

간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 배광형태 및 조명환경 변화 분석

(Analysis of the Change of Intensity Distribution and Luminous Environment by Reflector Shape in Indirect Reflected LED Luminaires)

김유신* · 최안섭**

(Yu-Sin Kim · An-Seop Choi)

Abstract

Development of high efficiency and eco-friendly LED source has been progressed continuously. Also, by nation's regulations, public institutions have changed existing luminaires to LED luminaires. However, there are several differences between existing luminaires and the intensity distribution of general planar LED luminaires. In case of changing existing luminaires to LED luminaires, by such differences, there are inefficiencies both quality aspect and energy aspect in luminous environment. Therefore, this study aims to conduct a study on the changes of intensity distribution and luminous environment by reflector shapes in indirect reflected LED luminaires with software for optical design of a luminaire (Photopia 2.0) and lighting design of a space (ReluxPro). This study shows the changes of intensity distribution and luminous environment of indirect reflected LED luminaires and indirect fluorescent lamp luminaires by reflector shapes.

Key Words : Planar LED Luminaires, Reflector Shape, Luminous Environment, Optical Design Simulation, Lighting Design Simulation

1. 서 론

1.1 연구의 배경

전 세계적으로 에너지 소비의 증가에 따른 에너지

고갈과 자연환경 파괴 및 CO₂ 증가 등과 같은 문제점 해결을 위해 친환경 저에너지에 대한 관심이 커지고 있다. 특히, 건축물에서 소비되는 에너지 중 조명용 에너지로 소비되는 에너지가 약 20[%]로 높은 비율을 차지하고 있다[1]. 그리고 현재 가장 널리 사용되어지고 있는 형광램프는 수은 함유에 의해 정책적 규제 대상이 되고 있으며, 그에 따라 고효율 친환경 조명기기인 LED가 각광받고 있다[2].

우리나라는 2009년 LED 조명산업을 21세기 신성장동력산업(3대 분야 17개 산업)으로 선정하여 연구

* 주저자 : 세종대학교 건축공학과 박사과정
** 교신저자 : 세종대학교 건축공학과 교수
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr
접수일자 : 2010년 11월 15일
1차심사 : 2010년 11월 24일
심사완료 : 2010년 12월 17일

개발에 투자하고 있으며, 2012년 세계 3대 LED 생산국을 목표로 하고 있다[3]. 그리고 2015년까지 120 [lm/W]급, 2020년까지 200[lm/W]급 LED 기술 개발 계획을 수립하였으며[4-5], 국가 정책에 따라 2012년까지 공공기관의 전체 조명 중 30[%]를 LED로 교체할 방침이며, 2015년까지 조명시장의 30[%]를 LED 조명으로 대체할 계획이다[6]. 이에 따라 공공기관에 설치되었던 기존의 형광램프 조명기구를 대신하여 평면 LED 조명기구로 교체되고 있다.

현재 사용되고 있는 평면 LED 조명기구는 LED 램프를 하향을 향하게 설치하고, 확산판(불투명 커버)을 설치하여 LED 램프의 직접적인 노출을 막는 조명기구가 대부분이다. 이와 같은 평면 LED 조명기구는 등근 형태의 “램버션(Lambertian)” 배광형태를 지닌다. 이는 일반적으로 많이 사용되고 있는 형광램프 조명기구의 옆으로 퍼지는 “배트윙(Bat-wing)” 형태의 배광형태와 차이를 보인다.

