

# 測光 및 照明器具 디자인技法

## 第4回 照明·電氣設備 심포지움

### 目 次

#### I. 測光技法에 대하여

張 禹 鎭(서울産業大 教授·工博)

1. 서 론
2. 측광의 기본법칙
3. 측광표준
4. 측광계기
5. 측광시 유의사항

#### 부 록

#### II. 照明器具 디자인 및 設計技法

朴 鍾 虎(이다미준 스튜디오·湖西大 講師)

1. 概 要
2. 照明器具의 歷史
3. 照明器具의 機能 및 設計
4. 오늘날의 照明器具 및 우리의 問題點

## I. 測光技法에 대하여

張 禹 鎭 (서울産業大 教授·工博)

### 1. 서 론

\* 측광 { 과거: 시각(visual) 평가에 의존  
 { 현재: non-visual physical photometer -  
 ·정확, 사용 용이

#### 1.1 Spectral Luminous efficiency curve

물리 계측기에 의한 측광은 인간의 시각을 표현하여야 한다. 즉, 어떤 파장이 빛에 대한 계측기의 감응은 인간의 시각과 같은 방법으로 일어나야 한다. 인간의 시각을 표현하기 위해 CIE에서 표준

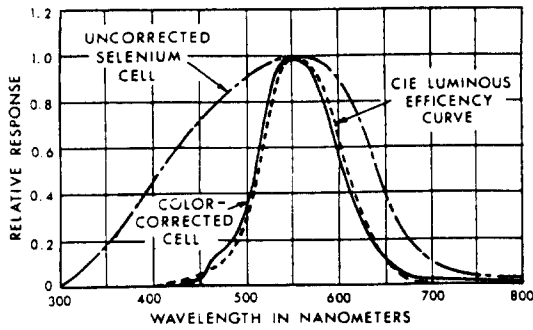


그림1. Average spectral sensitivity characteristics of selenium photovoltaic cells, compared with CIE spectral luminous efficiency curve.

관측자 반응 곡선을 제정하였으며, 이 곡선을 시각도 곡선(Eye Sensitivity Curve)이라 한다. 측광 계기에 사용되는 수광 소자의 감응 특성은 이 곡선과 일치하여야 한다.(그림 1)

1.2 명순응(Photopic)과 암순응(Scotopic)

일반적인 측광은 명순응 상태에서 이루어지는 것으로 가정한다. 휘도가 0.034(cd/m<sup>2</sup>) 이하인 경우에는 암순응 상태이고, 이때에는 파장에 대한 시각도가 변화하므로(Purkinje phenomenon) 이에 대한 특별한 고려가 필요하다.(그림 2)

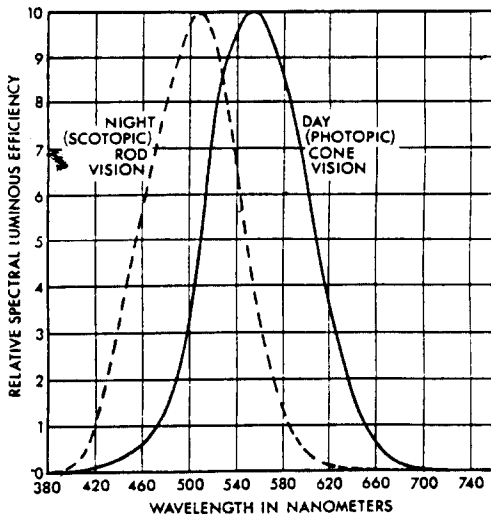


그림2. The relative spectral sensitivity for photopic (cone) and scotopic(rod) vision.

2. 측광의 기본 법칙

2.1 역자승 법칙(Inverse-Square Law)

어떤 점에서의 조도 E는 광원의 광도 I에 비례하고 광원과 거리 d의 제곱에 반비례한다. 즉,

$$E = I/d^2$$

이 공식은 점광원이 아닐 경우에 광원의 크기의 5배 이상의 거리에서 0.5[%] 이하의 오차를 가진다.(그림 3-A)

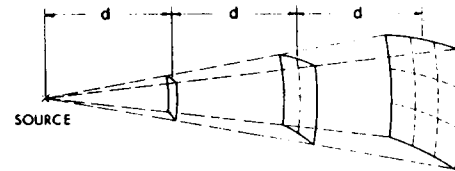


그림3-A

2.2 여현 법칙(Cosine Law, Lambert Cosine Law)

