

개별 Reflector를 이용한 100W RGBY LED 투광기 개발 (Development of 100W RGBY flood lighting system using separate reflector)

김 기훈* · 박 정욱 · 김 영우 · 김 진홍 · 천 우영 · 송 상빈

(한국광기술원)

(Gi-Hoon Kim* · Joung Wook Park · Young-Woo Kim, Jin-Hong Kim · Woo-Young Cheon · Sang-Bin Song)

Abstract

색온도 및 광색 가변형 100W RGBY LED 투광기를 개발하기 위하여, 투광기의 광학 및 방열기구를 설계하였다. 또한 100W LED 광원모듈을 구동하기 위한 구동회로와 색온도 및 광색 가변을 위한 제어회로를 개발하였다. 이와 같은 설계결과를 적용하여 100W RGBY 투광기의 시제품을 제작하였고, 시제품의 광학적 성능은 협각 20°, 중각 50°, 광각 75° 이상을 만족시켰다. 또한 색온도의 변화는 CIE 1931 색좌표에서 흑체체적과 일치하여 2,000K~10,000K 까지 변화하도록 R,G,B,Y LED의 Duty Ratio를 설정하였다. 또한 방열 특성은 100W 구동시 녹색 LED의 온도는 37~41.3 °C, heatsink의 온도는 34~35 °C에서 동작되도록 하였다.

1. 서론

LED를 이용한 조명 기구는 에너지 절감 효과가 높고 시인성이 좋아 미래의 조명 광원으로서는 매우 유력하며, 에너지 절감 차원에서 향후 수 년 내에 고부가 가치 조명 분야를 시작으로 일반 조명 분야로 LED 광원이 사용될 것이다. 현재의 기술로서 가장 효과 있는 LED 조명분야는 가격적인 부분에서 고부가가치를 창출할 수 있고 고온동작에서 자유로운 건축물이나 조형물 등에 사용하는 실내의 고광도 투광기이며, LED를 이용한 실내조명 분야의 진입은 제조 원가가 매우 높아 아직 시기상조이나 실외 조명용 투광기는 상용화가 가능할 것으로 생각된다[1].

2. RGBY 100W 투광기 광학설계

2.1. 목표배광의 설정

RGBY 100W 투광기의 목표 배광은 협각, 중각, 광각 3가지로 나누어 협각의 경우 그림 1과 같이 하였다. 협각은 빔각 10~30°, 중각은 빔각 30~70°, 광각은 빔각 70~150°를 만족시켜야 한다. 빔각이란 광원 중심축의 최대광도와 최대광도의 1/10이 이루는 각도이다.

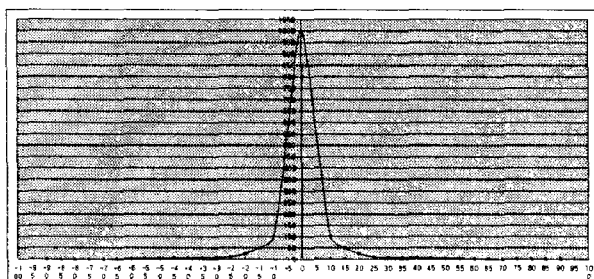


그림 1. 협각용 투광기의 목표배광

2.2. 광원 모듈의 조건

그림 2는 광원 모듈의 LED Array 및 크기를 나타내고 있다. 광원 모듈의 전체 크기는 가로×세로, 300×150mm의 크기를 갖고 있으며, LED Package는 R, G, B, A의 4개 chip이 1 Package안에 내장되어 있다. LED Package의 총 개수는 16×8개로 되어있으며, LED Package의 중심점 사이의 거리는 14mm 이다.

