

직관형 LED램프의 구성부품별 광손실에 관한 연구

(A Study on Optical Losses for Tubular LED Lamp's Components)

정희석* · 박창규

(Hee-Suk Jeong · Chang-Kyu Park)

Abstract

The high efficiency tubular LED lamp has been developed. But, it occurs optical losses in consists of LED package, module, diffuser etc.. By Measuring the tubular LED lamp's luminous flux, we compared and analyzed about the effect of optical losses for each component and actually using measured luminous intensity distribution data, illuminance distribution was simulated by Relux. Optical losses are 24[%] from LED package to luminaire and the tubular LED lamp can be replaced with fluorescent lamp. In this paper, we could provide data for optimum lighting design by analyzing the optical characteristics for developing and propagating the tubular LED lamp.

Key Words : Tubular LED Lamp, Optical Loss, Efficiency, Optical Characteristics

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

LED(light emission diode)는 1990년대 초 InGaAIP를 이용한 고휘도 적색 LED개발과 질화물계(nitride) 청색 LED의 출현이 오늘의 LED 붐을 조성하는 결정적인 역할을 하였다고 볼 수 있다. 이후 녹색, 백색, UV LED 개발에 의해 LED는 이제 인간의 생활 속에 깊이 자리잡기 시작하였다. 특히 에너지절감 및 친환경적인 측면에서 이상적인 광원이라는 사실은 응용시

장의 팽창을 가속화시키고 있으며 일반 가정이나 사무실에서 사용되는 조명영역에까지 침범할 수 있는 21세기 차세대조명용 광원으로 평가받고 있다[1].

LED 조명의 특징으로는 고신뢰성, 장수명, 고효율, 고속응답 등의 장점이 있다. 현재 고휘도의 파워 LED가 개발되면서 기존 전통광원을 대체하는 광원으로 개발이 활발히 이루어지고 있다. 일반조명으로 개발되는 제품으로는 할로겐 및 백열램프 대체형, 매입형 및 고정형 등기구, 직관형 형광램프 대체형이 대부분 설치·보급되고 있다. LED조명업체들은 현재 국내에 설치되어 있는 3억 9,500만개(전체조명의 44.7[%]) 직관형 형광램프를 대체함으로써 조명전력량 대비 에너지절감이 40[%] 정도될 것으로 기대하며, 향후 잠재시장 성장률이 매우 높은 것으로 보고 있다.

직관형 LED램프 관련 표준화 현황은 기존 형광램프의 혼용사용을 방지하기 위해 컨버터 외장형의 전

* 주저자 : 한국조명연구원 주임연구원
Tel : 032-670-8888, Fax : 032-670-8889
E-mail : ng119@kilt.re.kr
접수일자 : 2011년 3월 17일
1차심사 : 2011년 3월 24일, 2차심사 : 2011년 6월 11일
심사완료 : 2011년 6월 29일

용베이스(D12) 방식과 기존 형광램프 베이스(G13)를 절연하여 이용하는 방식이다. 주요성능은 국내기업의 기술수준을 감안하여 광속은 2,100[lm] 이상, 광효율은 90[lm/W] 이상, 광속유지율은 90[%]이상으로 기준이 제정되었다. 현재 직관형 LED램프는 주로 저출력 0.2[W]의 LED 패키지를 120~150개 정도 사용하여 2~4개의 LED 모듈과 베이스(D12, G13), 빛의 확산을 위한 확산판(램프커버), 방열을 위한 알루미늄 방열판으로 구성되며 길이 1,200[mm] 램프로 교체 또는 대체 설치되고 있다.

직관형 LED램프 개발 시 가장 우선적으로 고려해야 할 점은 기존의 형광램프를 대체할 배광특성 및 광효율이다. 현재 출시되는 제품의 대부분이 배광특성을 위해 확산판을 사용함으로써 기존 형광램프를 대체할만한 광특성에 미치지 못하고 있으며, 저발열을 위한 디레이팅(Derating) 설계로 LED 패키지의 정격일 때보다 광속저하가 발생하며 패키지에서 조명기구까지의 조립단계별 광손실이 발생하고 있다. 따라서 본 연구는 LED 패키지에서 조명기구까지의 조립단계별 광손실을 측정하고 그 원인을 분석하여 최적 조명설계를 위한 정보를 제공하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 측정 항목

본 연구에 적용한 직관형 LED램프는 형광램프 FLR 32[W]를 대체하는 24[W]급의 컨버터 외장형이다. 일반적인 LED램프의 구조는 그림 1과 같이 LED 모듈, 확산판, 베이스, 방열테이프, 방열판 등으로 구성된다.

