

LED 램프의 기본 설계이론

김선원 · 송병기 · 이성재[†]

충남대학교 전자공학과

⑧ 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220

(2002년 2월 28일 받음, 2002년 7월 18일 수정본 받음)

LED 램프의 기본 설계이론을 제시하였다. 설계된 LED 램프에 사용된 reflecting cup과 렌즈는 몇몇의 설계 변수에 의하여 다양한 형태로의 모양의 변화가 가능하다는 특징을 갖는다. Monte Carlo 기법을 이용하여 설계된 램프를 해석한 결과 다양한 응용분야에서 요구되는 빔 패턴특성을 손쉽게 구현할 수 있음을 확인할 수 있었다.

주제어 : LED lamp, reflecting cup, LED lens, far-field beam pattern.

I. 서 론

가시광 영역의 발광다이오드(light-emitting diode: LED)는 주로 신호용 또는 표시용 소자로서 많이 사용되어 왔지만, 최근 들어 그 밝기가 크게 증가된 고휘도(highbrightness) LED가 등장함에 따라 비로소 일반 조명분야까지도 사용되기에 이르렀다. 현재 LED의 고출력화와 고효율화를 목표로 양질의 결정성장 및 칩 구조개발에 관한 활발한 연구가 진행됨에 따라,^[1-4] 앞으로 고휘도 LED는 더 많은 응용분야에서 백열등을 점진적으로 대체해 나갈 것으로 예측된다.

일반적으로 LED의 램프의 응용에 있어서 중요한 변수로는 광출력과 함께 원격장(far-field) 빔 패턴 특성을 들 수 있는데, 그 이유는 응용분야에 따라서 요구되는 빔 패턴 특성이 달라지기 때문이다. 램프의 빔 패턴 특성이 특정 용도에 부합되지 못할 경우, 소요되는 LED 램프의 개수가 증가하거나 전력의 손실이 커지는 문제점이 나타날 수 있다. 일반적으로 LED 램프는, 그림 1(a)에 보인 바와 같이, 크게 lead형과 그림 1(b)에 보인 표면실장을 위한 SMD형으로 구분된다. SMD형의 LED 램프는 보통 $3 \times 2 \times 1.5 \text{ mm}^3$ 정도의 작은 크기를 하고 있는데, 주로 각종 제품내부의 비좁은 공간상에 부착되기 때문에, 빔 패턴 특성이 중요하게 고려되지 않는 경우가 보통이라고 할 수 있다. 이에 비하여 lead형 LED 램프는 각종 기기 또는 건물의 외부에 부착되어, 비교적 멀리 떨어져 있는 detector나 사람을 대상으로 작동되는 것이 보통이기 때문에, 빔 패턴 특성이 중요하게 고려되어야만 한다. 따라서 본 논문에서는 주로 lead형에 적용이 가능한 LED 램프의 기본 설계이론을 제시하고자 한다.

광학적 설계 관점에서 lead형 LED 램프는 그림 2에 보인 바와 같이 LED 칩, reflecting cup, LED 렌즈의 3개의 요소만으로 간략히 나타낼 수 있다. LED 칩은 reflecting cup 위에 부착되어 있는데, 칩으로부터 방출된 광자들은 reflecting

cup으로부터의 반사를 거치거나 혹은 직접 LED 렌즈와 공기 사이의 계면에 도달한 후 대부분 굴절과정을 거쳐 램프 밖으로 빠져나가게 된다. 이때 출력 광자들 각각의 구체적인 진행 방향에 따라서 LED 램프 고유의 원격장(far-field) 빔 패턴이 형성되게 된다. 이와 같이 LED 램프의 동작원리는 비교적 간단하기 때문에, 이제까지 LED 램프의 설계는 체계적인 이론보다는 주로 직관적인 단순한 개념에 의존하여 이루어진 측면이 강하다고 할 수 있다. 예를 들어 LED 칩을 점광원으로 가정하고 칩으로부터 발생되는 광자들을 광선 추적(ray tracing) 개념을 이용하여 추적하는 방법을 이용하여 램프를 설계할 수 있지만, 대부분의 LED 램프의 경우, 칩의 크기에 LED lens dome의 크기에 비하여 무시할 수 없을 뿐만 아니라 칩 표면으로부터 방출되는 광자들의 진행 방향도 매우 다양하게 분포를 하기 때문에, 일반적으로 설계의 정확성이 크게 떨어지게 되어 적지 않은 시행착오를 겪게 되는 문제점이 있었다.

본 논문의 가장 중요한 목표는 각종의 응용분야에서 요구되는 다양한 형태의 빔 패턴 특성을 구현할 수 있는 LED 램프의 설계이론을 확립하는 것이다. 이를 위한 가장 중요한 과정으로, 비교적 소수의 설계변수들을 간단히 조절함으로써, 넓은 범위에 걸쳐 다양한 모양으로 변화가 가능한 reflecting cup과 렌즈를 도입하였다. 다음으로 이들 reflecting cup과 렌즈들을 LED 칩과 결합시켜 램프를 구성한 후 Monte Carlo 기법을 이용하여 램프를 해석하였다. Monte Carlo 기법은 기본적으로 충분히 많은 수의 광자들을 LED 칩의 활성층에 분산시켜 생성시킨 후 각각의 광자들을 난수(random number)를 이용하여 확률적으로 추적하는 방법을 이용하기 때문에, 일반적으로 정확성이 뛰어난 특징을 갖고 있어서 최근 들어 LED 칩 및 램프의 설계에 많이 사용되고 있다.