1.2 연구의 목적 및 방법

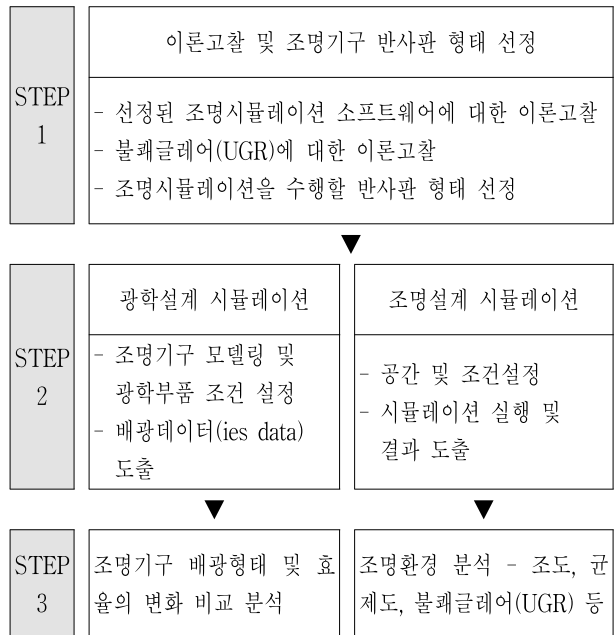
LED 램프는 기존 형광램프나 백열램프와 달리 집속성이 강하고 휘도가 높은 광특성을 지니며, 램프의 크기와 광량이 작아 다수의 LED 소자의 모듈화를 통해 조명기구로서 활용이 가능하다. 이와 같이 기존 광원과 다른 LED 램프의 광특성 때문에 평면 LED 조명기구는 기존의 일반적인 조명기구와 동일한 방법으로 광학부품의 광학설계를 통해서서는 목표배광을 얻기 힘들다. 이때 조명기구의 광학설계란 조명기구가 설치 환경에 맞는 목표배광에 이르도록 조명기구의 광원이나 반사판, 렌즈, 프리즘 등과 같은 광학부품의 형태를 디자인하는 것을 의미한다[7].

“램버션” 배광형태의 평면 LED 조명기구를 “배트윙” 배광형태의 형광램프 조명기구가 설치되었던 기존 공간에 설치할 경우, 조명환경의 질적인 측면이나 에너지 효율적인 측면에서 비효율적일 수 있다. 따라서 조명기구의 효율적인 활용을 위해서는 공간의 용도 및 성격에 따라 적합한 배광형태의 조명기구가 적용되어야 한다. 그에 따라 평면 LED 조명기구가 기존의 조명기구를 대체하기 위해서는 LED 램프의 광특

성에 알맞은 광학설계가 필요하며, 평면 LED 조명기구에 의한 조명환경 평가가 함께 이루어져야 한다.

본 연구에서는 LED 램프의 직접적인 노출을 막아 불쾌글레어(Discomfort glare)를 줄인 간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 배광형태와 조명기구의 효율 변화를 형광램프 조명기구와 함께 비교하였다. 더불어 LED 조명기구와 형광램프 조명기구에 따른 조명환경을 비교 분석하였다. 이때 표 1과 같이 광학설계 소프트웨어인 Photopia 2.0 시뮬레이션을 통해 반사판의 형태에 따른 형광램프 조명기구와 LED 조명기구의 배광형태와 조명기구의 효율 변화를 비교하였으며, 조명설계 소프트웨어인 ReluxPro 시뮬레이션을 통해 조도 및 균제도, 불쾌글레어(UGR) 등의 조명환경을 평가하였다.

표 1. 연구의 방법 및 절차
Table 1. Research procedure



2. 이론 고찰

2.1 조명시뮬레이션 소프트웨어의 특징

조명시뮬레이션 소프트웨어는 조명기구의 광학설계를 위한 소프트웨어와 조명설계를 위한 소프트웨어로

구분할 수 있다. 이 중 조명기구의 광학설계를 위한 소프트웨어로는 Photopia가 대표적이다. Photopia는 광선추적기법(Raytracing)을 기반으로 하며, 조명기구의 배광분포를 3차원으로 분석하고, 광학설계하는 소프트웨어이다[8]. Photopia를 이용하여 광학설계를 하기 위해서는 조명기구의 광학적 형상(3D CAD 모델링)과 광원의 종류 및 위치, 그리고 광학부품 재료의 광학적 특성(반사율, 투과율, 굴절률 등)등의 설정이 필요하다. 그리고 이러한 광학부품의 광학특성 설정에 따라 Photopia 시뮬레이션의 결과가 달라진다.

조명설계를 위한 소프트웨어로는 Dialux, Relux, AGI 32, Lumen-Micro, Lightscape 등 다양하게 상용화되어 있다. 이러한 조명설계 소프트웨어를 이용하여 인공조명 시뮬레이션을 수행할 경우 서로 거의 유사한 시뮬레이션 결과가 도출된다[9]. 본 연구에서는 조명설계 소프트웨어로서 Relux를 이용하였다. Relux는 공개된 인터페이스(<http://www.relux.biz/>)의 소프트웨어로서 실내의 공간과 도로 조명설계의 시뮬레이션이 가능하다. 그리고 광속전달법(Radiosity)을 기반으로 하는 독자적인 계산 알고리즘(Point-to-Point Calculation)을 사용한다. 또한 시뮬레이션 결과로 실내 공간의 조도분포 및 균제도, 휘도 평가와 더불어 다른 소프트웨어와 다르게 불쾌글레어(UGR) 평가가 가능하다[10].

