

Photopia 3.0의 PODT기능을 이용한 렌즈의 설계와 시뮬레이션

(Lens Design and Simulation using PODT utility of Photopia 3.0)

오석식* · 김기남 · 김 훈

(Seok-sik Oh* · Ki-nam Kim** · Hoon Kim***)

*강원대학교

요 약

조명용 광원으로써 LED의 사용이 늘어나고 있고, 앞으로도 더욱 늘어날 추세이다. 하지만 현재 출시되는 LED를 조명 용도에 적합한 배광을 구현하는 렌즈를 설계하는 작업은 설계 방법이 어렵고, 많은 반복 작업을 동반한다. 이에 새롭게 출시된 Photopia 3.0 Version의 PODT기능을 이용해 LED렌즈를 쉽게 설계할 수 있는 방법을 소개하고, 간단한 렌즈 설계를 수행 하였다.

1. 서 론

현재 LED를 조명용으로 이용하기 위한 많은 노력들을 하고 있고, 실제로 많은 수의 고효율 LED가 출시되면서, 차세대 광원으로써 LED가 각광 받고 있다.

하지만, LED에 사용하는 Lens의 설계는 설계의 기초가 되는 기하학적 해석 방법과 실제 설계된 data의 차이, 설계 방법의 난해함, 많은 반복 작업으로 인해 설계에 큰 어려움이 있다.

Photopia 3.0의 PODT기능은 과거 Photopia 2.0 Version에서는 반사판의 설계만이 가능했었지만, 굴절체가 추가되어 렌즈의 설계도 가능하여 졌다.

본 논문에서는 Photopia 3.0의 PODT기능을 이용하여 LED용 Lens를 설계하고, 설계과정을 상술하여 틀을 이용 할 수 있는 방법을 제시한다.

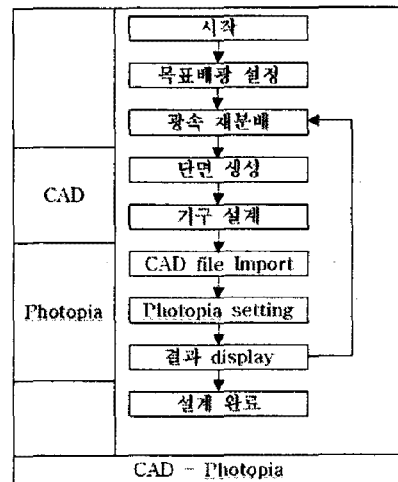
2. 본론

2.1. Lens 설계(1)

Lens 또는 Reflector의 설계 방법은 2차원 설계 방법을 기반으로 하여 각 단면을 설계 하고, 이를 회전시키거나 길이방향으로 늘리고, 또는 여러 단면을 합성하여 면을 생성하는 방법을 이용한다.

이때 목표 배광에 맞추어 광속을 재분배 하고, 재분배 한 광속에 대해 세그먼트의 각도를 결정하여 단면을 구성 한다. (그림1)은 CAD설계 데이터를 photopia를 이용하여 배광 시뮬레이션을 진행하

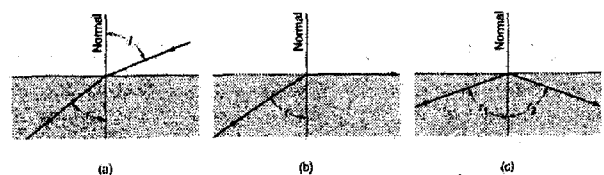
는 일반적인 광학 장치의 설계 과정이다.



(그림 1) 광학장치 설계의 순서

광속 재분배에는 수직각 구간의 배광 데이터에 구대 계수를 곱하여 각 각도에 따른 광속 값을 구하고, 목표 광도를 만족하도록 적당한 비율로 광속을 각 구간별로 분배한다.

분배된 광속을 원하는 방향으로 보내기 위해서는 Lens설계에 기초 이론이 되는 Snell의 법칙에 대한 기초적인 이해가 필요하다.