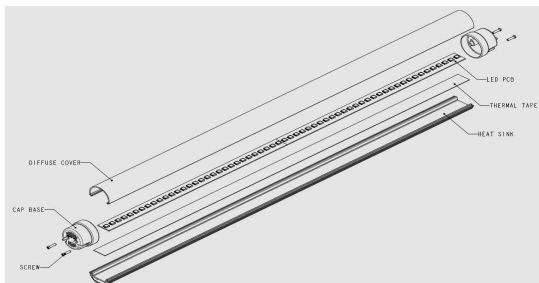


그림 1. 직관형 LED램프의 구조
Fig. 1. Tubular LED Lamp's Structure

표 1. 연구 방법 및 측정 항목
Table 1. Research Methods and Measures



구성부품별 광특성 및 광손실 원인분석

연구방법 및 측정항목은 표 1과 같다. 부품별 광특성을 분석하기 위해서 LED 패키지, 모듈, 확산판 없는 LED램프, 확산판 있는 LED램프의 광속 및 배광특성을 측정하여 광손실 원인을 분석하였다. 실험에 사용된 LED램프는 정상점등 시 40[°C] 이하의 방열설계가 되어 있으므로 발열에 의한 광손실과 관계된 방열테이프, 방열판의 영향은 제외시켰다. 또한 LED 패키지의 전류값 변화에 따른 광효율 변화를 분석하고, 고효율 반사각이 장착된 2등용 등기구를 선정하여 형광램프 및 LED램프를 장착하여 각각 배광측정 후 등기구 효율도 측정하였다. 이때 얻어진 IES 파일을 이용하여 Relux를 통한 시뮬레이션으로 일반적인 사무실에서 조도특성을 비교·분석하였다.

2. 직관형 LED램프 성능평가

2.1 구성부품별 특성

LED 패키지의 특성은 제조자가 제시한 데이터에 의해 표 2과 같다. 3 Chips의 SMD Type으로 정격전류 60[mA], 지향각 120[°], 연색성 77, 광도 6,800[mcd]의 약 0.2[W]급의 LED 패키지를 선정하였다. 본 연구에서는 정격전류의 약 78[%]인 46.7[mA]로 설계하여 측정하였다.

표 2. LED 패키지 특성
Table 2. LED Package Specifications

Parameter	Specifications
Type	SMD Type
Chip	3 Chips Based on GaN
Size	5.4[mm]×5.0[mm]×0.9[mm]
I _F	60[mA]
Luminous Intensity	6,800[mcd]
Viewing Angle	120 deg.
Ra	75~79.9

LED 모듈의 크기는 288×17[mm](가로×세로)이며, 패키지간의 4[mm] 간격으로 33개가 배열되어 있다. 그림 2와 같이 11개의 패키지가 직렬로 연결되어 3부분의 병렬로 구성되며 각 모듈 당 140[mA]로 설계되었다.