2.2 불쾌현위 평가 방법

각종 조명시스템들에 대한 인간이 느끼는 불쾌글레어를 수식화함으로써 정량화하기는 어려운 일이다. 그러나 북미조명학회(IESNA)는 불쾌글레어를 평가하는 방법으로 VCP(Visual Comfort Probability) 시스템을 채택하여 사용하고 있으며, 국제조명위원회(CIE)에서는 UGR(Unified Glare Rating) 시스템을 제안하여 사용하고 있다[11]. UGR 시스템은 불쾌글레어 값을 일반적으로 10에서부터 30사이의 값으로 나타내며, UGR 값이 증가할수록 불쾌글레어도 증가한다. 다음 표 2는 불쾌글레어의 평가기준과 이에 해당하는 UGR 값의 범위를 나타내고 있다[12].

불쾌글레어를 평가하는 가장 기본적인 매개변수는

광원의 크기, 광원의 휘도, 관찰자와 광원의 상대적 위치이다. UGR 값은 이러한 매개변수를 이용하여 다음 식 (1)과 같은 수식에 의해 계산되며[13], UGR 시스템은 VCP 시스템과 달리 백열램프, 고광도 방전램프와 같은 점광원의 불쾌글레어도 평가가 가능하다. 그러나 정사영면적이 0.005[m²] 이하의 작은 광원이나 광천장과 같은 매우 큰 광원의 평가에는 적절하지 못하다[11]. 본 연구에서 사용한 조명기구는 일반적인 형태의 조명기구로서 UGR 평가 방법을 이용하여 불쾌글레어를 평가하였다.

표 2. 불쾌글레어의 평가기준과 UGR 값
Table 2. Criteria of discomfort and UGR

불쾌글레어 평가기준	UGR
Just intolerable(참을 수 없는)	31
Uncomfortable(불편한)	28
Just uncomfortable(단지 불편한)	25
Unacceptable(받아들일 수 없는)	22
Just acceptable(받아들일 만한)	19
Perceptible(감지할 수 있는)	16
Imperceptible(감지할 수 없는)	10

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \omega}{P^2} \right] \quad (1)$$

여기서,

L_b : 주변의 평균휘도([cd/m²])

L_s : 관찰자 위치에서 바라 본 각 조명기구의 발광면 휘도([cd/m²])

ω : 관찰자 위치에서 바라본 조명기구와 이루는 입체각(sr)

P : 각 조명기구에 대한 구스(Guth)의 위치지수

3. 시뮬레이션 수행

3.1 반사판 형태 및 시뮬레이션 조건 선정

본 연구에서는 간접 반사형 LED 조명기구의 반사

간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 배광형태 및 조명환경 변화 분석

판 형태에 따른 배광 변화 및 조명환경 변화를 비교하기 위하여 기존에 상용화되어 있는 형광램프 조명기구의 반사판 형태를 활용하였다. 이때 사용된 조명기구는 간접 반사형 조명기구로 일반적인 직접조명 형태의 형광램프 조명기구에 비해 효율이 매우 낮다. 그리고 반사판의 형태에 따른 시뮬레이션 결과를 비교하기 위해 다음 표 3과 같이 형태가 다른 2가지 조명기구의 3가지 반사판 높이를 선정하였다.

