

1. 서 론

국내에서 월드컵과 같은 굵직한 국제 행사가 개최되면서, 각 시도에서는 야간의 불거리에 대해 깊은 관심을 보이고 있다. 그래서, 불거리를 밝히기 위한 방법으로 경관조명에 많은 투자를 아끼지 않고 있으며, 이에 광파이버 조명, 논네온 등의 새로운 형태의 조명제품들을 적용한 경관조명이 선보이고 있다. 최근 들어, 경관조명 업체들은 시공을 하기 앞서 여러 형태의 시뮬레이션을 진행하여 조명환경을 예측하고 있으며, 주로 조명설계프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 방식을 선택하고 있다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 얻기 위해서는 무엇보다 정확한 데이터에 근거한 시뮬레이션이 이뤄져야 한다. 하지만, 아직 이 부분에 있어서 만큼은 부족한 면을 보이고 있는 실정이다.

본 내용에서 소개하고자 하는 소프트웨어는 조명 광학설계가 가능한 LightTools이라는 광학설계프로그램으로서 새로운 광원의 개발과 광원을 이용한 반사판의 설계 및 렌즈 설계 등이 가능하며, 조명광학계에서 필요로 하는 광속, 조도, 광도, 휘도, 배광곡선, 색좌표, 색온도 등의 결과를 얻을 수 있다. 하지만, 여러 변수들 중에서 신뢰할 만한 데이터가 부족

할 경우에는 정확한 시뮬레이션 결과를 얻어 낼 수 없다. 그럼, LightTools을 사용한 시뮬레이션의 예로 LED의 제작과정에 따른 기능들과 시뮬레이션 결과, 또, 이를 이용한 응용 예를 살펴보도록 하겠다.

2. LightTools의 기본구성

LightTools는 광선의 복잡한 경로를 몬테카를로 시뮬레이션에 근거한 광선추적이 가능하며, 3차원적인 광학 디자인으로 사용하기 쉽고, 보다 정확한 조명 광학계 분석 소프트웨어이다. 광학적인 개념에서 구성되어 렌즈, 프리즘, 광파이버, 반사판 설계 등과 같은 광학적이고 기계적인 구성요소에 광원의 기능이 추가되어 조명 설계시 필요로 하는 데이터를 출력 한다. LightTools는 크게 3가지 모듈 형태로 구성되어 있다.

① Core module : 기본적인 광학계, 모형제작, 광선추적 기능이 가능하다.

② Illumination module : 광원, 검출기, 데이터 출력 기능이 가능하다.

③ Data exchange modules : 다양한 CAD파일 형식의 불러오기, 내보내기 기능이 가능하여 구성된 데이터를 이용하여 실제 렌즈 가공과 목업(Mock-up),

금형 가공에 사용된다[1].

2.1 레이아웃(Lay out)

LightTools의 초기 작업 환경은 2D 형태와 3D 형태의 작업환경을 갖는다. 그림 1은 3D 작업화면으로 명령의 입력 방법은 Menu bar와 Toolbar에 의한 방법과 Command panel에 의한 방법, Command window에 의한 방법으로 구성되어 있다. 또한, Command panel 안에는 더욱 세분화된 기능버튼을 갖고 있으며 주로 사용되는 방법이다.

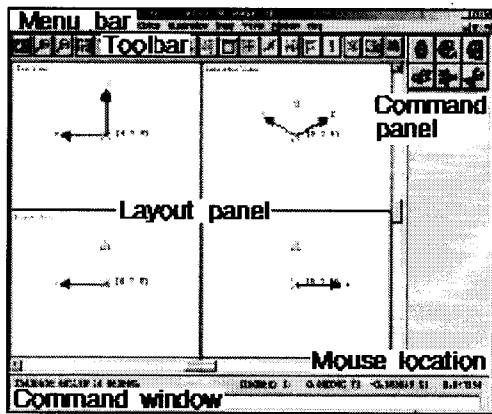


그림 1. LightTools 3D 작업화면

2.2 몬테카를로 광선추적(Monte-carlo ray trace)

몬테카를로 시뮬레이션에 의한 광선추적기법은 광자의 움직임에 따른 운동 방향과 크기를 벡터화 시켜 공간 내에서 광자의 운동 경로를 수학적으로 예측 가능하도록 하였다. 또한, 교차한 면에 대한 빛의 반사 특성, 투과 특성 등과 같은 벡터의 방향이나 크기에 변화를 줄 수 있는 요인 등을 고려하여 벡터의 새로운 방향과 크기를 결정할 수 있는 기법으로 구성되어 있으며 여러 조명설계프로그램에서 이와 같은 광선추적법의 이론을 적용하고 있다.

