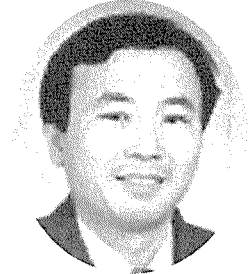


광속구 이론과 원리 및 측정방법

(Theory and Principle of Integrating Sphere Photometer)



(財)韓國照明技術研究所
先任研究員 黃明根

1. 광속구(Integrating Sphere Photometer)

구 광도계의 한부분으로 적분구는 구형(Sphere type)이다. 이것은 구형 광속계의 지름은 광원의 크기와 종류에 따라 다르며 꼬마전구용은 30cm, 자동차용 전구는 60cm, 일반조명용 백열전구는 1.0~1.5m, 형광 방전관용은 2m이상으로 한다. 내부는 Non-selective인 Diffusing white paint(BaSO₄)로 코팅되어 있다. 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 함이고 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 입사광

을 전기적인 양으로 변환시킨다.

2. 측정방법(Method of Measurement)

광원의 광속은 다음과 같은 방법들로 측정할 수 있다.

- ① 광도분포(Luminous intensity distribution)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

조도분포로부터 광속의 측정은 광속측정의 기본 방법이다. 최근들어 광속 표준 램프의 교정을 위하여 대부분의 각 국가의 연구소나 시험기관등에서 사용되고 있다. 광속측정에 따른 색채(Colour)와 분광분포(Spectral power distribution)의 정확

한 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 광원의 측정(즉, 가변램프, 섬광램프)
- ④ 시간의 함수로써 광속의 측정

램프의 광속과 등기구의 광속으로부터 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 구내부 표면의 임의의 점에서 간접조도 사이에 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(Color rendering index)

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

을 위해 사용될 수 있다.

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

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

3. 광속구를 사용한 측정 (Measurement with an Integrating Sphere)

3.1 측정 원리(Measuring Principle)

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(Sphere Theory)

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

$$\Phi = E_{ind} \cdot \frac{1-\rho}{\rho} \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

E_{ind} : 구 내부표면에서의 간접조도

ρ : 구 내부표면의 반사율

A : 구 내부의 표면적

Sphere factor k 는 식 (2)와 같다.

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

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.

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

ϕ_N : 표준램프의 광속

$E_{ind, N}$: 광속 ϕ_N 의 간접조도

따라서 방정식 (8)~(10)에 의한 광원의 광속은 다음과 같다.

$$\phi = \phi_N \cdot \frac{E_{ind}}{E_{ind, N}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\phi_{e\lambda, X} = \phi_{e\lambda, N} \cdot \frac{Y_{\lambda, X}}{Y_{\lambda, N}} = \frac{1}{s(\lambda)} \cdot Y_{\lambda, X} \dots\dots\dots (5)$$

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

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

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

$\phi_{e\lambda, N}$: 표준램프의 분광복사속

3.3 분광법(Spectral Method)

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(Colour)(3자극치(Tristimulus values), correlated color temperature)
- ⑤ 연색성(Colour rendering properties)(특수연색 평가수(specific (Ri)), 평균 연색 평가수(General (Ra) colour rendering index))

광원의 분광 방사속은 적분구 광도계로 측정될 수 있다. $V(\lambda)$ 의 값을 구하는 Photometer head는 적당한 검출기와 결합된 Monochromator로 측정된다. 그것에 의하여 Spectral irradiance $E_{e\lambda, ind}$ 는 -간접조도 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 식으로써 얻어질 수 있다.

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

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

$K_m=683 \text{ lm/W}$ 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 고려되어야만 한다.