표 3. 반사판 형태 선정 및 광학부품 특성
Table 3. Selections of reflector shape and specific character of optical parts

	Type 1 조명기구	Type 2 조명기구
이미지		
모델링		
반사판 형태		
광학부품 특성		
광원 : 형광램프 - 2×T5(28[W]), 총광속 - 5,200[lm] LED램프 - N사 2.6[W] 배광각도 120°, 30[ea] 총광속 - 3,900lm 조명기구 크기 : 1198×298[mm], H 150[mm] 광학부품 ① & ② 재질 : White paint 90[%] ⇒ 반사판 광학부품 ①의 높이 : 60[mm], 80[mm], 100[mm] -> 3가지 타입 광원의 설치 위치 : 광학부품 ② LED 설치 각도 : 25°		

본 연구에서는 간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 조명기구 배광형태 변화와 효율 분석을 위하여 광학설계 소프트웨어인 Photopia 2.0을 이용하였다. Photopia 2.0을 이용하여 광학설계를 수행

하기 위해서는 광원의 종류와 위치, 광학부품의 재질이 매우 중요하며, 표 3과 같이 광학부품의 특성 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 광학설계 시뮬레이션에 사용된 광원은 28[W] T5 형광램프와 2.6[W] LED 램프이며, 광학부품 ②의 위치에 설치되었다. LED 램프는 현재 사용화 되어 있는 N사의 2.6[W], 배광각도 120°, 광량 130[lm]인 LED를 사용하였으며, 총 30개를 사용하여 소비전력이 78[W], 총 광량은 3,900[lm]이다.

본 저자는 예비 연구로 LED 램프의 집속성의 광특성을 고려하여 설치 각도 고려하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과 LED 패키지의 각도에 의한 배광형태와 효율의 차이가 미비하였다. 다음 표 4는 LED 패키지의 설치 각도 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그에 따라 본 연구에서는 효율이 좀 높은 25°로 LED 패키지의 설치 각도를 선정하였으며, 반사판 높이를 변수로 시뮬레이션을 수행하였다.

표 4. 선행 연구 결과
Table 4. Result of preliminary study

LED 패키지 설치 각도			
10°		25°	
	반사판 높이 1	반사판 높이 2	반사판 높이 3
광학설계 시뮬레이션 결과 배광 형태			
10°			
25°			
광학설계 시뮬레이션 결과 조명기구 효율			
10°	19.5[%]	30.6[%]	40.3[%]
25°	20.1[%]	31.8[%]	42.2[%]

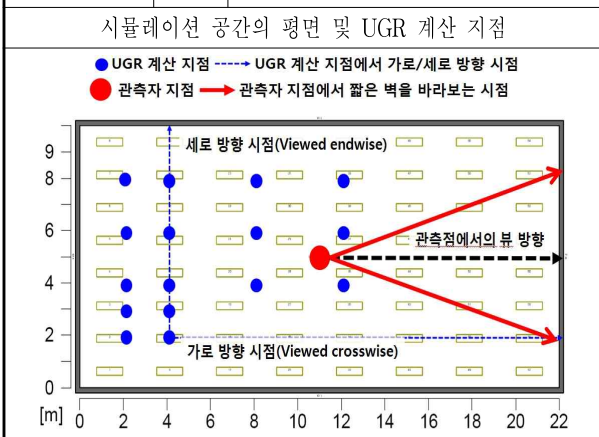
본 연구에서는 광학설계 시뮬레이션에 의해 도출된 배광 데이터를 이용하여 조명설계 시뮬레이션을 수행하였다. 조명설계 시뮬레이션 조건은 다음 표 4와 같

다. 시뮬레이션 공간은 오피스 공간으로 조명기구에 의한 조명환경 차이를 확연히 알아보기 위해 비교적 큰 공간으로 설정하였다. 또한 다음 표 5와 같이 조도 측정면은 작업면 높이(0.75[m])로 설정하였으며, 광손실률(LLF : Light loss factor)은 0.67(3년 주기로 유지 관리가 이루어지는 깨끗한 방)로 설정하였다.

그리고 광학설계 시뮬레이션에 의해 도출된 배광데이터를 이용하여 설정한 목표조도(400±10[%] [lx])에 적합한 조명기구의 개수를 산정하였으며, 이때 목표조도를 400[lx]에서 ±10[%]로 설정한 이유는 오피스 공간에 균일한 조명기구의 배치에 의해 400[lx]에 정확히 맞는 조명설계가 힘들기 때문이다. 산정된 조명기구를 설치하여 시뮬레이션 수행한 결과로 평균 조도와 균제도, 불쾌글레어를 평가하였다.