2.3 리시버(Receiver)

조명시뮬레이션의 결과를 얻기 위해서는 한 개 이상의 검출부인 리시버를 설정해야 한다. 리시버는 비교적 가까운 곳에 사용되는 평면 형태의 Surface receiver와 비교적 먼 곳에 설치되어 사용되는 구 형태의 Far field receiver로 구성되어 있다. 또한, 리시버는 설치 개수와 위치, 이동에 제약을 받지 않으며, 표 1.과 같이 조도, 광도, 배광곡선, CIE색좌표, 색온도(CCT)의 다양한 결과 표현을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 다른 요소도 있지만 무엇보다도 시뮬레이션 초기설정 시에 추적광선의 개수와 리시버의 세분화에 따라서 그 정확도가 좌우된다[2].

표 1. 검출 데이터 차트

Chart type \ Data type	Illuminance	Intensity
Line	✓	✓
2D Raster	✓	✓
3D Raster		✓
Surface	✓	✓
Encircled Energy	✓	✓
CIE/RGB	✓	✓
CCT	✓	✓

3. 조명광학계 시뮬레이션

3.1 모델링 작업

모델링 작업은 가장 기본적인 작업이면서도 충실한 데이터에 근거한 구성으로 이뤄져야 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다. 그림 2는 LightTools에서 구성할 LED의 패키지 구조를 나타내고 있다. 제공된 구조와 크기를 근거로 3차원 모델링 작업을 구성하며, 사용되는 물질의 투과율, 반사율, 코팅 재질과 같은 물질 특성을 알고 있다면 더욱 정확한 시뮬레이션 결과를 얻어 낼 수 있다.

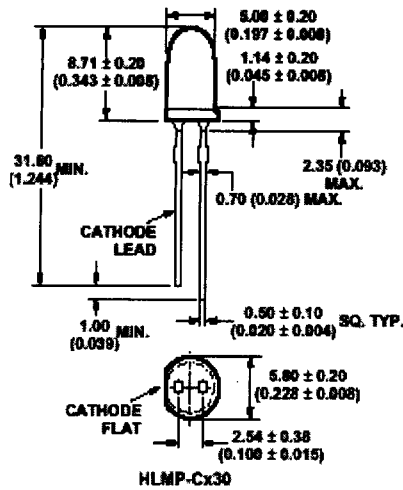


그림 2. LED의 패키지(Package) 구조

그림 3은 LightTools에서 LED가 모델링 되어 가는 모습을 번호 순서 대로 나타내고 있다.

- ① Create lens primitive : 돔(Dome) 형태에 맞는 원기둥의 렌즈를 제작한다.
- ② Set to TIR & acrylic : 원기둥을 광선이 투과하는 아크릴로 정의한다.
- ③ Change front radius : 전면부를 돔 형태로 변경 한다.
- ④ Approximate location of chip : LED 칩(Chip)을 실제와 근접한 위치에 배치한다.
- ⑤ Approximate location of cup : LED 반사컵(Reflector cup)을 실제와 근접한 위치에 배치한다.

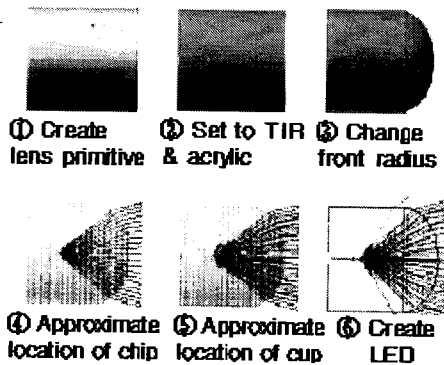


그림 3. LED 모델링 순서

⑥ Create LED : 최종 완성된 LED로써 이밖에 리드 프레임(Lead frame)과 플랜지(Flange), 스탠드(Stand)를 설계하여 실제와 외형적 디자인을 같게 한다.

