

## 빛세기공간분포특성에 기초한 LED조명광원의 빛흐름평가방법

서성호, 서광혁

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 빨리 발전시키고 전민과학기술인재화를 실현하여 지식경제시대의 요구에 맞게 인민경제의 현대화, CNC화수준을 높이고 나라의 경제구조를 완비하여야 합니다.》

LED(light emitting diode)조명광원은 발광효율과 수명, 환경에 주는 영향 등 여러 측면에서 좋은 특성을 가지고있는것으로 하여 매우 빠른 속도로 백열등이나 형광등과 같은 전통적인 조명광원을 대신하고있다.[1-3]

조명광원의 기본특성량인 빛흐름은 일반적으로 적분구를 리용하여 측정한다.[4]

본문에서는 광원의 3차원빛세기공간분포특성에 기초하여 각이한 출력과 형태를 가진 LED조명광원의 빛흐름을 평가하는 한가지 방법을 론의하였다.

### 1) 광원의 빛흐름과 측정방법

빛흐름(luminous flux)은 사람의 눈의 시감도특성에 기초하여 정의되는 단위시간당 복사에너지의 크기를 가리킨다. 즉 복사체가 방출하는 복사량은 시감도특성곡선  $V(\lambda)$ 에 따라 사람의 눈에 접수되며 복사체의 빛스펙트르복사량이  $\phi_\lambda$ 일 때 그 빛흐름량  $\phi$ 의 표현식은 다음과 같다.

$$\phi = K_m \int_{380}^{780} \phi_\lambda V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

식 (1)에서  $K_m$ 은 최대빛스펙트르시감능률( $683\text{lm/W}(\lambda=550\text{nm})$ ),  $V(\lambda)$ 는 명시각의 빛스펙트르시감도,  $\phi_\lambda$ 는 빛스펙트르복사량(주어진 파장  $\lambda$ 의 무한소범위에서 단위시간동안에 방출하는 복사에너지의 평균값인데 단위는  $\text{W/nm}$ 이고 복사출력이라고 부른다.),  $\phi$ 는 빛흐름이다. 빛흐름의 단위는 루멘(lm)이다.

광원의 빛흐름을 측정하는데는 보통 구형적분광도계(적분구)를 리용한다.(그림 1) 구형적분광도계는 내부를 란반사백색도료로 칠한 속이 빈 구형용기이다. 작은 구멍 1개를 내고 빛검출기로 구멍에서 나오는 빛흐름을 측정하여 광원의 전체 빛흐름을 얻으면 된다. 용기는 일반적으로 두 조각으로 만들고 광원을

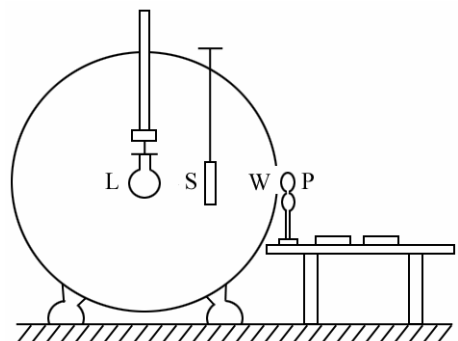


그림 1. 구형적분광도계  
L은 광원, S는 차광판, W는 측광창,  
P는 빛전지

용기내에 설치하기 위하여 열수 있다. 구의 직경은 1~5m에 이룰수 있다.

빛흐름을 측정하는 다른 한가지 방법은 분포광도계를 써서 공간의 모든 방향에서의 광원의 빛세기분포를 측정하고 그에 기초하여 빛흐름을 평가하는것이다.

## 2) 빛세기공간분포측정자료를 리용한 광원의 빛흐름계산기초

조명광원의 빛세기란 단위립체각내로 흘러나가는 빛흐름으로 정의되는 량으로서 방향에 따라 빛흐름이 다르며 빛세기공간분포특성은 주어진 광원의 방향에 따르는 빛흐름특성을 반영한다.

그림 2에 광원의 빛세기를 결정하기 위한 구자리표계를 주었다.