표 5. 시뮬레이션 조건 및 평면
Table 5. Condition and plane of the simulation

반사율	천정	벽체	바닥
	0.8	0.5	0.2
조도 측정면	0.75[m]	목표 조도	400[lx](±10[%])
설 크기	22.0[m] × 10.0[m] × 2.8[m]		
광손실률(LLF)	0.67(Clean room, 3-year maintenance cycle)		
UGR 계산 지점	관측점	11.0[m] × 5.0[m] × 1.2[m] (사람 시선 높이)	
	계산 지점	총 16점에서 가로/세로 방향으로 바라보는 시점	



불쾌글레어는 Relux 소프트웨어에서 자동으로 생성하는 계산지점과 관측점을 공간의 중심에서 사람의

시선 높이(1.2[m])으로 지정하여 UGR 값을 계산하였다. 계산지점은 총 16지점으로 각 지점에서 가로와 세로 방향의 시점에서 UGR 값을 계산하였으며, 관측점에서는 짧은 벽면(가로 방향)을 바라보는 시점(시점각도 : 좌우 15[°])에서 UGR 값을 계산하여 평가하였다.

3.2 Phtopia 2.0 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 표 3과 같이 두 가지 형태의 조명기구와 세 가지 높이가 다른 반사판을 이용하여 광학설계 시뮬레이션을 수행하였다. Phtopia 2.0을 이용한 광학설계 시뮬레이션 수행 결과, 다음 표 6과 같은 배광형태의 변화가 나타났다.

표 6에 표현한 배광데이터는 1,000[lm]기준으로 작성된 광도(cd)값이며, 직선은 수평각 0[°](또는 180[°])의 수직각별 광도 값을, 점선은 수평각 90[°](또는 270[°])의 수직각별 광도 값을 나타낸 것이다. Type 1 조명기구와 Type 2 조명기구의 시뮬레이션 결과, 반사판 높이에 따른 모든 경우에 있어서 형광램프 조명기구의 빔 각도(Beam angle)가 LED 조명기구의 빔 각도보다 다소 넓게 나타났다.

이때 각 높이별 형광램프 조명기구와 LED 조명기구의 빔 각도 차이는 Type 2 조명기구가 Type 1 조명기구에 비해 더 크게 나타났다. 그리고 Type 1 조명기구의 빔 각도가 Type 2 조명기구보다 넓게 나타났으며, 전체적으로는 반사판의 높이가 높아질수록 조명기구의 빔 각도가 좁아졌으며, 형광램프 조명기구와 LED 조명기구의 빔 각도가 서로 비슷해졌다. 이는 반사판의 형태의 변화에 있어서 너비는 일정하고 높이만 높아졌기 때문이다. 또한 LED 조명기구의 경우는 반사판 높이에 따른 빔 각도의 변화 폭이 형광램프 조명기구의 변화 폭에 비해 작게 나타났다. 이는 집속성이 강한 LED 램프의 광특성에 의해 반사판 높이에 의한 배광 변화가 형광램프에 비해 작기 때문으로 사료된다. 이와 같이 간접 반사형 LED 조명기구의 배광형태 변화를 살펴본 결과 반사판의 높이보다 반사판의 형태에 따른 영향에 따른 배광형태의 변화가 큰 것으로 나타났다.

Phtopia 2.0 시뮬레이션 결과로 도출된 배광의 광도 값은 LED 조명기구가 형광램프 조명기구 보다 높게

간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 배광형태 및 조명환경 변화 분석

표 6. Photopia 2.0 시뮬레이션 결과 - 배광형태
Table 6. Results of simulation by Photopia 2.0 - Intensity distribution

		cd/1,000lm, — C0/C180 C90/C270			
반사판 높이	형광램프 조명기구	LED 조명기구			
Type 1 조명기구					
60[mm]					
	Beam Angle C0/C180 : 123.5[°] C90/C270 : 164.9[°]	Beam Angle C0/C180 : 121.0[°] C90/C270 : 163.3[°]			
80[mm]					
	Beam Angle C0/C180 : 121.2[°] C90/C270 : 156.6[°]	Beam Angle C0/C180 : 120.6[°] C90/C270 : 151.7[°]			
100[mm]					
	Beam Angle C0/C180 : 118.4[°] C90/C270 : 147.2[°]	Beam Angle C0/C180 : 119.1[°] C90/C270 : 142.2[°]			
Type 2 조명기구					
60[mm]					
	Beam Angle C0/C180 : 117.3[°] C90/C270 : 140.1[°]	Beam Angle C0/C180 : 114.5[°] C90/C270 : 124.8[°]			
80[mm]					
	Beam Angle C0/C180 : 116.9[°] C90/C270 : 124.6[°]	Beam Angle C0/C180 : 117.4[°] C90/C270 : 116.7[°]			
100[mm]					
	Beam Angle C0/C180 : 115.7[°] C90/C270 : 118.7[°]	Beam Angle C0/C180 : 117.6[°] C90/C270 : 115.2[°]			