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

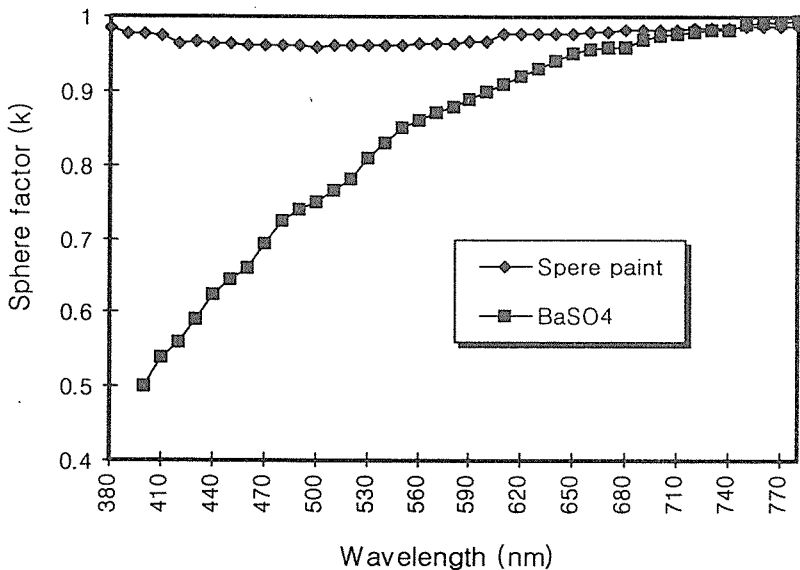
컴팩트(Compact) 램프에 대하여 가장 큰 구 지름은 적어도 10배이어야 하고 직관(Tubular) 램프에 대해서는 광원 크기의 2배 이상이 되도록 CIE등 국제규격에서는 권고하고 있다. 그러므로 1.0m 길이의 직관 형광등을 측정하려고 하면, 구의 지름은 2m가 되어야 한다.

3.4 적분구(Integrating Sphere)

3.4.1 구 지름(Sphere Diameter)

적분구는 광원과 구 벽과의 충분한 거리를 두고

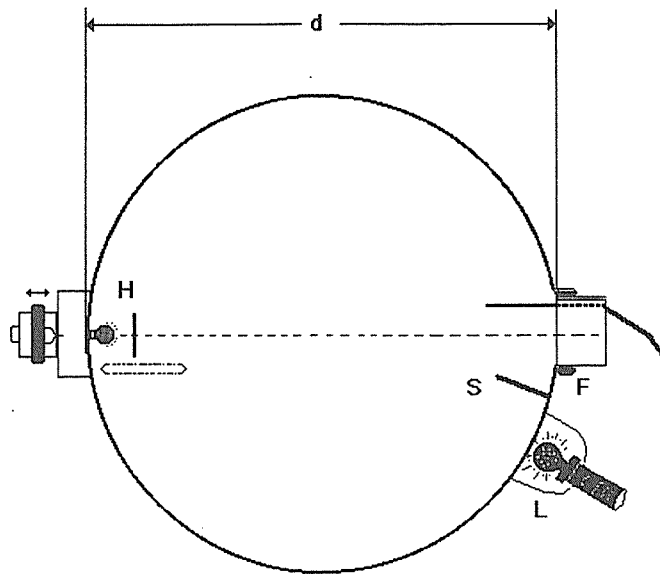
적분구는 stray light가 외부로부터 구로 들어



(그림 1) The function $(p(\lambda)/(1-p(\lambda)))_{rel}$ of an improved sphere paint with $p \approx 0.8$ in comparison to a $BaSO_4$ -paint with $p \approx 0.95$

예를 들어 직관 형광램프 같은 길이가 긴 광원은 그 축이 Photometer head 축과 일치하여 구 중심에 위치해야 하며, 차폐막은 보통 Photometer head (그림 2)로부터 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 |
| S : 스크린(차폐막) | H : 차폐막이 있는 보조램프 |
| F : photometer head를 위한 열림장치 | |

(그림 3) 방향성이 강한 광도 분포를 가진 광원의 광속 측정을 위한 적분구

3.4.4 구와 보조램프에서 물체의 영향(Influences of Objects in the Sphere and Auxiliary Lamp)

구에 있는 모든 물체는, 예를 들어 차폐막과 램프 홀더는 측정결과에 영향을 미치므로 그런 것들

은 가능한 한 작아야 하며, 구에서 물체의 영향들은 보조램프를 사용한 부가적인 측정에 의하여 결정되고 보정될 수 있다.

보조램프는 Photometer head를 위한 Opening 반대편에 위치해야 하고 구 내부면에 널리 조명되

어야 한다. 이런 목적을 위하여 작은 흰 차폐막이 보조램프 앞쪽에 놓여 있어야 하는데, 이는 측정되는 광원의 직접조명을 막아준다. Top reflectorized bulb가 있는 백열등에서 사용한다면 부가적인 차폐막은 필요하지 않으며 특히, 보조램프의 광속은 시간에 따라 일정해야만 한다.