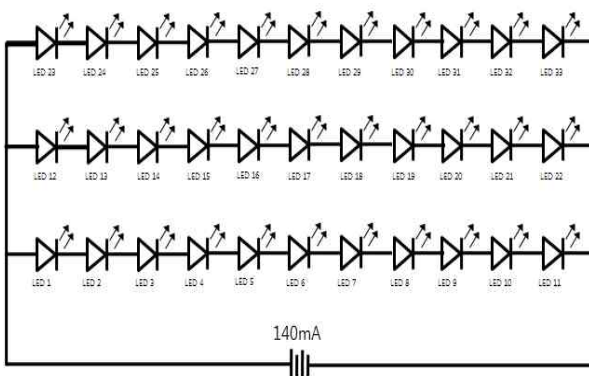


그림 2. LED 모듈 개략도
Fig. 2. LED Module Schematic

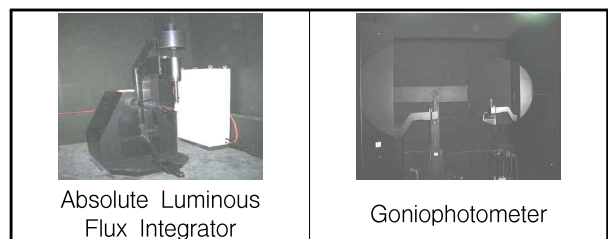
LED램프의 직경은 30[mm]이며, 길이는 1,200[mm]이다. LED 모듈 4개가 병렬로 연결되며 총 132개의 패키지로 구성되어 완제품에서의 정격전류는 560[mA]로 구동된다. 램프에 사용된 확산판은 폴리카보네이트(polycarbonate) 재질이며 두께가 1.2[mm]일 때 투과율은 약 65±3[%]이다. 확산판과 광원과의 거리에 따라 투과율은 달라지며 시험에서는 패키지의 시각적 보임을 방지하기 위해서 20[mm] 떨어져 있다. 또한 등기구효율 비교평가를 위해 사용된 등기구는 반사각 반사율이 97±2[%]이며 등기구 효율은 95±2[%]인 2등용 등기구를 사용하였다.

2.2 측정방법 및 장비

LED의 측정방법은 IES LM-79-08(Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products)에 의한 방법으로 측정을 실시하였다[3].

광속은 직류 전원장치로 정격전류를 공급하여 40분 이상 에이징 후 측정하였다. LED 패키지와 LED 모듈의 광속은 호주 피에스아이(PSI)(주) C타입의 절대광속측정기로 측정하였다. LED 패키지는 입력전류(I_F) 변화에 따른 광속 및 광효율 변화를 비교·분석하였다. LED램프 및 등기구는 배광측정기로 광속 및 배광 특성을 측정하였다. 피에스아이(PSI)(주)에서 제작된 C타입(Mirror타입) 배광측정기에서 얻어지는 IES파일은 설치 위치에 적합한 조도 비교·분석을 위한 시뮬레이션이 가능하다. 고효율 반사판이 장착된 2등용 등기구에 형광램프 및 LED램프를 각각 설치하여 측정한 IES파일을 이용하여 Relux시뮬레이션을 통한 조도특성을 비교평가하였다.

그림 3. 측정장비
Fig. 3. Measurement Devices



3. 측정결과

3.1 구성부품별 광특성

LED 패키지는 직류 전원장치로 정격전류 60[mA]를 공급하여 V_F , 소비전력, 광속, 광효율을 측정하였다.

표 3. LED 패키지 측정데이터
Table 3. Measurement Data for LED Package

구분	P#1	P#2	P#3	P#4	P#5
V_F [V]	3.28	3.22	3.16	3.08	3.30
P[W]	0.197	0.193	0.190	0.185	0.198
광속([lm])	18.6	19.7	18.6	19.7	18.2
광효율([lm/W])	94.4	103.7	97.9	106.5	91.9

총 5개를 측정한 결과 광속은 18.2~19.7[lm] 정도이며 광효율은 91.9~106.5[lm/W]이다. 같은 랭크(rank)상의 패키지라도 광특성이 10[%] 이상 차이가 날 수 있음을 알 수 있다.

LED 패키지의 입력전류(I_F)의 변화에 따른 V_F , 소비전력, 광속, 광효율이 그림 4와 같다.

정격전류($I_F=60$ [mA])의 30[%](18[mA])~120[%](72[mA])까지 변화를 시키면 V_F 는 2.94[V]에서 3.32[V]까지 점차적으로 늘어나며, 소비전력은 0.053[W]에서 0.239[W]까지 측정되었다. 광속과 광효율을 보면 I_F 값이 커지면 광속은 늘어나지만 광효율은 떨어진다. 광속은 정격(60[mA])에서 18.6[lm]이며 실제 제품에서의 설계전류에 따른 46.7[mA]에서는 15.6[lm]이다. 저발열을 위한 디레이팅 설계에 따른 광속 저하는 16.1[%]이다. 정격전류의 30[%]인 18[mA]에서 127.16[lm/W]로 광효율이 가장 높게 나왔으며 정격(60[mA])에서는 94.23[lm/W], 제품 설계전류인 46.7[mA]에서의 광효율은 105.64[lm/W]이다. LED 패키지의 디레이팅 설계를 위해서는 제품에서의 목표광속, 패키지의 온도 지표인 열저항, 정격변화별 광속과 광효율을 예측하여 패키지의 수량 및 소비전력에 적합하도록 설계하여야 한다.