LED 칩의 구조를 더욱 세분화하여 설정하면 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있다. 그림 4는 사용된 LED 칩의 구조를 나타내고 있으며 크기를 고려한 와이어 접촉면(Wire contact)의 입체 면적 설계가 이뤄져야 한다. 또한, 광이 활성화되는 pn 접합(pn junction)부와 유리면(Window)의 입체면적도 고려되어야 한다[3][4].

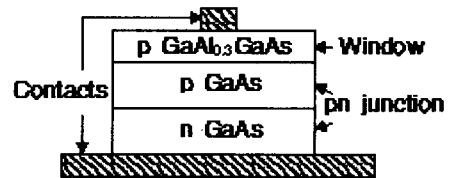


그림 4. 사용된 LED 칩의 구조

3.2 데이터 입력

외형적인 모델링 작업이 이뤄지면 각 특성에 맞는 광속, 투과율과 반사율, 파장, 코팅 등의 데이터 입력이 필요하다.

- ① 광속 : 소수점 5째 자리까지 설정이 가능하며, milliLumen, Lumen, kiloLumen, megaLumen의 단위가 있다.
- ② 광학적 특성 : 광의 확산 형태, 손실 형태, 투과율, 반사율, 광의 진행 형태를 설정할 수 있다.
- ③ 파장 : 전 파장대의 입력이 가능하며 수치적인 단일 파장뿐만 아니라, 선형적인 파장도 입력이 가능하다.
- ④ 물질 및 코팅 : 특정 부분의 파장에 대해서 투과와 반사 같은 광 특성 변화를 설정해 줄 수 있다. 위와 같은 데이터를 입력하여 최종 시뮬레이션이 이뤄진다. 데이터 입력의 호환성은 배광곡선을 *.txt, 물질특성을 *.mat, 코팅특성을 *.coa파일 형태로 볼

러오기, 내보내기가 가능하다.

그림 5는 설계된 LED의 4면도를 입체형 보기 형태로 나타내고 있다.

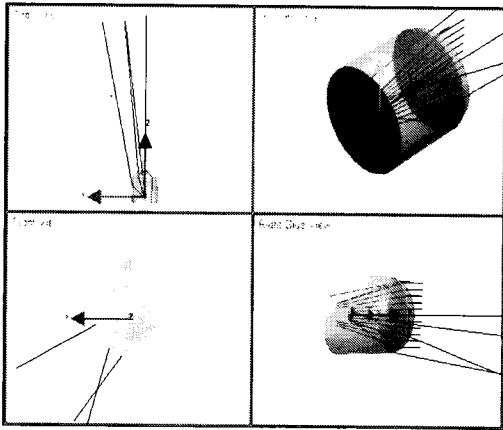


그림 5. 설계된 LED의 4면도

3.3 시뮬레이션 결과

LED를 설계하여 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 위와 같은, 항목에 대한 성실한 데이터 입력이 이뤄져야 한다. 그림 6, 그림 7은 LED Spec.(HP, HLMP-CB30)과 LightTools에서 시뮬레이션 한 결과를 서로 비교하여 나타낸 것이다. 그림 6은 각도에 따른 표준광도로 배광분포를 HP LED

