

색온도 제어 가능한 승강기용 LED 조명제품 설계

(Design of LED lighting system for elevator based on color temperature control)

김 기훈* · 천 우영 · 김 진홍 · 송 상빈

(한국광기술원)

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

요 약

본 논문에서는 고 연색성의 실시간으로 색온도 제어 가능한 승강기용 조명제품 개발을 위하여 제품에 사용될 LED Package를 제작하고 고연색성 실현을 위한 색온도 제어 기초실험을 행하였다. 그리고 20W 급의 LED 광원 모듈 구동회로와 색온도 제어를 위한 제어회로를 설계하였다. 또한 음영 제거 및 글래어 차단, 효과적인 광색혼합을 위하여 확산배광을 달성하기 위한 R, G, B, A, W LED의 최적 배치 및 렌즈의 광학설계를 수행하였고 LED에서 발생하는 열을 효과적으로 발산하여 LED 조명모듈의 온도를 낮추기 위한 방열설계를 실시하였다.

1. 서 론

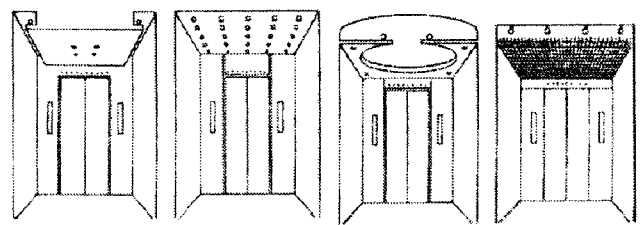
승강기검사기준에 의하면 “카에는 바닥면 및 제어장치를 위한 50[lx] 이상의 조도로 비출 수 있는 영구적으로 설치된 전기 조명을 갖추고 있어야 한다” 라고 명시하고 있고, 또한 “정전시에 램프중심부로부터 2[m] 떨어진 수직면사이의 조도를 1[lx] 이상으로 비출 수 있는 예비조명장치의 작동상태는 양호하여야 한다.” 라고 명시하고 있다[1]. 영구적인 전기조명을 실현하기 위해서는 장수명인 LED를 사용함으로써 실현할 수 있고, 타 광원에 비해 유지보수 비용을 크게 절감시킬 수 있다. 또한 LED는 광출력의 변화를 용이하게 할 수 있으므로 개별 LED의 점등 및 소등, 광출력의 변화로 별도의 예비조명장치 없이 1[lx]를 제공할 수 있다.

이와 같은 LED의 장점과 함께 주광의 색온도와 일치하도록 하는 색온도 제어기술을 LED 광원에 적용시킨다면 일시적으로 머무는 엘리베이터용 조명제품 뿐만이 아닌 미래의 실내 전반조명 조명분야에서 높은 부가가치를 실현할 수 있다. 그리고 주광과 동일한 색온도를 실내에서 실시간으로 느낄 수 있으므로 인간의 생체리듬을 왜곡시키지 않는 Health-care라는 측면에서 매우 중요한 기술이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 4계절 별로 일 중 주광의 색온도와 일치하는 고 연색성의 승강기용 LED 조명제품을 설계하였다.

2. 승강기 내부 조명의 요건

본질적으로 엘리베이터 카의 내부는 좁은 밀폐공간으로 타인끼리 서로 가까운 거리에서 얼굴을 마주보게 되므로 가능한 빨리 여기에서 벗어나고자 하는 심리가 작용한다. 따라서 카 내부에서는 수직의 집광성 있는 조

명은 사람의 얼굴에 그림자를 만들므로 적당하지 않고 오히려 코브나 확산성 있는 조명에 의해 무의미한 자극은 피하는 편이 좋다. 또한 피부를 건강하게 보이게 하는 연색성이 필요하다. 밝기는 각 층을 이동하는 공간이므로 입구 로비와 객실층 로비의 중간에 위치하도록 하는 것이 무난하다. 또한 객실층에서는 케이지에서 내려 순간적으로 시야의 확산을 느끼게 하므로 마주보는 벽에 월위서 조명방법도 있지만 이것만 가지고는 엘리베이터 앞에서 있는 사람이 그늘이 지기 때문에 쾌적하지 않다. 따라서 엘리베이터 앞의 바닥과 기다리고 있는 사람의 얼굴을 밝게 보이도록 하는 다운라이트와의 병용이 바람직하다. 1층의 엘리베이터 로비는 프론트와 같이 다른 장소에서 쉽게 보이도록 하는 밝기와 액센트가 필요하다.[2]



