



황명근 연구원  
(재)한국조명기술연구소  
연구개발부  
lightmk@netsgo.com

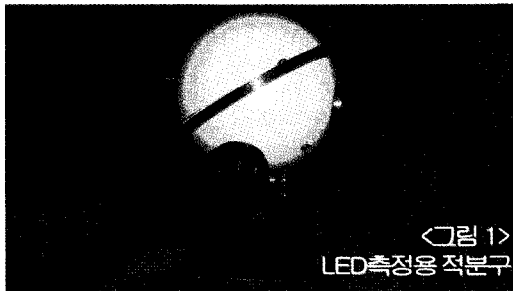
## 1. 광속구

구 광도계의 한부분으로 적분구는 구형(Sphere type)모양으로 되어져 있으며 광속구(Integrating Sphere Photometer)의 지름은 광원의 크기와 종류에 따라 다르며 꼬마전구용은 30cm, 자동차용 전구는 60cm, 일반조명용 백열전구 및 콤팩트 형광램프는 1.0~1.5m, HID방전램프 및 형광램프용은 2m 이상으로하여 측정을 한다. 구 내부에는 Non-selective인 Diffusing white paint(BaSo4)로 코팅되어있으며 구 내부표면의 좁은 영역에서 조도 측정이 광도계로 이루어지도록 열고 닫을 수 있도록 되어 있다.

구 내부에 설치된 차폐막(screen)은 광원으로부터 관측 지역이 직접적인 복사를 받지 않도록 하기 위함이다. 그리고 Photometer head는 분광 평가(Spectral evaluation (color filters))나 빛의 분광분산(dispersion)(즉, 격자 gratings)을 위하여 빛에 민감한 검출기와 장치로 구성된다.

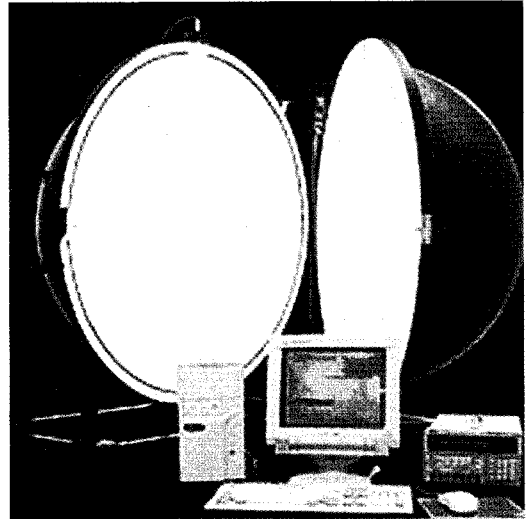
또한 빛의 직접적인 평가(Directional evaluation(Diffusing windows, Lenses, Apertures))를 위한 장치들을 포함하고 있으며, 빛에 민감한 검출기는 입사광을 전기적인 양으로 변환시키는 장치이다.

<그림 1>은 LED(Light Emitting Diode)의 광특성을 측정하는 적분구이며, <그림 2>는 백열구, 형광램프, HID(High Intensity Discharge)램프류의 광특성을 측정하는 적분구 시스템이다.



<그림 1>  
LED측정용 적분구

<그림 2> 적분구 시스템 (광특성 측정)



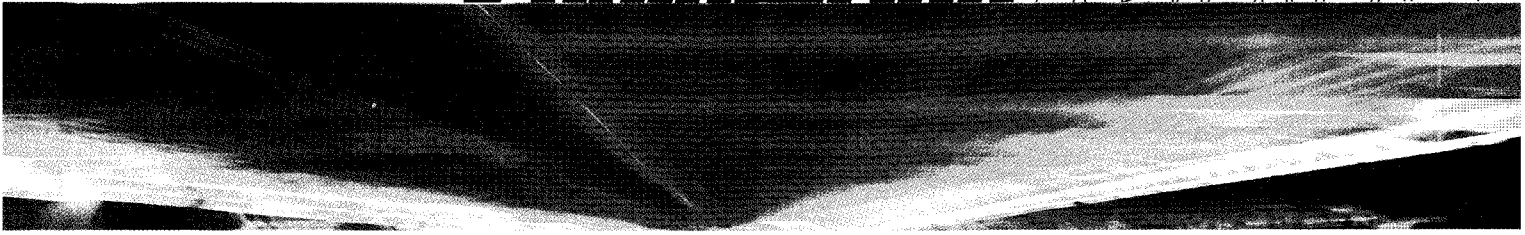
## 2. 측정방법

광원의 광속은 다음과 같은 방법(Method of Measurement)들로 측정할 수 있다.

