

# LED 프리즘 조명기구의 광학설계를 위한 조명광학설계 소프트웨어 비교 연구

(A Study on the Comparison of the Optical Design of LED Prism Luminaires  
from Lighting Optical Design Softwares)

김유신\* · 유민정\*\* · 최안섭\*\*\*

(\*세종대학교 건축공학과 박사과정 · \*\*세종대학교 건축공학과 학사과정 · \*\*\*세종대학교 건축공학과 교수)  
(Yu-Sin Kim · Min-Jeong You · An-Seop Choi)

## Abstract

Photopia, LightTools, and ASAP are typical software for optical design of a luminaire. Through using various lighting simulation software some different results can be found under the same conditions. Therefore, the purpose of this paper is to compare simulated photometric data and values illuminance of different types of LED prism luminaires under the same conditions. Then, LED prism luminaires were divided into the linear type and the planar type. Also three kinds of prism angles were divided into 30°, 45°, and 60°. In addition, the reasons for such differences were analyzed.

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

조명기구의 광학설계란 조명기구가 설치환경에 맞는 목표배광에 이르도록 조명기구의 광원이나 반사판, 또는 렌즈나 프리즘 등의 광학부품의 형태를 디자인하는 것을 말한다[1]. 과거 조명기구의 광학설계는 광학부품의 형태에 따른 광자(Photon)의 거동을 수계산한 후, 실제 제작 및 측정을 통한 검증은 거쳐 이루어졌다. 그러나 오늘날 컴퓨터를 이용하는 조명시뮬레이션 소프트웨어의 개발 및 상용화가 이루어지면서 과거에 비해 광학설계 과정의 시간 단축과 광학설계의 정확성 향상을 이룰 수 있게 되었다.

현재 LED 소자를 조명용으로 이용하기 위해 많은 노력들을 하고 있으며, 고효율 LED 소자의 개발로 차세대 광원으로 각광을 받고 있다. 이러한 LED 소자는 기존의 광원과 다르게 직진성이 강하고, 고휘도와 같은 광특성 때문에 LED 조명기구는 일반적인 반사판 광학설계만으로 목표배광을 얻기 힘들다. 따라서 LED 조명기구는 목표배광을 얻기 위해서 LED 소자의 렌즈 또는 조명기구의 렌즈나 프리즘의 광학설계가 필요하다.

### 1.2 연구의 목적 및 방법

조명시뮬레이션 소프트웨어의 비약적인 개발과 발전으로 정확성이 향상되었지만 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 실제 제작에 따른 결과에는 다소 차이가 발생한다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션 소프트웨어 간의 계산 알고리즘에 따라 동일한 시뮬레이션 조건에도 서로 상이한 결과가 도출되기도 한다. 이와 같이 조명시뮬레이션의 신뢰성을 얻기 위해서는 무엇보다도 정확한 데이터에 근거한 시뮬레이션이 이루어져야 한다.

조명시뮬레이션 소프트웨어 중 대표적인 조명기구 광학설계 소프트웨어로는 Photopia와 LightTools, ASAP 등이 있다. 본 연구에서는 렌즈나 프리즘과 같은 굴절 메카니즘의 계산이 가능한 광학설계 소프트웨어인 Photopia 2.0과 LightTools 6.0을 이용하여 LED 프리즘 조명기구의 프리즘 각도에 따른 광학설계 시뮬레이션 결과를 비교분석하였다.

## 2. 광학설계 소프트웨어의 특징

### 2.1 Photopia

Photopia는 광원에서 방출된 광자를 광선추적기법(Raytracing)을 통하여 빛의 분포를 예측하는 용도로 사용되는 Non-imaging Optical 시스템 전용의 소프트웨어이다. 그리고 Photopia는 3차원적으로 조명기구를 분석하고 설계하는 소프트웨어로서 광자의 거동 계산

은 확률을 바탕으로 하는 광선추적에 기반을 두고 있다. 그리고 Photopia를 이용하여 광학설계를 하기 위해서는 조명기구의 광학적 형상과 실제 광원의 기하학적 형상, 광원의 배광데이터, 조명기구 재질의 광학특성(반사율, 투과율, 굴절률 등) 등의 조건 설정이 필요하며 이러한 조건의 설정에 따라 시뮬레이션 결과가 달라진다[2]. Photopia는 자체적인 모델링 기능이 없기 때문에 CAD 프로그램에서 이루어진 조명기구의 모델링을 필요로 하며, 광학특성에 따라 레이어를 구분하여야 한다. 시뮬레이션 결과로 3차원적 배광분포(IESNA 형식)와 작업면 조도분포 등을 예측할 수 있기 때문에 효율적으로 조명기구를 설계할 수 있다[3].