II. REFLECTING CUP

실제로 사용되는 reflecting cup은 대부분 그림 3에 보인 바

[†]E-mail: sjlee@cnu.ac.kr

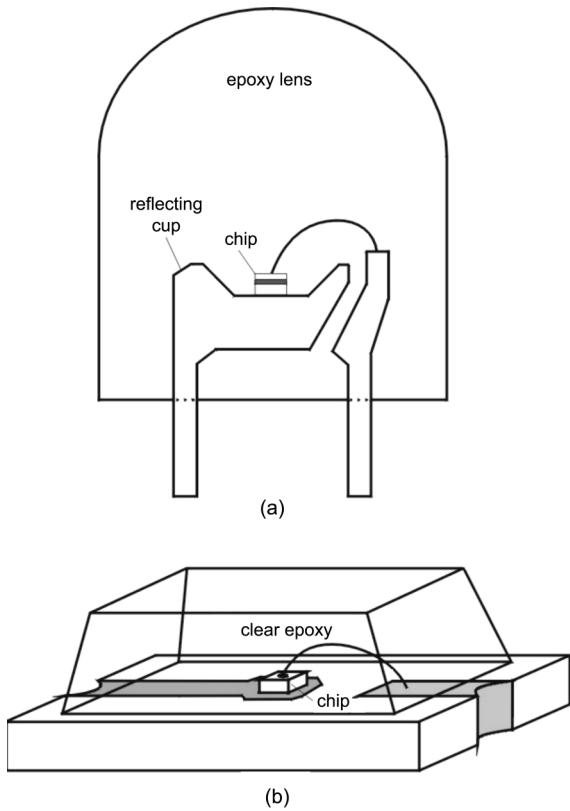


그림 1. 일반적인 LED 램프 구조. (a) Lead형 LED 램프 구조,
(b) SMD형 LED 램프 구조.

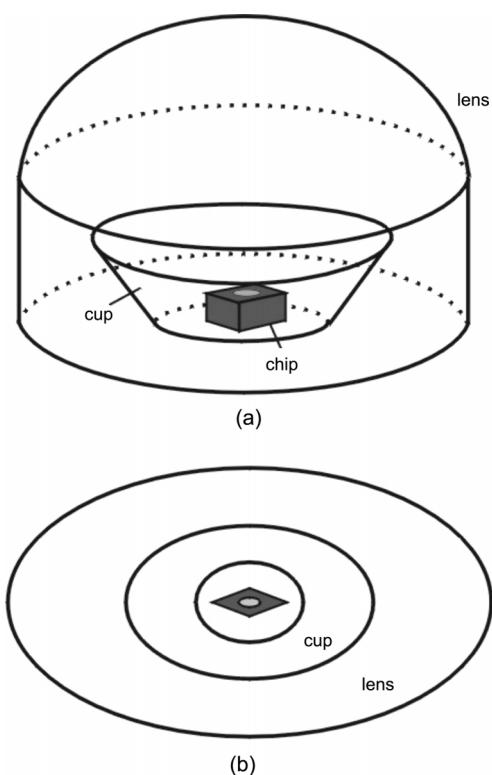


그림 2. 제안된 LED 램프 구조. (a) 전체 보기, (b) 윗면 보기.

와 같이 밀이 잘린 원뿔 모양을 하고 있는데, 그 면은 일반적으로 온으로 얇게 코팅되어 있기 때문에 입사된 광자들의 대부분을 반사시키게 된다. LED 칩의 표면 중에서 특히 옆면으로부터 방출된 광자들은 대부분은 컵의 밀면 또는 옆면에서 반사되어 상부방향으로 향하기 때문에 reflecting cup은 빔 패턴에 직접적인 영향을 미치는 요소라고 할 수 있다. 특히 대부분의 고화도 LED의 경우, 보통 4개의 옆면으로부터 방출된 광자들의 수가 칩의 윗면으로부터 방출된 광자의 수보다 훨씬 많기 때문에, reflecting cup의 빔 패턴에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

일반적으로 reflecting cup은 수평단면의 모양을 cup 밀면으로부터의 거리 z 의 함수로 표현함으로써 정의할 수 있는데, 본 연구에서는 reflecting cup의 수평단면을

$$\frac{x^2}{c_x^2(z)} + \frac{y^2}{c_y^2(z)} = 1 \quad (1)$$

$$0 < z < c_h$$

와 같이 타원으로 가정하였다. 위에서 $c_x(z)$ 와 $c_y(z)$ 는 각각 컵의 밀면으로부터의 거리 z 에서의 수평단면 타원의 x 및 y방향으로의 반경을 의미하며, c_h 는 reflecting cup의 높이를 의미한다. 함수 $c_x(z)$ 와 $c_y(z)$ 는 reflecting cup의 옆면의 기울기와 밀접한 관련을 갖는데

$$c_x(z) = c_{xo} + \tan(\theta_x)z$$

$$c_y(z) = \begin{cases} c_y^+(z) = c_{yo} + \tan(\theta_y^+)z & \text{when } y \geq 0 \\ c_y^-(z) = c_{yo} + \tan(\theta_y^-)z & \text{when } y < 0 \end{cases} \quad (2)$$

와 같이 정의하였다. 위에서 c_{xo} 와 c_{yo} 는 각각 컵의 밀면 타원의 x 및 y방향으로 반경을, θ_x , θ_y^+ , θ_y^- 는 각각 x방향, +y방향, -y방향에 대한 컵 옆면의 기울기 각도를 의미한다. 특기할 만한 점은 컵 옆면의 +y방향, -y방향에 대한 기울기 각도 θ_y^+ 와 θ_y^- 를 서로 달리할 경우, 그림 3(b)와 3(c) 각각에 보인 바와 같은 비대칭 형태의 reflecting cup도 얻을 수 있다는 점이다. 이와 같이 그 옆면이 비대칭적으로 기울어 진 컵은 특정 방향으로 편향되는 원격장(far-field) 빔 패턴을 얻는데 활용될 수 있다.

III. LED 렌즈

칩 밖으로 빠져 나온 광자들은 직접 또는 반사 컵으로부터의 반사를 거쳐 LED 렌즈면과 공기 사이의 계면에 도달한 후, 대부분 굴절 과정을 거쳐 밖의 공기 중으로 빠져 나가게 된다. 광자들의 렌즈면을 빠져 나온 이후의 진행방향의 분포는 LED 렌즈의 곡면의 구체적인 모양에 의해서 결정되기 때문에 렌즈의 설계는 램프의 빔 패턴을 최종적으로 마무리 짓는 요소라고 할 수 있다.