나타났는데, 이는 LED 조명기구의 효율이 형광램프 조명기구보다 높게 나타났기 때문이다. 다음 표 7은 조명기구의 반사판 형태와 높이에 따른 조명기구의 효율(Luminaire efficiency)을 나타낸 것이다.

표 7. Photopia 2.0 시뮬레이션 결과 - 기구 효율
Table 7. Results of simulation by Photopia 2.0 - Luminaire efficiency

반사판 높이	Type 1 조명기구		Type 2 조명기구	
	형광램프	LED 램프	형광램프	LED 램프
60[mm]	19.1[%]	44.6[%]	31.9[%]	56.4[%]
80[mm]	26.8[%]	53.8[%]	36.6[%]	58.1[%]
100[mm]	31.9[%]	55.8[%]	35.1[%]	54.5[%]

그 결과 Type 2 조명기구의 효율이 Type 1 조명기구의 효율보다 높게 나타났으며, Type 1 조명기구는 Type 2 조명기구보다 반사판의 높이가 높아질수록 향상되는 효율의 변화폭이 크게 나타났다. 그리고 2가지 조명기구 모두 반사판의 높이가 낮아질수록 형광램프 조명기구와 LED 조명기구의 효율 차이가 크게 나타났다. 이때 Type 1 조명기구의 효율은 반사판의 높이가 높아질수록 효율이 높아지는 경향을 보였으나, Type 2 조명기구인 경우 반사판 높이가 80[mm]인 경우에 가장 높은 효율이 나타났다. 이는 간접 반사형 LED 조명기구의 효율을 높이기 위해서는 반사판 형태에 따른 적정 높이의 도출이 필요함을 의미한다.

3.3 ReluxPro 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 Photopia 2.0을 이용한 광학설계 시뮬레이션 결과로 도출된 ies 파일의 배광데이터(*.ies)를 이용하여 조명설계 시뮬레이션(ReluxPro)을 수행하였다. ReluxPro 시뮬레이션 결과로써 다음 표 8과 같이 목표 조도인 400(±10[%])[lx]에 적합한 조명기구의 개수와 그 개수에 따른 작업면의 평균조도와 균제도(Emin/Eave), 그리고 UGR 계산 값을 도출하였다.

앞 절에서 기술한 것과 같이 LED 조명기구의 총 입력 광속은 3,900[lm]으로 5,200[lm]인 형광램프 조명기구보다 낮지만 LED 조명기구의 효율이 약 1.5~2.3배로 높기 때문에 목표 조도에 적합한 조명기구의 개수는 LED 조명기구를 적용하였을 때가 형광램프 조명기구를 적용하였을 때보다 적게 나타났다. 그러나 LED 조명기구의 소비전력이 78[W]로써 소비전력이 52W 형광램프 조명기구보다 높기 때문에 공간의 면적당 소비전력을 비교하면 Type 1 조명기구의 반사판 높이 60[mm]과 80[mm]인 경우를 제외하고 LED 조명기구의 소비전력이 형광램프 조명기구보다 높게 나타남을 알 수 있다. 그러나 이러한 문제는 현재 LED 램프의 광효율([lm/W])이 급속히 향상되고 있기 때문에 형광램프 조명기구보다 효율적인 LED 조명기구의 개발이 이루어질 것으로 보인다.

Type 1과 Type 2 조명기구의 작업면의 균제도는 형광램프 조명기구와 LED 조명기구 모두 0.58~0.59, 0.56~0.57로 거의 동일하게 나타났다. 그리고 UGR 계산 값의 경우, 전체적으로 형광램프 조명기구의 UGR 값이 LED 조명기구의 UGR 값보다 낮게 나타났으나 그 차이는 최소 0.6에서 최대 2로 근소한 차이를 보였다. 대부분의 UGR 값이 18~20으로 나타났으며 이는 불쾌현황 평가기준에서 만족함을 알 수 있다.

