

표준화를 위한 PAR38형태 LED등의 표준제품 개발

(Development of standard LED light for PAR38-type light)

박정욱* · 김기훈 · 김진홍 · 김경은

한국광기술원

(Joung Wook Park · Gi Hoon Kim · Jin Hong Kim, Kyoung-Onn Kim)

KOPTI

Abstract

PAR38형의 표준 LED조명 제품 개발을 위한 기존의 PAR38형 제품의 대표 특성으로 빔각, 효율 등의 기준을 정의하고 이에 적합한 LED 패키지를 선정하였다. 개념설계를 위해 기본 사양을 바탕으로 개략적인 설계를 하고 LED 패키지 모듈에 방열시뮬레이션을 수행한 결과로부터 각 설계 요소의 상세 값을 선정하였다. 상세설계를 위해서 선정된 단품패키지 및 기설계된 조명기구에 대한 광학 시뮬레이션과 방열 시뮬레이션을 수행하여 목표 결과에 대한 예측 및 목표 달성을 위한 가능성을 타진하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 상세 형상과 특성 향상을 위한 요소를 부여하여 상세설계하고 제품을 제작하였다. 최종적으로 제품에 대한 특성 측정·분석하여 표준 제품으로서 특성을 검증하였다.

1. 서론

반도체조명산업은 에너지절감 및 친환경에 대한 관심이 증대되면서 새로운 조명시스템의 개발이 이루어질 뿐만 아니라 기존 조명시장을 대체하기 위해 빠르게 발전되고 있다. 기존 제품 대체를 위한 반도체조명제품의 개발은 실내등, 보안등과 같은 일반조명대용부터 등면기, 집어등과 같은 특수조명의 대체 제품까지 개발되고 있는 실정이다. 반도체조명제품의 원활한 보급을 활성화하기 위해 기존의 조명제품과 다른 반도체조명제품에 적합한 표준을 제정함으로써 체계적인 제품관리와 안정적인 수요창출을 할 수 있고 더 나아가 세계의 표준화 장벽에 대응할 수 있는 체계를 마련할 수 있다.

현재 가장 많은 수요가 있는 백열전구 대체형이나 할로겐 전구 대체형을 기반으로 표준화가 진행되어야 하기 때문에 할로겐 전구 대체형인 PAR-type 표준화 전구를 개발하여 표준 제품으로 사용할 수 있도록 개발하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 PAR-type의 일반 조명제품의 성능을 기준으로 LED PAR-type 표준 제품의 성능 기준을 선정하였다. 이 기준에 적합한 표준제품의 개념설계를 하고 설계 요소를 기반으로 광학 및 방열 시뮬레이션을 수행하여 설계 요소를 확정하였다. 또한, LED PAR-type 표준 제품에 대한 상세설계 및 제품 제작을 수행하였고, 광학, 열, 전기 특성을 측정하여 기존의 제품과 성능비교를 수행하였다.

본 논문에서는 LED PAR-type 표준 제품의 개발 과정 전체를 소개하고 측정된 결과를 제시함으로써 표준 제품으로써의 가능성을 보이고자 한다.

2. 본론

2.1. 표준화 대상

본 연구에서 기준으로 정한 제품은 PAR38 제품으로 LED PAR-type 표준 제품을 설계하기 위한 요소로 제품 크기, 빔각, 광속, 전력소모량 등을 기준으로 하였다. 개발 대상인 제품의 모양은 PAR38과 동일한 종모양으로 하고, 크기는 외경이 120~130mm, 길이 130~140mm로 정하였다. 소비전력은 20W이고, 동작전압은 AC90~240V, SMPS효율은 80%를 기준으로 정하였다. 빔각은 45도, 최대광도는 360cd를 기준으로 하였다.

2.2. LED 패키지 선정

본 연구에서 LED 패키지 선정 요소는 크기, 빔각, 광속, 효율 등을 고려하였다. 빔각을 유지하기 위해 별도의 렌즈나 투과판을 사용하지 않기 위해 LED 패키지는 목표빔각과 유사한 포탄타입으로 선정하였다. LED 패키지의 크기는 $\phi 5\text{mm}$ 를 선정하였고, 광속이나 효율은 성능이 좋으면서 쉽게 구할 수 있는 패키지를 선정하였다. 표1처럼 세 가지 LED 패키지가 고려되었지만 소비전력이 낮고 광속이 높아서 효율이 좋은 L사 제품을 사용하였다.

