

# 주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 60W LED 조명제품 개발

(Daylight color temperature to match 60W LED lighting system development for the interior general Lighting )

김 진홍\* · 임 수근 · 박 정욱 · 김기훈 · 송 상빈

(Jin-Hong Kim · Su-Keun Lim · Joung-Wook Park · Gi-Hoon Kim · Sang-Bin Song)

한국광기술원

## Abstract

주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 60W 급 LED 조명제품 개발하기 위하여, 실내 주광에 적합한 LED를 선정하고, 색온도, 광색제어를 위한 구동회로 및 제어회로를 설계 제작 하였다. 그리고 1W급 Cool White, Warm White Package LED 총 168 EA를 적용하여 주광의 색온도와 일치하는 실내전반 조명용 LED 조명 System 을 개발하였다. 주광의 색온도와 일치하는 실내 전반용 LED 조명제품은 60W급 LED SMPS 구동회로 및 광색/색온도 제어회로 설계, 면발광을 위한 방열 설계 및 기구 구조 설계를 통하여 개발되었으며, 직접 시제품을 제작하고 그 성능을 측정하였다. 그 결과 회로 효율은 85% 이상, 색온도는 3,000~7,000K에서 실시간으로 제어 가능 하고, 원하는 색온도를 구현 할 수 있도록 하였으며, 발산각 또한 최대 광도의 1/2 기준으로 100° 이상을 만족시켰다

## 1. 서 론

각 국가는 전 세계적인 고유가정책에 따라 에너지 자립도를 높이기 위하여 최선을 다하고 있다. 미국의 LRC(Lighting Research Center)의 보고서에서와 같이 현재 사용 되는 백열전구와 직관형 형광등을 LED로 대체하였을 경우 현재 조명전력 사용 에너지의 최소 20%의 에너지절감효과가 있을 것으로 예상하고 있으며, 백열전구와 동일한 수준의 조명에서는 45%의 에너지 절감효과가 있을 것으로 예상하고 있다.

본 논문에서는 주광과 실시간으로 일치하는 색온도 제어기술을 실내 전반 조명용 LED 광원모듈에 적용하여, 주광과 동일한 색온도를 실내에서 실시간으로 느낄 수 있도록 하였다. 그러므로 인간의 생체리듬을 왜곡시키지 않는 Health-care라는 측면에서 매우 중요한 주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 LED 조명제품을 개발 하였다.

## 2. 실내 전반 조명용 LED 조명 시스템 설계

### 2.1 광원 모듈 개발을 위한 LED 선정 및 성능 측정

LED는 가격이 저렴하고 온도에 민감하지 않으며, 신뢰성이 좋고 휘도 및 광도가 높아야 한다. 특히 색온도 제어를 위해서는 Cool White, Warm White LED의 발

기에 따라서 Cool white, Warm White 혼합광의 색온도가 민감하게 변화하므로 신뢰성이 매우 중요하고 전류의 크기 변화에 따른 광출력의 제어가 용이한 구조로 되어 있어야 한다. 따라서 주광의 색온도와 일치하는 조명기구에 적용하기 위한 LED 선정을 위해서 Cool White, Warm White 각각 1개의 Package를 선정하여 광학적, 전기적 성능을 측정하였다. 측정에 사용된 장비는 LED Package의 광학특성을 측정하는 기기로서 모델명은 OL770 UV/VIS 장비를 사용하였다. LED는 칩의 성능 및 배광분포에 따라 그 종류가 매우 다양하고 제조회사에 따라 전기적·광학적인 특성이 다르기 때문에, 색온도 제어에 적합한 LED의 선정을 위해서는 이들의 광학적, 전기적 특성의 측정이 매우 중요하다.