3.5 조도계(Illuminance Meter)

구 광도계에서 광속을 측정하기 위하여 구 벽에서 광원의 광속에 비례하는 간접조도를 측정해야만 한다. 이 목적을 위하여 조도계가 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 CIE등 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 분광측정기(Spectroradiometer)를 사용해야 한다. Radiometer head의 Acceptance area 위치지정은 조도계의 Photometer head에 대하여 언급

된 것과 같은 원리에 따라서 만들어져야 한다.

3.6 자료 취득 (Data Acquisition)

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

3.7 광속 표준램프(Luminous Flux Standard Lamp)

적분구 광도계에서 광속 측정은 측정되는 광원과 사용된 광속 표준램프가 동일한 크기와 모양, 분광분포, 공간적 조명분포를 갖는다면 정확한 결과를 찾아낼 수 있다.

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

백열램프는 대부분 광속 표준으로써 사용될 뿐

만 아니라 다른 형태의 램프들의 표준으로도 사용된다.

표준램프는 일반적으로 국내에서는 상업용 램프(Commercial lamps)를 뜻하지만, IEC규격에 의한 방전램프의 표준램프로는 레퍼런스 안정기(Reference ballasts)를 포함하는 표준램프이며, 표준램프의 국제공인 시험기관으로는 PTB, NIST, NML, NPL 등이 있다. 표준램프로는 일반적으로 백열구만을 많이 생각하는데 여러 종류의 표준램프가 국제적으로 제작 시판되고 있으며, 그 종류로는 직관 형광램프(Tubular fluorescent lamp), 고압 수은램프(High pressure mercury lamp), 저압 나트륨램프(Low pressure sodium lamp), 고압 나트륨램프(High pressure sodium lamp), 메탈 할라이드 램프(Metal halide lamp), 분광분포램프(Spectral power distribution lamp), 백열구(Incandescent lamp) 등이 있다. 레퍼런스 안정기(Reference ballast)의 IEC규격에서의 해당규격은 다음과 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 선택하는 것이 IESNA의 권장사항이다.

3.8 측정 실행(Execution of Measurements)

- ① 주위 온도는 규정된 값(보통 25℃)으로 조절된다. 표준램프는 적분구에 놓여지고 측정된 값은 Y_N 이다.
- ② 표준램프를 끈다. 보조램프는 커고 값을 Y_{EN} 로 준다.
- ③ 측정되는 광원은 표준램프 위치에 놓는다. 보조램프는 현재 Y_N 값을 기록한다.
- ④ 보조램프를 끈후, 측정되는 광원의 값을 Y 로 준다.
- ⑤ 각 측정에 대하여 광원의 안정화 주기가 고려되어야만 한다.
- ⑥ 측정되는 램프의 광속 ϕ 는 표준램프의 광속 ϕ_N 과 다음 식으로 측정된 값으로 계산할 수 있다.

$$\phi = \phi_N \cdot \frac{Y}{Y_N} \cdot \frac{Y_{HN}}{Y_H} \dots\dots\dots (7)$$

표준램프가 측정되는 광원과 같은 종류와 크기를 갖는다면 보조램프는 무시될 수 있다($Y_{EN}=Y_N$).

비교되는 광원의 분광분포가 동일한 형태라면 구 도로의 Selectivity나 $V(\lambda)$ 함수에 대한 Photometer head의 Spectral fit에서의 부정확성은 측정 정밀도에 영향을 주지 않을 것이다. 또한, 비교되는 광원이 주로 동일한 빛 분포를 갖는



다면 구 대신에 다른 cavity(상자 같은)를 사용하는 것이 가능하다.

예를들어, 전력손실이 큰 광원을 측정해야만 한다면 주위 온도를 약 24℃로 조절하고 구 광도계의 뚜껑을 열어 램프를 안정시키도록 권고한다. 일단 램프가 안정되면 구의 뚜껑을 닫고 구의 내부 온도가 온도계로 25℃에 도달할 때까지 기다렸다가 온도에서의 값을 적거나 기록한다.

