

# 전기용품안전기준

K 62471-1

[IEC 62471, ed 1, 2006-07]

---

램프와 램프장치의 광생물학적 안전성

## 목 차

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 1 적용범위 .....          | 1  |
| 2 인용규격 .....          | 1  |
| 3 정의와 기호, 약어 .....    | 1  |
| 4 노출 한계 .....         | 7  |
| 5 램프와 램프 장치의 측정 ..... | 17 |
| 6 램프 분류 .....         | 25 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 부속서 A (참 고) 생물학적 효과의 요약 ..... | 28 |
| 부속서 B (참 고) 측정 방법 .....       | 35 |
| 부속서 C (참 고) 불확도 분석 .....      | 39 |
| 부속서 D (관련정보) 일반참조 .....       | 40 |

# 램프와 램프장치의 광생물학적 안전성

## Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems

### 서 문

이 규격은 2006년에 1판으로 발행된 IEC 62471(2006-07), Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems의 내용을 국내 실정에 맞게 수정하여 작성한 전기용품 안전기준이다.

### 1 적용범위

이 규격은 조명기구, 램프와 램프 장치의 광 생물학적 안전성의 평가 지침을 규정한다. 구체적으로 노출 한계와 기준 측정법을 규정하며, 아울리 200 nm - 3,000 nm의 파장 범위에서 LED를 포함(레이저 제외)하여 모든 전동식 비간접성 광대역 광학 복사원으로 인한 광 생물학적 위해의 평가와 관리를 위한 분류 계획을 규정한다.

### 2 인용규격

다음에 나타내는 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성한다. 이러한 인용 규격은 그 최신판을 적용한다.

CIE 17.4-1987, International lighting vocabulary (ILV) - Joint publication IEC/CIE

CIE 53-1982, Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers

CIE 63-1984, The spectroradiometric measurement of light sources

CIE 105-1993, Spectroradiometry of pulsed optical radiation sources

ISO, Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO, Geneva, 1995.

### 3 정의와 기호, 약어

이 규격의 목적상 다음의 정의와 기호, 약어를 적용한다.

#### 3.1 광화학 조사량(actinic dose)(ILV 845-06-23 참조)

해당 파장에서 화학적 작용 스펙트럼 값에 따라 조사량을 분광적으로 계량하여 얻은 양

단위:  $J \cdot m^{-2}$

**비고** 이 정의는 화학적 효과에 작용 스펙트럼을 채택하고 그 최대값을 대개 1로 정규화된다는 것을 의미한다. 정량적인 양을 명시할 때는 단위가 같을 때 수량 조사량 또는 광화학 조사량 중 어떤 것을 의미하는지를 규정해야 한다.

#### 3.2 대향각(angular subtense) ( $\alpha$ )

관찰자의 눈 또는 측정점에서 겹보기 광원을 마주 대하는 시각. 이 규격에서 중심각은 각의 반각이 아니라 전체 끼인각으로 나타낸다.

단위: 라디안(radian)

**비고** 대향각  $\alpha$  는 대개 투영기 같은 렌즈와 거울의 결합에 의해 변경된다. 즉, 겹보기 광원의 대향각은 물리적 광원의 대향각과 다르다.

#### 3.3 구경, 구경 조리개(aperture, aperture stop)

평균 광학적 방출을 측정하는 면적을 정의한 개구. 스펙트럼 복사조도 측정에서 이 개구는 대개 방사계/분광방사계 입구 슬릿 정면에 놓이는 작은 구의 입구이다.

### 3.4 청색광 위해(blue light hazard, BLH)

400 nm에서 500 nm 범위의 파장에서 광화학적으로 복사 노출로 생긴 망막의 부상 가능성. 이 손상의 작용은 10초를 초과하면 열적 손상 작용보다 우세하다.

### 3.5 연속파 램프(continuous wave lamp)

0.25초 이상 연속 출력으로 동작하는 램프. 즉, 비펄스 램프.