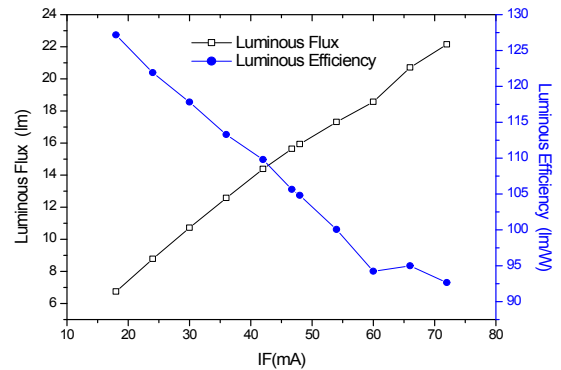
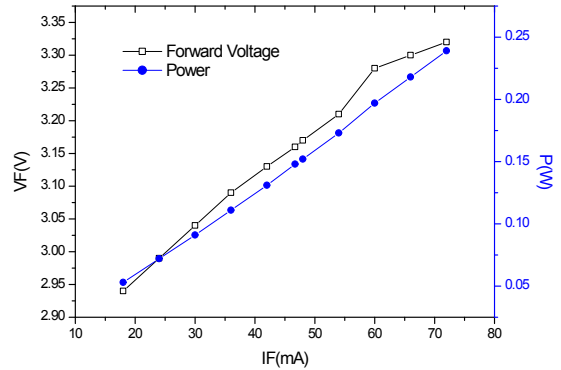


그림 4. LED 패키지 측정데이터(전류별)
Fig. 4. Measurement Data for LED Package (according to currents)

표 4. LED 모듈 측정데이터
Table 4. Measurement Data for LED Module

구분	M#1	M#2	M#3	M#4
V_F [V]	34.1	33.9	34.0	33.9
P[W]	4.78	4.74	4.76	4.75
광속([lm])	499.6	492.0	495.6	493.2
광효율([lm/W])	104.4	103.8	104.1	103.8

LED 모듈도 직류 전원장치로 설계전류 140[mA]를 공급하여 V_F , 소비전력, 광속, 광효율을 측정된 데이터가 표 4와 같다. 각 모듈의 V_F 는 약 34[V]정도이며 소비전력은 4.74~4.78[W]로 측정되었다. 모듈당 총 33개의 패키지가 11개씩 직렬로 구성되며 3부분의 병렬로 배열되어 있다. 설계전류인 140[mA]에서의 광속은 495.6[lm]으로 모듈단위에서는 약 3.7[%]의 광손실

이 발생하였다. 이는 모듈설계 시 직병렬 조합 및 패키지 간의 간격에 의한 손실로 추정된다.

LED램프의 특성은 직류 전원장치로 설계전류 560[mA]를 공급하여 소비전력, 광속, 광효율, 지향각을 측정하였으며 결과는 표 5와 같다. 이때 확산판을 제거후 측정하여 확산판에 의한 손실정도를 비교하였다.

확산판의 유무에 따라 지향각(Beam Angle)은 165°와 120°로 45°의 차이를 보인다. 여기서 지향각은 램프의 총광속의 80[%] 지점을 나타낸다. 직관형 LED램프의 경우 글레어 문제와 패키지가 직접 보이지 않게 하기 위하여 확산판을 사용한다. 광속을 비교해보면 확산판에 의한 손실은 약 288[lm]으로 약 14.9[%]의 광손실이 발생한다. 따라서 확산판의 설계시 지향각, 글레어, 확산판의 투과율, 시각적인 패키지 보임을 고려하여 설계되어야 한다.