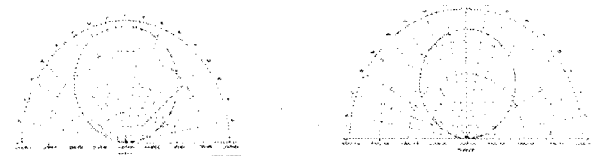


그림 1. Cool White, Warm White Package (상) 및 지향각(하)

그림 1은 주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 LED 조명기구의 광원 모듈에 적용한 LED Package

의 배광 특성을 나타내고 있다. 이러한 배광 특성을 갖는 Package는 색온도 제어를 위한 광색혼합에 유리하다. 또한 이러한 Package는 Cool White, Warm White 칩 각각에 대한 전원 입력 단자가 있어서 개별 LED의 전류를 제어할 수 있다.

표 1은 Cool White, Warm White Package의 각 칩에 대한 전기적, 광학적 특성을 나타내고 있다.

표 1. Cool White, Warm White Package의 전기적, 광학적 측정 데이터

	Cool	Warm
정격 전류[ImA]	300	300
정격 전압[V]	3.5	3.5
정격 전력[W]	1.05W	1.05W
광속[lm]	101.4	83.52
중심 광도[cd]	3.3	3.0
지향각[deg]	122.1	115.8
발광 효율[lm/w]	95.22	76.62
상관색온도[CT]	6380 K	3222 K
색좌표	x: 0.3164 y: 0.3174	x: 0.4110 y: 0.3732

## 2.2 구조 및 광학 설계

그림 2는 PCB와 반사판 및 투과판의 결합도를 보여주고 있다. PCB는 양쪽으로 나누어 배열하였고 그 둘레에 반사판을 결합하였으며, 그 윗부분은 글레이 차단과 전반 확산 조명을 위해 투과판을 결합하였다.

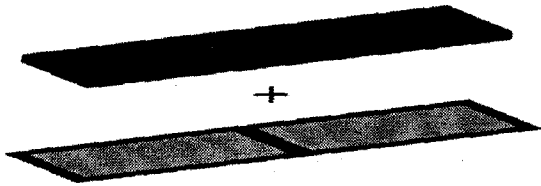


그림 2. PCB, 반사판, 투과판, 기구외함의 결합도

전체적인 기구의 크기는 폭 324 mm, 길이 1,302 mm, 높이 45 mm 이다. 그림 3은 기구의 전체적인 치수를 나타낸 그림이다. SMPS를 수용하기 위한 공간을 가운데 두고 LED 모듈 부분이 양 방향으로 나뉘어져 있기 때문에 투과판 역시 2 장을 사용하여 한쪽 방향씩 결합 되도록 하였다.



그림 3. 조명기구의 형상 및 크기

이와 같이 조명 기구를 설계하고 주어진 LED P.K.G의 위치에 LED를 총 168 EA 배열하고 광학적 성능을 시뮬레이션 하였다.

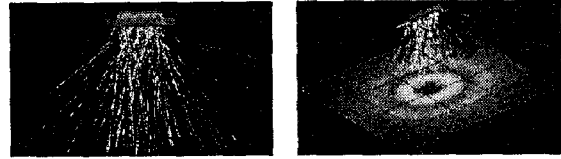


그림 4. Ray Tracing

그림 4는 조명기구의 Ray Tracing을 나타낸 그림이다. 반사판의 재질은 Specular Alum의 반사율은 60%이고, 투과판의 재질은 Sandblasted Glass의 투과율 84%이다.

조명기구에 대한 시뮬레이션은 Photopia 3.0을 이용하여 수행하였고 LED P.K.G의 출력은 최대치가 아닌 절반만하여 시뮬레이션 하였다. 이는 실제 색온도 조절을 위해 Cool white와 Warm white를 혼합하여 점등하였기 때문에 동일한 조건으로 적용하기 위함이다. 그림 5는 중심 최대 광도는 1,528 cd 이었고 발산각( $I_{max}/2$ )은  $100^\circ$ 로 나타났다.