어떤 면이 광원과 θ°의 각도를 가질 경우 그 면의 조도는 다음과 같이 표현된다.(그림 3-B)

$$E = I \cos\theta/d^2$$

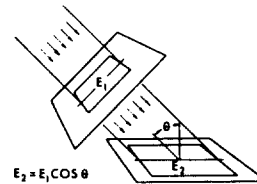


그림3-B

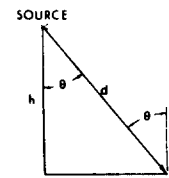


그림3-C

2.3 여현 3승 법칙(Cosine-Cubed Law)

여현 법칙은 다시 다음과 같이 표현할 수 있다. (그림 3-C)

$$E = I \cos^3\theta/h^2$$

3. 측광 표준

물리의 기본 단위인 길이, 질량, 시간과는 별도로 측광에 있어 다음과 같은 광도, 광속, 색의 표준이 정해져 있다.

1 Candela :  $540 \times 10^{14}$ [Hz] (=555[nm])의 단색광을  
 방출하는 광원에 대하여 1/683[W/sr]  
 의 방사 강도를 가지는 방향의 광도  
 1 Lumen : 1[cd]의 광도를 가지는 점광원에 의해  
 1[sr]을 통과하는 광속  
 Color : CIE 색도표(Chromaticity diagram)

### 4. 측광 계기

측광 계기(Photometers)는 가시 광선 영역에서의  
 방사 에너지를 측정하는 기구를 말한다. 감광 소자와  
 적당한 측정 장치로 이루어진 여러가지 형태의 장비  
 가 자외선 및 적외선을 측정하는데 사용된다. 교정  
 필터를 사용하여 CIE 표준 시감도에 맞추어 가시  
 광선을 측정하면 이를 물리 측광 계기(Physical  
 Photometer)라 칭한다.

일반적으로, 측광 계기는 크게 두 부류로 나뉜  
 다. 첫째, 실험실용 측광 계기이다. 이는 보통 고정된  
 위치에서 사용되며, 측정 정도가 높다. 둘째, 휴대용  
 측광 계기로서, 이는 실험실 외부의 현장에서의 측광  
 에 사용되며, 일반적으로 측정 정도가 낮다. 이들은  
 다시 광도, 광속, 조도, 휘도, 배광 분포, 반사율과  
 투과율, 색, 분광 분포 및 가시 거리 등을 측정하는  
 측광 계기로 분류할 수 있다.

#### 4.1 조도 측광 계기(Illuminance Photometers)

최근 물리 측광 계기의 사용으로, 시각 평가에  
 의한 측광은 그 빈도가 줄어들고 있다. 그러나, 시각  
 평가에 의한 측광은 간편성으로 인하여 측광 원리의  
 교육에는 아직도 사용되고 있다.

광전 측광 계기는 두 부류로 나뉜다. 첫째, 광전압  
 (Photovoltaic) 혹은 광도전(Photoconductive) 고체  
 소자를 이용한 계기이고, 둘째는, 광전관(Photoem-  
 issive tube)을 이용한 계기로서, 이는 측광에 필요한  
 부수적인 외부 회로가 앞의 것보다 상당히 많다.

##### 4.1.1 광전 소자 계기(Photovoltaic cell meters)

광전 소자는 방사 에너지를 직접 전기 에너지로  
 변환한다. 이 소자는 입사 조도에 비례하는 전류  
 및 전위차를 생성한다. 광전 소자는 광전관보다 많은  
 전류를 생성하며, 이는 직접 갈바노 메터와 같은

미소 전류계를 구동할 수 있다. 그러나, 외부 회로의  
 저항이 증가하고, 입사 조도가 증가하면, 감도가  
 비선형이 되므로, 외부 회로의 저항은 되도록 낮은  
 것이 좋다.

광전 소자의 파장에 대한 감도는 인간의 그것과  
 많은 차이가 있으므로, 측광시에는 필히 색 보정  
 필터와 함께 사용되어야 한다. 빛에 노출될 경우  
 과도 특성을 가지므로 어느 정도 노출 시간이 지난  
 후 계기의 지시치를 읽어야 하며, 입사광의 입사  
 각도, 주의 온도, 광의 주기적인 변화 및 전기적  
 유도 장애에 의해 지시치가 변화할 수 있으므로  
 이에 대한 적당한 고려가 필요하다.