(a) 간접조명(코브)에 의해 벽면을 밝게 보이게 하는 경우
 (b) 아크릴 수지나 유리등에 의한 엔지라이트를 분산한 경우
 (c) 간접조명(코브)에 의해 천장면을 밝게 보이게 하는 경우
 (d) 아크릴과 루버에 의한 확산조명의 경우
 그림 1. 승강기 내부 조명방식

3. 색온도 제어 가능한

승강기용 LED 조명제품 설계

3.1 고연색성 실현을 위한 색온도 제어 기초실험

RGBY LED를 이용한 색온도 제어를 위하여 먼저 1W L(사)의 LED를 이용하여 색온도 구현을 위한 기초 실험을 실시하였다. 색온도의 정확한 실험을 위해서는 제조사가 제공하는 데이터시트는 실측치와 비교하여 차이가 존재할 수 있기 때문에 1W LED의 광학적, 전기적 특성을 직접 측정하였다.

이와 같이 RGBA LED 각각에 대한 측정 데이터를 가지고 색온도 구현에 대한 예비 실험을 수행하기 위해서, 그림 2와 같이 LED 개수를 총 12EA (RED : 3EA, Blue : 3EA, Green : 3EA, Amber : 3EA)를 사용한 LED 모듈(지름 80mm)을 제작하고 제작된 LED 모듈을 적분구에 설치하여 개별 LED의 광출력을 변화시키면서 색온도 및 분광스펙트럼을 측정하였다.

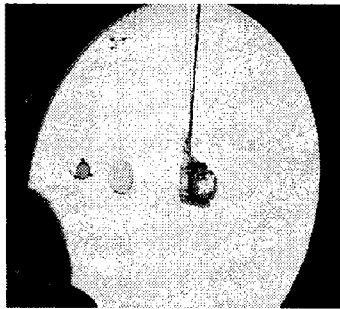
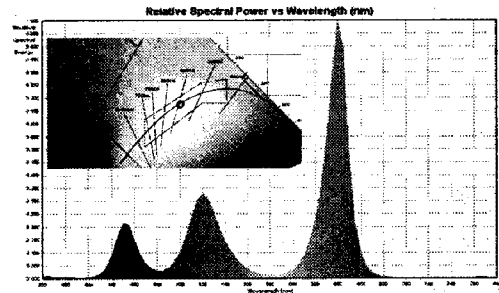


그림 2. 고연색성 실험을 위한 색온도 제어 기초실험

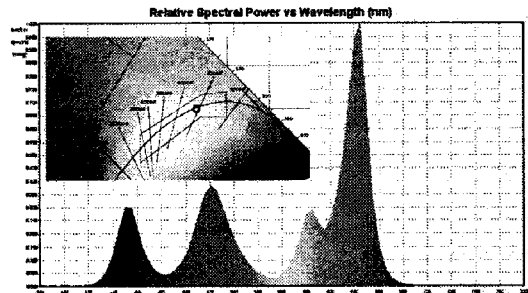
그 결과 그림 3과 같이 색온도별 분광스펙트럼 측정 결과를 얻었다. 우선 RGB LED의 입력 Duty Ratio를 제어하여 색온도 3,853K에서의 분광 스펙트럼 분포를 측정한 결과 C.R.I는 12로 측정되었고, 여기에 Yellow LED를 추가한 다음 Duty Ratio를 제어하여 색온도 3,079K에서의 분광 스펙트럼 분포를 측정한 결과 C.R.I는 R,G,B LED만을 사용하였을 때 보다 조금 향상된 29로 나타났다.

이러한 결과로서 Yellow LED의 peak 파장이 605[nm]에 위치하여 Red LED 스펙트럼 파장과 겹치게 됨으로서 즉, Red와 Green의 중간 파장인 580[nm]에 위치하지 않기 때문에 연색성 개선에는 거의 영향이 없음을 알 수 있다. 따라서 연색성을 우수하게 하기 위해서는 가시광의 모든 파장 영역에 걸쳐 연속적으로 스펙트럼 분포가 변화되어야 하기 때문에, RGB LED에 연색성 개선을 위해서는 peak 파장이 580[nm]인 Amber LED가 필요함을 알 수 있었다.

또한 연색성을 향상시키기 위해서는 RGBA와 함께 White LED를 사용하여 더욱 연속적인 스펙트럼을 만들어 내면 연색성을 더욱 향상시킬 수 있음을 알고 Elevator용 조명제품 개발에 있어서는 White를 추가하여 R, G, B, A, W의 5종류의 LED를 사용하기로 하였다.