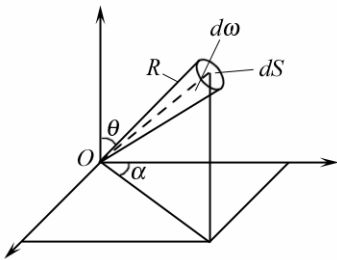


그림 2. 광원의 빛세기를 결정하기 위한 구자리표계

그림 2에서 보는바와 같이 광원(점 O)을 중심으로 하는 반경이 R인 구의 구면우에서 방향이  $\alpha$ ,  $\theta$  인 요소면적을  $dS$  라고 하고 이 요소면적에 해당하는 립체각을  $d\omega$  라고 하자.

이때  $dS$  를 통하여 흘러나가는 빛흐름을  $d\phi$  라고 하면 다음의 관계가 성립한다.

$$d\phi = Id\omega = \frac{I}{R^2} dS = EdS \quad (2)$$

식 (2)에서  $I$  는 주어진 방향에서 광원의 빛세기이고  $E$  는 주어진 방향에서 요소면적  $dS$  에서의 비침도이다. 빛세기의 단위는 칸델라(cd)이다.

광원의 임의의 방향에서의 빛세기와 그 방향립체각의 적은 곧 그 립체각내의 빛흐름이므로 매 방향에서의 빛세기값을 측정하여 매 립체각내의 빛흐름을 얻어서 합한것이 곧 광원의 총빛흐름량으로 된다.

한편 임의의 방향에서의 비침도와 그 방향에서의 요소면적과의 적 또한 요소면적을 지나가는 모든 방향에서의 빛흐름을 얻어 이것들을 전부 합한것이 광원의 총빛흐름량으로 평가할수 있다. 식 (2)로부터 빛세기와 비침도사이 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$I = ER^2 \quad (3)$$

$(\alpha_i, \theta_j)$  방향에서 절대빛세기를  $I(\alpha_i, \theta_j)$  로 표시하면 식 (2)로부터 주어진 방향에서 요소빛흐름은 다음과 같이 표시된다.

$$d\phi(\alpha_i, \theta_j) = I(\alpha_i, \theta_j) d\omega \quad (4)$$

$d\omega = \cos\theta_j d\alpha d\theta$  임을 고려하면 식 (4)는 다음과 같이 표시된다.

$$d\phi(\alpha_i, \theta_j) = I(\alpha_i, \theta_j) \cos\theta_j d\alpha d\theta \quad (5)$$

만일 실제측정에서 상대빛세기공간분포  $I_r(\alpha_i, \theta_j)$  가 얻어진다면 식 (5)에서  $I(\alpha_i, \theta_j)$  는 다음과 같이 표시된다.

$$I(\alpha_i, \theta_j) = I_0 I_r(\alpha_i, \theta_j) \quad (6)$$

식 (6)에서  $I_0$  은 모든 방향에 따라 측정된 빛세기가운데서 가장 큰 값이며 빛세기가 가장 큰 방향에서의 비침도를  $E_0$  이라고 하면 식 (3)으로부터 식 (6)은 다음과 같이 표시된다.

$$I(\alpha_i, \theta_j) = E_0 R^2 I_r(\alpha_i, \theta_j) \quad (7)$$

식 (7)로부터 식 (5)는

$$d\phi(\alpha_i, \theta_j) = E_0 R^2 I_r(\alpha_i, \theta_j) \cos \theta_j d\alpha d\theta \quad (8)$$

로 표시된다.

식 (8)로부터 얻어지는 모든 방향에서의 요소빛흐름을 합하면

$$\phi = \sum_{i,j} d\phi(\alpha_i, \theta_j) = \sum_{i,j} E_0 R^2 I_r(\alpha_i, \theta_j) \cos \theta_j d\alpha d\theta. \quad (9)$$

식 (9)를 리용하여 광원의 상대빛세기공간분포를 얻고 상대빛세기가 1인 방향의 일정한 측정거리에서 표준비침도계를 리용하여 주어진 방향에 대한 수직비침도값을 측정하여 얻으면 주어진 광원의 빛흐름을 평가할수 있다.

