

Channel letter용 High Power LED Module 개발

(Development of High power LED module for Channel letter)

김 진홍* · 송 상빈 · 김 기훈

(한국광기술원)

(Jin-Hong Kim · Sang-Bin Song · Gi-Hoon Kim)

Abstract

Channel letter용 High Power LED Module 개발하기 위하여, 1W 백색(단색) LED 1EA LED Module과 1W 백색(단색) LED 3EA LED Module, 3W RGB LED 1EA LED Module에 대한 3종의 제품 개발하고, 고효율 RGB LED SMPS 회로 설계, 광색 가변을 위한 RGB LED 최적 배치 및 렌즈 설계, 고출력 1W LED Module 방열 설계 및 기구 개발, SMPS 회로 및 RGB LED 배열 회로 통합 시제품 직접 제작하였다, 신뢰성 평가 및 성능 시험 등을 실시하였으며, T자형 Channel letter에 기존 고휘도 LED Module과 개발된 고출력 LED Module을 동시에 적용한 결과, 기존 고휘도 LED Module를 사용하였을 경우에는 1W × 10개로 10W의 전력을 소비하였으나 개발된 고출력 LED Module은 3W × 3개로 9W의 전력을 소비하였으며 1W의 에너지가 절감 되었음에도 불구하고 평균 휘도는 약 2.5배, 균제도는 1.43 배가 더 우수한 결과를 얻었다.

1. 서론

Channel letter용 High Power LED Module 개발하기 위하여 4개 사의 LED 패키지를 선정하여 전기적, 광학적 특성을 측정하고 그 중 가장 적절한 LED 패키지를 LED Module 제작에 적용하였다. 그리고 Channel letter 조명기기의 기준을 만족시키기 위하여 LED로부터 방출되는 광선을 Channel letter 조명에 적합한 배광으로 제어하기 위한 렌즈설계를 하였다. 그리고 LED로부터 발산되는 열을 최적화하기 위한 최적의 Heat-Sink 구조를 설계하였으며, LED를 구동하기 위한 고효율 RGB LED SMPS의 구동회로를 설계하였다. 그리고 이러한 설계안을 가지고 시제품을 제작하였으며 시제품의 전기적, 광학적 성능을 측정하였다.

단 부에 기구물과 부착을 용이 하게 하게 설계하였고 고정편을 포함하여 크기 L70×W40×H30mm으로 최소화 하였다.

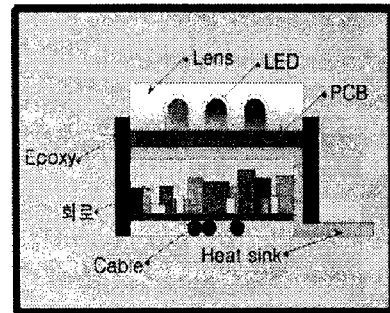


그림 1. 디자인 시안

2. 채널래터용 High Power LED 설계

2.1 LED Bulb 디자인 및 구조설계

LED Bulb의 사이즈는 길이 47mm, 폭 40mm, 높이 30mm 로 하였고 그림 1과 같이 디자인 하였다. 그리고 기구물의 조립도는 그림 1과 같다.

방열 재료로는 알루미늄을 사용하였으며, LED에서 발생하는 열은 MCPCB ⇒ 히트싱크를 통하여 방출되도록 하였다. 그리고 Channel letter 방열판의 최적화는 LED가 설치된 MCPCB에 부착될 알루미늄 부분이 heat sink head 역할을 할 수 있도록 하며 주변부에 방열을 위한 fin을 설치하는 구조로 설계되었다 Panel 하