3.9 시험과 보정(Testing and Correction)

$$k = \frac{\int_0^\infty S_\lambda(N) \cdot \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty S_\lambda(N) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \cdot \frac{\int_0^\infty S_\lambda \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty S_\lambda \cdot \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \dots\dots (9)$$

S_λ : 측정되는 광원의 분광 분포
 $\rho(\lambda)$: 구 도료의 분광 반사율

$S_\lambda(N)$: 광속 표준램프의 분광 분포
 $V(\lambda)$: 표준 비시감도(Spectral luminous efficiency)

3.9.2 백열램프 측정을 위한 보정(Corrections for Measuring Incandescent Lamps)

구 도료의 분광학적 반사율의 영향에 대한 보정은 백열등의 경우에 규정된 측정방향에서 광속뿐만 아니라 광도의 측정에 의하여 얻어질 수 있다. 매우 정확한 $V(\lambda)$ 를 가진 조도계가 측정에 사용되어야만 하고, 램프동작 전압의 함수로써 수행되어야 한다. 만약 factor $k(U)$ 가

$$k(U) = \Phi_{meas}(U)/I(U) \dots\dots\dots (10)$$

$\Phi_{meas}(U)$: 전압 U에서 측정된 광속값
 $I(U)$: 전압 U에서의 광도

동작전압 U와 독립적이라면 구 도료의 분광학적

3.9.1 적분구 도료의 영향에 대한 보정(Correction for the Influence of the Sphere Paint)

구 도료에 의하여 야기되는 오류는 보정을 k로 제거할 수 있다.

$$\Phi = \Phi_{meas} \cdot k \dots\dots\dots (8)$$

Φ_{meas} : illuminant type Z인 광원의 측정된 광속값
 k : illuminant type Z인 광원에 대한 보정율

반사율의 영향은 무시될 수 있으며, 램프의 동작전압에 의존한다면 백열등의 측정된 광속값 Φ_{meas} 은 다음 식에 따라서 보정될 수 있다.

$$\Phi = \Phi_{meas} \cdot k \dots\dots\dots (11)$$

Φ : 백열등의 광속
 Φ_{meas} : 전압 U에서 측정된 광속값
 k : 보정율

여기에서

$$K = \frac{\phi_{meas}(U_0)}{\phi_{meas}(U)} \cdot \frac{I(U)}{I(U_0)} \dots\dots (12)$$

U : 광속이 측정되어야 하는 백열등의 동작 전압

U_0 : 표준램프의 광속과 같은 분포온도에 대한 백열등의 동작 전압

측정될 백열등이 광속표준으로 사용되는 백열등과 같은 동일한 온도분포를 갖는 전압 U_0 는 이를테면 양쪽램프("blue to red ratio")의 비율온도 (ratio temperature) T_r 의 측정에 의하여 결정될 수 있다. 그리고, 보정은 대부분 할로젠 램프가 non-halogen 백열등과 비교하여 시험될 때 요구된다.

3.9.3 형광등 측정을 위한 보정(Correction for Measuring Fluorescent Lamps)

구 도료의 분광학적 반사율의 영향에 대한 보정은 형광등을 측정할 때 어떤 조건하에서 적용될 수 있다.

Illuminant type N인 광속 표준램프(fluorescent luminous flux standard lamp)가 형광등의 광속을 측정하는데 사용된다면 Illuminant type Z인 형광등에 대하여 측정된 값은 표준램프와 측정된 램프의 광도(조도) 측정('상대적 광속')으로 구해진 보정율(correction factor)로 교정될 수 있다.

이 보정방법은 단지 구 도료의 분광학적 반사율의 영향만을 고려하고 램프 크기나 모양의 차이에 대한 영향은 고려하지 않는다. 형광등의 광도가 램프 축에 수직인 평면에서는 일정하지 않기 때문에 이 방법은 정밀도가 제한된다.

3.9.4 시간 안정도에 대한 시험(Test for Stability with Time)

구 광도계의 시간에 따른 안정도는 다음에 의하여 영향받을 수 있다.

- ① 구 도료의 분광 반사율(Spectral reflectance)의 시간에 따른 변화
- ② 계속 사용하는 동안의 변화
- ③ UV-광선(노란빛)과 먼지나 오물에 의한 변화
- ④ 구 도료의 분광학적 반사율 $p(\lambda)$ 의 온도 의존성
- ⑤ Photometer head의 피로
- ⑥ Photometer head의 온도 의존성
- ⑦ 전기 공급과 측정장치의 시간 의존성

구 광도계의 시간에 따른 안정도는 하루 동안 그리고 그 이상의 운전동안 매우 일정한 광속을 가진 보조램프로 검사할 수 있다.

3.10 오류 원인(Error Sources)

구 광도계를 사용하여 광속을 측정할 결과는 다음의 경우에 영향을 받을 수 있다.