표 5. LED램프 측정데이터
Table 5. Measurement Data for LED Lamp

구분	L#1 (확산판이 있는 경우)	L#1 (확산판이 없는 경우)	L#2 (확산판이 있는 경우)	L#2 (확산판이 없는 경우)
P[W]	20.3	20.4	20.2	20.4
광속[lm]	1,647	1,935	1,619	1,906
광효율[lm/W]	81.1	94.9	80.1	93.4
지향각[°]	165	120	165	120

마지막으로 위에서 측정한 직관형 LED램프를 2등용 등기구에 장착하여 광속 및 광효율을 측정하였다. 직류 전원장치로 1.12[A]를 공급하여 측정하였으며 사용된 등기구는 반사갓 반사율이 97±2[%]이며 등기구 효율은 95±2[%]인 2등용 등기구이다. 측정결과 총 광속은 3,177[lm], 소비전력은 40.6[W]로 광효율은 78.3[lm/W]이다. 램프에서 등기구에 장착함으로써 2.7[%]의 광손실이 발생한다.

3.2 광손실 분석

직관형 LED램프의 구성부품별 광특성을 측정한 결과 패키지에서부터 2등용 등기구까지의 광속 및 광효율에 대한 손실을 분석해보면 그림 5와 같다.

먼저 LED 패키지에서는 모듈 배열 및 저발열설계를 위해 정격전류의 78[%](46.7[mA])로 디레이팅 설계되어짐에 따라 정격광속 대비 16.1[%]가 저하되며 광효율은 105.6[lm/W]이다. LED 패키지 33개를 모듈로 구성할 때 약 3.7[%]의 광손실이 발생되며 광효율은 104.1[lm/W]이다. 이는 33개의 패키지를 PCB에 배열할 때의 직병렬 조합 및 간격에 의한 손실로 예상된다. 4개의 모듈을 램프로 구성할 때 약 2.3[%]의 광손실이 일어나며 이 때의 광효율은 94.9[lm/W]이다. 모듈에서와 마찬가지로 4개의 모듈에 대한 병렬연결, 모듈배치, 베이스와 방열판이 조립되면서 구조적 원인에 따른 광손실이 일어난다. 여기에 확산판이 조립되면서 광손실은 14.9[%]이며 광효율은 81.1[lm/W]이다.



그림 5. 직관형 LED램프의 구성부품별 광손실
Fig. 5. Optical Losses of Tubular LED Fluorescent Lamps Components

최종적으로 등기구에 장착되면서 2.7[%]의 광손실과 78.3[lm/W]의 광효율이 측정되었다. 따라서 패키지에 서부터 등기구까지 광손실은 약 23.6[%]의 광손실이 일어난다.

3.3 배광특성에 의한 시뮬레이션 비교평가

형광램프(FLR 32[W]), 확산판이 없는 LED램프, 확산판이 조립된 LED램프를 고효율 반사갓이 장착된 2 등용 등기구(1,275×310×40[mm])에 장착하여 각각 배광측정 후 등기구 효율을 평가하였다. 이때 등기구 효율은 기구에서 방출되는 전광속을 기구에 장착되는 램프의 전광속으로 나누어서 계산한다. 각각의 램프를 등기구에 장착하여 측정된 광특성은 표 6과 같다.

형광램프가 LED램프보다 광속값이 높지만 광효율 및 등기구 효율은 더 낮게 측정되었다. 형광램프는 입체방사로 인한 반사갓에 의한 손실이 발생하지만 LED램프는 윗면에 방열판이 장착되어져서 반사갓에 대한 영향이 크지 않기 때문이다. 지향각은 등기구 반사갓 형태에 따라 형광램프와 LED램프가 거의 동일하게 측정되었다. 광효율 측면에서 형광등기구는 형광램프용 전자식안정기를 장착하여 측정하였으며, LED 등기구는 직류 전원장치로 점등하였다. 따라서 현재 LED 전용 컨버터의 입출력효율이 85[%]정도임을 감안하면 형광등기구보다 광효율이 더 낮게 나올 수 있다.

표 6. 형광등기구 및 LED 등기구 측정데이터

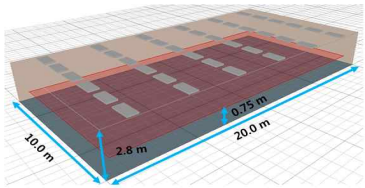
Table 6. Measurement Data for FL and LED Luminaire

구분	형광등기구	LED등기구 (확산판이 없는 경우)	LED등기구 (확산판이 있는 경우)
P[W]	59.9	40.7	40.6
광속[lm]	4,526	3,792	3,177
광효율[lm/W]	75.6	93.2	78.3
지향각[°]	120	120	125
등기구효율[%]	95.1	98.6	97.3

위의 실험에서 얻어진 IES 파일을 이용하여 Relux로 조명설계 시뮬레이션을 수행하였다. 조명설계 시뮬레이션 입력 조건은 표 7과 같다.