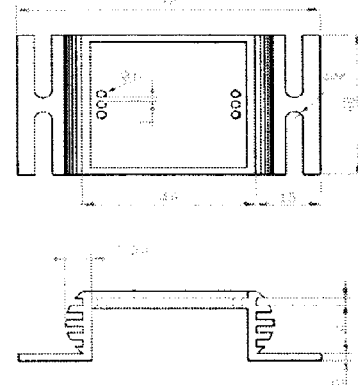


그림 2. LED Module Design

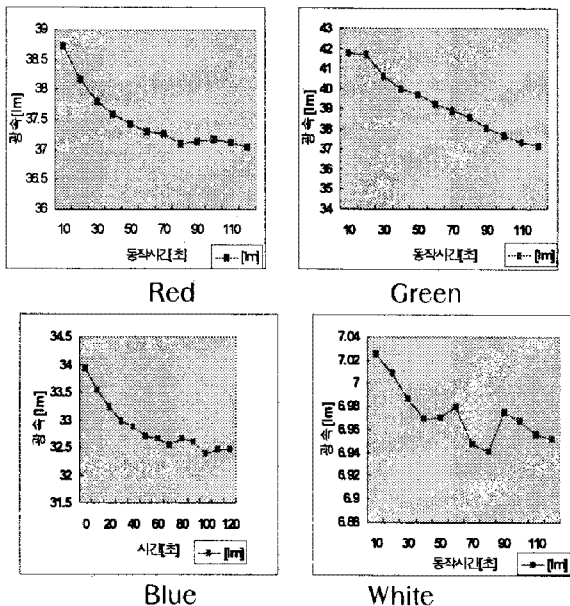
2.2 LED 패키지 선정 및 성능측정

Channel letter에 사용하는데 대표적으로 사용되는 백색 LED Package를 선정하기 위해서 4개사의 우수 1W 백색 LED 패키지에 대한 광학적·전기적 특성을 측정 및 데이터를 분석하였으며, 그 결과 Lumiled(사)의 1W Lambertian 제품을 선정하였다. 표 1은 이러한 4개 회사 1W 백색 LED 패키지에 대한 특성을 나타낸 것으로, 측정장비는 한국광기술원에 있는 LED Tester (모델명:OL770 UV/VIS), LED Thermal Transient Test System을 이용하여 측정하였다. 그 결과, L(사)의 1W 백색 Lambertian LED 제품이 매우 우수함을 알 수 있었으며, 그림 3은 Red, Green, Blue, White LED의 안정화 될 때까지의 시간에 대한 광속의 변화를 나타내고 있다. 시간에 따른 광속변화가 크게 나타남으로 LED Module에 대한 방열설계를 최적화하기 위한 특성을 검토 하였다. 이를 바탕으로 하여 RGB LED를 결정 하였다.

표 1. 4개사의 1W 백색 LED 패키지 특성

구분	중심도 [cd]	발산각 [°]	광속 [lm]	발광효율 [lm/W]	동작전압 [V]	열저항 [K/W]	비고
L사	9.55	119	31.33	25.33	3.55	10.36	
S1사	12.59	116	34.78	29.00	3.69	11.75	정격전류 700mA
S2사	8.84	130	28.88	25.13	3.29	9.51	
N사	10.85	110	32.51	28.17	3.85	17.82	20초후 OFF
O사	10.03	106	26.20	28.15	3.06	14.87	
H사	9.38	100	22.25	23.36	3.13	11.67	

그림 3. LED의 동작시간에 따른 광출력 변화



2.3 LED 배치

LED Module의 제작을 위한 채널레터 한 모듈의 크기는 한 변 길이가 40mm인 정사각형이고 정사각형의 중심을 원점으로 할 때에 광색혼합을 위한 LED의 위치는 120° 간격으로 배치하였다. 그림 15는 채널레터 정사각형 내의 중심을 원점으로 하였을 때의 LED 좌표를 나타내고 있다. 또한 LED의 크기는 직경이 8mm이고 실제 LED가 PCB Board에 장착되었을 때의 채널레터 한 모듈의 구조 및 치수는 LED가 장착될 수 있는 사이즈는 외함의 두께를 제외하고 한 변 길이가 37mm인 정사각형이며 그림 4과 같다.

축대칭 형 배열은 광학적 성능뿐 아니라 방열 성능에도 유리하다.