표 1. 성능측정 항목 및 측정 결과

패키지회사	소비전력 (V, mA)	빔각(도)	광속(lm)	효율 (lm/W)
S사	0.064(3.2,20)	44	3.5	58
L사	0.058(3.0,19.3)	45	4.76	78
D사	0.068(3.4,20)	30	5.3*	78*

*데이터시트 기준으로 계산된 값임

2.3. 개념설계 및 기본 시뮬레이션

LED PAR38 표준 제품은 에디슨 전구타입으로 설계하고 LED 제어를 위한 전원회로 및 제어회로를 포함한다. 또한, LED패키지 모듈은 직·병렬을 이용하여 구성하고 제시된 빔각을 구현하기 위해 LED 패키지에서 특성이 발현되도록 선정시 고려하였다. 20W에 대해 $\phi 120$ mm의 알루미늄 원판 제작하여 단면만 대기중에 노출되었다고 가정하고 대류(대류계수(300K기준) : $h=12.4W/m^2 \cdot K$)에 의해 방열할 경우 442.6K의 표면 온도를 갖기 때문에 방열구조 설계를 포함해야 한다. 또한, 원판의 경우 중심에 열축적이 예상되므로 방열구조는 열분산을 유도할 수 있는 구조로 구성되어야 한다. 전원 제품에 대해 안전성 확보를 위해 통기성 구조를 특수구조 및 가공으로 처리해야 하지만, 본 연구에서는 간단한 구조로 제작하였다. 이러한 사항을 기반으로 개념 설계된 제품의 형상은 다음과 같다.

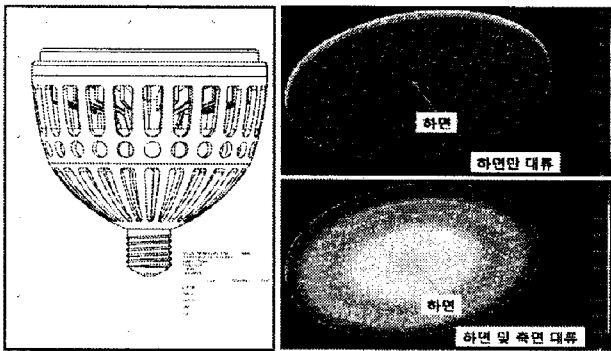


그림 1. 개념설계 도면(좌) 및 기본 원판의 방열시뮬레이션(우)

2.4. 광학 및 방열 시뮬레이션

본 절에서는 제시된 개념설계 요소들의 상세 수치를 확정하기 위해 광학 및 열 시뮬레이션한 결과를 검토하였다. 균일한 광도가 나오도록 균일한 밀도로 LED패키지를 분포시키기 위해 그림 2(좌)와 같이 배치하였고 LED 단품 패키지에 대해 OL770장비를 이용해서 지향각, 중심광도, 광속을 측정하여 IES파일을 생성하여 단품 패키지에 대해 가시화한 것이 그림 2(우)하단에 제시되어 있고, Photopia를 이용하여 단품패키지에 대한 조도분포 시뮬레이션 결과는 그림 2(우)상과 같다.

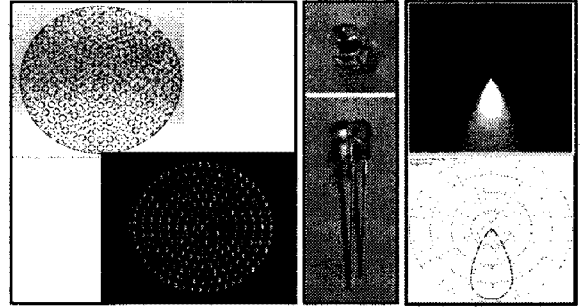


그림 2. LED 모듈 배치(좌), 포탄형 LED 패키지(가운데), 측정된 데이터 기반으로 단품 패키지에 대한 IES파일 가시화(우)

Photopia를 이용한 배광 시뮬레이션한 결과는 그림 3(좌)과 같이 단품패키지의 배광분포와 유사하고 ray tracing 결과도 유사함을 볼 수 있다. 그림 3(우)은 조도 분포에 대한 시뮬레이션 결과로 거리 2m에서 광축 중심점 최대 조도 309lux가 계산되었다. 최종 제품에 대해서 최대 광도는 1246cd로 제시된 목표치를 초과하는 범위에 있음을 알 수 있다.