(a) C.T. 3,853K에서의 RGB 모듈의 분광스펙트럼 측정결과



(b) C.T. 3,079K에서의 RGBY 모듈의 분광스펙트럼 측정결과

그림 3. R, G, B와 RGBY LED 모듈의 색온도 제어 및 분광 스펙트럼 측정결과

3.2 승강기용 광원모듈 설계를 위한 LED 패키지 제작 및 성능측정

지금까지의 고연색성 실험을 위한 색온도 제어 기초 실험 결과 연색성 향상을 위해서는 연속적인 스펙트럼 분포를 만들어 내야하고 그러기 위해서는 R, G, B, A와 W를 추가하는 것이 바람직하다는 결론을 얻었다. 그러므로 승강기용 조명모듈에 적용할 R, G, B, A, W의 5종류의 LED 패키지를 L사에서 제작하고 그 성능을 측정하였다. LED 패키지의 입력 전력은 1W이고, 배광은 lambertian, 구조는 SMD, 직경은 8mm로 하였다. 그림 4는 L사가 직접 제작한 LED 패키지의 형상을 나타내고 있고 표 1은 W, R, G, B, Y의 전기적, 광학적 성능을 나타내고 있다.

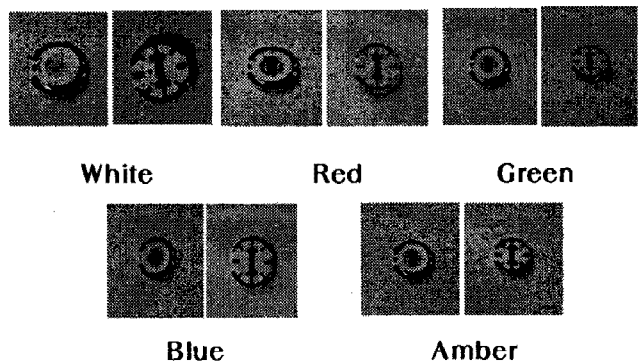


그림 4. 승강기 조명모듈용 LED 패키지 형상

표 1. 승강기 조명모듈용 LED Package의 전기적, 광학적 성능측정 결과

	White	Red	Green	Blue	Amber	
정격전류[mA]	349.87	349.05	349.02	349.03	349.04	
정격전압[V]	3.57	2.20	3.56	3.36	2.75	
정격전력[W]	1.25	0.77	1.24	1.17	0.96	
광속[lm]	58.09	25.6	38.68	6.08	23.08	
중심광도[cd]	16.47	6.79	9.86	1.97	6.90	
지향각[deg]	113.90	117.4	109.60	117.80	71.80	
발광효율[lm/w]	46.62	33.33	31.09	6.08	24.23	
색온도[K]	6956.93		7075.72			
색좌표	x	0.3074	0.6994	0.2221	0.1440	0.5896
	y	0.3152	0.3003	0.7063	0.0421	0.4096

그림 5는 직접 제작한 W, R, G, B, A LED 패키지의 배광특성을 나타내고 있다. 측정은 OL770이라는 측정 장비를 이용하였으며 그림을 보면 W, R, G, B, A 모두 Lambertian 타입의 배광특성을 잘 나타내고 있다.