**비고** 이 규격에서 전반조명(GLS) 램프는 연속파 램프로 정의한다.

### 3.6 홍반(erythema) (ILV 845-06-15 참조)

피부의 홍조. 이 규격에서는 태양 복사 또는 인공 광학 복사의 염증성 영향으로 인한 피부의 홍조를 의미한다.

**비고** 홍반의 지연 정도는 자외선 치료에 적용되는 조사량의 지표로 사용된다.

### 3.7 노출 거리(exposure distance)

램프 또는 램프장치에서 인간 노출의 최근접. 전 방향으로 복사하는 램프의 경우, 노출 거리는 필라멘트 또는 아크 광원의 중심에서 측정한다. 반사기형 램프의 노출 거리는 렌즈의 바깥쪽 가장자리에서, 또는 렌즈가 없는 반사기에서 반사기의 끝을 정의하는 평면에서 측정한다.

단위: m

### 3.8 노출 한계(exposure limit, EL)

생물학적으로 악영향을 미칠 것으로 예상되지 않는 눈이나 피부의 노출 수준

### 3.9 안구 운동(eye movements)

물체에 초점을 맞출 때 정상적인 눈은 수 헤르츠의 주파수에서 무작위로 조금씩 움직임을 보인다. 이와 같은 빠른 안구 운동은 점 광원으로부터 결상을 약 0.011 라디안의 대향각에 상당하는 망막의 면적에 흩어지게 한다. 더구나 그 시간이 약 100초 이상인 경우 초점을 맞춘 응시 능력은 임무가 결정된 안구 운동으로 인해(예: 독서할 때처럼) 망막에서 복사력을 흩어지게 한다.

### 3.10 심도(field of view)

방사계/분광방사계 등의 검출기가 "보는" 입체각(수광각). 심도 밖에서 검출기는 복사를 받는다.

단위: sr

**비고 1** 심도와 겹보기 광원의 대향각  $\alpha$  를 혼동하지 않아야 한다.

**비고 2** 원형 대칭 입체각 심도를 설명하기 위해 평면각을 종종 사용한다.

### 3.11 전반 조명램프(general lighting service lamps)

사람이 사용하거나 공간을 비추도록 고안된 램프. 예를 들면 사무실, 학교, 가정, 공장, 도로, 자동차를 비추는 램프가 될 수 있다. 그러나 필름 투영, 복사 과정, "일광욕", 산업 공정, 의료, 탐조등 용으로 사용되는 램프는 제외

### 3.12 위해 거리(hazard distance)

피부 위해 거리 또는 안구 위해 거리 참조

### 3.13 표면 임의점에서의 조도(illuminance at a point a surface)

( $E_v$ )(ILV 845-01-38 참조)

점을 포함한 표면의 요소 위에 입사하는 광속  $d\Phi_v$  을 해당 요소의 면적  $dA$  로 나눈 비율

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (3.1)$$

단위: lx

### 3.14 적외선 복사(infrared radiation, IR)(ILV 845-01-04 참조)

가시 복사보다 더 파장이 더 긴 광학 복사

**비고** 적외선 복사에서, 780 nm - 10<sup>6</sup> nm 범위는 일반적으로 IR-A(780 nm - 1,400 nm), IR-B(1,400 nm - 3,000 nm), IR-C(3,000 nm - 10<sup>6</sup> nm)로 세분된다.

적외선 복사는 표면에 입사하는 단위면적 당 스펙트럼 총 복사(복사조도)로 평가한다. 적외선 복사의 응용 예는 산업 난방, 건조, 사진 촬영이 있다. 적외선 탐지 장치 같은 일부 응용에는 제한된 범위의 파장에 민감한 검출기가 포함된다. 이 경우에는 광원과 검출기의 스펙트럼 특성이 중요하다.