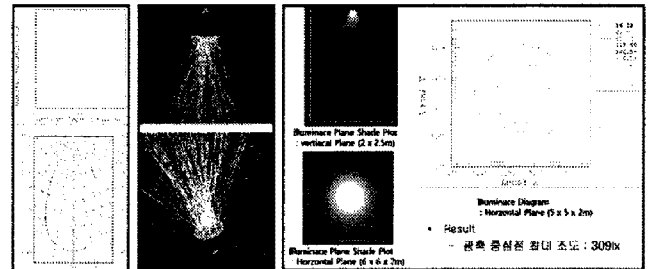


그림 3. 개념설계 도면(좌) 및 기본 원판의 방열시뮬레이션(우)

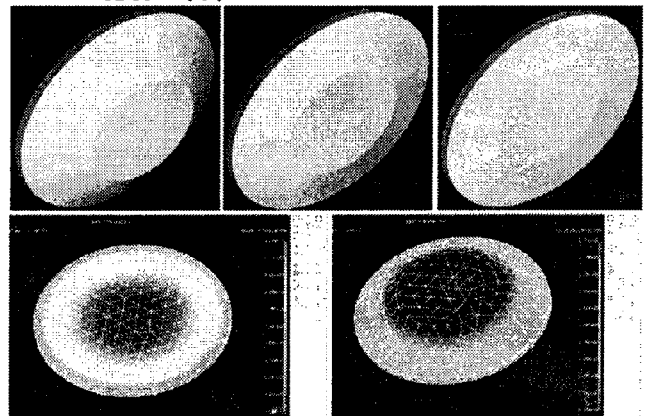


그림 4. 돌출형 구조의 높이에 따른 방열특성

방열을 위한 설계 요소는 하(下)면의 방열 특성 향상을 위한 방열구조를 구성하는 수치가 된다. 그림 1(우)와 같이 원형의 LED패키지 모듈에서 발생하는 열이 중앙부에 축적되므로 하면 중앙에 방열 성능이 향상되도록 돌출형 구조를 형성하였다. 이 구조의 높이를 선정하기 위해 IDEAS TMG를 이용하여 방열시뮬레이션을 하였다. 그림 4와 같이 돌출형 구조의 높이에 따라 방

열 특성을 시뮬레이션하였으나, 전면의 방열분포가 고르지 않아 그림 5(좌)와 같이 중심부에 추가 돌출부를 형성하였고 이를 시뮬레이션하여 그림5(우)와 같은 결과가 도출되었다.

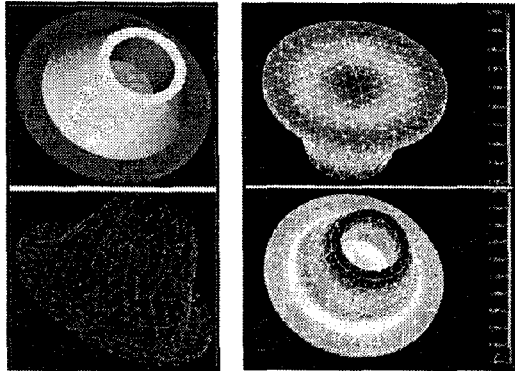


그림 5. 추가돌출형 구조 (좌)와 방열특성 시뮬레이션 (우)

그림 5에서 보듯이 전면 열분포가 고르고 최대 온도가 낮게 형성되어 방열구조로서 좋은 특성을 갖고 있다. 이 구조를 기반으로 2.3절에서 언급한 것처럼 방열면적을 4배 증가시키도록 설계하여 예상 표면 최대 온도차를 35.6도 이하가 되도록 설계 하였다.

2.5. 상세설계 및 제작

2.4절의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 개념설계 내용을 기반으로 상세설계를 수행하였다. 전체 구조는 통기성 구조를 갖는 형태로 LED패키지 모듈의 방열을 용이하게 하기 위해 공기 유동을 유발하도록 방열기구를 설계 하였고, LED패키지 모듈의 중앙에 열적충을 해소하기 위해 돌출형 방열구조를 포함하였다. 상면은 투과판 교체가 용이하도록 독립적인 투과판 커버를 설치하고 표준 제품 실험을 위한 LED 모듈 변경시 교체가 용이하도록 LED 모듈에 나사가 없도록 투과판 커버를 통나사 형태로 설계하였다.