표 8. ReluxPro 시뮬레이션 결과 - 조명환경
Table 8. Results of simulation by ReluxPro - Luminous environment

반사판 높이	시뮬레이션 결과	형광램프 조명기구	LED 조명기구	
Type 1 조명기구				
60[mm]	기구개수(ea)	144	88	
	면적당 소비전력([W/m ²])	36.7	31.2	
	평균조도([lx])	378	406	
	균제도(Emin:Eavg)	1:1.69(0.59)	1:1.7(0.59)	
	UGR	계산 지점	관측점	18.4
			평균	16.8
			최소	10.0
			최대	22.7
		20.4	24.3	

80[mm]	기구개수		100	72	
	면적당 소비전력([W/m ²])		25.5	25.5	
	평균조도		375	410	
	균제도(Emin:Eavg)		1:1.71(0.59)	1:1.73(0.58)	
	UGR	계산 지점	관측점	19.4	20.7
			평균	17.6	18.9
최소			11.6	13.2	
최대			22.5	23.1	
100[mm]	기구개수		88	64	
	면적당 소비전력([W/m ²])		22.4	22.7	
	평균조도		400	388	
	균제도(Emin:Eavg)		1:1.74(0.58)	1:1.71(0.58)	
	UGR	계산 지점	관측점	19.7	20.7
			평균	17.8	18.5
최소			12.5	13.7	
최대			22.0	22.0	
Type 2 조명기구					
60[mm]	기구개수		88	64	
	면적당 소비전력([W/m ²])		22.4	22.7	
	평균조도		412	405	
	균제도(Emin:Eavg)		1:1.76(0.57)	1:1.78(0.56)	
	UGR	계산 지점	관측점	19.7	20.4
			평균	17.4	17.6
			최소	12.8	14.3
			최대	19.5	19.1
80[mm]	기구개수		72	64	
	면적당 소비전력([W/m ²])		18.3	22.7	
	평균조도		392	421	
	균제도(Emin:Eavg)		1:1.78(0.56)	1:1.78(0.56)	
	UGR	계산 지점	관측점	19.7	20.1
			평균	17.0	17.1
최소			13.7	14.6	
최대			18.5	18.1	
100[mm]	기구개수		80	64	
	면적당 소비전력([W/m ²])		20.4	22.7	
	평균조도		422	396	
	균제도(Emin:Eavg)		1:1.77(0.57)	1:1.75(0.57)	
	UGR	계산 지점	관측점	19.4	20
			평균	16.6	16.9
			최소	13.7	14.4
			최대	18.2	18.6

이와 같이 본 연구에서는 간접 반사형 조명기구의 반사판 형태에 따른 형광램프 조명기구와 LED 조명기구를 조명설계 시뮬레이션을 통해 조명환경 변화를 비교하였다. 그 결과, 조명기구의 설치 개수를 제외하고는 형광램프 조명기구와 LED 조명기구에 의한 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 반사판 형태에 따른 간접 반사형 LED 조명기구의 배광형태 및 조명기구 효율의 변화를 형광램프 조명기구와 함께 비교하였으며, 더불어 그에 따른 조명환경 변화를 분석하였다. 이때 기존의 간접 반사형 형광램프 조명기구의 반사판을 이용하였으며, 2가지 형태의 조명기구와 서로 높이가 다른 3가지 반사판을 사용하여 광학설계 소프트웨어인 Photopia 2.0와 조명설계 소프트웨어인 ReluxPro를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

먼저 Photopia 2.0을 이용한 광학설계 시뮬레이션을 수행한 결과 각각의 반사판 높이에 따른 시뮬레이션 결과에서 형광램프 조명기구의 빔 각도가 LED 조명기구의 빔 각도보다 다소 넓게 나타났다. 그리고 전체적으로 반사판의 높이가 높아질수록 좁아지는 배광형태의 변화를 보이면서 서로 유사한 배광형태를 보였는데, 이는 반사판의 너비는 일정한데 반해 높이만 높아졌기 때문으로 사료된다.