### 3.15 용 도(intended use)

어떤 제품, 공정, 서비스를 공급자가 제공한 시방서, 지침, 정보에 따라 사용하는 것

### 3.16 (표면의 한 점에서의) 복사조도(irradiance at a point of the surface)

(ILV 845-01-37 참조)

한 점을 포함하고 있는 표면에 입사하는 방사속을 그 표면의 성분 dA로 나눈 비율

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (3.2)$$

단위:  $W \cdot m^{-2}$

### 3.17 램프(lamp) (ILV 845-07-03 참조)

광학 복사를 생성하기 위해 만든 광원, 대개 눈에 보이는 것.

**비고** 용어 "램프"는 간혹 특정한 유형의 조명기구에 사용된다.

이러한 유형의 조명기구는 음영, 반사기, 보호 글러브, 외장 또는 그 밖의 부속품으로 구성된다.

이 규격에서 이 용어는 전자기 스펙트럼의 가시 영역에서 복사를 생성하는, 레이저 이외의 전기적 전원을 의미한다. 빛을 발생시키고 렌즈나 반사기 등과 같이 광학적 제어를 위한 일체형 부품을 갖는 장치도 램프로 본다. 예를 들면 대개 렌즈 커버를 포함하여 포물선/타원형 반사기 조립체 안에 광원으로 구성된 렌즈가 달린 LED, 렌즈단 램프, 반사기가 있다.

### 3.18 램프 장치(lamp system)

램프를 내장하거나 내장하도록 고안된 구성요소의 조립품 또는 제조된 모든 제품

### 3.19 대형 광원(large source)

망막에 비친 광원 결상의 크기. 그 크기가 매우 커서 결상 중심에서 주위 생물 조직까지 반경 방향의 반경 열 흐름이 축 방향의 열 흐름에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다.

### 3.20 레이저(laser)

유도 방출로 생성된, 광원을 방출하는 간접성 광학 복사

### 3.21 빛(light)

가시 복사 참조

### 3.22 발광 다이오드(LED)(ILV 845-04-40 참조)

전류에 의해 여기될 때 이득 없이 광학 복사를 방출하는 p-n 접합을 구현한 정지형 장치

### 3.23 루멘(lumen) (ILV 845-01-51)

광속의 SI 단위. 1 칸델라의 광도를 갖는 균일한 점 광원에 의해 단위 입체각(스테라디안)에서

방출된 광속 또는 이와 동등하게 주파수가 540·10<sup>12</sup> 헤르츠이고 방사속이 1/683 와트인 단색 복사 빔의 광속

### 3.24 조명기구(luminaire) (ILV 845-10-01)

하나 이상의 램프에서 방출된 빛을 분산, 여과, 변환하며 램프 자체를 제외하고 램프를 고정하고 보호하는데 필요한 모든 부분과 필요한 경우 이들을 전원에 연결하는 수단을 구비한 보조 회로를 포함하는 장치

단어 "조명기구"와 "램프 장치"는 종종 동의어로 가정한다. 이 규격에서 단어 "조명기구"는 전반 조명에서 빛을 분산시키는데 사용하는 장치를 의미하며, "램프 장치"는 전반 조명 응용 이외에서 램프 사용을 의미한다.

### 3.25 복사조도(luminance) (특정 방향에서, 실제 또는 가상 표면의 임의점에서)

( $L_v$ ) (ILV 845-01-35)

다음 공식으로 정의되는 양

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega} \quad (3.3)$$

여기에서  $d\Phi_v$ 는 임의점을 관통하며 특정 방향을 포함한 입체각  $d\Omega$ 에서 전파되는 원소 빔에 의해 투과된 광속이다.  $dA$ 는 특정점을 포함한 빔의 구간의 면적이다.  $\theta$ 는 그 구간의 법선과 빔 방향 사이의 각이다.