또한, AC 전원(1차측 전원 : 220V, 181mA, 18W)을 LED 제어를 위한 전원으로 변환하기 위해 20W급 SMPS를 통기성 프레임에 장착 가능하도록 설계하였다. 이때, 공기 유동을 원활히 하기 위해 중공형 타입으로 전원 및 제어회로를 설계하였다. LED 패키지 모듈회로는 다층구조로 제작하여 밀집된 포탄타입을 직병렬로 제어 가능하도록 설계하였다. 이때, FR4 PCB의 방열 성능향상을 위해 via-hole과 유사한 구조로 후면을 압착하여 열전달이 용이하도록 설계하였다. 전원 및 제어 회로는 색온도 제어도 가능하도록 여유 공간을 확보하여 색온도 조절 가능한 PAR38 표준 제품으로 확장 가능하도록 설계 하였다. 전체 구조는 70계열 AI을 이용

하여 절연 가능하도록 표면 처리하여 제작하였다. 에디 스펀구타입으로 제작하기 위해 base와 연결되도록 하단에 나사를 가공하고 중간에 절연체를 삽입하여 안정성을 도모하였다.

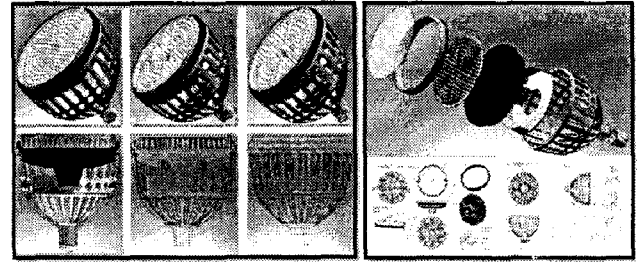


그림 6. 추가돌출형 구조 (좌)와 방열특성 시뮬레이션 (우)

최종 설계된 제품의 크기는 $\phi 140$ (LED패키지 모듈부 : $\phi 122$) $\times 141$ mm이고 4단으로 구성되어 있다.

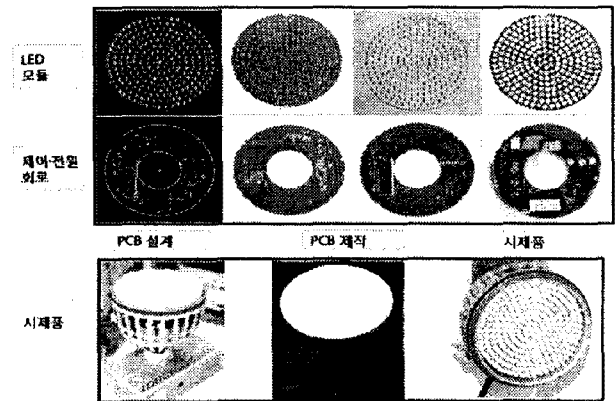


그림 7. 추가돌출형 구조 (좌)와 방열특성 시뮬레이션 (우) 그림 6. 추가돌출형 구조 (좌)와 방열특성 시뮬레이션 (우)

2.6. 성능 측정 및 비교

제작된 LED PAR38 표준 제품의 성능을 측정하기 위해 광학, 전기, 열 측정을 하였고, 제시된 성능과 비교 하였다. 광학측정을 위해 적분구를 이용해 광속을 측정하고, Goniometer를 이용해 광도 및 배광을 측정하였다. 전기적 특성 측정을 위해 전력분석장치를 이용하여 전압, 전류, 전력, 효율을 측정하였다. 열측정을 위해 집축식 온도측정장치를 이용하여 측정하였다.

제작된 LED PAR38 표준 제품의 형상은 광원 모듈의 외경이 $\phi 122$ mm로 상용화된 일반 PAR38 표준 제품의 광원부 크기와 동일하고 전체 크기는 $\phi 140$ mm $\times 141$ mm로 제시된 사양을 만족한다. 전기적 특성에서는 입력 총 전력이 18W이고 변환된 2차측 전원은 12V, 1.27A, 15W로 84%의 변환효율을 보이고 있다. 또한 다양한 전압전류 조건(90~250V)을 사용할 수 있도록 설계되었고 사용가능성에 대해 측정 완료하였다. 광학적 특성에서는 빔각이 45도(최대 광도의 50%기준)로 측정되었고 최

대 광도는 1037cd가 측정되었다. 추가 측정된 광속은 657lm으로 광효율(Luminous efficacy)은 34.6lm/W으로 측정되었다. 색온도는 5923이 측정되었다. 상온 20도를 기준으로 3시간 동작 후 LED 패키지 모듈의 중심의 최대 표면온도는 46도로 측정되었다.