- ① 광도분포(LID)로부터 계산
- ② 조도분포(Illuminance distribution)로부터 계산
- ③ Photometric이나 분광측정에 의한 적분구 Photometer를 사용한 측정
- ④ Box photometer를 사용한 측정
- ⑤ 조도(Illuminance), 광도(Luminous intensity) 또는 휘도(Luminance)를 이용한 상대적인 측정 조도 분포로부터 광속의 측정은 광속측정의 기본 방법이다. 최근들어 광속 표준램프의 교정을 위하여 대부분의 각 국가의 연구소 및 시험기관등에서 사용되고 있다. 광속측정에 따른 색채(Color)와 분광분포(Spectral power distribution)의 정확한 분석은 이 방법에 따라서 만들어질 수 있다.

구 광도계를 사용한 광속 측정은 다음과 같다

- ① 제조업체에서의 품질향상을 위한 측정



② 표준램프(standard lamps)와 비교하여 램프(working standards)의 교정, 기하학적 모양으로 인한 오류의 추가 보정, 비교되는 램프의 분광분포와 빛 분포의 차이

③ 시간에 따라 변하는 광속을 갖는 광원(기변램프, 섬광램프 등)의 측정

④ 시간의 함수로서 광속의 측정

램프의 광속과 등기구의 광속으로 부터 계산된 등기구의 광출력 비율의 측정은 램프와 등기구의 광도 분포가 상당히 다르다면 적분구에서는 권고될 수 없으며, 광도계로 광속의 측정은 기준광원과 측정되는 광원이 동일한 공간 광도분포, 분광분포, 크기를 갖는다면 광원의 광속과 구 내부 표면의 임의의 점에서 간접조도사이 에 직접적인 관계만을 나타낸다.

적분구 광도계를 사용한 분광 복사속의 측정은 분광분포(spectral power distribution) 방향에 따라 변하는 광원(예를 들어 metal halide lamps)에 대하여 사용된다. 이 방법에 의한 다음 계산을 위하여 아래의 값들이 주어진다.

- ① 분광분포(Spectral power distribution)
- ② 광속(Luminous flux)
- ③ 방사속(Radiant flux)
- ④ 색채(Color)
- ⑤ 연색 평가지수(CRI, color rendering index)

조도, 광도, 휘도 측정을 통하여 광원의 광속을 결정하는 것이 특별한 변수(예를 들어 노화, 온도, 위치 등)에 대한 영향을 결정하는데 실제로 실행된다. 보통 이것은 상대적인 측정의 형태로 주어진다. 이 방법은 또한 조명 설치에서 형광램프의 광속 측정을 위해 사용될 수 있다.

광속 측정에 사용되는 방법은 이용 가능한 설비나 장치에 의존하며, 설비나 장치에 사용된 방법은 아래의 상황에 의해서 그 영향을 받는다.

- ① The task of the photometer laboratory
- ② Economy
- ③ Time consumption
- ④ Acceptable measuring uncertainty.

### 3. 광속구를 사용한 측정

#### 3-1 측정 원리

광원의 광속은 광속 표준램프와의 비교에 의하여 구 광도계에서 측정될 수 있으며, 측정을 위하여 광원과 표준램프는 적분구의 동일한 장소에 적절히 설치하고 구 표면에서의 조도는 광속의 측정으로 받아들여진다.

구 광도계의 구성요소는 적분구, 자료취득(DAS)을 위해 기록장치(조도계)를 갖춘 photometer head와 그 측정장치의 전원공급장치로 구성된다.