(그림 2) 굴절체 경계부에서의 굴절과 내부 반사(1)

$$r_c(\text{critical angle}) = \sin^{-1} \frac{1}{\mu} \quad (\text{식 1})[1]$$

$$\sin i = \mu \sin r \quad (\text{식 2})[1]$$

위의 식 1번은 전반사가 일어나기 시작하는 각도인 임계각(Critical angle : r_c)을 계산하는 수식이고, 식 2는 입사각(r)이 임계각보다 작은 경우($r < r_c$)의 굴절 법칙이다. (μ :굴절률)

위의 Snell의 법칙과 재분배된 광속을 기반으로 Computer 프로그램을 이용하여 설계 및 해석을 진행하기 때문에 설계 data의 저장, 수정, 해석이 간편하고, 쉽게 진행이 된다. 하지만, CAD data를 Photopia에 Import하는 과정과 광속 재분배 과정을 진행하면서 2 ~ 3가지의 program을 동시에 사용하여야 하고, Import 과정에서 설계 data를 해석하기 위한 중간 과정이 많이 필요하다.

Lens의 설계 과정은 이론적 해석을 하기 위한 여러 가지 전제들을- 광원의 발광부가 점광원이라는 가정 등 -가지고 시작하기 때문에 배광 해석을 하게 되면 이론과 차이가 나타나기 때문에 이를 조정해주는 작업이 많이 필요하다.

2.2. PODT

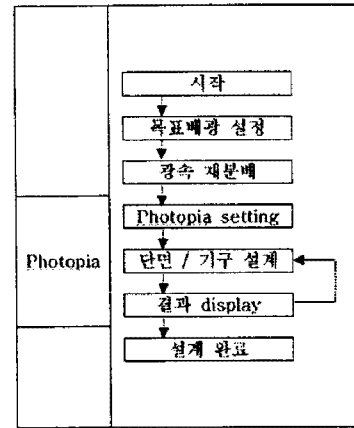
2.2.1 PODT의 기본 개념

PODT(Parametric Optical Design Tools)는 기본적으로 광학요소들의 변수들을 변화시켜 Reflector의 설계를 진행하는 것으로, CAD의 여러 기능 중에서 Reflector 설계에 필요한 주요 기능들을 압축해놓은 것이다.

Reflector의 설계에 있어서 PODT의 가장 유용한 기능은 Aiming Base와 Polyline Base 설계이다.

Aiming Base 설계는 원하는 배광을 Aiming 하여, 이에 맞는 형태의 반사판 형태를 자동으로 생성 시켜주는 유용한 설계 툴이지만, 본 논문에서 하고자 하는 렌즈 설계에는 이용 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 PODT의 Polyline Base Design Tool을 이용하여 설계를 진행한다.

Aiming Base와 Polyline Base 설계는 다시 회전대칭(3D Revolved Reflector), 축대칭(3D Symmetrical Reflector), 비대칭(3D Asymmetrical Reflector)의 세 가지 방법이 있다. 세 가지 방법 모두 단면 설계를 기본으로 하여 단면을 길이 방향으로 늘려주거나, 여러 단면을 동시에 그려 합성하는 방법이다. 때문에 본 논문에서는 이해가 쉬운 원형대칭만을 사용하여 Lens 설계를 진행하였다.



(그림 3) PODT를 이용한 광학장치 설계순서

PODT의 가장 큰 장점은 이전의 CAD-Photopia Import 과정이 생략되기 때문에 단순 반복 작업을 많이 줄일 수 있고, 설계의 큰 틀은 변하지 않고, 변수만 변화 시켜 주기 때문에 매우 간단하게 원하는 형상으로 변화 시킬 수 있다는 것이다. 반복 작업이 많은 Lens의 설계에서 이는 설계 완료 까지 많은 시간을 단축 시켜준다.

2.2.2 단면 변수

(그림 5)와 (그림 7)에 나타난 단면 변수는 PODT의 핵심 기능으로써 이를 이용하여 렌즈를 수정하게 된다.