LED 렌즈는 그림 4에 도식적으로 보인 바와 같이 보통 base와 dome의 두 부분으로 나누어 생각하는 것이 편리하다. 본 논문의 경우, 렌즈의 base는 수평단면이 밀면에서부터 높이 l_b 까지에 걸쳐

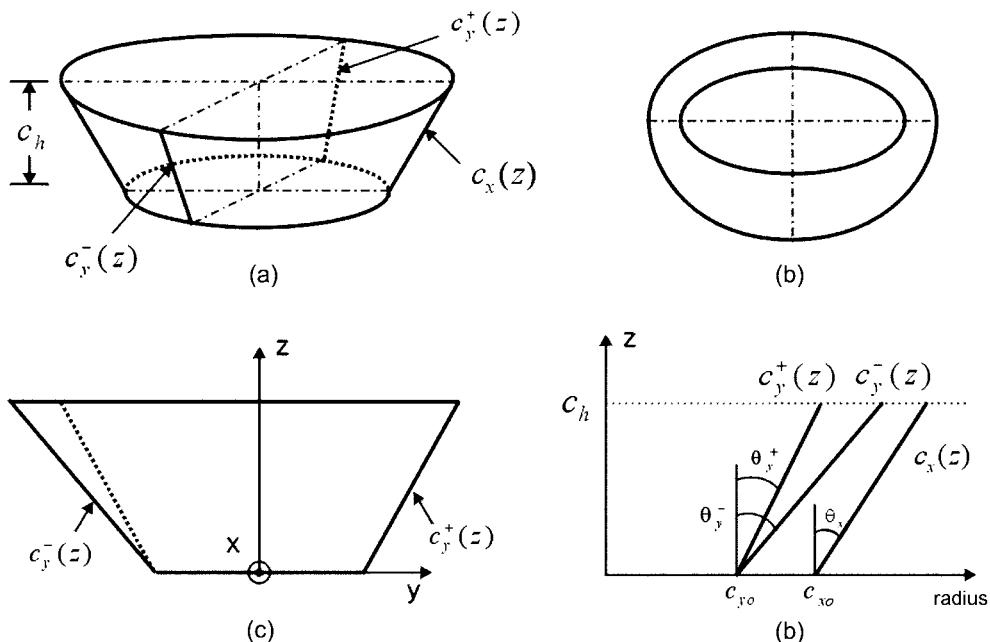


그림 3. Reflecting cup의 구조. (a) 전체 보기, (b) 윗면 보기, (c) 옆면 보기, (d) 컵 옆면의 기울기.

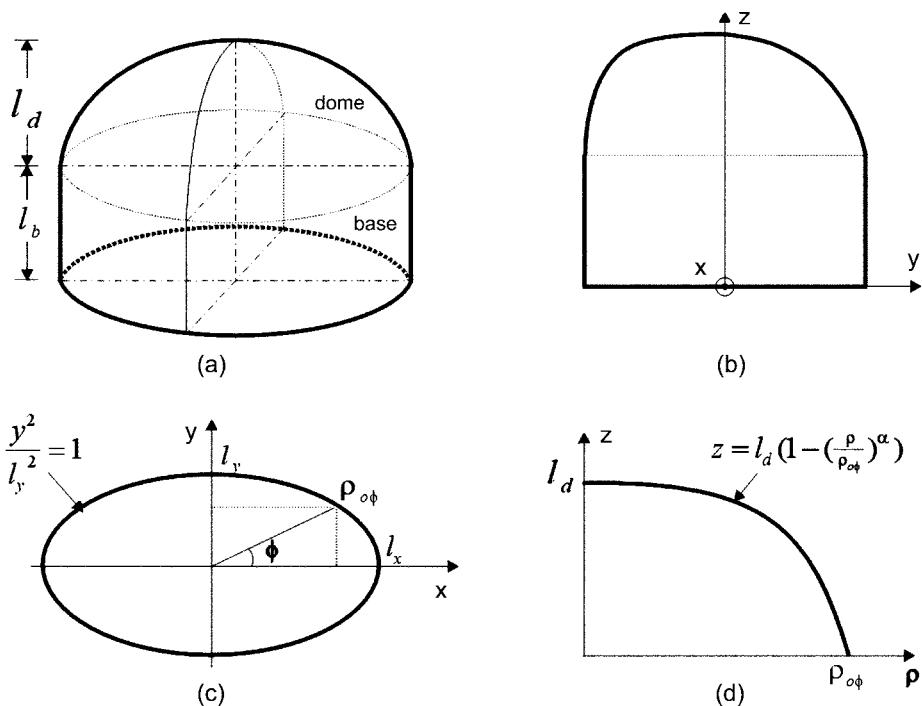


그림 4. LED 렌즈의 구조. (a) 전체 보기, (b) 옆면 보기, (c) 윗면 보기, (d) dome profile.

$$\frac{x^2}{l_x^2} + \frac{y^2}{l_y^2} = 1 \quad (3)$$

$0 < z < l_b$

와 같이 동일한 모양의 타원을 하고 있는 타원형 기둥으로 가정하였다. 위에서 l_x 와 l_y 는 각각 수평단면 타원의 x와 y방향으로의 반경을 의미한다. 렌즈의 dome은 base의 위에 놓이는 부분으로 보통 임의의 radial 방향에 대한 수직 단면 profile

함수에 의해 정의될 수 있는데, 본 연구에서는

$$z = l_b + l_d \left(1 - \left(\frac{\rho}{\rho_o(\phi)} \right)^\alpha \right) \quad (4)$$

와 같이 원통 좌표계(ρ, ϕ, z)로 표현된 단면 profile 함수를 도입하였다. 여기서 l_d , $\rho_o(\phi)$, α 는 각각 렌즈 dome의 base 윗면으로부터의 높이, dome 밑면에서의 방위각 ϕ 방향 쪽으로의 반경, dome profile 차수를 의미한다. 렌즈의 dome의 밑