단위:  $cd \cdot m^{-2}$

### 3.26 룩스(lux) (ILV 845-01-52)

복사조도의 SI 단위 : 해당 표면 위에 균일하게 분포된 1 루멘의 광속에 의해 1 제곱미터 면적의 표면 위에 생성된 복사조도

### 3.27 안구 위해 거리(ocular hazard distance)

특정한 노출 지속시간 동안 복사조도가 해당 노출 한계를 초과하는 광원에서 떨어진 거리

단위: m

### 3.28 광학 복사(optical radiation) (ILV 845-01-02)

X선(파장 약 1 nm)으로 전이되는 영역과 전파(파장 약  $10^6$  nm)로 전이되는 영역 사이의 파장에서 전자기 복사

180 nm 미만 파장 범위에서 자외선 복사(진공 UV)는 공기 중에서 산소에 의해 흡수된다. 이 규격에서 광학 복사의 파장 대역은 200 nm를 초과하는 파장으로 제한한다. 또, 안구는 380 - 1,400 nm 사이에서 광학 복사를 망막으로 전달한다. 따라서 망막의 광 생물학적 안전성을 결정할 때는 이 파장 범위를 특별히 고려해야 한다.

### 3.29 광각결막염(photokeratoconjunctivitis)

자외선 복사에 노출된 후 각막과 결막의 염증 반응. 320 nm 미만의 파장이 이 조건을 유발하는데 가장 효과적이다. 작용 스펙트럼의 첨두는 약 270 nm이다.

**비고** 광각막'm과 광결막염에 대한 각각의 작용 스펙트럼을 발행하였다(CIE 106/2와 CIE 106/3-1993). 그러나 최근 연구 결과는 두 안구 영향에 하나의 작용 스펙트럼 사용을 입증하고 있다(CIE 106/1-1993).

### 3.30 펄스 램프(pulsed lamp)

단일 펄스 또는 펄스열의 형태로 에너지를 전달하는 램프. 이 때 각 펄스는 지속시간이 0.25초 미만으로 가정한다. 연속한 펄스열 또는 변조된 복사 에너지를 갖는 램프. 첨두 복사력은 평균 복사력에 최소 10배이다.

**비고 1** 램프 펄스의 지속시간은 펄스 상승단의 반출력 지점과 펄스 하강단 사이의 시간 간격이다.

**비고 2** 이 규격에서, 전반조명램프는 연속과 램프로 정의한다(3.5. 참조). 펄스 램프의 예로는 광 점광 램프, 광복사기의 점광 램프, 펄스 변조 LED, 스트로브 광을 들 수 있다.

### 3.31 복사 휘도(radiance) (특정 방향에서, 실제 또는 가상 표면의 한 점에서)

( $L$ ) (ILV 845-01-34)

다음 공식으로 정의되는 양

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega} \quad (3.4)$$

여기에서  $d\Phi$ 는 임의점을 관통하며 특정 방향을 포함한 입체각  $d\Omega$ 에서 전파되는 원소 빔에 의해 투과된 복사속이다.  $dA$ 는 특정점을 포함한 빔의 구간의 면적이다.  $\theta$ 는 그 구간의 법선과 빔 방향 사이의 각이다.

단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

$L$ 에 대한 방정식에서 복사력  $d\Phi$ 을 복사 에너지  $dQ$ 로 대체하면 시간 적분 복사휘도  $L$ 에도 동일한 정의가 적용된다.

### 3.32 복사 에너지(radiant energy)(ILV 845-01-27)

특정 지속시간  $\Delta t$ 에서 복사력  $\Phi$ 의 시간 적분

$$Q = \int_0^t \Phi \cdot dt \quad (3.5)$$

단위: J

### 3.33 복사 노출(radiant exposure) (표면의 한 점에서, 특정 방향에 대해) (ILV 845-01-42)

특정 지속시간 동안 임의점을 포함한 표면의 원소에 입사하는 복사 에너지  $dQ$ 를 해당 원소의 면적  $dA$ 로 나눈 비율

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (3.6a)$$

단위:  $J \cdot m^{-2}$

이와 동등하게 복사 노출은 특정 지속시간  $\Delta t$  동안 임의 점에서 복사조도  $E$ 의 적분으로 정의된다.

$$H = \int_{\Delta t} E \cdot dt \quad (3.6b)$$

### 3.34 복사력(radiant power, $\Phi$ )(ILV 845-01-24)

복사의 형태로 방출되거나 전달된, 수신된 전력. 복사력은 종종 복사 선속이라고도 한다.