#### 3-2 구 이론

Ulbricht 이론에 따라서 광원의 광속은 적분구 내부표면에서 간접조도  $E_{ind}$ 와 관련된 식은 (1)과 같다.

$$\phi = E_{ind} \cdot \frac{1-\rho}{\rho} \cdot A \text{ ----- (1)}$$

- $E_{ind}$  : 구 내부표면에서의 간접조도
- $\rho$  : 구 내부표면의 반사율
- $A$  : 구 내부의 표면적

Sphere factor  $k$ 는 식(2)와 같다.

$$k = \frac{1-\rho}{\rho} \cdot A \text{ ----- (2)}$$

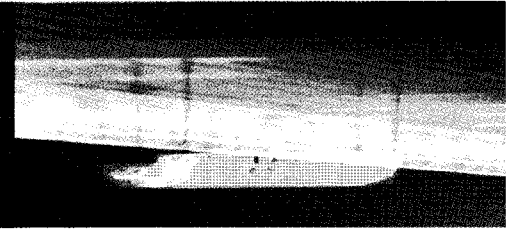
식(2)에서 실제로  $k$ 는 방정식(9)에 의하면 이론적 값과는 다르다. 왜냐하면 대부분 구는 측정하는 동안 비어 있지 않기 때문이다. 그러므로  $k$ 는 (9)식으로 계산할 수 없지만 기준광원(광속 표준램프)으로 결정되어야만 한다. <그림 3>과 <그림 4>는 각각 반사각의 형상에 따른 광의 반사와 재질에 따른 광의 반사를 나타낸 그림이다.

$$k = \frac{\phi_N}{E_{ind, N}} \text{ ----- (3)}$$

- $\phi_N$  : 표준램프의 광속
- $E_{ind, N}$  : 광속  $\phi_N$  의 간접조도

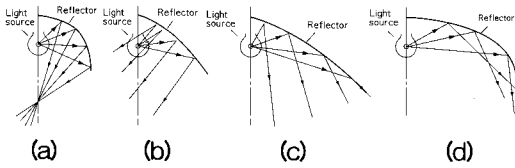
# 照明光源의 測定理論 및 方法 (上)

(Measurement theory and method of light sources for illumination)

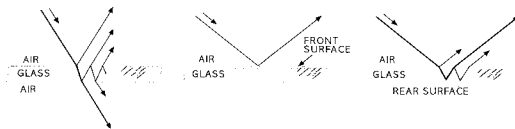


따라서 방정식 (8)~(10)에 의한 광원의 광속은 다음과 같다.

$$\Phi = \Phi_N \cdot \frac{E_{ind}}{E_{ind,N}} \quad (4)$$



〈그림 3〉형상에 따른 광의 반사



〈그림 4〉재질에 따른 광의 반사

### 3-3 분광법

광원 특성에 대한 중요한 자료는 몇 가지의 양으로부터 계산될 수 있는 분광 방사속(Spectral radiant flux)  $\Phi_{e\lambda}$  함수라는 것이다.

- ① 광속(Luminous flux)
- ② 방사속(Radiant flux)
- ③ 광 생물학적 영향에 대하여 유효한 방사속
- ④ 색채(Color), [3자극치(Tristimulus values), CCT]
- ⑤ 연색성(Colour rendering properties) [특수연색 평가수(specific (Ri)), 평균연색 평가수[General (Ra) CRI]

광원의 분광 방사속은 적분구 광도계로 측정될 수 있다.  $V(\lambda)$ 의 값을 구하는 Photometer head는 적절한 검출기와 결합된 Monochromator로 측정된다. 그것에 의하여 Spectral irradiance  $E_{e\lambda,ind}$  는 간접 조도  $E_{ind}$  대신에 파장의 함수로써 측정될 수 있다.

분광측정으로 구 벽면의 분광학적 반사율과 Radiometer head의 상대적 분광 Responsivity는 결과에 영향을 주지 않는다. 표준램프와 측정된 광원의 flux 분포의 차이에 대한 영향은 적분구 광도계를 사용한 광속측정에 관한 한 동일하며, 분광 방사속을 가진 표준램프가 사용되어야만 한다.

측정된 광원의 분광 복사속  $\Phi_{e\lambda, X}$ 는 다음의 식으로 얻어질 수 있다.

$$\Phi_{e\lambda, X} = \Phi_N \cdot \frac{Y_{\lambda, X}}{Y_{\lambda, N}} = \frac{1}{S(\lambda)} \cdot Y_{\lambda, X} \quad (5)$$

$s(\lambda) = Y_{\lambda, N} / \Phi_{e\lambda, N}$ : 구 복사계(Sphere radiometer)의 spectral responsivity

$Y_{\lambda, X}$ : 파장에서 광원 X에 대한 출력신호 (output signal)

$Y_{\lambda, N}$ : 파장에서 표준램프에 대한 출력신호 (output signal)