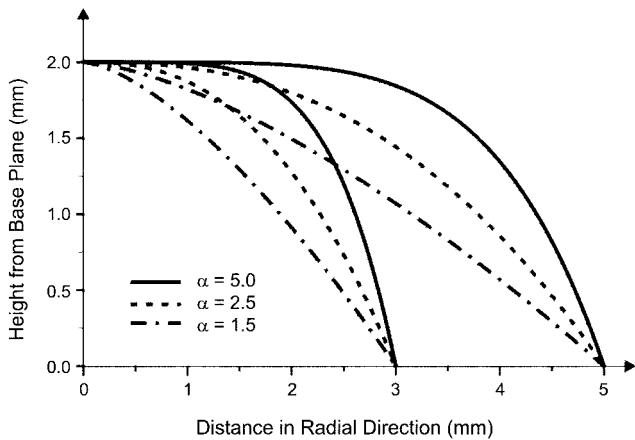


그림 5. 렌즈 dome profile 차수 α 값에 따른 LED 렌즈 dome profile.

면은 base와 완전히 정합을 이루어야 하는데, 이를 위해서는 변수 $\rho_o(\phi)$ 는

$$\rho_o^2(\phi) \left(\frac{\cos^2 \phi}{l_x^2} + \frac{\sin^2 \phi}{l_y^2} \right) = 1 \quad (5)$$

의 관계식을 만족해야만 한다.

그림 5는 dome profile 차수 α 값에 따른 dome의 수직단면 profile의 몇 가지 예를 보여주고 있는데, 일반적으로 α 가 증가할수록 dome profile의 정상부위가 완만해지게 되어 입사광에 대한 접속효과가 떨어지게 된다. 따라서 α 를 방위각 ϕ 의 특정한 함수 형태로 정의해 줄 경우 매우 다양한 형태의 빔 패턴 특성을 갖는 램프를 구현할 수 있게 된다.

IV. Simulation 결과

설계된 LED 램프를 해석하기 위한 방법으로 Monte Carlo 기법을 사용했는데, 이 기법은 기본적으로 이미 LED 칩

simulation을 위해 사용된 바 있다. 본 연구에서는 단지 기존에 개발된 LED 칩 해석용 프로그램에, 앞에서 도입된 reflecting cup과 렌즈 부분만을 추가했음을 밝힌다. 따라서 Monte Carlo 기법의 구체적인 내용에 대해서는 인용된 문헌을 참고할 수 있을 것으로 판단되기에 때문에, 여기에서는 그 기법의 골격만을 요약하기로 한다. Monte Carlo 기법에서는 첫째로 약 500,000 개 정도로 충분히 많은 수의 광자들을 칩의 활성층의 전 영역에 걸쳐 분포시켜 생성시키게 된다. 여기서 특기할만한 점은 활성층의 임의의 점에서의 광자의 누적 생성 밀도가 상부 전극의 중심부터 생성지점까지의 거리에 반비례하도록 함으로써 전극의 중심에 가까운 지역일수록 더 많은 광자들이 생성되도록 하였다는 점이다. 다음으로 생성된 광자들의 생성시점에서부터 램프 밖으로 빠져 나올 때까지의 구체적인 진행과정을, 광자의 재질 내에서의 흡수현상, 계면에서의 반사 및 굴절 현상 등을 난수(random number)를 이용하여 확률적으로 예측함으로써, 추적하게 된다. 만일 광자가 램프 밖으로 빠져 나오게 되거나 칩이나 램프 내에서의 진행과정 중에 흡수될 경우, 새로운 광자들을 칩의 활성층의 또 다른 지점에서 순차적으로 생성시킨 후 동일한 방법으로 추적하게 된다. 마지막으로 LED 램프 밖으로 방출된 모든 광자들 각각의 진행방향에 대한 데이터로부터 LED 램프의 원격장(far-field) 빔 패턴을 계산하게 된다.

컴퓨터 simulation에 사용된 LED 램프의 주요 설계 변수들을 살펴보면 다음과 같다: $c_{x0}=10$ mm, $c_{y0}=1.0$ mm, $c_h=0.8$ mm, $\theta_x=40^\circ$, $\theta_y^+=40^\circ$, $\theta_y^-=-40^\circ$, $l_x=4$ mm, $l_y=4$ mm, $l_b=0.8$ mm, $\alpha=4$. 설계 변수들에 대한 특별한 언급이 없는 경우, 위의 설계 변수들은 고정된 것으로 간주한다.

그림 6은 reflecting cup과 렌즈가 제거된, 즉 무한경계(unbounded)의 렌즈 매질 내에 존재하는 LED 칩 자체만의 수평단면에 나란한 방향에 대한 원격장(far-field) 광자분포 패턴을 보여주고 있다. 이와 같은 칩 자체만의 광자분포 패턴에 관한 정보는 reflecting cup과 렌즈의 대강의 구조를 결정하는데 유용하다고 할 수 있는데, 일반적으로 칩의 모양에 따라서