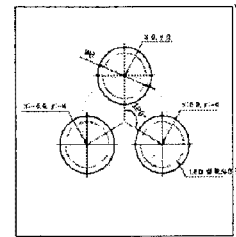
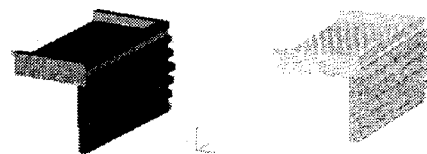


그림 4. LED 배치

2.4 LED Module 방열설계

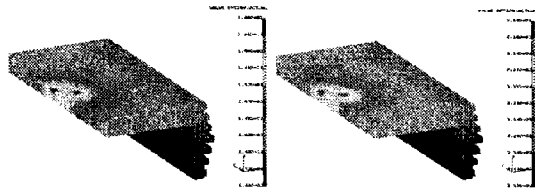
Channel letter는 소형의 구조물로서 무게와 사용의 편리성을 위하여 소형이면서 방열 효율이 떨어지지 않는 구조로 방열설계가 이루어졌다. Channel letter 방열판의 최적화는 LED가 설치된 메탈 PCB에 부착될 알루미늄 부분이 heat sink head 역할을 할 수 있도록 하며 주변부에 방열을 위한 fin을 설치하는 구조로 설계되었다. 방열판 및 시스템 전체의 방열 해석을 위하여 1/2모델을 사용하였으며 방열판의 물질은 가공성과 열전도성을 고려하여 열전도도(thermal conductivity) $k = 171 \text{ W/m}^2\text{K}$, 비열(specific heat) $C_p = 798 \text{ J/kg}^{\circ}\text{K}$ 인 aluminum 6061 계열을 사용하였다. 방열 시뮬레이션을 위한 모델은 그림 5에 나타내었다.



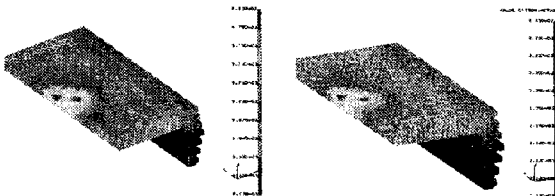
(a) 3차원 모델
(b) 방열 시뮬레이션을 위한 FE model
그림 5. Half model of Channel letter

방열 해석 모델은 LED가 위치한 메탈 PCB와 heat sink의 head가 겹쳐져 전도에 의한 열전달이 이루어지며 대류면이 최대화 하는 조건에서 시제품 제작이 용이

한 구조로 초기화 하였다. 이 모델의 좌표계는 channel letter의 가로 방향을 x축, 세로 방향을 y축으로 하였으며 광축 혹은 빛이 나오는 방향을 z축으로 가정하였다. 방열핀의 배열은 세로방향, y 방향으로 1.5mm의 두께의 7개의 핀으로 구성되어 있으며 핀의 길이는 외관의 모양을 고려하여 0.5mm에서 1.5mm 까지 arch형으로 배열하였다. 방열 해석은 LED 자체의 온도변화를 해석하기 보다는 LED가 배열된 위치에서 전달된 열이 방열 시스템 (heat sink 와 연동된 외부구조)에 의하여 전달되는 량을 해석하기 위한 글로벌 모델링을 수행하였다. 모델링을 통한 최적화는 최대 온도변화를 기준으로 하였다. 이 모델의 온도조건은 ambient temperature를 25°C와 30°C로 설정하여 자연대류에 의한 heat convection coefficient 값을 5W/m²C와 10W/m²C를 사용하여 channel letter 전체의 온도변화를 계산하여 그림 6에 정리하였다. 그림 6의 결과는 1W LED 전체의 발열을 가정한 것이며(half model with 1.5W) 전체 광량의 70%가 발열하는 경우 (half model with 1.05W)를 가정하면 최대온도는 164°C가 됨을 알 수 있다. 그림 7에 이와 같은 결과를 나타내었다.