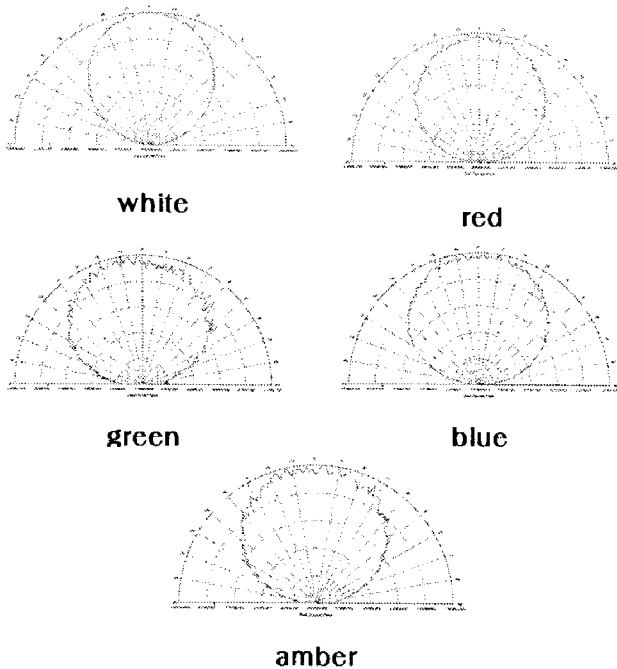


그림 5. 승강기 조명모듈용 LED 패키지의 배광특성

그림 6은 승강기 조명모듈용 LED 패키지의 시간에 따른 광속변화를 나타내고 있다. 그림을 보면 최초 점등 후 2분 이내에 모든 LED 패키지가 안정화 된다는 것을 알 수 있으며 그 변화 폭도 White의 경우가 약 0.4lm, Red의 경우 약 0.5lm, Green의 경우 약 0.4lm, Blue의 경우 약 0.2lm, Amber의 경우 약 0.1lm으로 매우 작았다.

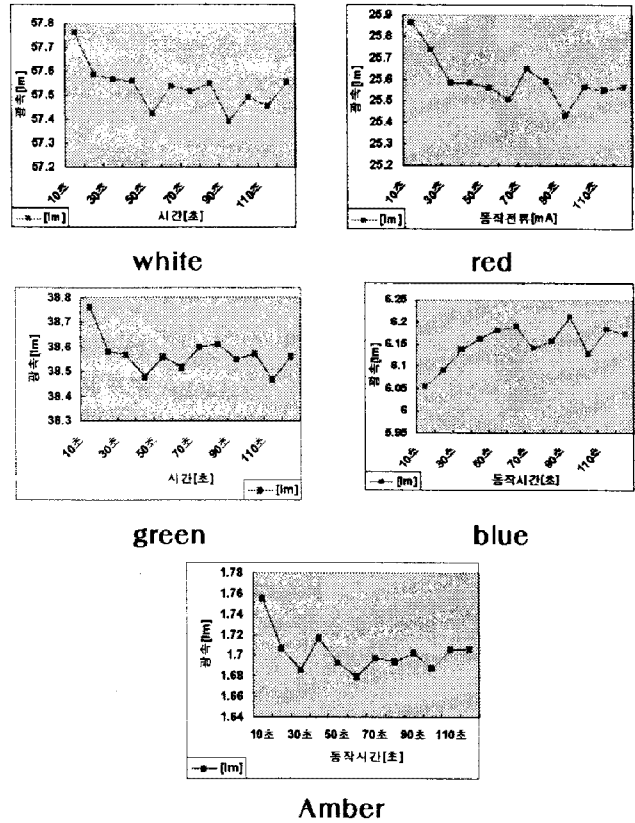


그림 6. 승강기 조명모듈용 LED 패키지의 광속 변화

3.3 20W 승강기용 LED광원모듈 구동회로 설계

20W LED 승강기용 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. 또한 에너지 효율을 위하여 세계적으로 통상 80W이상의 전원회로에 역률(Power Factor)을 규제하고 있으나 고효율을 위하여 20W 전원공급 장치(SMPS)에 높은 역률을 구현하고자 One Stage 방식을 적용하고, DC-DC 부분은 제품의 양산시 가격과 전원회로의 크기를 작게 하기 위하여 Flyback 방식을 이용하여 설계하였다.

20W 전원회로 설계는 그림 7의 Block Diagram에서 볼 수 있듯이 역률개선 회로를 가지고 있는 One Stage 방식으로 구성하였다. 제일 앞단(One-Stage)에는 역률 보상회로(Power Factor Compensation) 구동부분으로 구성되어 있으며, 이는 Current mode로 회로를 제어하여 과전압과 과전류에 대하여 PFC 구동부분을 보호 할 수 있도록 하고 안정적으로 일정한 전압을 DC-DC 구동부(One-Stage)에 전달 할 수 있도록 설계하였다. DC-DC 구동부는 PWM 제어를 통한 Current mode 방식을 채용하여 일정한 출력을 발생하도록 설계하였고,

과전압과 과전류, 포함되어 전원회로 및 LED 모듈을 보호할 수 있도록 설계하였다.