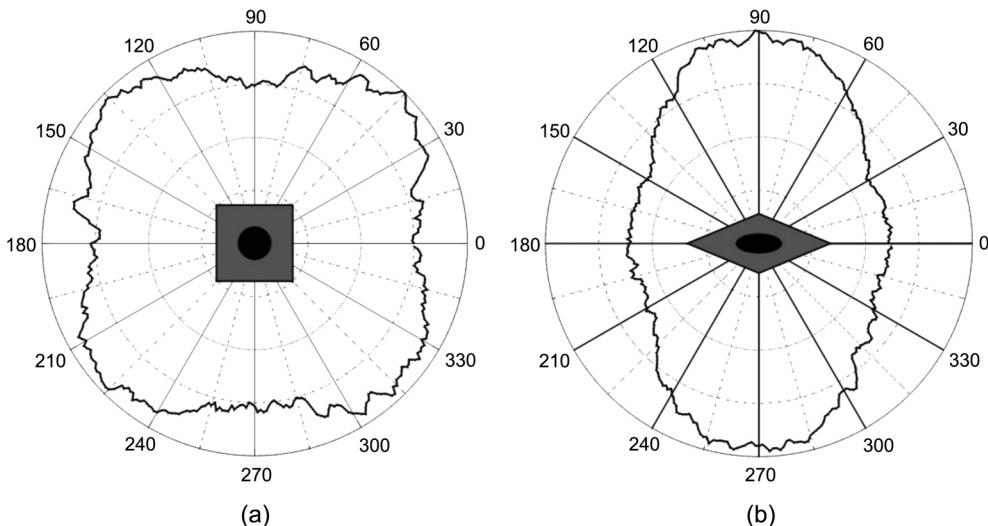


그림 6. LED 칩의 수평면에서 관측된 원격장(far-field) photon distribution pattern. (a) 정방형 칩, (b) 마름모 칩.

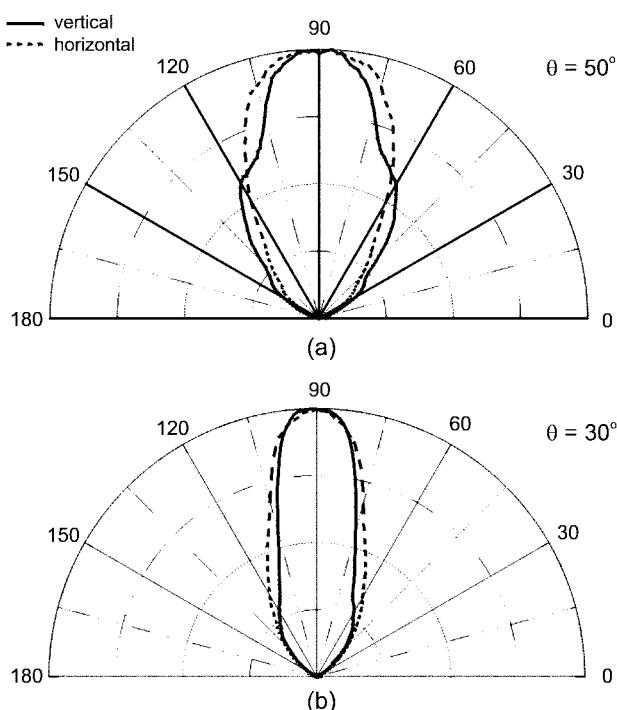


그림 7. 컵 옆면 기울기 각도에 따른 원격장(far-field) 빔 패턴.
(a) $\theta_x = \theta_y^+ = \theta_y^- = 50^\circ$, (b) $\theta_x = \theta_y^+ = \theta_y^- = 30^\circ$.

상당히 큰 차이를 보여주고 있다. 예를 들어, 흔히 사용되고 있는 정방형 칩의 경우, 그림 6(a)에 보인 바와 같이 광자들이 모든 방향에 대하여 상대적으로 균등하게 분포되는데 비하여, 칩의 수평단면이 마름모인 경우에는, 그림 6(b)에 보인 바와 같이 광자들이 상대적으로 칩의 수평단면 마름모의 단축방향 쪽으로 집중됨으로써 전체적으로 타원형 형태의 원격장(far-field) 광자분포 패턴을 보여주고 있다. 이와 같은 타원 형태의 출력 광자의 분포 패턴은 수평 방향과 수직 방향에 대한 빔 폭의 비가 상대적으로 크게 요구되는 oval type의 램프를 구현하는데 좀 더 적합할 것으로 판단된다.

그림 7은 reflecting cup의 옆면 기울기 각의 빔 패턴에 미치는 영향을 보여주고 있는데, 쉽게 예상되는 바와 같이 컵의 기울기 각 θ_x , θ_y 가 감소함에 따라 빔 폭이 감소됨을 알 수 있다. 이 경우 reflecting cup과 렌즈의 수평단면이 원형인 circular type의 램프를 가정했음에도 불구하고 수평방향과 수직방향에 대한 빔 패턴이 약간의 편차를 보이는데, 그 이유는 LED 칩으로서 정방형 형태의 칩 대신에 수평면에 대한 출력 광자의 분포가 타원형 형태로 주어지는 마름모 형태의 칩을 가정한데서 연유된다고 할 수 있다.

그림 8과 그림 9는 각각 렌즈 base 높이 l_b 와 렌즈 dome 높이 l_d 가 빔 패턴에 미치는 영향을 보여주고 있는데, 이미 잘 알려진 바와 같이, l_b 와 l_d 가 증가함에 따라 빔 폭이 감소한다는 사실을 알 수 있다. 그림 10은 렌즈 dome profile 차수 α 가 빔 패턴에 미치는 영향을 보여주고 있는데, α 가 증가함에 따라 빔 폭이 확대됨을 알 수 있다. Dome profile 차수가 증가하면, 그림 5에 보인 바와 같이, dome의 정상부위가 완만해지게 되고 그에 비례하여 렌즈에서의 광자에 대한

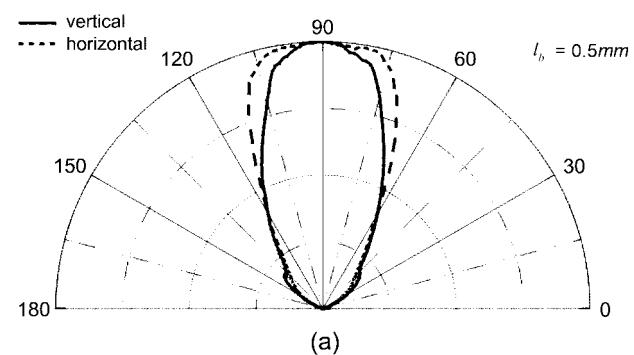


그림 8. 렌즈 base 높이에 따른 원격장(far-field) 빔 패턴. (a) $l_b = 0.5\text{ mm}$, (b) $l_b = 1.5\text{ mm}$.