$\Phi_{e\lambda, N}$ : 표준램프의 분광복사속

측정되는 광원의 광속  $\Phi_X$ 는 이미 알려진 광속  $\Phi_N$ 와 표준램프의 분광분포(Spectral power distribution)  $S_{\lambda, N}$ 으로 계산할 수 있다.

$$\Phi_X = \Phi_N \cdot \frac{\int_0^\infty S_{\lambda, N} \cdot (Y_{\lambda, X} / Y_{\lambda, N}) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty S_{\lambda, N} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} = K_m \cdot \int_0^\infty \frac{Y_{\lambda, X}}{S(\lambda)} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (6)$$

$K_m = 683 \text{ lm/W}$  최대 발광효율(luminous efficiency)

non-luminous인 다른 양들에 대해서 방정식 (6)에서 상대분광응답도(relevant relative spectral responsivity)가  $V(\lambda)$ 대신에 사용되어야 하고, 분광학적 관점에 비교하여 보면 적분구 광도계의 모든 구면이 고려되어야 한다.

### 3-4 적분구

#### 3-4-1 구 지름

적분구는 광원과 구 벽과의 충분한 거리를 두고 측

정할 수 있는 가장 큰 광원에 대하여 적절한 지름을 갖고 있어야만 한다. 이렇게 하여 가능한 한 적은 광원에 의하여 다중 반사로 산란시킨다.

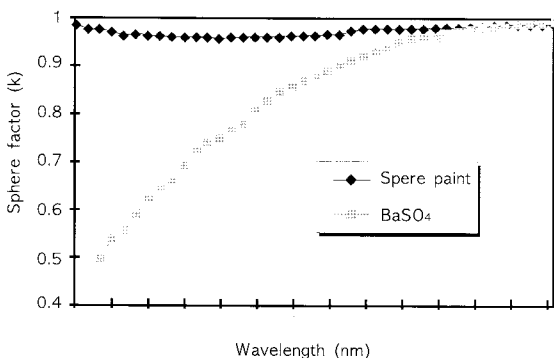
컴팩트(Compact) 램프에 대하여 가장 큰 구 지름은 적어도 10배 이어야 하고 직관(Tubular) 램프에 대해서는 광원 크기의 2배 이상이 되도록 CIE등 국제규격에서는 권고하고 있다. 그러므로 1.0m 길이의 직관 형광등을 측정하려고 하면, 구의 지름은 2m가 되어야 한다.

적분구는 stray light가 외부로부터 구로 들어갈 수 없도록 만들어져야 하며, Photometer head를 장착하기 위하여 구가 Opening이 제공되어야 한다. 또한, 광원과 거의 동일한 높이에 배치되어야 한다.

### 3-4-2 구 도료

구 내부의 도료(Sphere Paint)는 충분히 산란시키고 비선택적으로 반사해야 하며, Luminescence를 보여서는 안된다. Sphere factor k (방정식 (2)를 보면)는 분광반사율(spectral reflectance)  $\rho(\lambda)$ 가 더 높은 반사율에 대해서는 상대적으로 작은 변화에 의하여 강하게 영향받기 때문에, 약 0.8의 반사율을 갖는 도료를 선택하도록 권고하고 있다.

<그림 5>는 BaSO<sub>4</sub>(Barium sulphate coating)과 비교된 반사율이 0.8을 가진 구 도료의 예를 나타내었으며, 노화와 오염을 최소한으로 유지하기 위하여 주변환경 변화와 청결유지에 측정자는 주의하여야 한다.



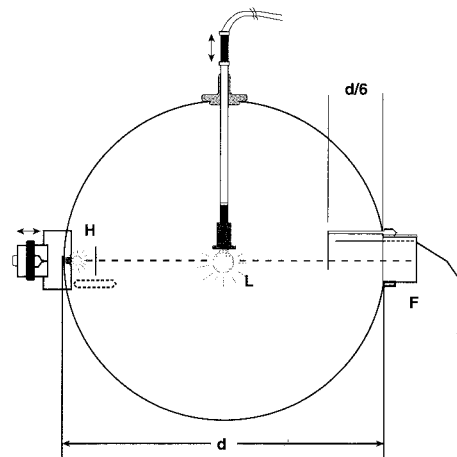
<그림 5> The function  $[\rho(\lambda)/(1-\rho(\lambda))]$  rel of an improved sphere paint with  $\rho \approx 0.8$  in comparison to a BaSO<sub>4</sub> - paint with  $\rho \approx 0.95$ .