## 2.2 LightTools

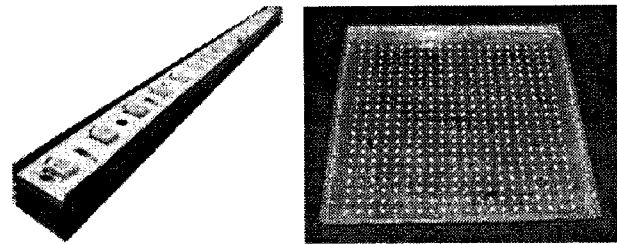
LightTools는 몬테카를로 방법에 근거한 광선추적에 기반을 두고 있으며, 3차원 광학설계 및 조명광학계 분석 소프트웨어이다. 그리고 LightTools는 조명기구의 광학설계 뿐만 아니라 새로운 광원의 개발이 가능한 소프트웨어로써 시뮬레이션의 결과로는 배광분포, 휘도, 작업면 조도, 색좌표, 색온도 등을 얻을 수 있다[4]. 이때 결과로 도출되는 배광분포는 IESNA 형식을 따르는 Photopia의 배광분포의 형식과 달리 독자적인 형식으로 생성시킨다[3]. 또한 LightTools는 자체적인 모델링 기능이 있어 광원이나 조명기구의 모델링이 가능하며, 더불어 3D CAD(\*.sat) 파일을 불러올 수 있다. 이때 조명기구의 형상은 3D Solid 오브젝트로 이루어지며, 오브젝트의 모든 면은 각각 다양한 광학 특성으로 설정할 수 있다. LightTools는 크게 Core module와 Illumination module, Data exchange module로 구성되어 있다[6].

## 3. 광학설계 시뮬레이션

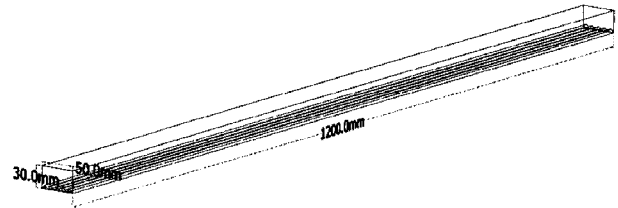
### 3.1 조명기구 및 시뮬레이션 조건

조명기구 광학설계 시뮬레이션을 하기 위해서는 조명기구의 모델링과 광원이 매우 중요하다. 본 연구의 시뮬레이션에 사용한 조명기구는 그림 1과 같이 실제 LED 조명기구의 형태로 많이 쓰이는 라인형과 평면형 두 종류를 이용하였다. 그리고 시뮬레이션에 사용한 광원으로는 Photopia 2.0과 LightTools 6.0의 광원 라이브러리에 공통적으로 있는 LED 소자를 선택하였다. 다음 표 1은 LED 조명기구의 이미지와 모델링을 나타낸 것으로 시뮬레이션에 사용한 프리즘의 각도는 30°와 45°, 그리고 60°로 구분하였다. 그리고 표 1은 시뮬레

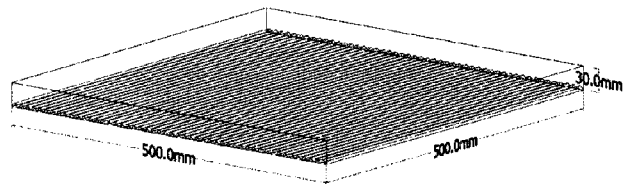
이션에 사용되는 조명기구의 반사판이나 프리즘과 같은 광학부품의 광학적 특성을 나타낸 것이다.



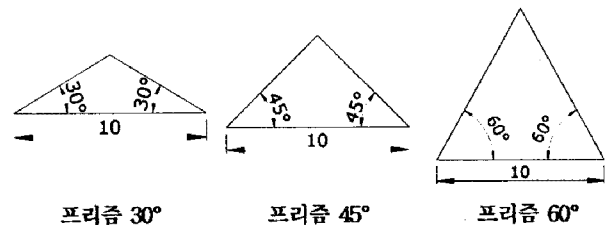
라인형 LED 조명기구 이미지 평면형 LED 조명기구 이미지



크기 : 1200×50×30(mm), 광원 배치 : 1열, 광원 개수 : 32개  
라인형 LED 모델링



크기 : 500×500×30(mm), 광원 배치 : 8열 8행, 광원 개수 : 64개  
평면형 LED 모델링



프리즘 30°

프리즘 45°

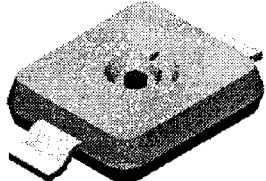
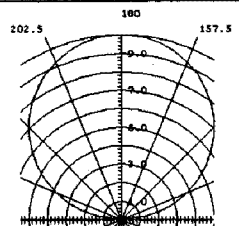
프리즘 60°