표 7. 시뮬레이션 조건

Table 7. Condition of the Simulation

Diffusion	floor	ceiling	walls
	20[%]	75[%]	50[%]
Height of reference plane	0.75[m]	Number of Luminaires	36[units] (6×6)
Maintenance Factor	Clean room, 3-year maintenance cycle		
Dimensions			

시뮬레이션 공간은 사무실로 가정하고 실크기는 20.0×10.0×2.8[m], 조도측정면은 0.75[m], 광손실률(LLF : Light Loss Factor)은 0.67(3년 주기로 유지관리가 이루어지는 깨끗한 방)로 설정하였다[4]. 실제 측정된 배광데이터를 이용하여 등기구 수가 36개(가로 6개×세로 6개)일 때 면적당 소비전력, 평균조도, 균제도를 비교·분석하였다.

표 8. 시뮬레이션 결과(조도비교)

Table 8. Results of the Simulation(comparisons of the Illuminance)

구분	형광등기구	LED등기구 (확산판이 없는 경우)	LED등기구 (확산판이 있는 경우)
면적당 소비전력([W/m²])	10.80	7.38	7.38
평균조도([lx])	549	464	375
균제도(E _{min} /E _{av})	1:1.29(0.78)	1:1.33(0.75)	1:1.36(0.74)

시뮬레이션 결과는 표 8과 같다. 면적당 소비전력은 광효율이 높은 LED 등기구가 낮게 나왔으며 평균조도는 형광램프가 549[lx]로 사무실에서 권장하는 500

[lx] 이상에 만족하였다. 균제도는 0.74~0.78로 형광램프가 더 높게 평가되었다. 결과적으로 LED 등기구의 광속 및 광효율을 향상시키면 기존 형광등기구를 대체할 수 있다.