### 3-4-3 광원과 차폐막의 배열

차폐막은 적분구내에 광원으로부터 나온 빛이 Photometer head에 부착된 구의 문(Sphere opening)으로부터 직접 도달하지 않도록 설치되어야 하며, 광원을 고정 시키는데는 두 가지 방법이 있다.

① 보통 광원은 구 중심에 놓이며, 차폐막에 도달하는 직접광이 최소가 되도록 지향한다. 예를 들어 직관 형광램프같은 길이가 긴 광원은 그 축이 Photometer head 축과 일치하여 구 중심에 위치해야 하며, 차폐막은 보통 Photometer head <그림 6>으로부터 구 지름의 약 1/6 거리에 놓인다. (광원이 구 지름에 비하여 작다면) 그리고 가능한 한 광원에 의하여 Photometer head의 Acceptance area의 직접적인 조도를 막기 위하여 충분히 크게 하여야 한다.

② 방향성이 강한 광원 즉, LED나 Reflector lamp 등의 광원은 Photometer head 가까이 Light emitting area가 있는 구벽에 고정될 수 있으며, 작은 차폐막은 광원에 의한 Photometer head의 Direct illumination을 막는다. 또한 차폐막은 비선택적이고, 산란 특성의 반사율이 가능한 한 높아야 하며, 광원 Holder는 가능한 한 작고 반사율이 높아야 한다.

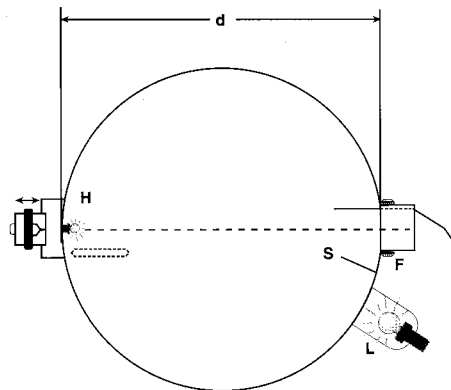


L : 광원 · d : 구지름 · H : 차폐막이 있는 보조램프  
F : Photometer head를 위한 열림장치

<그림 6> 적분구에서 광속을 측정하기 위한 배열

# 照明光源의 測定理論 및 方法 (上)

(Measurement theory and method of light sources for illumination)



L : 광원 · d : 구지름  
 S : 스크린 · H : 차폐막이 있는 보조램프  
 F : Photometer head를 위한 열림장치

## <그림 7> 방향성을 갖는 광원의 광속 측정을 위한 적분구

### 3-4-4 구와 보조램프에서 물체의 영향

구에 있는 모든 물체는, 예를 들어 차폐막과 램프 홀더는 측정결과에 영향을 미치므로 그런 것들은 가능한 한 작아야 하며, 구에서 물체의 영향(Influences of Objects)들은 보조램프(Auxiliary Lamp)를 사용한 부가적인 측정에 의하여 결정되고 보정될 수 있다.

보조램프는 Photometer head를 위한 Opening 반대에 위치해야 하고 구 내부면에 널리 조명되어야 한다. 이런 목적을 위하여 작은 차폐막이 보조램프 앞쪽에 놓여 있어야 하는데, 이는 측정되는 광원의 직접 조명을 막아준다. Top reflectorized bulb가 있는 백열등에서 사용한다면 부가적인 차폐막은 필요하지 않으며 특히, 보조램프의 광속은 시간에 따라 일정해야만 된다.

### 3-5 조도계

구 광도계에서 광속을 측정하기 위하여 구 벽에서

광원의 광속에 비례하는 간접 조도를 측정해야 한다. 이 목적을 위하여 조도계(Illuminance Meter)가 필요하며, Photometer head의 Acceptance area는 알맞은 산란 물질("ground glass")로 만들어져야 하고 구 내부벽에 꼭 맞아야 한다. 차폐막을 작게 하기 위하여, acceptance area는 작은 크기를 가져야 하며, 자동 온도조절 장치로 제어되는 photometer head의 사용이 CIE 등 국제규격에 의해 권고된다.

Photometer head의 상대분광응답도(relative spectral responsivity)가  $V(\lambda)$  함수에 근접하게 조절되는 것이 중요하므로 측정 정밀도는 조도계의 질에 크게 의존하기 때문에 고품질의 조도계를 사용해야만 한다.