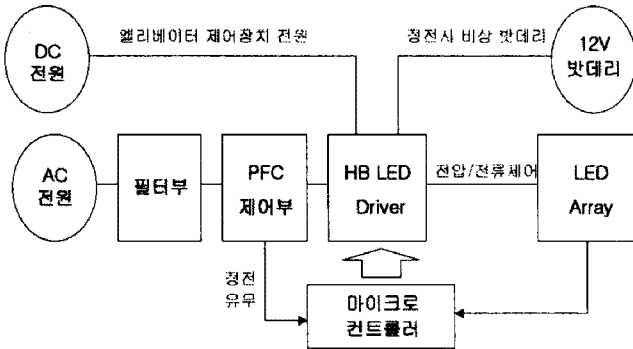


그림 10. 20W 전원회로 Block Diagram

20W 전원회로 설계시 고려 사항으로서는 승강기 LED 조명 장치용 20W 전원회로를 설계할 경우, PFC 회로가 추가되어 기존회로에서 고려되지 않았던 온도, EMI, 발진 등 여러 가지 문제가 나타날 수 있다. 또한 Peak current가 12A 정도로 매우 큰 편이며 Leakage inductance의 영향으로 Peak current 출력 시 Primary 단의 Peak전압이 높아지는 현상이 나타나기 때문에 스위칭 소자 MOSFET 내압을 초과하거나 Output diode 내압을 초과하여 신뢰성 문제를 발생 시킬 수 있다. 따라서 시장에서 잘 사용하지 않는 높은 Rating의 MOSFET 및 커패시터가 소요되므로, 이에 대한 Delivery 및 단가를 고려하여 설계를 수행 하였다.

20W 전원회로에 구성되는 부품 선정은 부품의 특성과 양산성을 고려한 가격을 검토하여 선정하였으며, 신뢰성 확보를 위하여 부품의 Spec.을 높게 설정하여 선정하였다. PWM IC는 Current mode 제어 방식이 Feedback 응답속도가 빨라 출력전압에 Ripple이 적게 발생하고 EMI 및 Main FET 부품의 Stress 적기 때문에 스위칭 주파수를 자유롭게 선정 할 수 있다. 따라서 Current mode 제어 방식을 채용할 수 있고 Green mode(대기전력)을 적게 할 수 있을 뿐만 아니라, 온도 제어 범위를 가변 할 수 있으며 양산 가격도 저렴하게 할 수 있는 L6561을 선정하였다.

3.4 색온도제어회로 설계

LED를 광원으로 사용하는 경우에는 다른 광원들이 가질 수 없는 큰 장점이 있으며, 이것은 디지털 Pulse 형태의 구동이 가능하다는 것이다. 반도체 Device이기 때문에 전자적인 동작을 하게 된다. LED의 색온도를 변화시키기 위하여 사용되어진 방법은 PWM(Pulse Width Modulation)에 의해 LED에 인가되는 전압을 변화시킴

으로서 색온도를 변화시키는 방법을 사용하였다. 색온도 제어회로를 구현하기 위하여 프로그램적인 구현에 의해 제어가 가능할 수 있도록 MicroController를 사용하였고 내부에 Flash memory를 가지고 있어서 외부의 설계가 보다 단순화 할 수 있는 MicroController를 선택하였다. MicroController의 내부 타이머 5개를 이용하여 PWM 신호를 발생시키는 주요 기능을 수행할 수 있도록 설계를 진행하고 또한 실시간으로 색온도를 변화시키기 위해서 Real Time Clock을 사용하였다. 제어회로를 구현하고자 하였던 개념도를 그림 11에 Block Diagram으로 나타낸다.

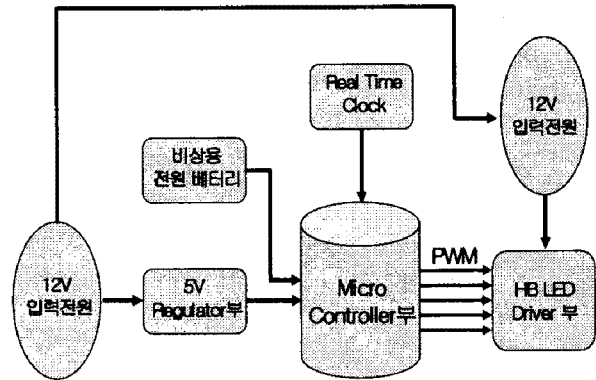


그림 11. 색온도 제어회로의 Block Diagram

그림 11에서 나타낸 것처럼 전원회로로부터 12V의 DC 전원을 입력받아서 5V Regulation을 통하여 MicroController가 사용하는 전원을 공급하고 사용전원이 OFF될 경우를 대비하여 비상용 전원 배터리를 구성하였다. 실시간으로 색온도를 변화시키기 위해 시간정보를 전달받는 Real Time Clock이 존재한다.