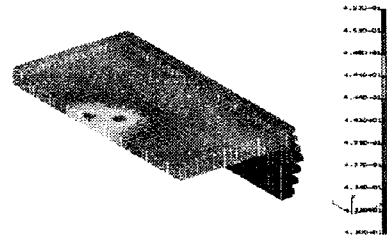
(a) Maximum Temperature 216°C, ambient temperature 25°C, h=5W/m²C
 (b) Maximum Temperature 221°C, ambient temperature 30°C, h=5W/m²C
 그림 6. Temperature on Channel Letter with 1.5W Heat



(a) Maximum Temperature 164°C, ambient temperature 30°C, h=5W/m²C
 (b) Maximum Temperature 98°C, ambient temperature 30°C, h=10W/m²C
 그림 7. Temperature on Channel Letter with 1.05W Heat

이와 같은 결과를 바탕으로 외부 대류 조건에 따른 channel letter의 온도변화를 계산하기 위하여 heat transfer coefficient (h) 값을 h=10W/m²C 인 경우와 h=50W/m²C 경우를 시뮬레이션 하여 결과를 그림 8에

나타내었다. 몇 가지 경우의 parametric study를 통하여 channel letter의 방열 시뮬레이션을 수행하였으며, 결과적으로 온도분포는 외부 대류조건, heat transfer coefficient에 의한 변화가 가장 중요하고



(Maximum Temperature 45°C, ambient temperature 30°C, h=50W/m²C)
 그림 8. Temperature on Channel Letter with 1.05W Heat

두 개의 ambient temperature에 의한 온도 차이는 ambient temperature 차이 만큼 존재함을 알 수 있었다. 더불어서 chip 위치에 따른 온도의 변화는 극히 미약한 수준임을 알 수 있었다.

2.5 LED Bulb 렌즈 설계

채널레터 한 모듈의 크기는 한 번 길이가 40mm인 정사각형이고 정사각형의 중심을 원점으로 할 때에 광색혼합을 위한 LED의 위치는 120° 간격으로 배치하였다. 그림 9는 채널레터 정사각형 내의 중심을 원점으로 하였을 때의 LED 좌표를 나타내고 있다. 또한 LED의 크기는 직경이 8mm이고 실제 LED가 PCB Board에 장착되었을 때의 채널레터 한 모듈의 구조 및 치수는 그림 10과 같다

그림 10과 같은 채널레터의 구조와 LED의 크기를 가지고 채널레터 용도에 적합한 렌즈광학 설계를 하기 위하여 목표 배광을 결정하였다. 채널레터용 LED 모듈의 배광은 채널레터가 실제 Sign Board

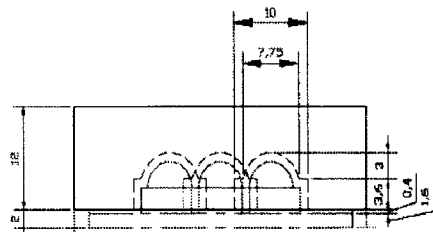


그림 9. 광색혼합을 위한 LED 배치

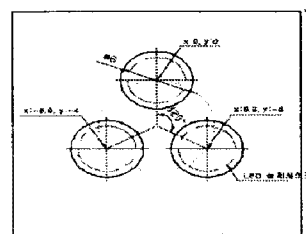


그림 10. LED와 채널레터의 구조 및 치수

안에 내장될 때에 채널레터 board의 높이를 20cm라고 가정하고, 20cm 높이의 Sign Board 바깥쪽 표면, 즉 사람이 바로 보는 면의 휘도를 균일하게 하여 모든 방향에서 사람이 Sign Board를 보았을 때 그 값이 균일하여야 한다. 그러기 위해서는 sing board 표면과 거리가 가장 가까운 방향, 즉 0° 방향의 광도는 다른 방향의 광도 보다 상대적으로 작아야하고, 각도가 증가할수록 sing board 표면과 거리가 조금씩 증가하므로 그와 비례해서 광도는 점차적으로 커져야 한다. 그러나 그 거리는 크지 않으므로 광도의 감소율도 매우 클 필요는 없다. 이러한 목표 배광을 달성하기 위한 RGB LED 3개를 사용하였을 때의 ray tracing 및 배광을 나타내면 그림 11과 같다.