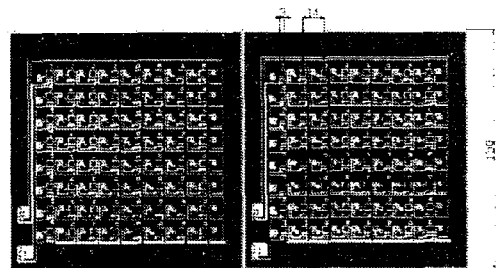


그림 2. LED Array 및 광원 모듈의 크기

2.3. 광학설계 결과

이론적으로 reflector의 최대크기는 광원 모듈 최대치수의 5~7배가 필요하다. 따라서 현재의 광원 모듈의 크기로는 reflector의 크기가 매우 커지기 때문에 LED 광원모듈의 LED Package의 간격을 연장시키고, 빛을 개별적으로 제어하기 위한 개별형 reflector를 설계하였다. 다음 그림 3~5까지는 개별형 reflector의 배광 시뮬레이션 결과를 나타내고 있고 그림 6은 협각용 reflector의 형상과 ray tracing 결과를 나타내고 있다.

그림 3~5까지를 보면 협각일 경우는 빔각이 20°, 중각일 경우는 빔각이 50°, 광각일 경우는 빔각이 80°로 목표배광의 빔각을 모두 만족시키고 있다.