- ① 광속 표준(Luminous flux standard)과 측정된 광원의 분광분포(Spectral distribution)의 차이
- ② 광속표준과 측정된 광원의 공간적 광속분포의 차이
- ③ 광속표준과 측정된 광원의 치수(dimensions)와 흡수성의 차이
- ④ 구 내부벽의 반사율 차이(노화). 계속적인 측정동안 구 내부벽의 반사율은 온도(건조)의 영향 때문에 변한다.

사용하지 않을 때에는 광도측정계의 Warm을 유지시키기 위하여 구 내부에 램프를 켜두는 것이 권고되고 있으며, 반사율은 오염으로 변할 수 있으므로 먼지등에 의한 대책이 필요하다. 또한, 먼지

의 영향은 보통 위쪽반구 보다는 아래쪽 반구에서 크다.

3.11 구 광도계의 특성(Characterization of Sphere Photometers)

구 광도계의 특성을 나타내는데 필요한 데이터는 아래와 같다.

- ① 구 직경
- ② 차폐막과 보조램프의 위치 선정
- ③ 보조램프(type, nominal voltage etc.)에 대한 데이터
- ④ 구 도료의 분광함수($p(\lambda)/(1-p(\lambda))$)
- ⑤ 사용된 조도계의 데이터
- ⑥ 자료 취득과 표시장치에 대한 항목들
- ⑦ 측정 가능한 최소광속(분해능)에 대한 데이터
- ⑧ 기타

4. 일반적인 측정조건(General Measuring Condition)

4.1 동작조건(Operating Condition)

모든 램프는 달리 협의되지 않는 한 적절한 IEC, CIE, IESNA 권고와 국가 표준규격에서 상술한 조건에 따라서 작동되고 측정되어야만 한다. 특히 아주 적은 전압, 전류 또는 전력에서 측정되었다면 규정되어야만 한다. 이것은 불가피한 측정 불확실성 내에서 다른 위치에서 측정된 값을 결과와 비교할 수 있다는 것을 보증한다.

고정된 양들의 값은 가능한 한 측정 설비와 작동 설비에 의하여 적게 영향을 받아야만 하므로

불가피한 영향들은 측정 평가를 고려해야만 한다.

Calibration은 국제적으로 공인된 표준과 비교에 의하여 직접 또는 간접적으로 측정된 램프나 측정 장치를 사용하여 수행되어야만 할 것이다.

4.2 노화(Ageing)

램프의 작동 Parameter들은 램프의 수명을 Varying degrees로 바꾸는데, 이 변화들은 특히 램프의 초기에 뚜렷하므로 측정반복성의 충분한 정도를 얻기 위하여 램프를 노화시킬 필요가 있다.

노화의 지속기간은 적절한 IEC 권고와 국가 표준규격에서 다른 형태의 램프들에 대하여 명시되어 있다.

4.3 Burning Position

광원의 동작위치는 적절한 IEC 권고와 국가 표준규격, 또는 제조사의 설명서와 신청서에 따라야만 할 것이고, Burning position은 측정 보고서에서 언급되어야만 한다.

4.4 주위 온도(Ambient Temperature)

광원은 측정하는 동안 주위 공기의 대류가 영향을 미치지 않도록 통풍이 자유로운 방에서 실행되어야 한다. 광도 측정은 보통 주위 온도가 25°C인 곳에서 실행되어야 하고, 온도에 광속이 심하게 영향받는 광원에 대해서는 온도 허용오차는 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이고, 다른 광원에 대해서는 $\pm 3^\circ\text{C}$ 이어야 한다. 만약 다른 온도에서 측정한다면 그 온도를 명시해야 할 것이다.

온도는 적어도 0.1°C의 분해능을 가진 온도계로

측정되어야 하고, 온도 측정은 광원과 거의 같은 높이에서 측정한다.

온도 감지기와 광원의 측정되는 광도측정 중심 간의 거리는 광원의 최대수평거리의 반을 넘어야 한다. 구 광도계에 대하여 온도 감지기는 구 벽면으로부터 20cm부터 구지름의 1/3까지의 거리에 위치해야 한다. 또한, 온도감지기는 복사(irradiation)로부터 측정되는 방사원(radiation source)까지 차폐되어야 한다.

4.5 진동과 충격(Vibration and Shock)

스위치를 켜는 때 램프는 진동에 의하여 10m/s^2 (4-3000Hz)을 초과하도록 가속되지 않아야 하거나 위치 변화가 30mm(4Hz까지)를 초과해서는 안된다. 이런 조건하에서 램프가 충분히 안정되게 작동할 수 있다.