단위: 와트(W)

### 3.35 망막(retina) (ILV 845-02-01)

안구 뒤 안쪽에 놓인 조직으로 빛 자극에 민감하다. 광수용체, 추상체와 간상체, 그리고 광수용체 자극으로 생긴 신호를 광신경으로 전달하는 신경 세포가 들어 있다.

### 3.36 망막 화상(retinal burn)

광화학적 또는 열적 망막 상해

### 3.37 망막 위해 영역(retinal hazard region)

정상적인 안구 매질이 광학 복사를 망막에 전달하는, 380 nm - 1,400 nm(가시영역 + IR-A)의 스펙트럼 영역

### 3.38 피부 위해 거리(skin hazard distance)

복사조도가 8시간 노출 동안 해당하는 노출 한계를 초과하는 거리

단위: m

### 3.39 스펙트럼 분포(spectral distribution) (ILV 845-01-17)

파장  $\lambda$  에서 파장의 원소 범위  $d\lambda$  에 포함된 복사량, 광량, 광자량  $dX(\lambda)$  을 해당 범위로 나눈 비율

$$X_{\lambda} = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda} \quad (3.7)$$

단위:  $[X] \cdot nm^{-1}$

**비고** 용어, 스펙트럼 분포는 특정 파장에서가 아닌 범위가 넓은 파장에서 함수  $X_{\lambda}(\lambda)$  를 다룰 때 선호한다.

### 3.40 스펙트럼 복사조도(spectral irradiance)

파장 간격  $d\lambda$  에서 어떤 표면의 원소에 입사하는 복사력  $d\Phi(\lambda)$  를 해당 원소의 면적  $dA$  로 나누고, 다시 파장 간격  $d\lambda$  로 나눈 비율

$$E_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda} \quad (3.8)$$

단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$

### 3.41 스펙트럼 복사휘도(spectral radiance)( $L_{\lambda}$ )

(특정점에서 특정방향으로 파장 간격  $d\lambda$  에 대해) 해당 점을 관통하며 특정 방향의 입체각  $d\Omega$

내에서 전파되는 복사력  $d\Phi(\lambda)$  대, 파장 간격  $d\lambda$  와 특정점을 포함한 이 방향에 수직한 평면 위 범 구간의 면적( $\cos\theta dA$ )의 곱의 비율 및 입체각  $d\Omega$  의 비율

$$L_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \quad (3.9)$$

단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1} \cdot sr^{-1}$

### 3.42 스테라디안(steradian) (ILV 845-01-20)

입체각의 SI 단위. 구 중심에서 정점을 가지며, 변의 길이가 구 반경과 동일한 어떤 구의 표면적과 동일한 구 표면적을 자른 입체각

### 3.43 자외선 복사(ultraviolet radiation, UV)(ILV 845-01-05 참조)

파장이 가시 복사의 파장보다 짧은 광학 복사

**비고** 자외선 복사에서 100 nm에서 400 nm 범위는 일반적으로 UV-A(315 nm - 400 nm), UV-B(280 nm - 315 nm), UV-C(100 nm - 280 nm)로 세분된다.

UV에 대한 이 세분은 특히 광 생물학적 효과에 대해서는 정확한 한계는 아니다.