### 3) LED광원의 빛세기공간분포측정과 빛흐름평가

광원의 배광곡선이나 빛세기공간분포를 얻는 방법을 그림 3에 주었다.

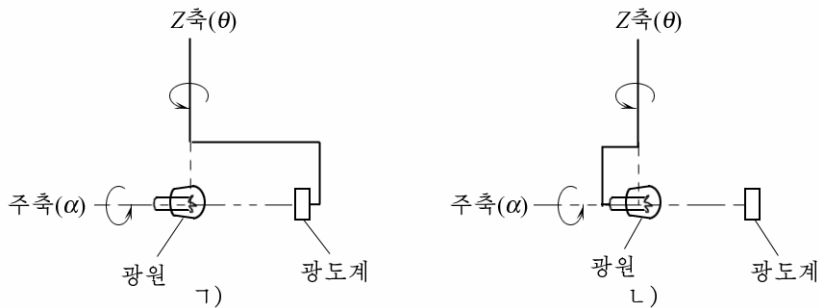


그림 3. 광도계를 리용한 광원의 빛세기공간분포측정원리

ㄱ) 광도계회전방식, ㄴ) 광원회전방식

그림 3에서 보는바와 같이 광원의 빛세기공간분포는 광원이 주축주위로 회전하고 광도계를 주축면상에서  $z$ 축을 따라 회전시키는 광도계회전방식(ㄱ))과 광도계는 그 어떤 회전을 하지 않고 고정되어있고 광원이 주축회전,  $z$ 축회전하는 광원회전방식(ㄴ))으로 얻을수 있다.

LED의 경우 광원의 크기가 작은것으로 하여 광원회전방식을 리용하는것이 편리하며 장치의 크기를 최소화할수 있다.

이 방법에서는 주축의 회전각도를  $\alpha$ ,  $z$ 축의 회전각도를  $\theta$ 라고 할 때 먼저 광원의 초기상태( $\alpha=0$ )에서 광원을 일정한 각도간격( $0^\circ$ ,  $\theta_1, \theta_2, \dots$ )으로  $z$ 축회전시키면서 빛세기를 측정하여 배광곡선(2차원빛세기공간분포)을 얻고 주축의 회전각도를 변화시키면서  $\alpha$ 에 따르는 여러개의 배광곡선을 얻어 이것들을 결합하여 광원의 3차원빛세기공간분포를 얻는다.

측정되는 광원의 배광곡선과 3차원분포특성의 정확도는 광도계로 리용하는 광전변환소자의 특성과 광원의 안정성에 관계되며 그밖에 광원회전장치의 측정위치설정과 측정간격에 관계된다.

본문에서는 광원을 회전시키는 방식의 빛세기공간분포측정장치를 제작하고 컴퓨터에 의하여 조종처리되는 체계를 구성하였다.

광원의  $\alpha$  각회전과  $\theta$  각회전은 조종회로와 그에 내장된 조종프로그램, 컴퓨터대면부를 통하여 자동조종되는 2개의 걸음전동기에 의하여 실현된다.

컴퓨터를 제외한 측정장치의 크기는  $L$  400mm $\times$  $W$  240mm $\times$  $H$  160mm 정도이다.

논문에서는 여러개의 포탄형64mW백색LED에 대한 3차원빛세기공간분포를 측정하고 빛흐름을 평가하였다.

그림 4에 포탄형LED광원의  $\theta$  각분포특성과 3차원공간에서 빛세기분포특성을 주었다.