(표 1) 단면 변수 표 각 부분의 기능(2)

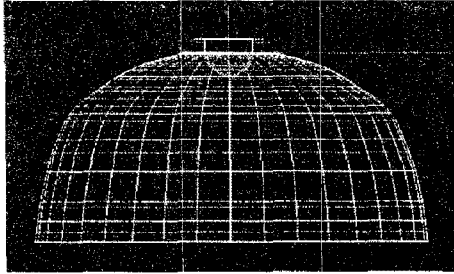
	기능
name	단면의 선의 이름 Start - Numbering - End 순
layer	단면 존재 Layer를 표시
Angle	단면 세그먼트가 x축과 이루는 각도
Length	단면 세그먼트의 길이
Angular Extent	단면 세그먼트의 반경 (0값이면 직선, 0이 아니면 호)

2.2.3 PODT를 이용한 Lens의 설계

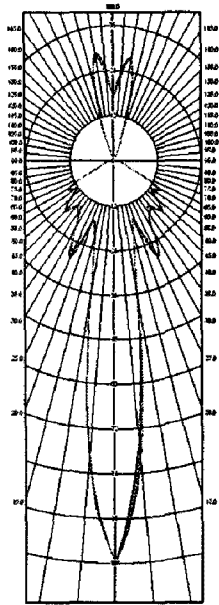
본 논문의 설계 과정에 사용 된 LED는 Photopia 3.0의 기본 Lamp Library에 포함되어 있는 Nichia (社)의 NS6W083A (1.5W, 80lm) chip LED를 사용하였다. 위 LED의 출력이 높지 않기 때문에 사용 용도를 실내 조명의 Spot Light와 실내 전반 조명

용으로 설정하여, 투광기 형태의 Lens와 bat wing 타입의 Lens를 설계하였다. 투광 Lens는 굴절체의 전반사를 이용하였고, bat wing 타입의 Lens는 굴절을 이용하여 설계를 진행 하였다. Lens의 재질은 일반적으로 많이 사용하는 굴절률 1.49의 아크릴을 사용하였다.

재분배된 광속을 이용하여 기초 단면을 그린다.



(그림 4) 투광 렌즈 기초 설계 단면



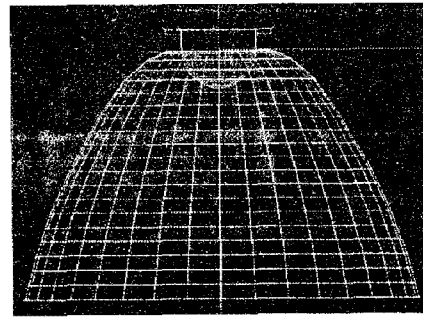
Layer	Material	Thickness	Refractive Index	Optical Path Length
Start	REFR-Main	0.0000	0.4500	0.0000
2	REFR-Main	-0.2000	0.7964	0.0000
3	REFR-Main	-3.0000	0.6670	0.0000
4	REFR-Main	-10.0000	0.7453	0.0000
5	REFR-Main	-12.4115	0.3674	0.0000
6	REFR-Main	-16.4140	0.4853	0.0000
7	REFR-Main	-13.4500	0.9673	0.0000
8	REFR-Main	-15.4500	1.8563	0.0000
9	REFR-Main	-20.7530	0.7093	0.0000
10	REFR-Main	-22.8570	1.0223	0.0000
11	REFR-Main	-27.8300	1.4563	0.0000
12	REFR-Main	-29.4530	0.4564	0.0000
13	REFR-Main	-34.7896	1.4153	0.0000
14	REFR-Main	-34.4550	0.8402	0.0000
15	REFR-Main	-32.7860	1.4078	0.0000
16	REFR-Main	-40.4570	1.0427	0.0000
17	REFR-Main	-40.7050	1.8863	0.0000
18	REFR-Main	-54.4500	0.8454	0.0000
19	REFR-Main	-66.7860	2.0572	0.0000
20	REFR-Main	-67.8530	1.4430	0.0000
21	REFR-Main	-72.4450	2.0130	0.0000
22	REFR-Main	-77.4530	3.0841	0.0000
23	REFR-Main	-70.3694	0.5360	0.0000
24	REFR-Main	-82.4721	1.4365	0.0000
25	REFR-Main	-93.4515	1.1036	0.0000
End	REFR-Main	-93.5487	1.0378	0.0000

(그림 5) 투광 렌즈 기초 설계 배광 및 단면 변수

위의 그림을 보면, 설계하고자 하였던 렌즈는 투광 Lens 이었으나, 투광기와 같은 배광의 형태를 가지지 못하고 있다.