광생물학 분야에서 파장 대역은 200 nm - 290 nm, 290 nm - 320 nm, 320 nm - 400 nm의 범위를 취한다. 경우에 따라 그 이름을 UV-A, UV-B, UV-C로 각각 부르기도 한다(이것은 부정확한 것이다). 180 nm 미만 파장에서 자외선 복사는 진공 자외선 복사로 판단한다. 380 nm - 400 nm 범위의 복사는 자외선 대역의 정의 내에 있더라도 가시 복사로 판단한다.

### 3.44 가시 복사(visible radiation) (ILV 845-01-03)

눈에 보이는 감각을 직접 유발할 수 있는 광학 복사

**비고** 망막에 도달하는 복사력의 양과 관찰자의 반응도에 따라 달라지기 때문에 가시 복사의 스펙트럼 범위에 대한 정확한 한계는 없다. 하한은 대개 360 nm - 400 nm 범위로 취하고 상한은 760 nm - 830 nm 범위를 취한다.

### 3.45 시각(visual angle)

관찰점에서 어떤 물체를 마주 보는 각을 시각이다. 시각에 대한 SI 단위는 라디안이다. 그러나 원호의 밀리라디안, 도, 분으로도 측정할 수 있다.

## 4 노출 한계

### 4.1 일반 사항

램프와 램프장치에 인접해 있는 사람은 다음 절에서 개발한 한계를 초과하는 수준에 노출되지 않아야 한다. 노출 한계(EL)은 실험 연구에서 얻은 최선의 정보를 근거로 하는 각종 ICNIR 지침에서 얻은 것이다(간행물 요약은 **부속서 A** 참조).

노출 한계는 일반 모집단의 모든 개인이 건강에 악영향을 미치지 않고 반복 노출될 수 있다고 믿는 조건을 나타낸다. 그러나 노출 한계는 비정상적으로 빛에 민감한 개인 또는 감광제에 부수적으로 노출되는 개인에게 적용하지 않는다. 개인이 광학 복사의 건강 악영향에 더 많이 영향을 받게 하기 때문이다. 일반적으로 이와 같은 개인들은 비정상적으로 빛에 민감하지 않은 개인 혹은 감광제에 부수적으로 노출되지 않는 개인보다 광학 복사의 건강 악영향에 영향을 더 많이 받는다. 빛에 민감한 개인의 감응성은 크게 변하며, 이 모집단에 대한 노출 한계를 정하는 것은 불가능하다.

이 규격에서 노출 한계는 노출 지속시간이 0.01 ms 이상이고 8시간 이하인 연속 광원에 적용하며, 노출을 통제하는 지침으로 사용하는 것이 바람직하다. 노출 한계는 안전한 수준과 불안정한 수준을 정확하게 정의한 선으로 간주하지 않아야 한다.

눈에 대한 광대역 가시 복사와 IR-A 복사의 노출 한계를 정하려면 노출된 사람의 눈 위치에서 측정했을 때 광원의 스펙트럼 복사휘도  $L_\lambda$ 와 총 복사조도 E를 알아야 한다. 이와 같이 광원의 상세 스펙트럼 데이터는 대개 광원의 조도가  $10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 를 초과하는 경우에만 필요하다. 이 값 미만의 조도에 서는 노출 한계를 초과하지 않은 것으로 예상된다. 노출 한계를 **4.3**에 나타내었다.

### 4.2 망막 노출 한계의 측정과 적용에 관한 특정 요인

#### 4.2.1 동공 지름

눈에 들어가서 망막에 흡수되는 복사속(범위: 380 nm - 1,400 nm)은 동공 면적에 비례한다. 동공 지름은 매우 낮은 조도( $< 0.01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )일 때 약 7 mm 지름에서  $10,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  차수의 조도 값일 때 약 2 mm로 감소하는 것으로 알려져 있다. 이 규격에서는 약한 가시 자극을 최대 조도( $0.011 \text{ 라디안}$ 을 마주 대하는 원형 심도에서 평균하였을 때)가  $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  미만인 것으로 정의한다. 특정한 조도에서 개별 동공 지름은 크게 변한다. 따라서 이러한 노출 한계를 정할 때는 두 개의 각 동공 지름만 다음과 같이 가정하였다.