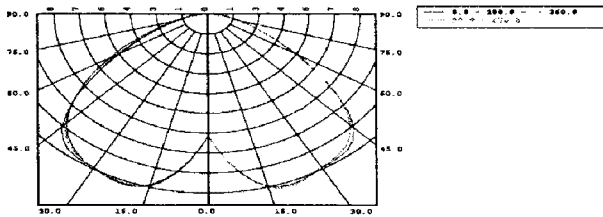


그림 11. Channel letter용 RGB LED 모듈의 배광 특성

이러한 그림 11의 배광특성을 만족시키기 위하여 Photopia 조명광학설계 프로그램을 이용하여 광학설계를 실시한 결과, 그림 12과 같이 채널레터용 LED 모듈의 렌즈 구조 및 치수를 가지면 실현됨을 알 수 있었다.

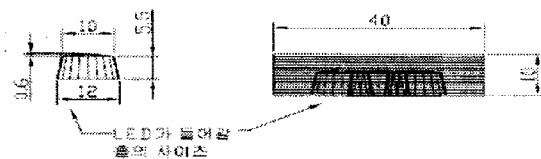


그림 12. 채널레터용 렌즈 형상 및 치수

그림 13는 최적 광학 설계된 LED Array 렌즈를 사용하여 Photopia 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다

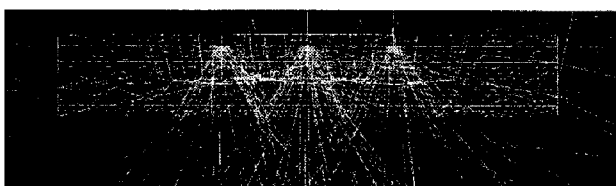


그림 13. 채널레터용 렌즈 설계 결과(Ray Tracing결과)

2.6 LED 구동회로 설계

LED 구동회로 설계는 그림 14의 LED 구동회로 DC-DC Block Diagram에서 볼 수 있듯이 Buck-Boost 방식으로 구성하였다. 전력 반도체 스위치, 커패시터, 인

덕터, 다이오드로 구성하였으며, DC-DC 구동회로에서 반도체 스위치는 입력측에서 출력측으로 전달되는 에너지를 제어하는 기능을 한다. 또한 인덕터와 커패시터는 에너지를 전달하는 매개 역할을 하거나, 출력 전압의 불필요한 리플 성분(ripple components)을 제거하기 위한 필터 역할을 할 수 있도록 설계하였다. 그림 14는 구동회로 DC-DC Block Diagram 나타내고 있다.[3]

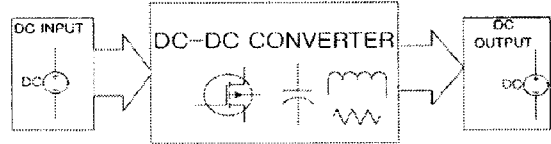


그림 14. LED 구동회로DC-DC Block Diagram

3. 시제품 제작 및 성능 측정

3.1 시제품 제작

2장에서와 같은 LED Module디자인 및 구조설계, 방열설계, 렌즈설계 안을 가지고 그림 15과 같이 기구물을 제작하여 조립하였다. 그림 16은 LED Module 시제품의 구조를 나타내고 있다.