MicroController에서 발생하는 PWM 신호는 5개이며 이는 Red, Green, Blue, Yellow, White를 각각 구동하기 위한 PWM 신호이다. LED 구동부의 전원은 12V 전원을 사용한다.

MicroController는 Atmel사의 Atmel28을 사용하였다. 기능적인 면에서는 I/O포트를 사용하여 PWM 신호를 발생시키는 것 보다는 정확도에서 뛰어난 PWM 내장 포트를 가지고 있기 때문이다. Real Time Clock으로는 내부에 레지스터가 존재하여 가격대비 성능비가 우수한 Dallas사의 DS12887 IC를 사용하였다. FET의 경우는 Rds On 이 적고 Switching 속도가 빠른 Device를 선택하여 사용하였다. 12V의 전원과 PWM 신호에 의해 Gating 되는 구조로 설계를 하였다.

제어회로의 MicroController의 내부 Flash memory에는 전체 시스템을 구동하기 위한 제어 명령들이 탑재되고, Atmel28에 명령 Code를 올리기를 위하여 F/W를 제작 하였다. 이 F/W의 source code는 C언어를 기반으로 구성되었으며 GCC-AVR compiler를 사용하여 Hex

File을 만들었다. F/W를 구성하기위한 알고리즘의 Flow Chart를 그림 12에 나타내었으며, F/W를 구현한 Source code는 총 15의 file로 되어있다.

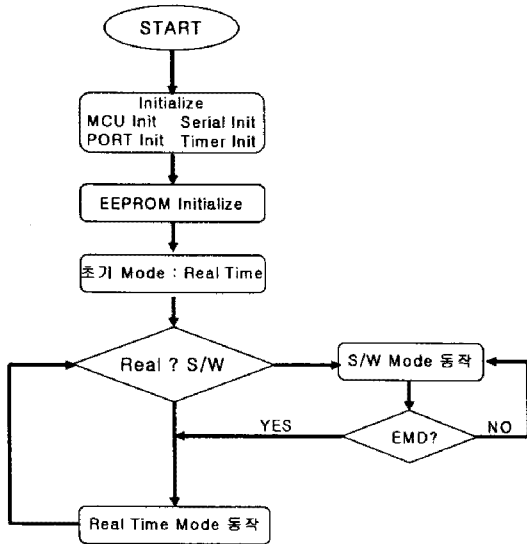


그림 12. F/W 알고리즘 Flow Chart

3.5 광색혼합 및 확산배광을 위한 LED 칩적 배치 및 광학설계

승강기용 조명모듈을 위한 LED 개수는 승강기 내 바닥면 조도 50lx 이상의 조명기준을 만족시키기 위한 개수로 선정되어야 한다. 승강기용 조명모듈이 승강기 내 바닥면으로부터 2.5m에 설치되었을 때를 가정하면 300lm이상은 발산 시켜야 하므로 그림 13의 LED 패키지 광속추정 데이터를 바탕으로 기구효율, 투과판 효율, 연색성 등을 감안하여 white LED, 6EA, Green LED 6EA, Red, Blue, Amber 각각 4EA 씩 총 24개로 선정하였다. 광속 및 연색성 향상을 위해 White와 Green의 개수를 기타 LED 개수인 4개보다 2개를 더 추가하여 6개로 증가시켰다. 또한 광색 혼합을 위한 LED의 배치는 조명기구 중심점을 기준으로 대칭 구조로 1행 배열하였으며 PCB는 metal core PCB를 사용하였고, PCB Size는 W35*L390*T2mm로 하였다. 광색 혼합을 위한 W, R, G, B, A의 배치도를 그림 13에 나타낸다. 여기에서 LED 직경은 8mm, LED 간격 7mm이다.

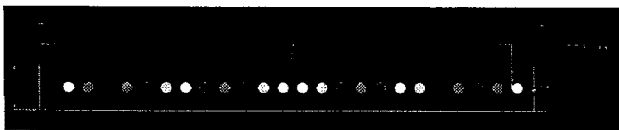


그림 13. 요구광속 및 광색혼합을 위한 W, R, G, B, A LED 배치 및 개수 선정

이러한 LED 배치를 하게 되면 조명모듈의 크기가 직사각형의 긴 띠 모양을 하게 되므로 승강기 조명방식은 그림 1에서 유리등에 의한 엔지니어링을 분산한 경우의

조명방식이 된다. 또한 W, R, G, B, A LED 5개를 1행으로 배치하였을 때 광색 혼합 및 음영차단, 고연색성 실현을 위해서는 확산배광을 위한 광학 설계가 이루어져야 한다.