##### 4.1.2 광전 증배관 계기(Photomultiplier tube meters)

광전관은 방사 에너지가 광전관 표면에 조사될  
 경우 전류를 생성하며, 이는 다시 2차 방사 (Second  
 ary emission)에 의해 증대된다. 측광에는 고전압  
 (2000-5000[V])이 요구되며, 신호 측정을 위한 증폭  
 회로가 필요하고, 암류(Dark current)에 대한 보정  
 이 필요하다.

측정 회로의 구성상, 장자계, 충격 및 외부 온도에  
 예민하며, 다른 광전 소자와 마찬가지로 색 보정  
 필터와 함께 사용되어야 한다. 광전증배관을 사용한  
 계기는 일반적으로 감도가 높고, 측정 범위가 넓다.

##### 4.2 휘도 측광 계기(Luminance Photometers)

앞서 조도 측광 계기에서 논의된 사항들은 휘도  
 측광 계기에도 마찬가지로 적용된다. 휘도 측광 계기  
 는 기본적으로 수광 소자로 구성되며, 수광 소자에는  
 측정하고자하는 물체의 영상(image)이 맺히도록  
 되어있다. 적당한 광학 기구를 사용하여 수광 소자에  
 어떤 크기의 영상이 맺히면, 이 수광 소자는 물체의  
 휘도에 따른 전기 신호를 발생한다. 이 신호를 측정  
 하면, 적당한 교정을 가할 경우, 휘도를 직접 측정하  
 는 것이 된다. 통상, 측정자가 계기를 통하여 물체를  
 관측할 수 있는 접안구(Eyepiece)가 마련되어 있다.

수광 소자 앞에 위치하는 광학 기구를 교체하면,  
 시야를 변화시킬 수 있고, 따라서 다른 크기의 범위  
 에 대한 측정이 가능하다.

수광 소자는 보통 셀렌 광전지(Selenium Phot-

ocell)를 사용하나, 최근 광전 증배관이나, 혹은 과도 특성이 우수한 실리콘(Silicon) 소자의 사용이 늘고 있다.

### 4.2.1 Freund Brightness Spot Meter

좁은 부위의 휘도를 측정하는 광전 측광 계기로서, 수광 소자로는 광전 증배관이 사용된다. 시감도 곡선에 맞추기 위한 색 보정 필터를 사용하며, 측광 범위는  $10^{-1} - 10^7 [cd/m^2]$  정도이다.

### 4.2.2 Prichard Photometer

매우 감도가 높고 정확한 측정을 할 수 있으며, 수광 소자로는 광전 증배관이 사용된다. 측정 범위는  $10^{-4} - 10^8 [cd/m^2]$  정도이다. Freund meter와는 달리 계기 내부에서 반사광을 이용하지 않기 때문에 측정하려는 빛의 편광에 무관한 측정을 할 수 있다. 시감도 곡선에 맞추기 위한 색 보정 필터가 사용된다.

### 4.3 등가 구 조도 측광 계기(ESI Photometer)

등가 구 조도(Equivalent Sphere Illumination : ESI)는 시각 평가 혹은 물리적 계기 평가의 양자의 방법으로 측정될 수 있다. 시각 측정은 측정하려는 물체와 광속구(Luminous Sphere)와의 비교로 이루어진다. 계기 측정은 작업 대상 물체의 휘도 Lt (Task Luminance)와 배경 휘도 Lb(Background Luminance)의 두 가지를 측정한다. ESI 측광 계기는 개발 연대순으로 Visual Task Photometer (VTP), Visual ESI meter, Physical ESI meter 등이 있으며, 최근의 ESI 측정에는 양방향 반사 분포 함수(Bidirectional Reflectance Distribution Function : BRDF)의 개념이 도입되어 사용되고 있다.

### 4.4 반사율 측광 계기(Reflectometer)

반사율 측광 계기는 물체나 표면의 반사율을 측정하는 계기이다. 이들 계기는 확산(Diffuse) 반사율, 정(Specula) 반사율 및 총(Total) 반사율 등을 측정한다. 정반사를 측정할 수 있도록 설계된 계기를 Grossmeter라 한다.