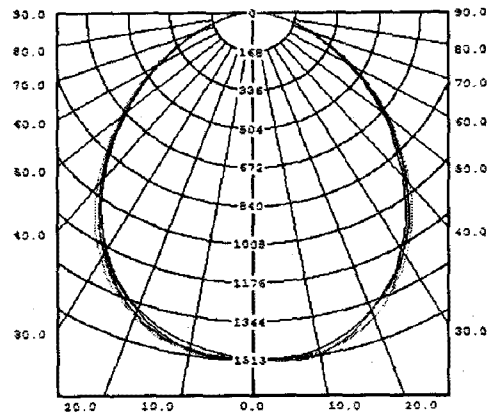


그림 5. 조명기구 시뮬레이션 결과 배광

## 2.3 기구 구조 및 방열 시뮬레이션

### 2.3.1 조명 기구물 구조 설계

논문에서 제안하는 제품은 방열구조 없이 프레임을 이용하여 방열하는 구조로 설계 하였으며, 구조적 안정성을 위한 절곡과 양단은 압입형으로 된 안정적인 구조로 설계 하였다. 또한, 전면 커버는 결합 및 분리가 용이하도록 슬라이드 결합 형태로 하였으며, 전체 조명기구의 크기 기존 30W급 형광등 기구 구조를 대체하기 위하여 기존 등기구의 표준 크기와 동일한 형태로 하였다.

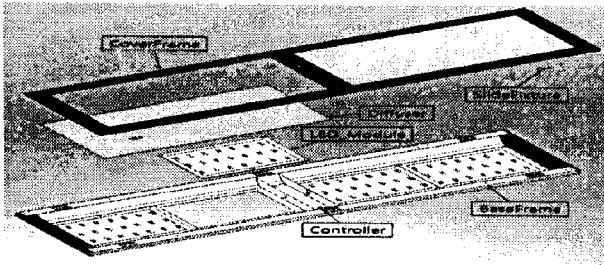


그림 6. 60 W LED 조명기구 구조설계 및 각 부품 명칭

그림 6을 보면 확산판을 탈부착하기 위한 커버프레임, 커버프레임을 베이스프레임에 결합하기 위한 슬라이드클립, 전체 구조를 안정적으로 지지하기 위한 베이스프레임, Cool White와 Warm White로 구성된 LED 모듈, 이 모듈의 색온도를 제어하기 위한 컨트롤러로 구성되어 있으며, 전체 크기는 1,302×324×45mm 이다.

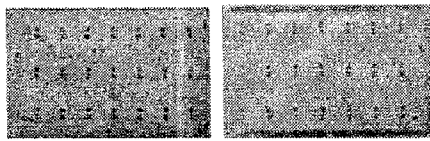


그림 7. LED 모듈 15W PCB 전면(좌) 및 후면(우)

LED 모듈의 PCB는 그림 7과 같이 방열을 위해 Via-hole을 이용하여 전면에서 발생한 열을 후면으로 전달하고 후면 전체를 전극 패드로 형성 하였다.

### 2.3.2 상세 설계에 대한 방열 시뮬레이션

상세 설계 과정에서 정의된 방열 구조에 추가적인 기구가 필요한지를 검토하기 위해, 기구물 내부에서는 거의 공기유동이 없고 후면에는 자연대류가 있다고 가정하여 LED모듈만의 방열 시뮬레이션을 수행하였다. 전체의 조명기구가 60W를 소모한다고 가정하면, 각 모듈에 15W가 인가되므로 하나의 모듈에 대해 15W가 인가된 것으로 가정하여 시뮬레이션 하면 외부 온도 25°C에 대해 인가된 전력이 모두 열로 발생한다고 가정할 수 있다. 이때의 최고 온도는 55.6°C까지 도달하며 중앙에 배치된 LED 모듈 부근에서 최고 온도가 됨을 알 수 있다. 또한 프레임을 통한 방열이 된다고 가정하면 방열은 충분할 것으로 사료되고 인가된 전력 중에 70%는 열로 전환된다고 가정하면 예상 최고온도는 46°C 정도가 될 것으로 판단 된다.