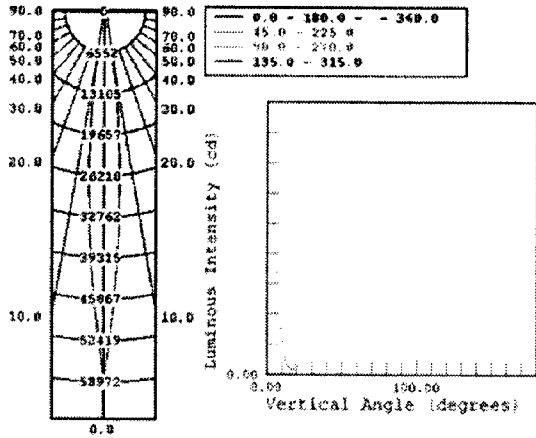


그림 3. 협각용 reflector의 배광 시뮬레이션 결과

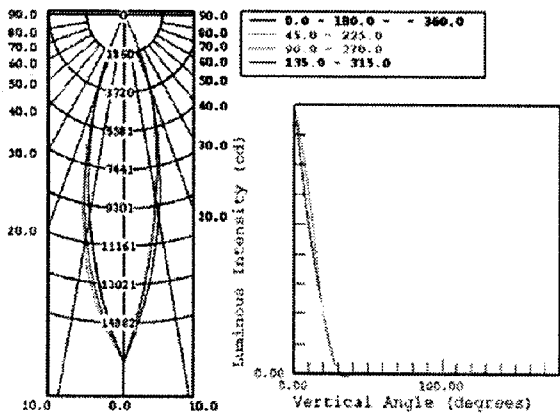


그림 4. 중각용 reflector의 배광 시뮬레이션 결과

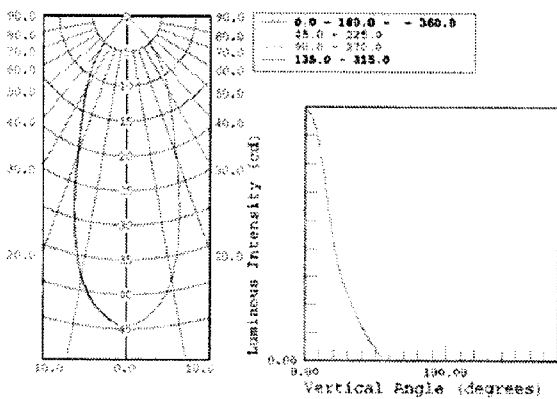


그림 5. 광각용 reflector의 배광 시뮬레이션 결과

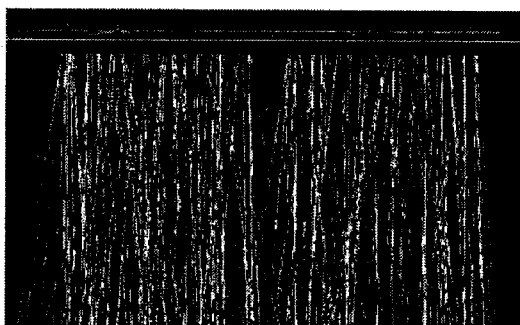


그림 6. 협각용 reflector 형상 및 Ray-tracing 결과

3. 100W 투광등기구 방열 설계

방열 기구 설계를 위하여서는 LED로부터 발생되는 열과 패키지 및 모듈의 열 저항이 반영되어야 한다. 방열 기구 해석을 위하여 RGBY가 적용된 패키지의 열 저항에 대한 측정 결과는 1.25 K/W로서 패키지 내에 청색 LED 4개가 직렬로 연결된 상태에 대하여 측정된 46 K/W에 대하여 4개의 병렬 연결에 대한 계산을 하여 산출한 결과이다. 그림 7은 이에 대한 70℃ 이하 접합 온도 유지를 위한 최소의 방열 면적과 이 때의 자연 대류 상태로부터 Heatsink 표면의 대류 열 전달 계수 (convective heat transfer coefficient)를 추출한 결과이다. 최소의 방열 면적은 3,880 cm² 이며, heatsink fin의 끝은 3 W/K-m², 마루의 면은 10 W/K-m²이고, fin의 측면은 5 W/K-m² 이다.



그림 7. 70℃ 이하 유지의 방열 면적 전산 모사 및 대류 열전달 계수 추출

이에 대한 RGBY 모듈과 방열 및 광학 기구의 결합은 접합에 의한 열 저항을 최소화 하기 위하여 그림 8과 같이 밀착 구조를 통한 상하 조임 구조를 적용하였으며, 이에 대하여 열 유동 해석으로부터 추출된 대류 열 전달 계수를 반영한 열 전달 해석 결과는 그림 9와 같다. 열 전달 해석 결과 100W 구동 시에 LED의 온도는 54℃ 이며, Heatsink의 온도는 42℃ 이다. 그림 7의 열 유동 해석의 결과와 그림 9의 열 전달 해석 결과가 상이한 것은 기구 설계 단계에서 열 유동 해석으로부터 얻어진 최소 면적 보다 heatsink의 fin의 개수와 fin의 높이 및 결합 면적이 증가하여 유동 해석 보다 약 25℃ 낮은 온도 결과를 얻을 수 있었으며 최대 200 W 구동 시에도 80℃ 이하에서 동작할 수 있도록 설계하였다.