그림 1. LED 조명기구 이미지 및 모델링  
Fig. 1. Image and modelling of LED luminaires

표 1. 광학부품의 특성  
Table 1. Specific character of optical parts

광학부품	특성
반사판	반사율 : 90%, 재질 : White paint
프리즘	굴절률 : 1.491, 재질 : Standard acrylic
광원	Osram-LW-W5SG-HX, 2W, 31.2lm

	
LED 소자 이미지	LED 소자 배광곡선

Photopia 2.0과 LightTools 6.0의 시뮬레이션에 있어서 추적광선인 Ray의 개수를 설정하는데, 추적광선

의 개수가 클수록 결과의 정확성이 좀 더 높아지며, 그 대신에 시뮬레이션 시간이 오래 걸리게 된다. 본 연구에서는 두 소프트웨어의 추적광선 개수를 동일하게 200,000개로하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 조명기구에 의한 조도 예측을 위해 Photopia 2.0에서는 조도계산 면을 설정하였으며, LightTools 6.0에서는 리시버(Receiver)를 설정하여 프리즘 각도에 따른 조도 분포를 비교하였다. 이때, 조도계산 면과 리시버의 위치는 조명기구를 기준으로 동일한 위치에 동일한 크기로 설정하였다. 다음 그림 2는 두 소프트웨어의 시뮬레이션 수행 후 Raytracing 출력 이미지이다.

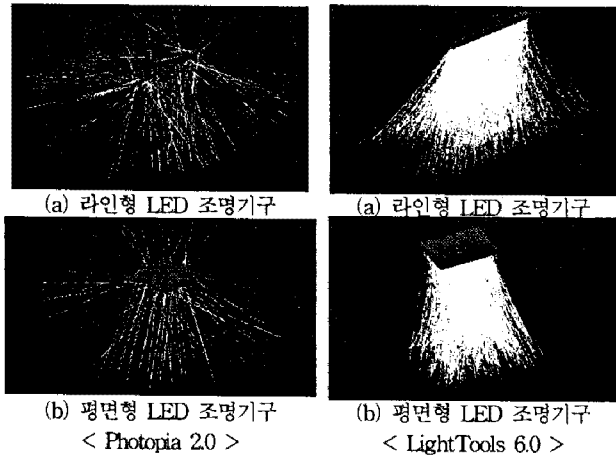


그림 2. Raytracing 출력 이미지  
Fig. 2. Image of raytracing

### 3.2 광학설계 소프트웨어 결과 비교

본 연구에서는 광학설계 소프트웨어의 비교를 위해 2가지 형태의 LED 조명기구에 3가지 각도의 프리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 표 2는 라인형 LED 조명기구의 프리즘 각도에 따른 두 종류의 소프트웨어 시뮬레이션 결과로써 배광곡선과 조도분포를 나타낸 것이다. 배광곡선인 경우 Photopia는 IESNA의 파일 형식으로 배광파일을 생성시키지만 LightTools는 독자적 형식으로 배광파일을 생성시키기 때문에 배광곡선의 절대값 비교는 불가능하다. 그러나 배광곡선의 형태에 있어 수직/수평각 0° 인 경우 공통적으로 Photopia의 광도값이 LightTools 보다 낮은 경향을 띄고 있으며, 특히 프리즘 각도가 45° 인 경우에는 매우 낮은 광도 값을 보였다. 그러나 이러한 배광곡선의 수직/수평각 0° 의 부분 이외에는 배광형태가 다소 유사한 형태를 보이고 있다.

그리고 조도분포는 소프트웨어에서 설정한 조도계산 면의 결과를 나타낸 것으로 프리즘이 없는 경우에는 유사한 조도분포를 보였다. 그러나 프리즘이 있는 경우에는 Photopia의 결과가 LightTools의 결과보다 높은

조도레벨이 나타났다. 이는 Photopia인 경우 프리즘의 광학설정에 있어서 굴절률만 설정하게 되지만 LightTools인 경우에는 재질에 따라 굴절률이 설정되며, 더불어 프리즘의 반사율과 투과율을 설정하기 때문으로 사료된다. 본 연구에서 LightTools의 프리즘의 투과율은 80%로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

표 2. 시뮬레이션 결과-라인형  
Table 2. Results of simulation-Type linear

		배광곡선			
		Photopia 2.0	LightTools 6.0		
프리즘	None				
	30°				
	45°				
	60°				
		조도분포 (단위 : lx)			
프리즘	Photopia 2.0		LightTools 6.0		
	Ave	132		133	
None	Min	41		40	
	Max	252		254	
	Ave	96		67	
30°	Min	14		6	
	Max	284		237	
	Ave	51		41	
45°	Min	0		0	
	Max	185		138	
	Ave	48		53	
60°	Min	8		9	
	Max	182		146	