일반적으로 반사율 측광 계기는 집속광과 광전 수광 소자를 사용한다. 즉 45 각도로 입사된 빛의 반사를 측정하기 위하여 수광 소자의 위치를 변화시

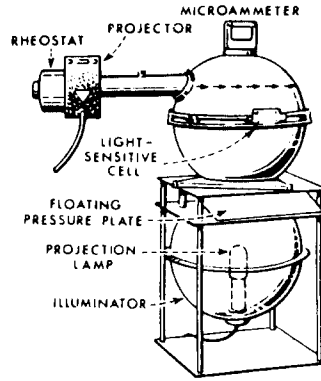


그림4. 반사율과 확산 투과율 측정

켜가며 각 위치에서의 수광 소자의 측정치에 의해 반사율이 결정된다. Baumgartner Reflectometer (그림 4)는 총 반사율과 확산 투과율(Diffuse Transmittance)을 측정한다. 이는 두개의 구, 두개의 램프 및 두개의 수광 소자로 이루어지며, 상부의 구로는 반사율을 측정하고, 하부의 램프를 이용하여 확산 투과율을 측정할 수 있다.

### 4.5 방사 측광 계기(Radiometers)

방사 측광 계기는 가시 광선 이외의 자외선 및 적외선도 포함하는 넓은 범위의 파장에 대하여 측정이 가능하다. 측광 소자는 측정 차장에 대하여 거의 변화가 없는 종류와 파장에 대하여 감도가 변화하는 종류의 두가지가 있으며, 전자의 예로는 Thermopile, Bolometer 및 Pyroelectric 소자 등이 있다. 후자의 예로는 광도전 소자, 광전 증배관, 광전 소자 및 광 다이오드와 광트랜지스터 등을 포함하는 고체 소자등이 있다.

이들의 종합 특성은 적당한 색 보정 필터를 통하여 원하는 기능에 부합되도록 변경할 수 있다. 이들 소자의 생성 전압, 전류는 일반적으로 매우 작으므로, 증폭, 신호 대 잡음비(S/N ratio) 및 과도 특성에 대한 특별한 배려가 필요하다.

### 4.6 분광 측광 계기(Spectrophotometer)

측광(Photometry)이라함은 인간의 눈의 감도에 따른 가시 광선의 세기 측정이다. 그러나, 각 파장별로 세기를 측정하게되면 이를 분광측광(Spectrophotometry)이라 한다. 이의 응용으로 물질의 정확

■ 技術報告

한 정량적 화학 해석이 있으며, 조명 공학에서는 파장별 투과율 및 파장별 반사율의 측정이 있다. 또한, 램프의 파장별 방사 에너지의 측정에 사용되기도 하는데 이를 분광 방사 측정(Spectroradiometry)라 한다.

이들 계기는 기본적으로 프리즘이나 슬릿을 사용하여 여러가지 파장의 빛으로 나누는 Monochromater 와 이들 각 파장의 세기를 측정하는 수광 소자로써 이루어진다. 물리적 수광 소자 대신 시각 평가에 의하여 Spectrum이 검사될 경우에는 이 계기를 분광 스펙트럼(Spectroscope)라 한다.

200-2500[nm]의 파장을 측정하도록 되어있는 계기도 만들어지고 있으며, 보통은 가시 영역(380-760[nm])의 범위를 측정한다.

4.7 기본 측정 형태(Basic Equipment Types)

4.7.1 Optical Bench Photometers

이는 조도 측정 계기의 교정에 사용된다. 수광 소자 및 고정틀로 구성되며, 고정틀은 각 부품간의 거리를 측정할 수 있도록 눈금이 매겨져 있다. 역사승 법칙이 기본 원리로 사용되며, 측정 거리는 광원 크기의 최소 5배 이상이 요구된다.

4.7.2 배광 측광 계기(Distribution Photometers)

광도 측정에는 다음과 같은 형태의 배광 측광 계기가 사용된다.

- a. Goniometer와 단일 수광 소자
- b. 고정된 다 수광 소자
- c. 이동 수광 소자
- d. 이동 거울

이들 종류는 각기 장점과 단점이 있으며, 이들은 측정 가능 공간의 크기, 편광 조건 및 경제적 여건 등등에 따라 좌우된다.