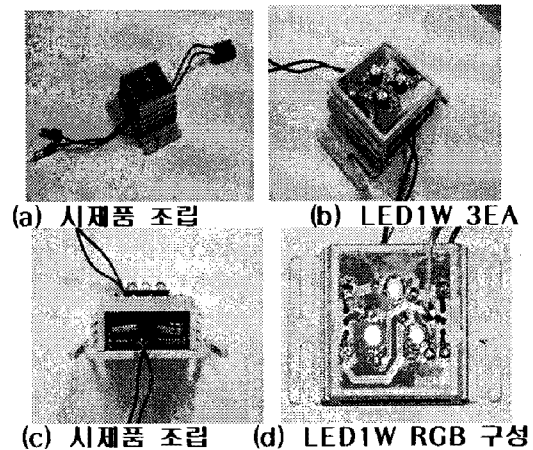
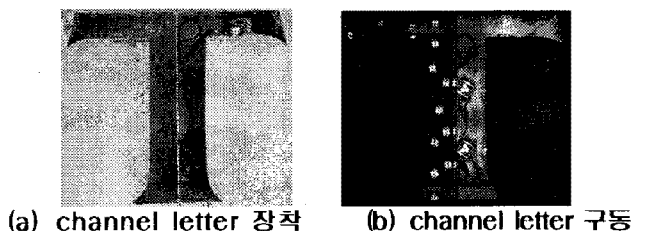


그림 15. LED Module 시제품 구조

제작된 LED Channel letter을 조립하여 "T"자형 (W 60cm× H 48cm× 글자폭 20cm) Channel에 왼쪽에는 기존은 고휘도 LED 제품을 10ea 장착하고 오른쪽에 개발된 LED 시제품을 3개를 장착하였다. 그림 16은 LED Channel letter T자형에 LED 모듈을 장착하고 발광하는 모습을 나타내고 있다.





(전원투입 전) (전원투입 후)
 (C) 왼쪽 기존 LED Channel letter, 오른쪽 시제품 적용
 그림 16. 시제품 T자 Channel letter에 LED Module 적용

4.2 시제품 성능

4.2.1 전기적 성능

표 2은 LED Module 시제품의 전기적 특성 측정 결과를 나타낸 것으로, LED DC-DC 구동회로 시제품의 입력 전압 사양은 12Vdc (+/-5%)에서 동작되며, 출력 전압은 3.4Vdc, 350mA의 출력을 특성을 가지고 있다. 그리고 85% 이상의 효율을 나타내고 있다.

표 2. LED Module 시제품의 전기적 특성 측정결과

Vin [Vdc]	Iout[A]	Vout[Vdc]	Pout [W]	Pin [W]	Effi[%]
12	0.32	3.4	3.26	3.4	96%

4.2.2 광학적 성능

그림 17은 개발한 시제품의 렌즈를 적용하지 않은 상태에서의 배광을 측정한 것이다. 중심부의 광도가 다른 방향의 광도에 비해서 매우 큰 집광형 형태의 배광이고 중심광도의 1/2 발산각은 120° 정도이다.

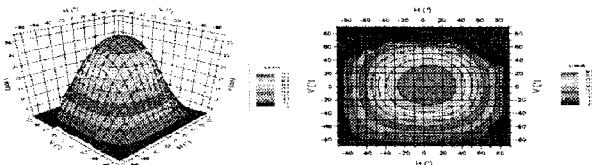


그림 17. 렌즈 미적용의 LED 자체만의 배광 분포

그러나 그림 18의 렌즈를 적용하였을 때의 배광은 중심부의 광도가 다른 방향의 광도에 비해서 상대적으로 작으며 목포배광 및 광학설계 배광분포와 매우 비슷하다.