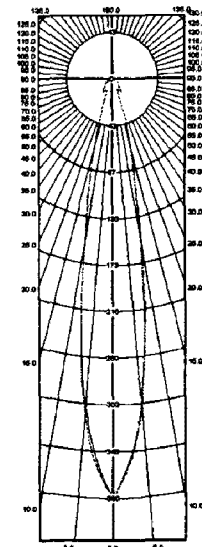
Lens의 수정은 투광기 단면 변수를 수정하여 이루어지게 된다. 이때 수정하는 변수는 각 단면 세그먼트의 기울기와 길이이다.

각 세그먼트 단면을 조정하여 얻어진 설계된 투광용 렌즈는 빔각 $-8^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 이며, 효율 98%, 높이 16.22mm, 직경 26.72mm이다.



Layer	Material	Thickness	Refractive Index	Optical Path Length
0	0.00%	0	0.00%	0
1	0.00%	1	0.00%	1
2	22.378%	2	0.00%	2
3	31.822%	3	0.00%	3
4	2.39%	4	0.00%	4
5	1.19%	5	0.00%	5
6	0.59%	6	0.00%	6
7	0.59%	7	0.00%	7
8	0.59%	8	0.00%	8
9	0.59%	9	0.00%	9
10	0.59%	10	0.00%	10
11	0.59%	11	0.00%	11
12	0.59%	12	0.00%	12
13	0.59%	13	0.00%	13
14	0.59%	14	0.00%	14
15	0.59%	15	0.00%	15
16	0.59%	16	0.00%	16
17	0.59%	17	0.00%	17
18	0.59%	18	0.00%	18
19	0.59%	19	0.00%	19
20	0.59%	20	0.00%	20
21	0.59%	21	0.00%	21
22	0.59%	22	0.00%	22
23	0.59%	23	0.00%	23
24	0.59%	24	0.00%	24
25	0.59%	25	0.00%	25
Total	98.980%			

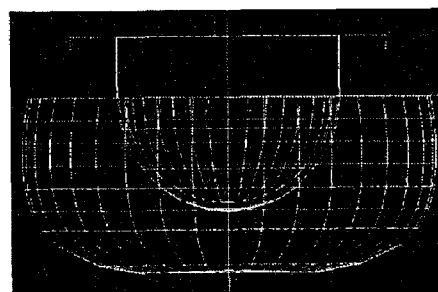
(그림 6) 완성된 투광 렌즈의 형상과 효율



Layer	Material	Thickness	Refractive Index	Optical Path Length
Start	REFR-Main	0.0000	0.1000	0.0000
2	REFR-Main	-0.5000	0.1000	0.0000
3	REFR-Main	-1.0000	0.2000	0.0000
4	REFR-Main	-2.0000	0.2000	0.0000
5	REFR-Main	-5.0000	0.2000	0.0000
6	REFR-Main	-10.0000	0.2000	0.0000
7	REFR-Main	-15.0000	0.5000	0.0000
8	REFR-Main	-25.0000	1.0000	0.0000
9	REFR-Main	-40.0000	1.0000	0.0000
10	REFR-Main	-40.0000	1.0000	0.0000
11	REFR-Main	-55.0000	1.0000	0.0000
12	REFR-Main	-55.0000	1.0000	0.0000
13	REFR-Main	-55.0000	1.0000	0.0000
14	REFR-Main	-60.0000	1.0000	0.0000
15	REFR-Main	-60.0000	1.0000	0.0000
16	REFR-Main	-60.0000	1.0000	0.0000
17	REFR-Main	-60.0000	1.0000	0.0000
18	REFR-Main	-65.0000	1.0000	0.0000
19	REFR-Main	-65.0000	1.0000	0.0000
20	REFR-Main	-65.0000	1.0000	0.0000
21	REFR-Main	-70.0000	1.0000	0.0000
22	REFR-Main	-70.0000	1.0000	0.0000
23	REFR-Main	-70.0000	1.0000	0.0000
24	REFR-Main	-75.0000	1.0000	0.0000
25	REFR-Main	-75.0000	1.0000	0.0000
End	REFR-Main	-75.0000	1.0000	0.0000