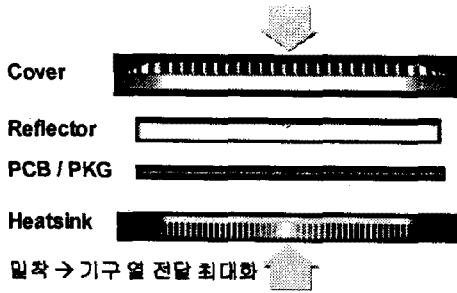


그림 8. 모듈과 기구의 결합 구조

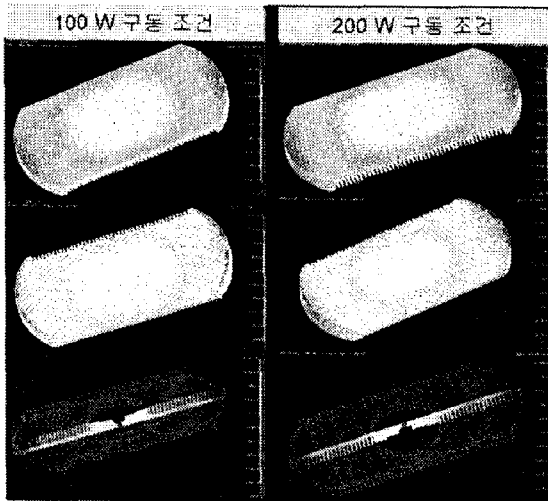


그림 9. 열전달 해석 결과

4. 100W 전원회로 설계

100W 전원회로 설계는 그림 10의 100W 전원회로 Block Diagram에서 볼 수 있듯이 역률(PF) 회로를 가지고 있는 Two Stage 방식으로 구성하였다. 제일 앞단(One-Stage)은 역률보상회로 부분으로 구성되어 있으며, 이는 Voltage mode로 회로를 제어하여 과전압과 과전류에 대하여 PFC 구동부분을 보호 할 수 있도록 하고, 안정적으로 일정한 전압을 DC-DC 구동부에 전달할 수 있도록 하기 위함이다. DC-DC 구동부는 PWM 제어를 통한 Current mode 방식을 채용하여 일정한 출력을 발생하도록 설계하였고, 과전압과 과전류, 온도 보상 회로가 포함되어 전원회로 및 LED 모듈을 보호할 수 있도록 설계하였다.

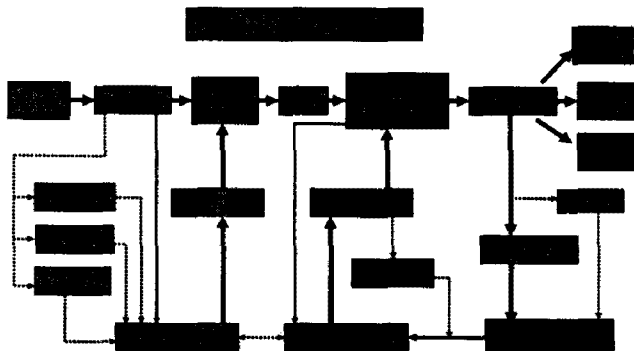


그림 10. 100W 전원회로 Block Diagram

5. 색온도/광색가변 제어회로 개발

색온도/광색가변 제어회로 개발은 자체 Protocol에 의한 신호 체계를 이용하여 R, G, B, Y LED의 색온도를 조정 하는데 목적이 있다. SMPS로부터 공급 받은 24[V]의 전원을 전원 분배 회로를 거쳐 각각 12[V]와 5[V]로 변환 시켜 24[V]는 100W 투광기로 12[V]는 PLC 모듈 전원으로 5[V]는 MPU 전원으로 사용하였다. PLC 모듈은 PC에서 전송되는 Data를 Main Controller의 전력선을 통해 Data를 받으면 그 Data를 MPU 수신 포트에 전달한다. MPU에 전달된 신호는 마이크로프로세서가 처리하여 PWM신호를 LED Driver로 보낸다. LED Driver는 MPU의 PWM신호를 받아서 Duty 값에 의해 LED의 색온도 및 광색 가변을 제어하게 된다[2].

PC로부터 전송되는 데이터 값에 의해 드라이버는 색온도 2000~10000K까지 조절가능 하도록 개발하였다.