승강기용 LED 조명모듈의 광학설계는 확산판을 이용한 확산투과의 성질을 이용하는 것으로 하였고 또한 이를 달성하기 위한 광학설계를 수행하였다[3]. 그림 14는 승강기용 조명기구의 광학설계 결과인 Ray tracing 결과와 배광곡선을 나타내고 있다. 그림 14의 배광곡선을 보면 확산 투과에 의한 확산 배광의 형태와 매우 비슷하다는 것을 알 수 있다.

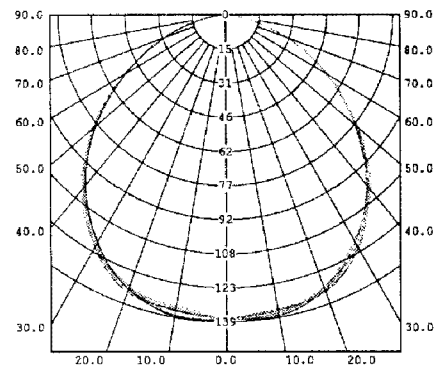
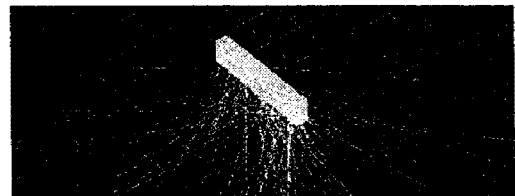


그림 14. Photopia를 이용한 승강기용 조명기구의 Ray tracing 및 배광곡선 시뮬레이션 결과

3.6 승강기용 조명기구 방열설계

승강기에 사용되는 조명기구의 방열 설계는 실내 공간에서 사용되는 조명기구의 특성상 fan을 사용할 수 없는 방열구조를 필요로 한다. 방열 설계의 최적화는 설치공간상의 제약과 무게를 줄이면서 열 방출효과가 좋은 물질을 사용하여 기하학적인 구조를 최적화하는 방법으로 진행하였다.

승강기용 조명기구는 LED가 1차원적으로 배열되어 폭이 좁고 길이가 긴 장방형 구조로 설계되었다. 조명기구의 방열 구조는 메탈 PCB와 접촉한 heat sink는 LED에서 발열되는 열을 또 다른 heat sink 역할을 하는 외벽에 전달하고, 외벽에는 공기가 순환될 수 있는 다수의 hole로 구성되어 열전달이 조명기구 중심부의 회로 구성판과 외부에서 동시에 효율적으로 진행되도록 설계되었다. 방열판 및 시스템 전체의 방열 해석을 위하여 1/4모델을 사용하였으며 방열판의 물질은 가공성과 열전도성을 고려하여 열전도도(thermal conductivity)

k는 171 W/m²K, 비열(specific heat) Cp = 798J/kg/°K 인 aluminum 6061계열을 사용하였다.

방열기구 전체의 구조는 그림 15에, 방열 해석을 위한 1/4 모델은 그림 16에 나타내었다.

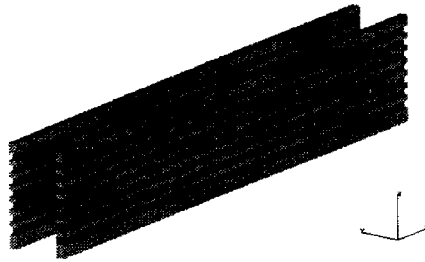


그림 15. 승강기용 조명기구의 방열구조

중간부분에 메탈 PCB와 효율적인 열전달을 위하여 외벽에 heat sink fin을 구성하였으며 공기의 순환을 위하여 hole을 설계하였다.