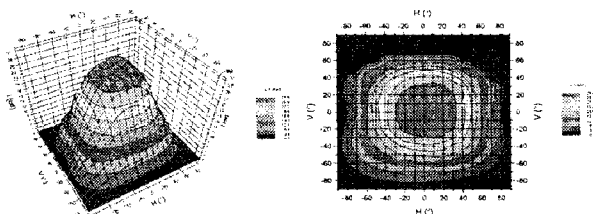


그림 18. 렌즈 적용시의 배광 분포
 중심광도의 1/2 발산각은 렌즈를 적용하지 않았을 때

와 동일한 120° 정도이지만, 중심광도가 낮고 근접한 LED Module의 조사범위가 아닌 곳에서는 매우 높은 광도를 실현하여 Channel letter의 휘도 균일도를 높일 수 있음을 알 수 있다. 3W급 RGB LED Module를 채널레터에 적용하였을 때의 광속은 주위온도 25.4℃에서 59.1 lm으로 측정되었고 적분구 내부에 위치시키고 광속을 측정하였을 때의 스펙트럼 분포는 그림 19과 같이 나타났다. 또한 3W급 RGB LED Module의 상관색온도는 5,948K를 나타냈으며, CIE x, y 색좌표값은 그림 20과 같다.

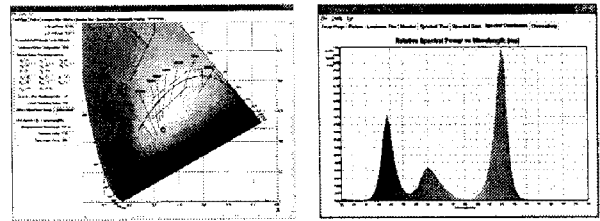


그림 19. 3W급 RGB LED Module의 스펙트럼 분포
 3W급 RGB LED Module의 CIE x, y 색좌표 상의 위치

4.2.2 색온도 및 광색분리 성능

개발한 채널레터를 실제 sing board에 적용하여 색온도 및 광색분리를 측정하기 위하여 3W급 RGB LED를 적용한 채널레터 3개를 20cm 높이를 갖는 상자 내부에 위치시키고 유백색 패널로 상자를 덮었다. 그리고 그림 20와 같이 CS-1000을 이용하여 CIE x, y, 색온도 및 휘도를 측정하였다. 측정거리는 유백색 sing board와 2m 거리에 CS-1000을 위치시켰다. 그리고 측정점은 유백색 sing board의 6점을 선정하였으며, 측정점의 위치는 그림 20와 같다.

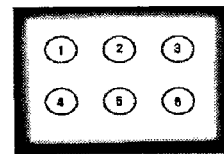


그림 20. 광색 분리 측정을 위한 측정점의 위치

그림 20의 각 측정점에 대한 x, y, 색온도, 휘도의 값은 표 3과 같이 측정되었다.

표 3. 광색분리도 측정 결과

point	x	y	K	Lv
1	0.3129	0.3381	6440	211
2	0.3131	0.3358	6441	243.9
3	0.3089	0.3256	6744	197.3
4	0.3062	0.3349	6825	217.3
5	0.3098	0.3297	6659	238.4
6	0.3046	0.3387	6877	223.5

측정점 6 point의 색온도를 색좌표 상에 위치시키

면 그림 21에서 보는 바와 흑체 궤적 상에서 거의 동일한 점에 존재하게 된다.

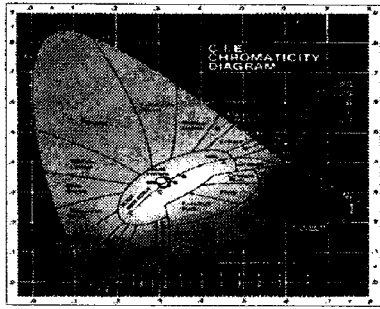


그림 21. 광색분리 측정 실험에서의 6 point에 대한 색온도 측정 결과

표 3의 6 point의 x, y 측정결과를 그림 22과 같이 MacAdam ellipse에 plot하면 2point 만을 제외하고 모든 점이 3 step ellipse 내에서 존재하고 모든 점들의 측정값은 12 step ellipse 내에 존재하였다. 그림 22에서 작은 타원이 3 step ellipse이고 보다 큰 타원이 12 step ellipse이다. MacAdam ellipse 이론은 측정된 색좌표가 인간의 눈으로 보았을 때 기준색 좌표와 동일한 색으로 보이는지를 평가해주는 이론으로서 다량의 조명제품의 광색의 균일성, 수명평가 등에 이용된다. 3 step ellipse의 경우는 전문가 집단에 적용되고 일반인에게는 12 step ellipse가 적용된다.[1]