다음 표 3은 평면형 LED 조명기구의 프리즘 각도에 따른 두 종류의 소프트웨어 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 평면형 LED 조명기구의 경우 라인형 LED 조명기구와 달리 배광곡선의 형태가 거의 유사하게 나타났다. 그러나 프리즘 각도가 45° 인 경우, 라인형 LED 조명기구와 같이 Photopia의 배광곡선 수직/수평각 0°

의 광도 값이 매우 낮게 나타났다. 그리고 조도분포는 라인형 LED 조명기구와 같이 프리즘이 없는 경우에는 두 종류의 소프트웨어 조도레벨 결과가 유사하였으며, 프리즘이 있는 경우에는 Photopia의 결과가 LightTools의 결과보다 높은 조도레벨을 보였다.

표 3. 시뮬레이션 결과-평면형  
Table 3. Results of simulation-Type planar

			배광곡선	
프리즘		Photopia 2.0		LightTools 6.0
None				
30°				
45°				
60°				

			조도분포 (단위 : lx)		
프리즘		Photopia 2.0		LightTools 6.0	
None	Ave	463		442	
	Min	318		303	
	Max	598		573	
30°	Ave	386		261	
	Min	202		118	
	Max	603		422	
45°	Ave	180		150	
	Min	53		53	
	Max	402		355	
60°	Ave	284		197	
	Min	136		109	
	Max	459		295	

■ 0-100 ■ 100-200 □ 200-300 □ 300-400 ■ 400-600 ■ 600-600

#### 4. 결론

본 연구는 조명기구 광학설계 소프트웨어인 Photopia 2.0과 LightTools 6.0으로 LED 프리즘 조명기구의 광학설계 결과를 비교하였다. 시뮬레이션에 사용된 조명기구는 LED 조명기구의 형태로 많이 사용되는 라인형과 평면형으로 선정하였으며, 프리즘의 경우

각도를 30° 와 45° , 그리고 60° 로 모델링하였다. 또한 시뮬레이션에 사용되는 LED 소자와 반사판, 프리즘의 광학적 재질은 동일하게 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과를 요약정리하면 다음과 같다.

① 프리즘이 없는 경우, Photopia와 LightTools의 결과가 유사하게 나타났으며, 이는 반사판의 광학설계의 결과는 유사하게 나타남을 의미한다.

② 라인형 LED인 경우, Photopia의 결과에 있어서 배광곡선의 수직/수평각 0° 의 광도 값이 LightTools보다 다소 낮게 나타났으며, 그 밖의 배광형태는 유사함을 보였다.

③ 평면형 LED인 경우, Photopia와 LightTools의 배광곡선 형태가 유사하게 나타났다.

④ 프리즘 각도 45° 인 경우, 라인형과 평면형 LED 조명기구의 Photopia 시뮬레이션 결과 동일하게 배광곡선의 수직/수평각 0° 에서 매우 낮은 광도 값이 나타났다.

⑤ 조도분포의 경우, 프리즘이 없는 경우는 두 종류의 소프트웨어 결과가 유사하게 나타났으며, 프리즘이 있는 경우는 Photopia가 LightTools 보다 높게 나타났다. 이는 Photopia와 LightTools의 프리즘의 광학특성 설정의 차이에서 기인하는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 LED 프리즘 조명기구의 광학설계를 위해 두 종류의 조명광학설계 소프트웨어를 비교분석하였다. 본 연구의 결과는 광학설계 소프트웨어를 이용하여 LED 프리즘 조명기구와 그 밖의 조명기구의 광학설계를 수행함에 있어 기초적 자료로 활용될 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 20090073528)이며, 본 연구의 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았다.

#### 참고 문헌

- (1) 지철근, 조명원론, 문운당, 1996
- (2) 김유신 외 3, 조명시뮬레이션 소프트웨어의 적합한 사용을 위한 기초적 연구, 한국조명전기설비학회논문지, 제21권 제8호, 2007
- (3) 김훈 외 2, Photopia의 특징과 이용사례, 한국조명전기설비학회지, 제16권 제2호, 2002
- (4) 여인선 외 2, LightTools을 사용한 LED의 조명광학설계, 한국조명전기설비학회지, 제16권 제1호, 2002
- (5) Photopia 2.0, User's Guide.
- (6) LightTools 6.0, Core Module User's Guide.
- (7) LightTools 6.0, Illumination Module User's Guide.
- (8) LightTools 6.0, Data Exchange Module User's Guide.