색온도를 실내에서 실시간으로 느낄 수 있으므로 인간의 생체리듬을 왜곡시키지는 감성조명을 구현 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이상룡, 전철환외 "Implementation of the stand-alone PV Generation System for the LED Road Sign" 전력전자학회 추계학술대회 2003.11.22
- [2] 日本照明學會, "LED 照明ハンドブック", 2006, pp.28~41