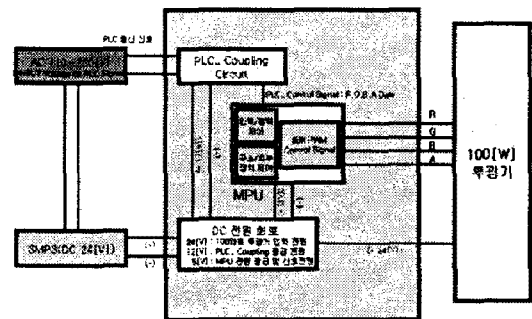


그림 11. 색온도/광색가변 제어회로 블록도

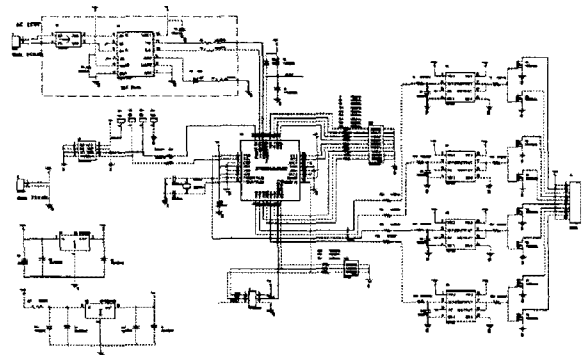


그림 12. 색온도/광색가변 Drive Board 회로도

6. 시제품 제작 및 성능측정

100W 투광기 시제품 제작을 위해서 먼저 LED Package 광원 모듈 및 Heat-Sink, reflector 3종(협각, 중각, 광각), 외함 및 지지대 등으로 부품을 구성하고 그 각각을 제작한 다음 최종 결합하였다. 그림 13은 100W 투광기의 방열기구 모델링 및 최종 결합한 시제품을 나타내고 있다. 그림 14는 LED 투광기의 색온도

가 2,000K~10,000K까지 변화할 때 R, G, B, Y 밝기 비율을 나타내고 있고 그림 14는 CIE 1931 색좌표 상에서의 색온도의 변화를 나타내고 있다. 그림 14를 보면 색온도가 2,000K ~10,000K 까지 변화하는 동안 흑체체적과 거의 일치하여 변화하는 것을 알 수 있다.

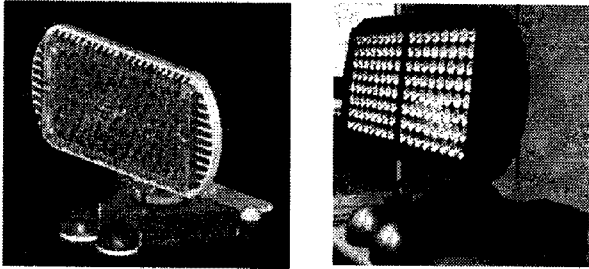


그림 13. 100 W급 RGBY 투광기의 방열기구 모델링 및 제작 결과

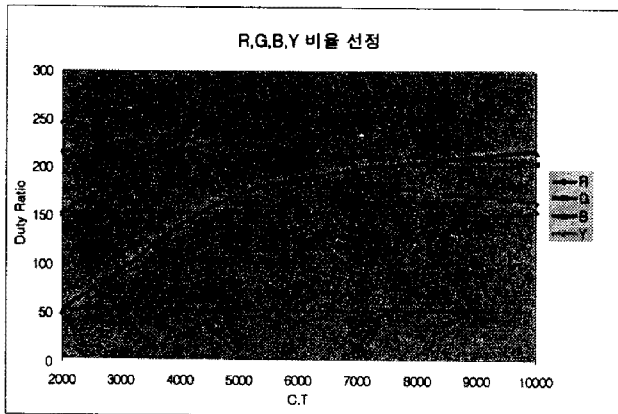


그림 14. 목표 색온도의 변화에 따른 R, G, B, Y 밝기 비율

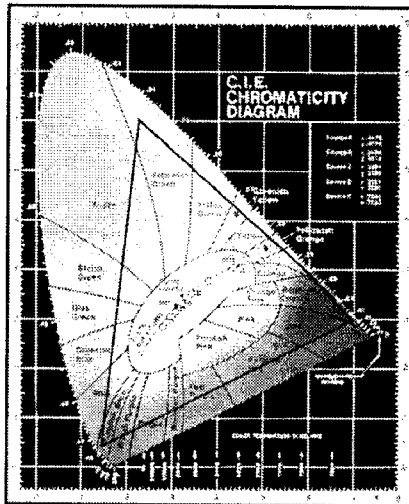


그림 15. CIE 1931 색좌표 상에서의 목표 색온도의 변화 시제품의 광학적인 특성은 협각, 중각, 광각용 reflector를 적용하여 3가지 모두에 대한 배광을 측정하였다. 시제품의 배광은 한국광기술원이 보유하고 있는 Goniometer를 이용하여 측정하였다. 그 결과 협각의 경우 최대광도는 52,733 cd를 달성할 수 있었으며, 빔각은 최대광도의 1/10으로 하였을 때 20°의 빔각을 만족시킬 수 있었다. 중각의 경우는 빔각 약 50°로 측정되었고 광각용 투광기의 배광특성은 빔각 75° 이상을 만족시켰