4.7.3 광속구(Integration Sphere Photometer)

램프나 등기구에서 발산되는 총 광속은 Ulbricht sphere로 보통 측정된다. 광속구 내면은 완전 확산면이며, 또한 반사율이 각 파장에 대하여 동일하다는 가정이 사용된다. 광속구 내면의 어느 위치에 입사되는 빛은 광원에서 직접 투사되는 빛과 반사된 빛의 두 성분으로 이루어지며, 반사광의 세기는 측정 광원

의 배광 분포와는 관계없이 광원에서 발산되는 광속의 총량에만 관계하며, 결국, 직사광이 도달하지 못하는 위치의 조도(따라서 휘도)는 광속에 비례하게 된다.

5. 측광시 유의 사항

- 측정 거리는 광원 크기의 최소 5배 이상
- 수광 소자의 파장별 감도가 시감도와 같은 것 (혹은, 같게 되도록 색 보정 필터로 교정)
- 상용 주파수가 아닌 고주파 전원으로 점등되는 광원의 측광에는 과도 특성이 우수한 수광 소자를 사용할 것
- 수광 소자의 피로 감도를 생각하여 수광 소자를 측정하고자 하는 빛에 적당 시간 노출시킨 후 사용할 것
- 수광 소자 및 표준 전구는 1년 1회의 교정을 실시할 것
- 광속 측정시 표준 전구는 같은 W 수의 전구를 사용할 것
- 광속 측정시 적분구 내부의 도료의 건습에따라 반사율의 변화가 있으므로 미리 측정하려는 전구보다 큰 W 수의 전구를 30분-1시간 정도 점등하여 적분구 내면을 적당히 건조시킨 후 측정한다.

(부록)

A. 각종 측광량의 정의

- 방사속(Radiant Flux)
  - 단위 : W(watt)
  - 단위 시간에 어떤 면을 통과하는 방사 에너지의 양
- 광속(F : Luminous Flux)
  - 단위 : lm(lumen)
  - 단위 시간에 어떤 면을 통과하는 광량
  - 가시 범위의 방사속을 시감도를 기준으로하여 측정
- 광량(Q : Quantity of Light)
  - 단위 : lm · h(lumen hour), talbot = lm · sec
  - 광속의 시간적 적분

$Q = \int_0^t F dt$ , F : 광속 Q : 광량

- 광도(I : Luminous Intensity)

단위 : cd(candela)

모든 방향으로 광속이 발산되고있는 점광원에서 어떤 방향의 광도라 함은 그 방향의 단위 입체각에 포함되는 광속 수, 즉 발산 광속의 입체각 밀도

$$I = dF/d\omega$$

특히, 점 광원으로부터 모든 방향으로 균등하게 광속이 발산되면

$$I = F/(4\pi)$$

- 조도(E : Illuminance)

단위 : lx(lux) = lm/m<sup>2</sup>, ph(phot) = lm/cm<sup>2</sup>

어떤 면에 투사되는 광속의 밀도

$$E = dF/dA$$

광도 I[cd]인 균등 점 광원을 반지름 R[m]의

구의 중심에 놓을 경우 구면 위의 조도는

$$E = F/A = 4\pi I/(4\pi R^2) = I/R^2$$

- 휘도(La : Luminance)

측정 계기 : Luminance meter

어떤 면의 밝기로서 광도의 밀도

$$La = I/(dA \cdot \cos\theta)$$

- 광속 발산도(M : Luminous Emittance)

단위 : rdx(radlux) = asb(apostilb) = lm/m<sup>2</sup>

발산 광속의 밀도

$$M = dF/dA$$

완전 확산면에서

$$M = \pi L$$

- 발광 효율(e : Luminous Efficiency)

단위 : lm/W

방사속에 대한 광속의 비율

$$e = F/\Phi$$

B. 측광에 사용되는 단위 및 계기

구분		단위	비고
광	파장	nm	Spectrometer
	색	-	Spectrophotometer, Colorimeter
	조도	lx	Photometer
	편광	°	Analyzing Nicol Prism
	편광도	%	Polarization Photometer
광원	방사에너지	J/m <sup>2</sup>	Radiometer
	색온도	K	Colorimeter, Filtered Photometer
	광도	cd	Photometer
	휘도	cd/m <sup>2</sup>	Photometer, Luminance Meter
	분광분포	W/nm	Spectroradiometer
	소비전력	W	Wattmeter
	광속	lm	Integrating Sphere Photometer
	배광분포	lm, cd	Goniophotometer
매질	반사율	%	Reflectometer
	투과율	%	Photometer
	분광반사율	%	Spectrophotometer
	~ 투과율	-	-
	광학적두께	-	Densitometer