4.6 안정주기(Stabilization Period)

안정주기의 목적은 바로 측정에 중요한 모든 변수들의 안정상태를 얻는 것이다. 안정화되는 동안 동일한 동작조건이 다음 측정동안 적용되어야만 한다. 미약한 전류, 전압에서 변동을 피하기 위하여 특별한 주의가 주어져야 한다. 필수 안정주기는 광원의 형태와 동작조건에 의존하므로 계속적으로 기록을 검사해야만 한다.

광원은 상응하는 기록들이 더 이상 한 방향으로 나타나지 않는다면 안정된 것으로 간주될 수 있다.

Note : 어떤 광원은 약간의 시간동안 안정되게 있다가 새로운 안정상태에 도달할 때까지 다시 변하기 시작한다.

4.7 전기적 측정(Electrical Measurements)

4.7.1 측정 불확실성(Measurement Uncertainty)

측정이나 전기적 변수들의 조정에서의 오류에 의하여 광도측정의 결과들이 종종 다르게 나타난다. 전류와 전압(DC 또는 AC)에 대하여 백열등 측정에 대한 불확실성은 0.1%를 초과해서는 안된다. 그런데 방전등의 경우에 AC 전류와 전압에 대한 상응하는 불확실성은 0.2%이다.

Note : 백열등에 대하여 전압 1%의 오차는 광속에서 약 4%의 편차를 발생시키고, 전류에서의 동일한 오차는 광속에서 약 8%를 발생시킨다. 따라서 측정되는 변수들(전압, 전류, 전력)이 일정하게 유지되어야만 한다.

4.7.2 전력 종류와 작동 방법(Power Type and Operating Mode)

보통 AC 보다는 DC로 더 정확하게 측정할 수 있는데, 왜냐하면 AC에 대하여 전기적 측정 장치 뿐만 아니라 광원도 측정량(예를 들면 진동수, 파형, 위상 지연)에 많은 영향을 받기 쉽다. 때때로 전기적 측정장치의 광도측정량에 의존성이 높기 때문에 가능한 한 안정한 AVR 또는 UPS 등 전원공급장치를 사용해야 할 것이다.

4.7.3 배선(Wiring)

전기배선, 안정기, 전기 측정기구는 위치가 정해져야 하고 필요하다면 외부의 영향이 미치지 않도록 차단되어야 한다. 만약 어떤 광도측정이 램프전압이나 전력을 결정하도록 요구한다면 측정하는 램프홀더(소켓)의 사용이 권고되어야 한다.

Note : 측정하는 램프홀더는 보통 4개와 접속하는데, 전류공급장치(IL)에 2개, 램프소

켓에서 직접적으로 램프전압 측정을 위한 2개 등이다.

4.7.4 전기적 측정 실행(Execution of the Electrical measurements)

전류계, 전압계 또는 전력계를 사용하여 측정할 때, 전압계 또는 전력계의 전압경로(path)는 광원과 전류계(또는 전류경로) 사이에 연결되어야만 하는데 장치 자체의 측정전류(전력)가 고려되어야만 한다(see also instructions in the applicable IEC recommendations). 회로의 측정능력은 결과에 영향을 미칠 수도 있다. 특히, 예를 든다면 저압나트륨 램프(Low pressure sodium vapour lamp)에서 더높은 주파수가 발생한다면 그러할 것이다. 또한 접지오류는 대체로 측정결과에 영향을 미칠 수 있다.

4.7.5 측정 회로(Measuring Circuit)

방전램프의 경우에는 IEC 권고 또는 국가 표준 규격에 상응하여 측정되는 광원에 대한 회로를 수행한다.

4.8 안정기(Ballasts)

방전램프에 대한 측정은 램프가 전압대신에 전류나 전압에 대해서 제어되지 않는 한 Reference 안정기와 함께 만들어져야 할 것이다. 만약 다른 안정기(예를 들면 등기구에 대한 측정을 위하여)가 사용된다면 사용된 안정기는 측정기록지에 기

록되어야만 할 것이다.

4.9 공급 전압(Supply Voltage)

백열등에 대한 측정은 전기측정의 정밀도가 더 높은 이유로 가급적 DC 공급장치로 실행되고, 방전등에 대한 측정은 일반적으로 AC 공급장치로 실행되고 있다.