다. 그림 16은 협각의 경우 배광을 측정한 결과이다.

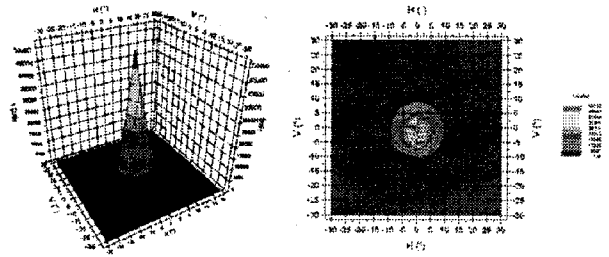


그림 16. 협각 reflector 적용시 배광 측정 결과

그림 17은 제작된 투광기의 100 W 구동시 열화상 카메라로 방열 특성을 측정한 결과이다. 복사도의 차이를 보정하기 위하여 Thermo-Couple를 이용하여 표식 지점에 대한 정합 및 보정을 하였다. 100W 구동시에 녹색 LED의 온도는 37~41.3 °C 분포하고, heatsink의 온도는 34~35 °C에 분포하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 열 전달 해석 보다 낮은 결과로서 해석 결과와 달리 기동 및 heatsink를 고정하기 위한 기구로 열이 방출되면서 더 낮은 온도 분포를 초래하였기 때문인 것으로 판단된다.

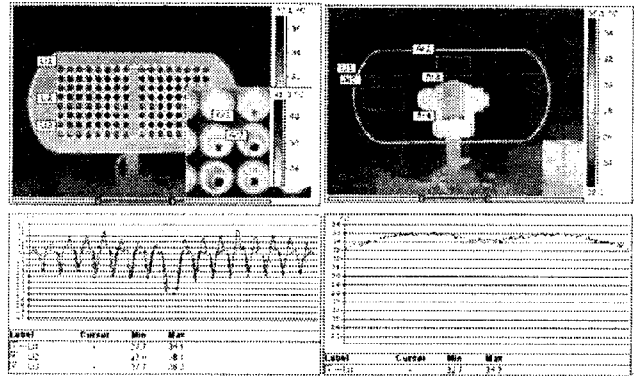


그림 17. 열 특성 측정 결과

7. 결론

색온도 및 광색 가변형 100W RGBY LED 투광기를 개발하기 위하여, 광학설계와 방열기구를 설계하였다. 또한 100W LED 광원모듈을 구동하기 위한 구동회로와 색온도 및 광색 가변을 위한 제어회로를 개발하였다. 이와 같은 설계결과를 적용하여 100W RGBY 투광기의 시제품을 제작하였고, 시제품의 광학적 성능은 협각의 경우 빔각 20°, 중각 50°, 광각 75° 이상을 만족시켰다. 또한 색온도의 변화는 CIE 1931 색좌표에서 흑체체적과 일치하여 2,000K~10,000K까지 변화하도록 설정하였다. 또한 100W 구동시에 녹색 LED의 온도는 37~41.3 °C, heatsink의 온도는 34~35 °C에서 동작되도록 하였다.

참 고 문 헌

- (1) 日本照明學會, "LED 照明ハンドブック", 2006, pp.28~41.
- (2) Nadarajah Narendran and Lei Deng, "Color tunable LED spot lighting," Proceedings of SPIE, 2007.