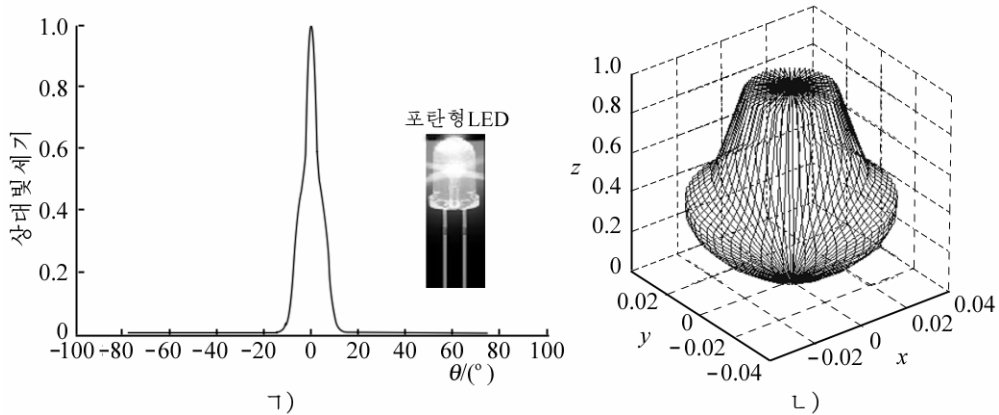


그림 4. 측정광원의 빛세기각분포특성과 3차원빛세기공간분포특성

실험에서는  $\alpha$  를 0부터  $6^\circ$  간격으로  $360^\circ$  까지,  $\theta$  를 0부터  $3^\circ$  간격으로  $90^\circ$  까지 설정하고 측정을 진행하였으며 이때 광원과 광도계사이의 거리는 200mm로 하였다.

측정된 빛세기공간분포특성에서 최대빛세기방향을 찾고 그 방향에서 400mm 떨어진 거리에서 수직입사면에서의 최대방향비침도를 측정하였다.

이상의 방법으로 3개의 포탄형LED에 대한 빛세기공간분포측정자료  $I_r(\alpha_i, \theta_j)$ 와 최대방향비침도를 측정하고 식 (9)에 따라 Matlab프로그램을 리용하여 3개의 LED에 대한 빛흐름계산과 오차평가를 하였다. 위에서 서술한 측정방법으로부터 식 (9)에서  $\Delta\alpha = 6^\circ$ ,  $\Delta\theta = 3^\circ$  이고  $R=0.4m$ 이다.

3개의 포탄형LED의 빛흐름계산결과는 표와 같다.

표. 측정LED광원들의 빛흐름계산결과

LED광원번호	1	2	3	4
구동조건(20mA일 때)/V	3.19	3.19	3.08	3.68
최대방향비침도/lx	375	395	370	265
빛흐름계산값/mlm	3 746.3	3 946.1	3 696.4	2 647.4
빛흐름측정값/mlm	3 964.7	4 073.6	3 728.8	2 869.4
오차 mlm	218.4	127.5	32.4	222
%	5.5	3.1	0.8	7.7

표에서 빛흐름측정값은 광명레드공장에 의뢰하여 적분구를 리용하여 얻은 주어진 광원의 빛흐름값이다. 이 값을 표준값으로 하고 계산값과 비교하여 오차를 평가하였다.

논문에서 구성한 LED광원의 빛세기공간분포측정장치와 그를 리용한 LED광원의 빛흐름평가방법에 의한 측정오차는 10%이하이다. 이 방법에서 측정오차에 주는 중요한 인자는 광원의 설치정확성과 표준비침도계에 의한 최대방향비침도의 측정정확성에 관계된다.

## 맺 는 말

본문에서는 광원을 회전시키면서 컴퓨터지원광도계로 측정한 3차원빛세기분포자료에 기초하여 LED광원의 빛흐름을 평가하는 한가지 방도를 제시하였다.

측정자료는 표준적분구에 의한 측정자료와 10%이하의 오차한계내에서 일치한다. 이 오차는 광원설치정확도에 관계된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Hu Shuhong et al.; Applied Optics, 51, 5563, 2012.
- [2] Nguyen Doan Quoc Anh et al.; Applied Optics, 53, H140, 2014.
- [3] REN Hao et al.; Optical Instrument, 30, 6, 2008.
- [4] 俞丽华; 电气照明, 同济大学出版社, 308, 2001.

주체104(2015)년 8월 5일 원고접수

## **On Estimation of Luminous Flux of LEDs based on 3D Intensity Distribution**

*So Song Ho, So Kwang Hyok*

It is proposed a method for estimation of luminous flux of LEDs based on 3D intensity distribution measured by computer-aided photometer with rotating light source.

The measurement data is coincided with one measured with a standard integral sphere within error of less than 10%. This error is related with the accuracy of setup of light source.

Key words: 3D intensity distribution, LEDs