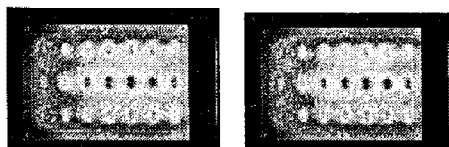


그림 8. LED모듈에 15 W(좌)를 인가한 경우와 30 W(우)를 인가한 경우 방열시뮬레이션 결과

## 2.4 광색 /색온도 제어회로

광색/ 색온도 설계제어회로의 목적은 DMX 512 신호 체계를 이용하여 Warm White, Cool White LED의 색온도를 조정 하는데 목적이 있다. SMPS로부터 24V의 전원을 DC CONVERTER 1,2가 각각 5V와 12V로 전원을 변환 시켜 PWM DRIVER 와 MCU에 전원을 인가해준다. MCU 에서는 외부 컨트롤러로부터 DATA를 받으면, 그 DATA를 PWM DRIVER로 보낸다. PWM DRIVER는 MCU의 신호를 받아서 전압, 전류를 증폭해주고 이를 S/W DECVICE 로 보내 LED의 색온도 및 광색 가변을 컨트롤한다.

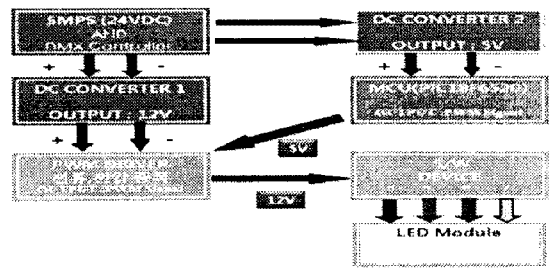


그림 9. 색온도/광색가변 제어회로 Block Diagram

## 2.5 조명시스템 구동회로 설계

건물 실내조명에 사용되는 60W급 LED 조명기구의 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. 60W급 전원회로 설계는 그림 10의 60W급 전원회로 Block Diagram에서와 같이 볼 수 있듯이 Current mode로 회로를 제어하여 과전압과 과전류에 대하여 구동부분을 보호 할 수 있도록 하고, 일정한 전압을 안정적으로 DC\_DC 구동부(One-Stage)에 전달 할 수 있도록 설계 하였다.

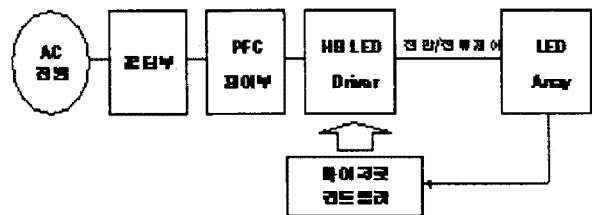


그림 10. 60W급 전원회로 Block Diagram

## 3. 시제품 제작 및 성능 측정

### 3.1 시제품 제작

주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 제품은 형광등을 대체 할 수 있도록 개발 하였고, 광색/색온도를 조절 기능 및 리모콘 기능을 추가 하였다. 그림 11은 실제 제작한 시제품의 형상을 보여주고 있다.

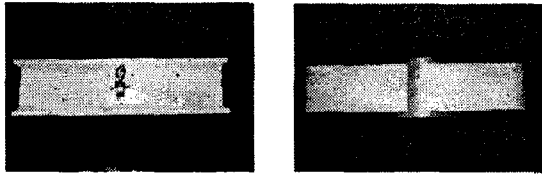


그림 11. 실내 전반 조명용 시제품 형상

### 3.2 시제품 성능 측정

#### 3.2.1 전기적 성능

표 3는 LED Module 시제품의 전기적 특성 측정 결과를 나타낸 것으로, LED DC-DC 구동회로 시제품의 입력 전압 사양은 90~264 Vac에서 동작되며, 출력 전압은 DC 24V, 3A의 출력을 특성을 가지고 있다. 그리고 83% 이상의 회로효율을 나타내고 있다.