그리고 LED 조명기구의 경우 형광램프 조명기구에 비해 반사판 높이에 따른 빔 각도의 변화폭이 작았는데, 이는 집속성이 강한 LED 램프의 광특성에 기인한 것으로 보인다. 또한 이러한 LED 램프의 광특성에 의하여 LED 조명기구의 효율이 형광램프 조명기구의 효율에 비해 약 1.5~2.3배 정도 높게 나타났다. 이때 LED 조명기구의 효율은 반사판의 형태와 높이에 따라 다소 변화가 발생하였는데, LED 조명기구의 효율을 높이기 위해서는 반사판 형태에 따른 반사판의 적정 높이의 도출도 함께 이루어져야 한다.

ReluxPro를 이용한 조명설계 시뮬레이션 수행 결과로 목표 조도에 적합한 조명기구 개수와 작업면 평균 조도, 균제도, 그리고 UGR 값을 도출하였다. 그 결과

목표 조도에 적합한 조명기구의 개수는 효율이 높은 LED 조명기구가 적었으나 아직 광효율($[lm/W]$)이 형광램프보다 낮은 이유로 단위면적당 소비전력($[W/m^2]$)은 LED 조명기구가 다소 높게 나타났다.

그러나 그 밖의 조명환경 요소에 있어서 반사판의 형태와 높이 따른 형광램프 조명기구와 LED 조명기구를 적용하였을 때 그 차이가 크게 나타나지 않았다. 그리고 조명설계 시뮬레이션을 수행함에 있어서 형광램프 조명기구와 LED 조명기구의 광손실율을 0.67로 동일하게 적용하였는데, 일반적으로 광속 저하율이 형광램프보다 LED 램프가 낮기 때문에 결과적으로 LED 조명기구를 적용하였을 때 더 효율적인 것으로 판단된다. 이와 같이 LED 조명기구의 광효율이 개선된다면 간접 반사형 LED 조명기구로써 현재 간접형 형광램프 조명기구를 대체할 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 반사판의 형태와 높이에 따른 간접 반사형 LED 조명기구와 간접 반사형 형광램프 조명기구의 배광형태와 그에 따른 조명환경 변화를 비교 분석하였다. 그 결과 간접 반사형 LED 조명기구의 효율을 향상시키기 위해서는 반사판 형태에 알맞은 반사판 높이의 도출이 함께 필요하며, LED 램프의 광효율 개선이 이루어진다면 현재 간접 반사형 형광램프 조명기구를 대신하여 간접 간접형 LED 조명기구의 사용이 가능할 것으로 보인다. 그러나 이 연구는 시뮬레이션으로만 이루어진 것으로 향후 실제 간접 반사형 LED 조명기구를 이용한 실험을 통해 검증이 필요하다.

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 20100016737)이며, 본 연구의 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

References

- [1] 김지연 외 3, 초고층건물의 조명에너지절약을 위한 BIPV 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2007. 04.
- [2] EU 집행위원회, EU 전기전자제품 유해물질제한지침 (RoHS), 무역·환경 정보네트워크, 2006.
- [3] 신성장동력기획단 홈페이지(<http://nge.itfind.or.kr/>).

- [4] 저탄소 녹색성장 실현을 위한 문화 전략, 문화체육관광부 미래문화기획단, 2009.
- [5] 21세기 「새빛 프로젝트」 - ‘서울광원의 LED 교체 기본계획 및 LED 테스트베드 설치·운영 계획’, 맑은환경본부, 2009.
- [6] 행정안전부 홈페이지(<http://www.mopas.go.kr>).
- [7] 지철근, 조명원론, 문운당, 1996.
- [8] Photopia 2.0, User's Guide.
- [9] 김유신 외 3, 조명시뮬레이션 소프트웨어의 적하한 사용을 위한 기초적 연구, 한국조명전기설비학회논문지, 제21권 제8호, 2007. 09.
- [10] Relux 홈페이지(<http://www.relux.biz/>).
- [11] 최안섭, 조명시스템의 불쾌현황 평가방법 비교에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), v.17 n.6, 2001. 06.
- [12] CIE(1995), Discomfort Glare in Interior Lighting, Vienna, Austria, CIE.
- [13] 한국조명전기설비학회, 실내조명의 불쾌글레어 평가를 위한 UGR, 한국조명전기설비학회규격, 2009. 10.

◇ 저자소개 ◇



김유신(金有信)

1981년 1월 2일생. 2005년 세종대 건축공학과 졸업. 2007년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



최안섭(崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수. 본 학회 이사.