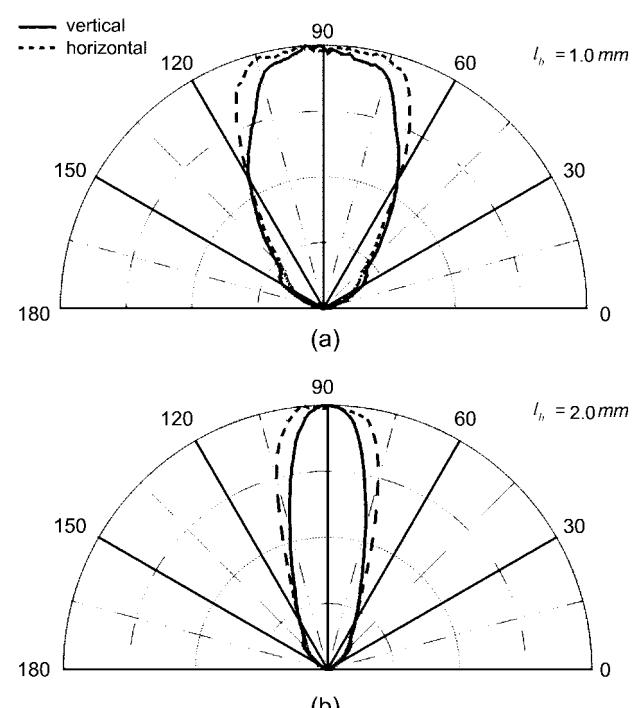


그림 9. 렌즈 dome 높이 l_d 에 따른 원격장(far-field) 빔 패턴.
(a) $l_d = 1.0\text{ mm}$, (b) $l_d = 1.5\text{ mm}$.

집속력이 떨어지게 되어 빔 폭은 확대된다고 할 수 있다.

이상에서는 reflecting cup과 렌즈의 수평단면이 원형인 circular type의 램프에 대하여 살펴보았지만, 이하에서는 컵과 렌즈의 수평단면이 타원인 oval type의 램프에 대해서 살펴보

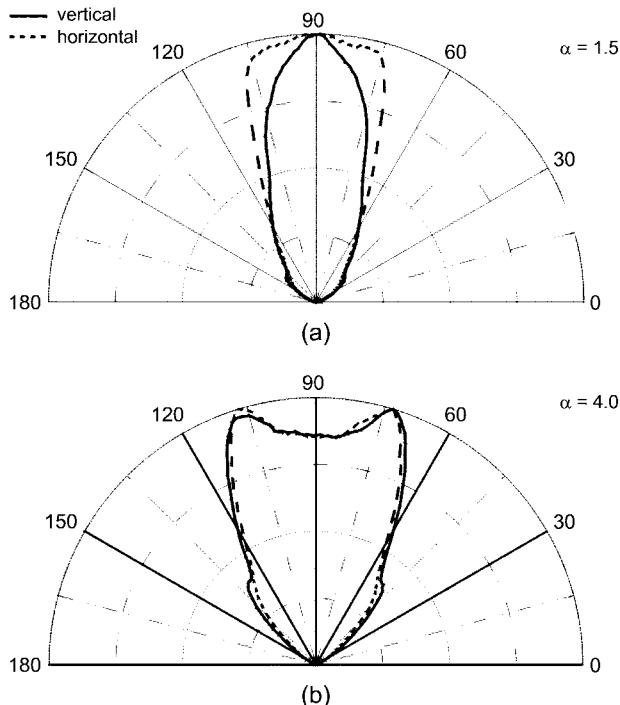


그림 10. 렌즈 dome profile 차수 값에 따른 원격장(far-field) 빔 패턴. (a) $\alpha = 1.5$, (b) $\alpha = 4.0$.

기로 한다. 일반적으로 oval type의 램프는 수평방향에 대한 빔 폭이 수직방향에 대한 빔 폭보다 훨씬 큰 특성을 갖고 있기 때문에, 옥외용 전광판 등에서 주로 사용된다. 이제 까지는 oval type의 램프의 경우 정방형 형태의 칩이 주로 사용되어 왔지만, 수평방향과 수직방향에 대한 빔 폭의 비를 좀더 유연하게 조절하는 데는 출력 광자에 대한 분포 패턴이 타원형 형태로 주위에는 마름모 형태의 칩이 이점을 갖고 있는 것으로 판단된다. Oval type의 램프에 마름모 형태의 칩을 이용할 경우, reflecting cup과 LED 칩의 LED 렌즈에 대한 상대적인 rotation에 따라 많은 조합들이 가능하게 되는데, 그들 중의 몇몇의 예에 대한 빔 패턴 특성을 나타내면 그림 11-13에 보인 바와 같다. Oval type의 램프의 경우 렌즈의 설계 변수는 $l_x = 5 \text{ mm}$, $l_y = 3 \text{ mm}$, $l_b = 0.8 \text{ mm}$ 으로 고정하였다.

그림 11은 reflecting cup의 옆면이 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향에서 상대적으로 더 누워있는($\theta_x = 50^\circ$, $\theta_y^+ = \theta_y^- = 30^\circ$) 타원형 형태의 컵을 사용한 경우의 빔 패턴 특성을 보여주고 있다. 이 경우의 특기할 만한 사항은, 컵의 옆면이 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향에서 더 누워 있기 때문에 수평방향에 대한 빔 폭이 크게 확대될 것이라는 직관적인 예상과는 달리, 수평방향에 대한 빔 폭이 상대적으로 좁게 나타나고 있다는 점이라고 할 수 있다. 이와 같은 원인은, 타원형의 reflecting cup에서 옆면의 기울기를 어느 특정 방향에 대하여 작게 할 경우, 그 방향에서 컵의 옆면이 더 눕게 되지만 동시에 컵 옆면의 방위각 방향에 대한 곡률이 크게 증가하게 되어 국부적으로 오목(concave)한 영역이 나타나는 데서 찾을 수 있다. 예를 들어 그림 11에 표시된 reflecting cup의 경우, 음영으로 표시된 오목한 영역이 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향에서