표 3. LED 구동회로시제품의 전기적 특성 측정결과

Vin [Vac]	Iout[A]	Vout[Vdc]	Pout [W]	Pin [W]	Effi[%]
220	3	24	52.96	59.48	89.05%

#### 3.2.2 광학적 성능 측정결과

개발된 시제품의 색온도 범위 및 색온도 변화에 대한 Cool White ,Warm White LED의 duty ratio 값은 그림 12(상)와 같고 ,색온도 가변 범위는 3,000~7,000K까지 입을 알 수 있다. 그림 12(하)을 보면 주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 제품을 이용한 형광등 대체형 조명기구의 색온도가 3,000~7,000K까지 변화할 때에 흑체의 궤적을 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

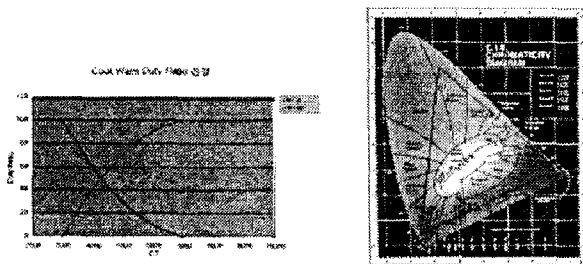


그림 12. 색온도에 따른 duty ratio(상)와 측정된 흑체 궤적(하) 변화

표 4는 색온도 변화에 따른 CIE 1931 색좌표 x, y 값 및 1m에서의 조도 값을 나타내고 있다. 조도값을 보면 1,150lx ~ 1,170lx 까지 색온도에 따라서 변화하며

Cool White ,Warm White LED의 Duty Ratio를 각각 100으로 하였을 때는 1,156lx, 1,170lx 가 측정되었다.

표 4. 색온도 변화에 따른 CIE 1931 x, y 값 및 조도 측정값

색온도	색좌표	x	y	Ev
3000		0.4376	0.416	1.156
4000		0.3794	0.3769	1.158
5000		0.3398	0.3498	1.189
6000		0.3169	0.3342	1.204
7000		0.3062	0.3266	1.270

그림 13는 광기술원이 보유하고 있는 Goniometer를 이용하여 시제품의 배광 성능을 측정한 결과로 확산 배광의 특성을 그대로 나타내고 있으며 발산각 또한 최대 광도의 1/2 기준으로 100° 이상을 만족시켰다.

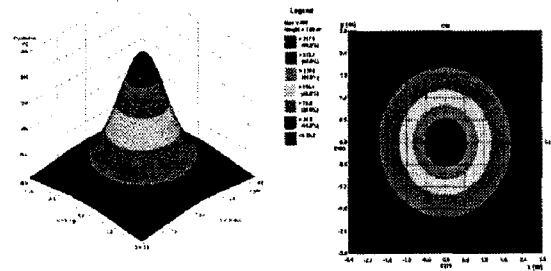


그림 13. Goniometer를 이용한 시제품의 배광 특성 측정 결과

## 4. 결 론

본 논문에서는 현대의 고효율 에너지 선호에 적합한 주광의 색온도와 일치하는 실내 전반 조명용 제품을 개발한 결과 회로효율 85% 이상 이고 ,발산각은 최대 광도의 1/2 기준으로 100° 이상을 만족시켰다. 또한 색온도는 3000~7000K로 실시간으로 제어 가능 하고 원하는 색온도를 구현 할 수 있도록 하였다.

향후에는 주광과 실시간으로 일치하는 색온도 제어기술 뿐만 아니라 스펙트럼 분포 까지 일치시켜 연색성까지 개발 하여야 할 것이다. 이 기술을 전반 조명용 광원에 적용하면 인간의 생체리듬을 왜곡시키지는 감성조명을 구현 할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 이성룡, 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
- (3) 白鐘燦 (2005) 「움직임을 이용한 감성 조명 연구」