- 청색광 위해 또는 망막 열 위해에 적용할 수 있을 때처럼 광원의 조도가 적당히 높고( $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  초과) 노출 지속시간이 0.25초를 초과할 때, 노출 한계를 유도하기 위해 3 mm 동공 지름(면적  $7 \text{ mm}^2$ )를 사용하였다.

- 광원 조도가 낮을 때, 즉 적외선 복사가 거의 존재하지 않거나 가시 자극이 없을 때  $EL$ 은 7 mm(면적  $38.5 \text{ mm}^2$ )를 기준으로 하였다. 7 mm 지름은 노출 지속시간 0.25초 미만 동안 펄스 광원으로 생긴 광 생물학적 위험을 평가할 때도 가정하였다.
- 근적외 광원을 높은 주위 광 수준과 함께 사용하는 상황에서, 동공 지름 3 mm를 가정할 수 있으며, 노출 한계는 동공 지름비를 제공하여 더 높은 값으로 조정할 수 있다. 이러한 조건에서  $EL$ 은  $(7/3)^2 = 5.5$  비율 만큼 증가할 수 있다.

#### 4.2.2 광원의 대향각과 측정 심도

파장 범위 380 nm - 1400 nm의 복사에서, 조사된 망막 면적은 청색광 위험과 망막 열 위험에 대한  $EL$ 을 결정할 때 중요한 요소이다. 안구의 각막과 렌즈는 겉보기 광원을 망막에 초점을 모으기 때문에 조사된 면적을 설명하는 최선의 방법은 이 면적을 겉보기 광원의 대향각  $\alpha$ 에 관련시키는 것이다. 눈의 물리적 한계 때문에 정지한 눈의 망막에 형성될 수 있는 최소 이미지는 점광원에 대한 최소값  $\alpha_{\min}$ 으로 제한된다. 이 규격에서  $\alpha_{\min}$  값은 0.0017 라디안이다. 펄스 광원이나 매우 높은 복사휘도 연속과 광원이든 상관없이, 0.25초(깜빡임 반사 시간)에서 망막 열  $EL$ 에 관련된 겉보기 점광원에서 방출된 복사 측정은 0.0017 라디안 대향각을 측정 심도로 사용해야 한다.

약 0.25초보다 긴 시간의 경우, 빠른 안구 운동은 이 규격에서 더 큰 각( $\alpha_{\text{eff}}$ )에서 광원의 이미지를 희미하게 한다. 노출 시간이 10초인 경우, 점광원의 희미해진 이미지는 약 0.011 라디안의 각에 상당하는 망막 면적을 덮는다. 따라서 노출 지속시간이 10초일 때 망막 열 위험 또는 청색광 위험에 대한  $EL$ 을 비교하기 위해 복사휘도를 측정할 때 사용해야 할 유효 대향각  $\alpha_{\text{eff}}$ 는 0.011 라디안이어야

한다. 연속적인 경우 0.25초 - 10초 사이  $\alpha_{\text{eff}}$ 의 의존성은  $\alpha_{\min}$ 에서 0.011 라디안으로 증가하는 것으로 가정한다. 시간의 제곱근  $\alpha_{\text{eff}}$ 는  $\alpha_{\min} \cdot t^{0.5}$ , 즉  $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\min} \cdot \sqrt{(t/0.25)}$ 에 비례하기 때문이다.

이 시간 의존도를 입증하기 위해 사용할 수 있는 데이터는 매우 적다. 따라서 주의하여 사용하는 것이 바람직하다. 광원 복사휘도는 대개 0.25초에서 또는 10초에서 평가되기 때문에 시간 의존도는 대개 필요하지 않다. 6.에서 설명한 위험 기준을 검토하여 측정할 수 있기 때문이다.