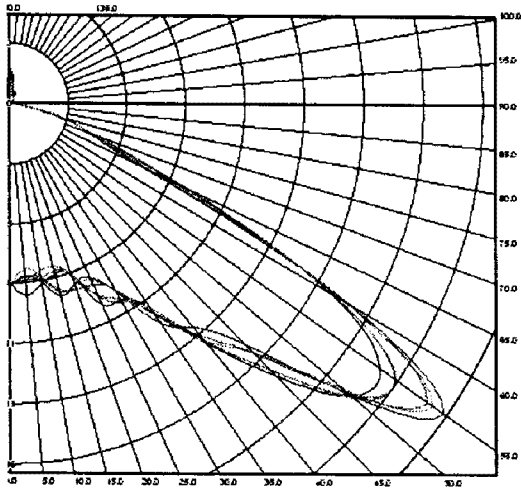
(그림 7) 완성된 투광 렌즈의 배광 및 단면 변수

본 논문에서는 투광용 렌즈 이외에 bat wing 형의 배광을 가지는 원형 대칭 렌즈 역시 설계 하였다. 그 결과를 보게 되면, 렌즈의 최대 광도는 55° 에서 나오고, 크기는 높이 3.87mm, 최대 직경 8.3mm, 효율 97.9%이다.



Layer	Material	Thickness	Refractive Index	Optical Path Length
0	0.00%	0	0.00%	0
1	55.919%	1	0.00%	1
2	0.19%	2	0.00%	2
3	1.22%	3	0.00%	3
4	0.59%	4	0.00%	4
5	0.59%	5	0.00%	5
6	0.59%	6	0.00%	6
7	0.59%	7	0.00%	7
8	0.59%	8	0.00%	8
9	0.59%	9	0.00%	9
10	0.59%	10	0.00%	10
11	0.59%	11	0.00%	11
12	0.59%	12	0.00%	12
13	0.59%	13	0.00%	13
14	0.59%	14	0.00%	14
15	0.59%	15	0.00%	15
16	0.59%	16	0.00%	16
17	0.59%	17	0.00%	17
18	0.59%	18	0.00%	18
19	0.59%	19	0.00%	19
20	0.59%	20	0.00%	20
21	0.59%	21	0.00%	21
22	0.59%	22	0.00%	22
23	0.59%	23	0.00%	23
24	0.59%	24	0.00%	24
25	0.59%	25	0.00%	25
Total	97.97%			

(그림 8) bat wing배광을 가지는 렌즈형상과 효율



(그림 9) 완성된 bat wing 렌즈의 배광

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

[1] R.H Simons and AR Bean, 『Light Engineering Applied Calculations』, Plant a Tree, 2001
 [2] Photopia Version 3.0 User's Guide, LTI Optics.

3. 결론

Photopia 3.0 기능을 이용한 렌즈 설계는 기존의 설계 방법들에 비하여 빠르게 목표 배광을 달성할 수 있는 단면 설계가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

하지만, 렌즈 또는 반사판의 설계 시 많은 경험을 통해 원하는 배광의 형태를 만들기 위해 필요한 기초적인 단면의 형상을 알고 있지 않은 경우나, 설계 경험이 부족하다면, 배광을 만들어내기 위해 기존의 방법보다 더 많은 수의 작업을 요하며, 반복 작업의 결과로 배광의 형태를 만들어낼 수는 있으나 그 크기가 크거나 제작이 어려운 형태의 렌즈나 반사판을 설계하게 되는 오류를 범할 가능성이 존재한다.

CAD의 주요 기능을 압축한 형태이기 때문에 CAD에 비하여 사용자가 임의로 사용할 수 있는 tool이 많이 제외 되어 있어 CAD에 익숙해진 사용자들은 많은 불편을 느낄 수 있으며, Reflector 설계를 기반으로 하였기 때문에 Lens 설계에 최적화 되어있지는 않은 부분이 있다.