표 2. 성능측정 항목 및 측정 결과

항목	단위	목표	측정결과	성능만족도
형상	mm	Φ130mm ×140mm	Φ140mm ×141mm	±10%이내
소비전력 (동작전압)	W (V)	20W (220V)	18W (220V)	±10%이내
SMPS효율	%	80	84	이상
빔각	°	45	45	±10%이내
최대광도	cd	360	1037	이상
광색온도	K	6000	5923	±10%이내

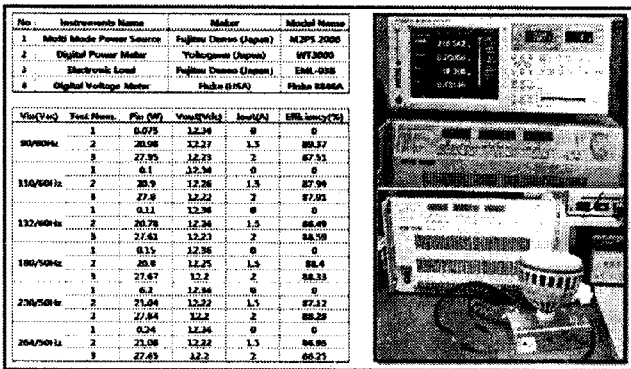


그림 8. 전기 측정 실험 및 결과 (전력, 전압, 전류, 효율)

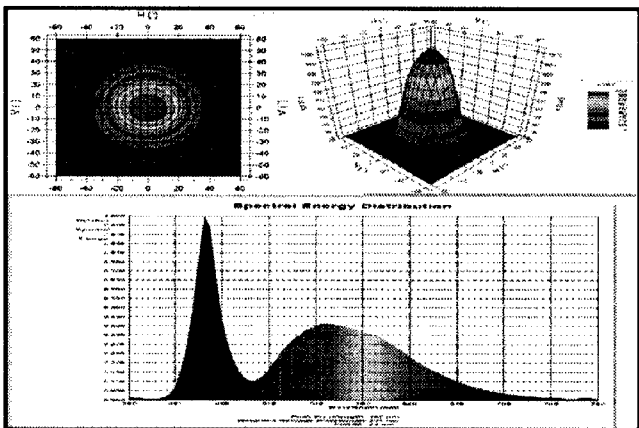


그림 9. 광학 측정 실험 및 결과 (광도, 광속, 배광, 색온도)

3. 결론

표준제품으로 인정되기 위해서는 성능에 대한 항상성, 제품에 대한 대표성, 동일한 조건에서 성능 측정이 가능한 측정방법론이 제시되어야 한다. 본 연구에서는 제품의 대표성이 보장되는 제품 개발을 목표로 하여

LED 조명 기구를 제작하는 과정을 제시하였다. 이를 위해 기존의 PAR38형 제품의 공용특성으로 빔각, 크기, 소비전력에 따른 효율 등을 기준으로 제품의 사양을 선정하고 이에 적합하게 제작하였다.

본 연구에서는 표준화를 위한 LED 조명제품 개발에 중점을 두었기 때문에 LED 조명 제품에서 항상성 유지에 가장 큰 영향을 주는 광학 및 방열 특성 향상을 중심으로 PAR38형 LED조명제품을 개발하였기 때문에 본 제품을 표준 제품으로 간주하기 위한 추가 성능 실험이 필수적이다. 그러므로 향후에는 현재 개발된 제품의 광학적, 열적 특성을 기반으로 PAR38형 LED조명제품에 대한 표준화를 위해서는 각 사양에 대해 항상성이 유지되는 LED조명 제품의 개발을 진행하고, 그 특성이 검증되기 위한 측정 방법론을 제시할 것이다.

참고 문헌

- (1) 김기훈, 천우영, 김진홍, 송상빈, “색온도 제어 가능한 승강기용 LED 조명제품 설계”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회, pp. 71 ~ 76, 2007. 11.
- (2) 김기훈, 김진홍, 송상빈, “실내조명용 LED 광천장 조명기구 설계”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회, pp. 101 ~ 106, 2007. 11.
- (3) 김진홍, 송상빈, 김기훈, 문일권, “소형화를 위한 20W LED 전구 개발”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회, pp. 64 ~ 69, 2007. 5.
- (4) 송상빈, 김진홍, 여인선, “방열특성과 구동방식을 고려한 다운라이트용 LED 전구의 개발”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회, pp. 19 ~ 24, 2006. 11.