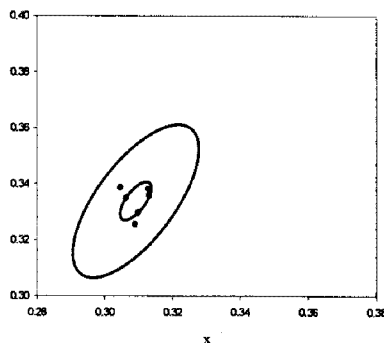


그림 22. MacAdam ellipse를 적용한 signal board의 색좌표 측정결과

표 4. LED Bulb의 정량적 성능지표

평가항목 (주요성능Spec ¹⁾)	단위	실적
1.Input Voltage	Vdc	12
2.Output Voltage	Vdc	3.4
3.Output Current	mA	350
4.효율	%	85
5.열저항	°C/W	20.891
6.Luminous Flux	lm	59.1
7.발산각	Degree	120 (확산배광)
8.색온도	K	5,948
9. 광색 분리 (Macadam Ellipse)	Step	≤12

5. 결론

4개사의 성능 우수 LED 패키지의 전기적·광학적특성을 비교 분석하여 Channel letter에 적합한 LED 패키지를 선정하고, 선정된 LED 패키지의 특성을 기반으로 하여 광학/방열/회로 설계를 실시하여 최적의 Channel letter용 LED Module을 개발하였다. Channel letter용 LED Module은 소형의 구조물로서 무게와 사용의 편리성을 위하여 소형이면서 방열 효율이 떨어지지 않도록 LED가 설치된 MCPCB에 부착될 알루미늄 부분이 heat sink head 역할을 수행하고 주변부에 방열을 위한 fin을 설치하는 구조로 설계하였으며, 전체 크기는 47(L)×40(W)×30(H)mm[고정핀포함] 70(L)×40(W)×30(H) [mm]로 소형화를 실현하였다. LED 구동회로는 제품의 양산시 가격과 전원회로의 크기를 작게 하기 위하여 비절연 Buck-Boost 방식 사용하여 LED 구동회로 설계하였으며, 그 결과 입력 전압 12Vdc (+/-5%)에서 동작되고 출력 전압은 3.4Vdc, 350mA의 출력, 85% 이상의 효율 확보하였다. 선정된 LED 패키지의 배광분포를 고려하고 조명광학 설계프로그램 Photopia를 이용하여 LED 최적 배치와 렌즈 설계 및 제작을 실시하였으며, Channel letter의 휘도 균일도를 높일 수 있는 배광과 120° 이상의 넓은 발산각, 59.1 lm 이상의 높은 광속, 색좌표값이 MacAdam ellipse의 12 step ellipse 내에 존재하여 색분리현상 제거가 이루어져 기존 제품과의 차별화를 실현하였다. T자형 Channel letter에 기존 고휘도 LED Module과 개발된 고출력 LED Module을 동시에 적용한 결과, 기존 고휘도 LED Module을 사용하였을 경우에는 1W × 10개로 10W의 전력을 소비하였으나 개발된 고출력 LED Module은 3W × 3개로 9W의 전력을 소비하였으며 1W의 에너지가 절감 되었음에도 불구하고 평균 휘도는 약 2.5배, 균제도는 1.43 배가 더 우수한 결과를 얻었다.

향후 양산 및 금형 제작시 기술적 고려사항으로는 렌즈 및 광학계 금형 사출시 구조 설계와 히트싱크 일체화에 따른 본체와 직접 연결 구조 설계가 필요하다.

본 연구는 산업자원부 지원 광기술력향상사업의 지원에 의해서 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Noboru Ohta, "색채공학", 국제 2003, pp.134~224
- [2] 日本照明學會, "LED 道路ハンドブック", 2006, pp.128~159
- [3] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", 문운당 2005, pp.218~232