Ageing하는 동안 공급전압은 0.5% 이내로 안정되어야만 하고 실제 측정하는 동안에는 0.1% 이내, 그리고 백열등의 Calibration에 대해서는 표준이기 때문에 0.02% 이내여야 한다. 또한, 진동수는 안정기가 설계된 것으로부터 많아야 0.1%의 오차를 허용한다.

그리고 AC 공급전원의 총 고조파 Content는 3%를 초과해서는 안된다. 높은 비율의 리액턴스 전력을 가진 고압램프의 작동을 위한 전력공급은 필요한 리액턴스 전력(Reactive power)이 만족되도록 선택되어야 한다.

총 고조파 Content는 기본파(fundamental)를 100%로 하여 개별적 고조파 성분을 실효치(root-mean-square summation)로 정의된다.

Note : 이것은 공급원이 안정기 임피던스와 비교하여 충분히 낮은 임피던스를 가지고 있다는 것을 나타낸다. 그리고 이것이 모든 측정조건하에서 조심스럽게 적용되어야만 한다.

조명광학단위(Guide to Optical Units)

1. 측광 측정량과 단위(Photometric quantities and units)

종 류		심 별	단 위	약 자
한글 표기	영 어 표 기			
광 량	Quantity of Light Luminous energy	Q_v	lumen.second = talbot	lm.s = talbot
광 밀 도	Luminous density	U_v	lumen.second/m ³	lm.s = m ³
광 속	Luminous flux	Φ_v	lumen	lm
발광 효율	Luminous efficacy	K	lumen/watt	lm W ⁻¹
광속발산도	Luminous emittance	M_v	lumen/m ²	lm m ⁻²
휘 도	Luminance (brightness)	L_v	candela/m ² candela/π ft ² = footlambert candela/π cm ² = lambert	cd/m ² cd/π ft ² = fL cd/π cm ² = L
광 도	Luminous intensity	I_v	candela	cd (lm sr ⁻¹)
조 도	Illuminance	E_v	lumen/m ² = lux lumen/ft ² = footcandle	lm/m ² = lx lm/ft ² = fc

2. 측색량과 단위(Radiometric quantities and units)

종 류		심 별	단 위	약 자
한글 표기	영 어 표 기			
방사에너지	Radiant energy	Q	joule = watt-second	J = W, s
방사에너지 밀도	Radiant energy density	U	joule/m ³	J/m ³
방사 속	Radiant flux (power)	Φ, P	watts = joule/second	W = J/s
방사 발산도	Radiant emittance	M	watts/m ²	W/m ²
방사 휘도	Radiance	L	watts/m ² . steradian	W/m ² .sr
방사 강도	Radiant intensity	I	watts/steradian	W/sr
방사 조도	Irradiance	E	watts/m ²	W/m ²

Wavelength (nm)	CIE Photopic Luminous Efficiency Coefficient	Photopic Lumen/Watt Conversion Factor
390	0.0001	0.13
400	0.0004	0.27
410	0.0012	0.82
420	0.0040	2.73
430	0.0116	7.91
440	0.0230	15.7
450	0.0380	25.9
460	0.0600	40.9
470	0.0910	62.1
480	0.1390	94.8
490	0.2080	142.0
500	0.3230	220.0
510	0.5030	343.0
520	0.7100	484.0
530	0.8620	588.0
540	0.9540	650.0
550	0.9950	679.0
555	1.0000	683.0
560	0.9950	679.0
570	0.9520	649.0
580	0.8700	593.0
590	0.7570	516.0
600	0.6310	430.0
610	0.5030	343.0
620	0.3810	260.0
630	0.2650	181.0
640	0.1750	119.0
650	0.1070	73.0
660	0.0610	41.4
670	0.0170	11.6
680	0.0320	21.8
690	0.0082	5.59
700	0.0041	2.78
710	0.0021	1.43
720	0.0010	0.716
730	0.0005	0.355
740	0.0003	0.170
750	0.0001	0.820

- (1) 1candela : $540 \times 10^{12}(\text{Hz})(=555\text{nm})$ 의 단색광을 방출하는 광원에 대하여 $1/683(\text{W}/\text{sr})$ 의 방사강도를 가지는 방향의 광도.
- (2) 1lumen : 1(cd)의 광도를 가지는 점광원에 의해 1(sr)을 통과하는 광속
- (3) Color : 국제조명위원회(CIE) 색도표(Chromaticity diagram)