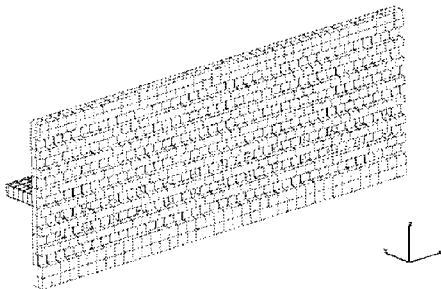


그림 16. 조명기구의 방열구조의 1/4 모델

방열 해석 모델은 LED가 위치한 메탈 PCB와 heat sink를 일체화하여 회로 구성물을 부착하기 위한 중심부분의 판과 접촉된 조명기구 외벽에서 열 교환이 이루어지도록 최적화하였다. 이를 위하여 조명기구의 외벽은 heat sink 와 fin을 구성하였으며 외부 공기와의 접촉을 위하여 LED가 설치된 PCB의 주변 외벽에 공기 순환을 위한 공기의 순환 구멍을 제작하였다. 이와 같은 구조는 열전달 효과 뿐 아니라 조명기구의 무게를 줄이는 측면에서도 효과적인 구조가 될 수 있다. 이 모델의 좌표계는 조명기구의 길이 방향 (가로방향) x축, 두께 방향 (세로 방향)을 y축으로 하였으며 광축 혹은 빛이 나오는 방향을 z축으로 가정하였다. 방열 핀의 배열은 z 방향으로 구성되어 있으며 핀의 길이는 외관의 모양을 고려하여 디자인 하였다. 방열 해석은 LED 자체의 온도변화를 해석하기 보다는 LED가 배열된 위치에서 전달된 열이 방열 시스템 (heat sink 와 연동된 외부구조)에 의하여 전달되는 양을 해석하기 위한 글로벌 모델링을 수행하였다. 모델링을 통한 최적화는 최대 온도변화를 기준으로 하였다. 이 모델의 온도조건은 주위 온도를 25°C로 설정하였고, 자연대류에 의한 heat convection coefficient 값은 5W/m²C로 하였다. 그 때

의 조명기구 전체의 온도변화를 계산하여 그림으로 나타내면 그림 17과 같다. 그림 17의 결과는 1W LED 전체의 발열을 가정한 것이며 이때의 최대온도는 57°C가 됨을 알 수 있다.

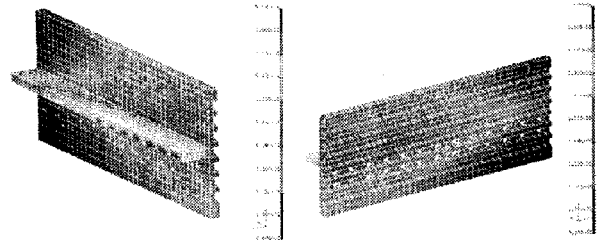


그림 17. 조명기구 표면의 온도분포 (Maximum Temperature 57°C, ambient temperature 25°C, h=5W/m²C,

그림 17에서 좌측의 그림은 조명기구 중심부분이며 우측의 그림은 조명기구 외함의 바깥쪽 부분으로서 중심부의 온도가 다소간 높음을 알 수 있다. 조명기구의 방열 구조는 배치된 LED의 개수에 비하여 방열을 위한 접촉 면적이 상대적으로 충분하여 현재의 구조로 충분한 방열 효과가 있음을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

실시간으로 색온도 제어 가능한 승강기용 조명제품 개발을 위해서 고연색성 실현을 색온도 제어 기초실험을 행하였다. 그 결과 연색성 향상을 위해서는 모든 가시광의 파장영역에서 연속적으로 변화하는 스펙트럼분포를 가져야 하며 그러기 위해서는 각각 다른 영역의 파장을 갖는 R, G, B, A, W LED를 적용하는 것이 유리하다는 결론을 얻었다. 그러므로 고연색성의 실시간으로 색온도 제어 가능한 승강기용 조명 제품 개발에 있어서는 R, G, B, A, W LED를 사용하였으며, 이들 LED 패키지는 직접 제작하였다. 또한 이들 패키지를 사용하여 승강기용 조명 제품 개발을 위한 20W 급의 고효율 구동회로를 개발하고 색온도 제어를 위한 제어 회로를 개발하였다. 또한 음영 제거 및 글레어 차단, 효과적인 광색혼합을 위하여 확산배광을 달성하기 위한 R, G, B, A, W LED의 최적 배치 및 렌즈의 광학설계를 수행하였다. 그리고 LED에서 발생하는 열을 효과적으로 발산하여 LED 조명모듈의 온도를 낮추기 위한 방열설계를 실시하였다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 광산업기술력향상사업의 수행결과임

참 고 문 헌

- [1] 한국승강기안전관리원 "승강기검사기준", 2004, pp.42
- [2] 지 철근, 박 동화 정 용기, "조명설비 설계와 시공 가이드북", 도서출판 의제, 2000, pp.248~249
- [3] 日本照明學會, "照明基礎講座テキスト", 1996, pp.4-1~4-2