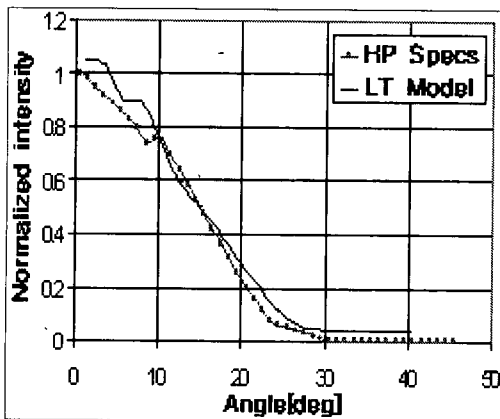


그림 6. 배광분포에 대한 LED Spec. 과 시뮬레이션 결과

Spec.과 LightTools에서 시뮬레이션 한 결과를 서로 비교하여 나타내고 있으며 거의 비슷한 분포곡선을 나타내고 있다. 시뮬레이션 입력 항목에 대한 정확한 데이터가 입력되었다면 보다 더 근접한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그림 7은 각도에 대한 에너지 분포 형태로써, HP LED Spec.과 LightTools에서 시뮬레이션한 결과를 서로 비교하여 나타내고 있다.

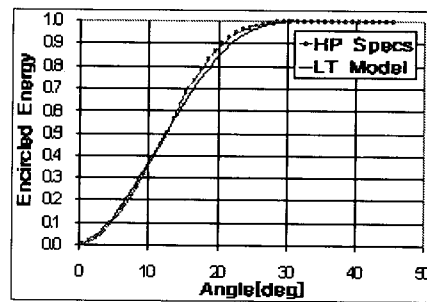


그림 7. 에너지분포에 대한 LED spec. 과 시뮬레이션 결과

그림 8은 CIE x,y 색좌표를 나타내고 있다. 초기 설정한 파장은 625[nm]로 입력하였으며 시뮬레이션 한 결과 625[nm] 부분에 출력 좌표를 나타내고 있다. 만약, RGB의 서로 다른 파장을 입력하였을 경우 혼합된 광이 위치하는 곳에 타점 되었을 것이다. 그림 9는 색온도에 대한 시뮬레이션 결과로써 1,700K를 나타내고 있다.

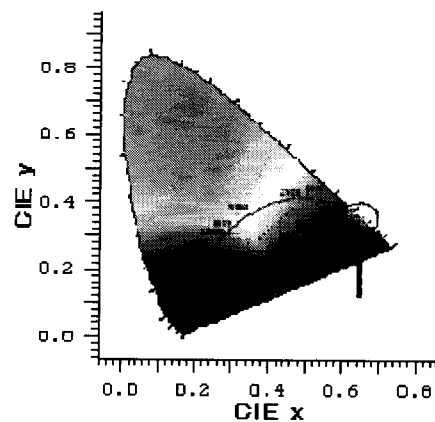


그림 8. 시뮬레이션 결과에 대한 CIE x,y 색좌표

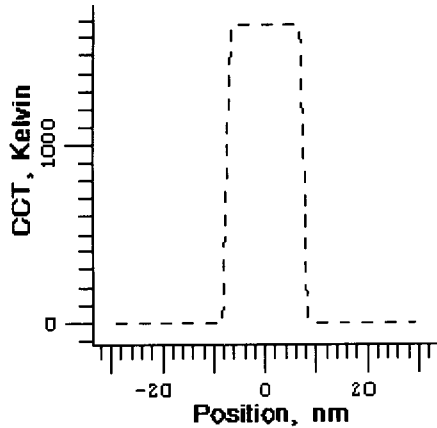


그림 9. 시뮬레이션 결과에 대한 색온도

3.4 데이터 호환

설계소프트웨어는 다른 소프트웨어와 달리 뛰어난 데이터 호환성 요구된다. LightTools은 각각의 데이터 호환이 가능한 파일 형식마다 라이선스를 부여하고 있으며, 3D, 2D형태로 *.sat, *.igs, *.stp, *.dxf, *.wrl형식의 파일을 불러오기, 내보내기 할 수 있다. 또한, 제품화의 전 단계라고 할 수 있는 목업(Mock-up) 작업시 필요로 하는 설계 파일 형태인 *.igs파일을 만들어내 LightTools에서 설계하고 시뮬레이션을 통해 검증한 모델을 실제 제품화까지 연계되어진다.