신호감쇄기가 있는(Built-in signal attenuator) 조도계를 선택하는 것이 유용한데, 광속 표준램프를 측정하는 동안 표시되는 값이 측정되는 램프의 광속에 직접적인 기록을 용이하게 하도록 그 flux 값에 조절되어야 한다.

분광법에 따라 구 광도계를 이용한 광속 측정을 위하여 조도계 대신 디지털방식으로 기록하는 분광측광기(Spectroradiometer)를 사용해야 한다.

Radiometer head의 Acceptance area 위치지정은 조도계의 Photometer head에 대하여 언급된 것과 같은 원리에 따라서 만들어져야 한다.

### 3-6 자료 취득

측정되는 광원의 광속은 built-in gain control로 구해진다면 표시장치로부터 직접 읽어 들일 수 있다. routine 측정을 위하여 프린터로 측정된 광속값을 출력하도록 권고된다. 이 목적을 위하여 photo-electronic apparatus는 digital data output을 가져야만 한다.

Routine 측정을 위하여 광속 이외에 램프전압, 램프전류, 손실전력을 동시에 기록하는 것이 발광효율

(luminous efficiency)의 계산과 출력을 위하여 유용하다. 만약 계산기가 사용된다면 램프에 관련된 값들(평균, 표준편차, failure to reach the minimum luminous flux)을 출력하고 저장할 수 있다.

### 3-7 광속 표준램프

적분구 광도계에서 광속 측정은 측정되는 광원과 사용된 광속 표준램프(Luminous Flux Standard Lamp)가 동일한 크기와 모양, 분광분포, 공간적 조명분포를 갖는다면 정확한 결과를 찾아낼 수 있다.

만약 측정되는 광원과 표준램프가 이 특성들중 하나라도 다르면 측정오류가 발생할 수도 있으며, 보통 분광분포의 차이에 대한 영향만이 제거될 수 있는데, photometer head를 포함하는 전체 측정 기구의 분광반응에 대한 충분한 정보가 있을 때 측정되는 분광분포(spectral power distribution)의 표준이 주어진다.

백열램프는 대부분 광속 표준으로서 사용될 뿐만 아니라 다른 형태의 램프들의 표준으로도 사용된다.

표준램프는 일반적으로 국내에서는 상업용 램프(Commercial lamps)를 뜻하지만, IEC규격에 의한 방전램프의 표준램프는 레퍼런스 안정기(Reference ballasts)를 포함하는 표준램프이며, 표준램프의 국제공인 시험기관으로는 PTB(독), NIST(미), NML(호), NPL(영)등이 있다.

표준램프로는 일반적으로 백열구만을 많이 생각하는데 여러종류의 표준램프가 국제적으로 제작 시판되고 있으며, 그 종류로는 직관 형광램프(Tubular fluorescent lamp), 고압수은램프(High pressure mercury lamp), 저압나트륨램프(Low pressure sodium lamp), 고압나트륨램프(High pressure sodium lamp), 메탈할라이드램프(Metalhalide lamp), 분광 분포램프(Spectral power distribution lamp), 백열구(Incandescent lamp)등이 있다. 레퍼런스 안정기(Reference ballast)의 IEC규격에서의 해당규격은 아래와 같이 분류된다.

- ① 직관 형광램프 (Tubular fluorescent lamp) : IEC std, 60081
- ② 고압 수은램프 (High pressure mercury lamp) : IEC std, 60188

- ③ 저압 나트륨램프 (Low pressure sodium lamp) : IEC std, 60192

- ④ 고압 나트륨램프 (High pressure sodium lamp) : IEC std, 60662

- ⑤ 메탈 할라이드 램프 (Metal halide lamp) : IEC std, 61167

표준램프는 광속(Luminous flux), 광도(Luminous intensity)값 이외에도 특수하게 사용되는 표준램프는 분광분포(Spectral power distribution, 380nm~780nm), 분광방사, 복사(Spectral radiance & irradiance), UV, 연색(Color rendering)값들이 필요로 하는데 표준램프는 표준의 교정(Calibration)을 위하여 적어도 각각의 램프에 대해서 최소 5개의 에이징 시험에서 가장 우수한 1개를 선택하는 것이 IESNA의 권장사항이다.

(다음호에 3-8 측정실행부터 이어집니다.)