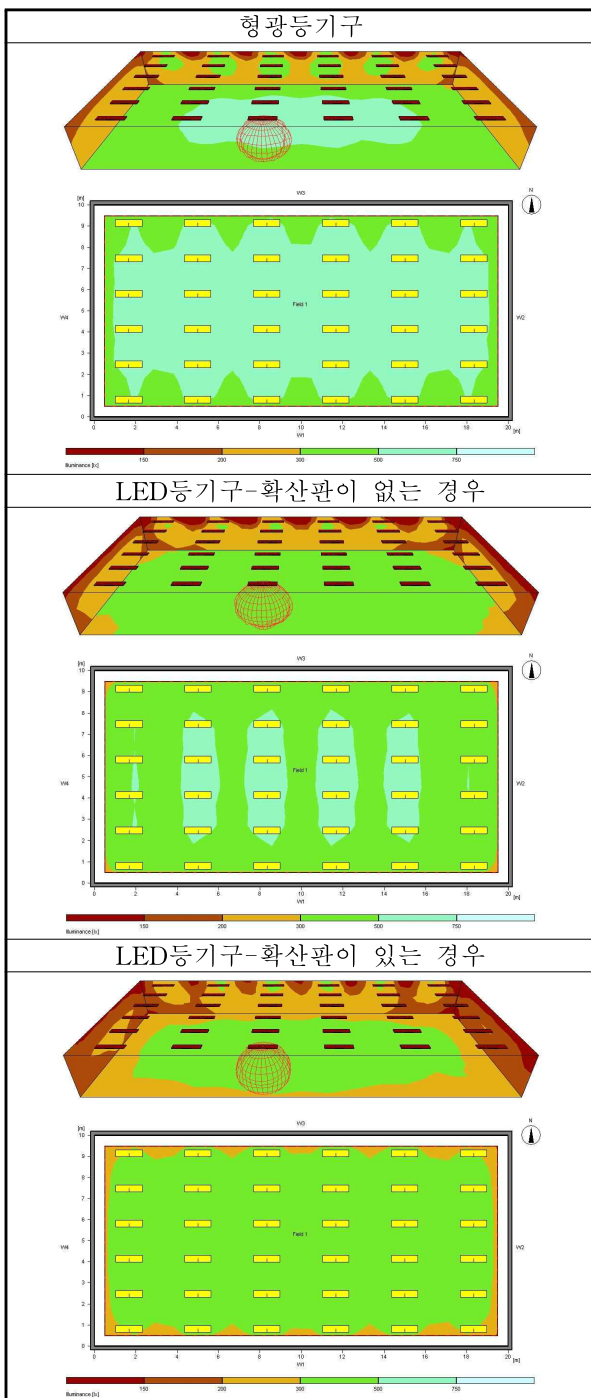
4. 결 론

본 연구에서는 기존 FLR 32[W] 형광램프를 대체하는 LED램프의 구성부품별 구조에 따른 광손실을 분석하였다. 직관형 LED램프에 사용되는 부품인 LED 패키지, 모듈, 램프에서 각각 광속을 측정하여 구성부품별 광손실 정도와 LED 패키지의 공급전류에 따른 광속 및 광효율을 분석하였다. 또한 측정된 배광데이터로 Relux시뮬레이션을 통하여 사무실공간에서의 조도분포를 비교하였다.

직관형 LED램프를 설계하기 위해서는 가장 먼저 LED 패키지의 광특성을 평가하여 완제품에서의 목표 광속을 달성하기 위한 수량을 예측하고 광효율을 높이기 위한 최적의 디레이팅 설계가 이루어져야 한다. 또한 모듈단위에서는 광손실을 최소화시킬 수 있는 PCB의 패키지 간격 및 직·병렬 설계를 해야 한다. 직병렬 설계에 따라 수명과 관련하여 개별 패키지마다 스트레스의 정도가 달라지며 개별 고장 시 완제품에서의 성능저하에 크게 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 본 연구에서 광손실의 가장 큰 원인은 확산판이며 약 15[%]이다. 확산판 설계 시 투과율 및 배광을 고려하여 광효율을 최대로 발휘할 수 있는 재질 선정이 필요하다. 최종적으로 기존 형광램프를 LED램프로 교체하기 위해서는 이미 설치된 반사갓의 배광예측, 등기구 효율, 컨버터의 효율을 고려하여야 할 것이다.

결과적으로 LED 패키지에서 조명기구까지 약 24[%]의 광손실이 발생하며 조도분포 시뮬레이션 결과 기존 형광등기구를 대체할 수 있다. 기존 전통조명을 LED 광원으로 교체하기 위해서는 LED 패키지의 특성인 고효율과 장수명을 고려해야 한다. LED 칩의 광속 및 광효율은 급속히 향상되고 있으나 응용제품에서의 광손실이 커지면 대체조명으로 가능하지 못하다. 현재 직관형 LED램프의 활성화를 위해서는 목표광속 및 광효율에 도달하기 위한 각 구성부품별 광손실 예측, 최종 제품에서의 목표특성에 대한 최적설계, 시장진입을 위한 가격경쟁력 있는 부품선정이 필요하다.

본 연구의 결과는 현재 개발 보급중인 직관형 LED램프의 광특성을 분석함으로써 최적 조명설계를 위한 기초적 자료로 활용될 수 있다.



References

- [1] 2009 지식경제 통합기술청사진, 2009.
- [2] 장우진, 여인선, 김훈, 이진우, 염정덕, 김수길, 최신 조명 환경원론, 문운당, 2010.
- [3] IES LM-79-08, Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products, 2008.
- [4] 김유신, 최안섭, “간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 배광형태 및 조명환경 변화 분석”, 한국조명전기설비학회 논문지, 제25권, 제1호, pp. 9-17, 2011.
- [5] Relux Professional 2007 Manual.
- [6] R. H. Simon, A. R. Bean, Lighting Engineering, Architectural Press, 2009.
- [7] E. Fred Schubert, Light-Emitting Diode, 2nd Edition, Cambridge University Press, 2007.

◆ 저자소개 ◆



정희석(鄭熹錫)

1975년 11월 9일생. 2002년 광운대학교 전기공학과 졸업. 2009년 광운대학교 전자물리학과 졸업(석사). 2002년~현재 한국조명연구원 주임연구원.



박창규(朴昶圭)

1967년 10월 9일생. 2002년 성균관대학교 산업공학과 졸업(박사). 한국신뢰성학회 이사. 2007년~현재 한국조명연구원 신뢰성팀장.