3.5 조명광학계 응용 예

이와 같이 광학설계된 기준 LED를 이용하여 다른 형태의 2차적인 응용된 시뮬레이션을 구성 할 수 있다. 그림 10은 기준 LED를 이용하여 백열전구 형태의 LED 조명제품과 스포트라이트 램프와 할로겐 램프 형태의 응용 예를 나타내고 있다. 그밖에도 다양한 광원 설계와 반사판 설계, 렌즈 설계 등이 가능하다. 백열전구 형태의 LED 조명제품은 평면형태로 LED를 배치하였을 때와 입체형태로 LED를 배치하였을 경우의 광학적 변화를 예측 할 수 있다. 물론, 배치

한 LED의 외부를 감싸고 있는 글로브(Globe)의 재질과, 광학적 특성의 데이터가 입력되어야 보다 정확한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다.

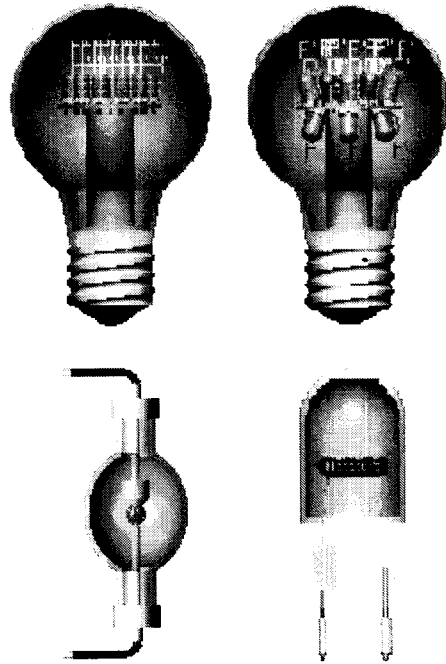


그림 10. 백열전구형 LED조명제품과 응용 예

4. 결 론

본 내용에서는 HP, HLMP-CB30 LED와 같은 광학적 특성을 갖는 모델을 LightTools이라는 광학설계프로그램을 사용하여 재현하였으며, 재현된 모델을 응용한 LED 조명제품을 제시하였다. 이와 같이 설정된 신뢰 할 수 있는 기준광원을 이용해서 다양한 응용 형태의 표현이 가능하며, 광원의 전극 설계에서부터 하우징 설계 등의 여러 형태의 조명광학계 응용이 가능하다. 하지만, 사용자가 조명공학과 광공학의 기본적인 개념 없이 사용할 경우 자칫, 데이터 입력에 있어 오류를 범하여 엉뚱한 결과를 얻을 수 있다. 또한, 시뮬레이션 결과에 너무 의존한 나머지 현실과 동떨어진 결과를 낼 수 있으므로, 시뮬레이션에만

의존하지 말고 현실적 모델링 작업을 반복해서 발생 할 수 있는 오류를 수정해 나가야 할 것이다. 최근, 결상광학계를 설계하는 분야에서는 완성품의 고부가 가치성 때문에 광학설계프로그램을 사용한 연구, 개발이 이뤄지고 있다. 반면에 조명광학계를 살펴보면 국내 조명업계의 영세성으로 인하여 고가의 설계프로그램을 구입하지 못하는 실정이며, 이와 같은 이유로 인하여 개발된 제품의 완성도가 떨어지는 실정이다. 앞으로 이런 부분의 개선이 이뤄져 신광원에 대한 연구, 개발이 활성화되었으면 하는 바램이다.

참 고 문 헌

- [1] LightTools version 3.2.0 user's guide, optical research associates, 2001.
- [2] <http://www.opticalres.com>
- [3] Introduction to LightTools seminar notes, spring, 2001.
- [4] 2000 LightTools Seminar Notes, ORA, 2000.

◇ 著 者 紹 介 ◇



여 인 선(呂寅善)

1957년 6월 11일생. 1979년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 2월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 8월 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재, 전남대 공대 전기공학과 및 고품질전기전자부품및시스템연구센터 교수.



박 준 석(朴準奭)

1974년 6월 15일생. 1999년 서남대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 8월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재, 금동조명(주) 기술연구소 연구원.



김 완 호(金完鎬)

1975년 4월 18일생. 2000년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 현재, 전남대학교 대학원 전기공학과 석사과정.