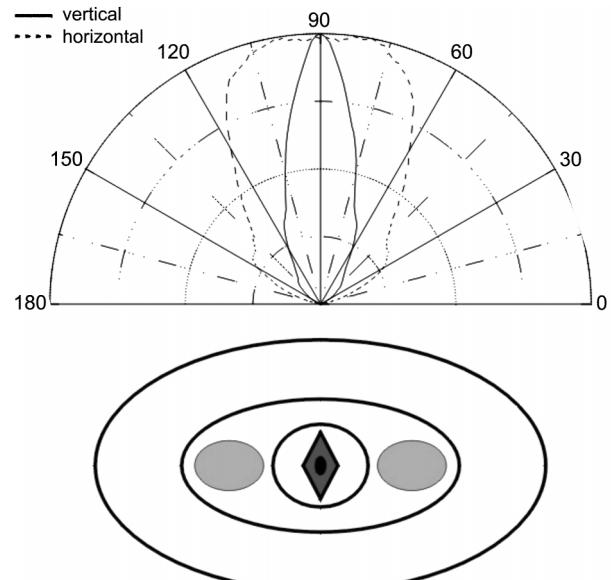


그림 11. Oval type 램프의 원격장(far-field) 빔 패턴(원형 밑면을 갖는 타원형 컵) ($c_{xo} = c_{yo} = 1.0 \text{ mm}$, $\theta_x = 50^\circ$, $\theta_y^+ = 50^\circ$, $\theta_y^- = 30^\circ$).

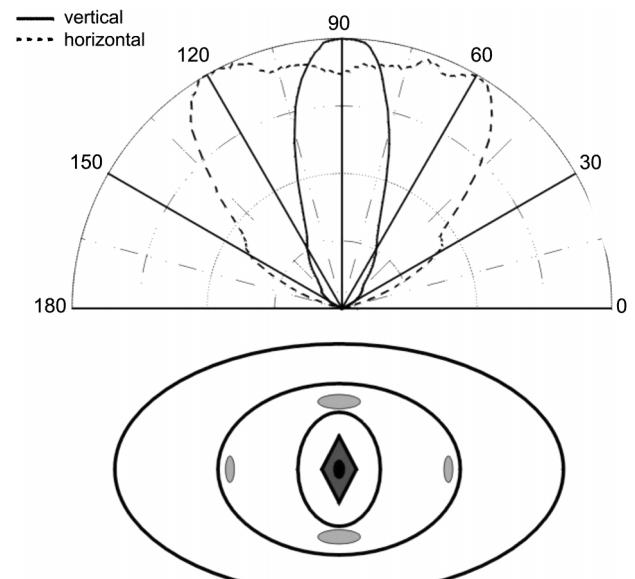


그림 12. Oval type 램프의 원격장(far-field) 빔 패턴(타원형 밑면을 갖는 타원형 컵). ($c_{xo} = c_{yo} = 1.0 \text{ mm}$, $\theta_x = 50^\circ$, $\theta_y^+ = \theta_y^- = 30^\circ$).

넓게 나타나게 되어 광자들에 대한 집속효과가 상대적으로 강하게 나타나게 된다. 그 결과 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향에 대한 집속효과가 렌즈와 컵에서 서로 상쇄하는 방향으로 작용하게 되어 수평방향에 대한 빔 폭이 예상과는 다르게 상대적으로 축소된다.

그림 12는 컵의 옆면의 오목한 영역이 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향에서 나타나는 것을 막기 위하여, reflecting cup 밑면을 타원형으로 선택하고($c_{xo} = 0.8 \text{ mm}$, $c_{yo} = 1.2 \text{ mm}$) 아울러 그 밑면 타원의 장축방향을 렌즈의 수평단면 타원의 장축

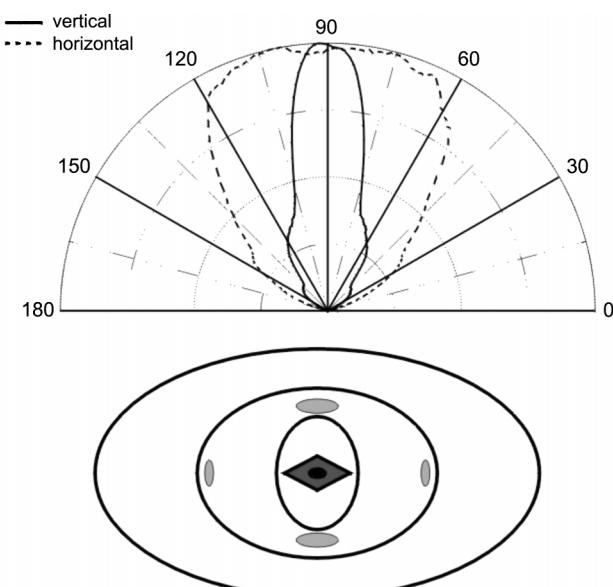


그림 13. Oval type 램프의 원격장(far-field) 빔 패턴. (타원형 밑면을 갖는 타원형 컵 및 칩의 회전).

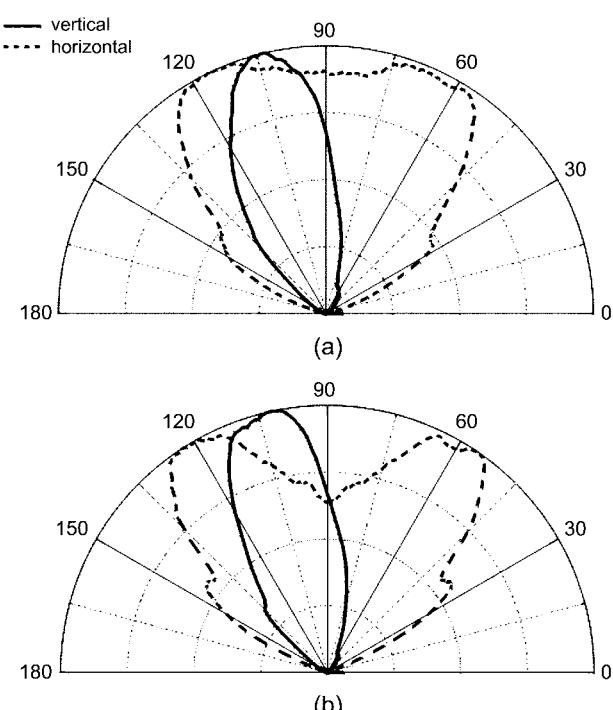


그림 14. 특수한 형태의 원격장(far-field) 빔 패턴. (a) tilted beam
(b) tilted and double-lobed beam.

방향과 직교 시킨 경우를 보여주고 있다. 이 경우 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향에서 컵의 옆면에 오목한 영역이 거의 사라질 뿐만 아니라 그 방향에서 컵의 옆면이 더 눕게 된다. 그 결과 수평방향에 대한 집속효과가 cup과 렌즈에서 동시에 멀어지게 되어, 수평방향에 대한 빔 폭이 그림 11의 경우에 비하여 크게 확대된다.

그림 13은, 그림 12의 경우에서, 단지 LED 칩의 향하는 방

향만을 회전 시킨 경우로서, 이 경우 수평방향에 대한 빔 폭이 그림 12의 경우에 비하여 약간 감소함을 알 수 있다. 그 원인은, 그림 13의 경우, 광자에 대한 집속효과가 적은 렌즈의 수평단면 타원의 장축방향으로 방출되는 광자의 수가 그림 12의 경우에 비하여 상대적으로 감소되기 때문이라고 할 수 있다.

그림 14는 LED 램프 제반의 설계 변수들을 동시에 변화시켜 얻은 특수한 형태의 원격장(far-field) 빔 패턴의 예들을 보여주고 있다. 그림 14(a)는 비대칭으로 기울어진 벽면($\theta_y^+ = 30^\circ$, $\theta_y^- = 50^\circ$)을 갖는 reflecting cup을 이용한 경우로서, 수평방향과 수직방향에 대한 빔 폭의 차이가 크게 날 뿐만 아니라, 수직방향에 대한 빔 패턴이 일정한 각도로 기울어져 있음을 보여주고 있다. 그림 14(b)는 추가적으로 dome profile의 차수 α 가 방위각 $\phi = 0^\circ$ 와 $\phi = 180^\circ$ 근처에서 peak 값을 갖게 한 경우로서, 수평방향에 대한 빔 패턴이 double-lobed 형태를 취하고 있음을 보여주고 있다. 그림 14에 보인 바와 같은 특수한 형태의 빔 패턴을 갖는 LED 램프는 설치장소가 지면으로부터 상대적으로 높으며 동시에 매우 넓은 시야각이 요구되는 전광판 등에서 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

LED 램프의 기본 설계이론을 제시하였다. 제안된 reflecting cup과 렌즈가 갖는 특징은 몇몇의 설계변수들에 의해 비교적 넓은 범위에 걸쳐서 그 모양이 다양하게 변화될 수 있다는 점이다. 설계된 LED 램프를 Monte Carlo 기법을 이용하여 해석한 결과 다양한 형태의 빔 패턴을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 개발된 설계이론은 다양한 형태의 빔 패턴 특성을 필요로 하는 새로운 응용분야들에서 요구되는 LED 램프를 개발하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 에너지 관리공단의 에너지 절약기술 개발 중대형 사업과 BK21 충남대학교 정보통신 인력사업단의 지원을 받아 이루어졌음을 밝힌다.

참고문헌

- [1] S. Lee, "Efficiency enhancement in light-emitting diodes based on geometrically deformed chips," *Proc. of SPIE*, vol. 3621, pp. 237-248, San Jose, California, Jan. 1999.
- [2] F. Kishi, F. Steranka, D. DeFevere, D. Vanderwater, K. Park, C. Kuo, T. Osentowski, M. Peansky, and J. Yu, R. Fletecher, D. Steigerwald, M. Crawford, V. Robins, "Very high-efficiency semiconductor wafer-bonded transparent-substrate ($Al_xGa_{1-x}0.5In_{0.5}P/GaP$ light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 64, pp. 2839-2841, May. 1994.
- [3] M. Krames, M. Ochiai-Holcomb, G. Hofler, C. Carter-Coman, E. Chen, I. Tan, P. Grillot, N. Gardner, H. Chui, J. Huang, S. Stockman, F. Kishi, M. Crawford, T. Tan, C. Kocot, M. Hueschen, J. Posselt, B. Loh, G. Sasser, and D. Collins,

- “High-power truncated-inverted-pyramid $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P/GaP$ light-emitting diodes exhibiting >50% external quantum efficiency,” *Appl. Phy. Lett.*, vol. 75, pp. 2365-2367, Oct. 1999.
- [4] S. Lee, “Analysis of light-emitting diodes by Monte Carlo

photon simulation,” *Appl. Opt.*, vol. 40, pp. 1427-1437, Mar. 2001.

- [5] S. Lee, “LED lamp design by Monte Carlo photon simulation,” *Proc. of SPIE*, vol. 4278, pp. 99-108, San Jose, California, Jan. 2001.

Fundamentals of light-emitting diode lamp design

Sun Won Kim, Byung Ki Song, and Song Jae Lee[†]

Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, KOREA

[†]E-mail: sjlee@cnu.ac.kr

(Received February 28, 2002, Revised manuscript received July 18, 2002)

The fundamentals of light-emitting diode lamp design are presented. The shapes of the reflecting cup and lens employed in LED lamps can be flexibly adjusted, over a relatively large range, by using a few parameters. The analysis of the designed lamps by Monte Carlo photon simulation shows that diverse far-field beam patterns required in various application areas can be achieved.

Classification code : OE.050.