또한, 청색광 위험의 경우 노출 시간이 100초를 초과한다면 작은 선언에서 조사된 망막의 면적은 임무가 결정된 안구 운동 때문에 더 큰 면적 위에서 분포하게 될 것이다. 이 때 안구가 의학적으로 고정된 상황, 예를 들면 안과 수술하는 동안에는 제외한다. 청색광 위해 노출 한계와 비교하기 위한 광원의 복사휘도 측정의 경우 유효 대향각  $\alpha_{\text{eff}}$ 는 시간이 100초 미만인 경우 0.011 라디안으로 설정한다. 시간이 10,000초를 초과하는 경우에는  $\alpha_{\text{eff}}$ 를 0.1 라디안으로 설정한다. 다시 편의를 위해  $\alpha_{\text{eff}}$ 는 100초 - 10,000초 사이 시간에서 시간의 제곱근으로 증가한다고 가정한다. 즉,  $\alpha_{\text{eff}} = 0.011 \cdot \sqrt{(t/100)}$ 이다(이 공식은 정확하지 않다는 사실에 주의한다). 이 규격에서 대향각의 최대값  $\alpha_{\max}$ 는 모든 망막 위험에 대해 0.1 라디안이다. 따라서 100초를 초과하는 시간에서  $\alpha_{\text{eff}}$ 는  $\alpha_{\max}$ 와 동일하다.

최대 대향각  $\alpha_{\max}$ 를 넘는 각도를 마주 대하는 겉보기 광원의 경우, 망막 위험에 대한  $EL$ 은 광원 크기와 무관하다.

타원형 광원의 대향각은 광원의 최대 각 치수와 최소 각 치수를 산술 평균하여 결정한다. 예를 들면, 램프 축에 수직인 방향에서 관측 거리  $r = 200 \text{ mm}$ 에서 길이  $20 \text{ mm}$  x 지름  $3 \text{ mm}$  관형 광원의 경우  $\alpha$  는 평균 치수  $Z$  으로 측정한다.

$$Z = (20 + 3) / 2 = 11.5 \text{ mm}$$

따라서

$$\alpha = Z / r = 11.5 / 200 = 0.058 \text{ 라디안}$$

산술 평균을 구하기 전에,  $\alpha_{\max}$  를 초과하는 모든 각 치수는  $\alpha_{\max}$  로 제한되어야 하며,  $\alpha_{\min}$  미만의 모든 각 치수는  $\alpha_{\min}$  으로 제한되어야 한다. 따라서 위의 예에서 유효 광원 크기를 산출할 때 직선 거리가  $20 \text{ mm}$ 를 초과한다면  $20 \text{ mm}$ 의 값만 사용하면 된다.

### 4.3 위해 노출 한계

#### 4.3.1 피부와 눈에 대한 화학적 자외선 위해 노출 한계

보호되지 않은 피부나 눈에 입사하는 자외선 복사의 노출 한계는 8시간 이내의 노출에 적용한다. 8시간을 초과하는 시간 동안 연속 노출은 고려할 필요가 없다. 유효 복사 노출에 대한 노출 한계는  $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  이다.

광대역 광원에 의해 발생한 자외선 복사 노출로부터 눈이나 피부의 부상을 보호하기 위해서는 광원의 유효 적분 스펙트럼 복사조도  $E_s$  가 다음에 의해 정의된 수준을 초과하지 않아야 한다.

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \quad \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (4.1)$$

여기에서,

$E_\lambda(\lambda, t)$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ )

$S_{UV}(\lambda)$  : 화학적 자외선 위해 가중 함수

$\Delta \lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

$t$  : 노출 지속시간(단위: 초)

화학적 자외선 위해 가중 함수  $S_{UV}(\lambda)$  를 그림 4.1에 그래프 형태로 표시하였다. 이 함수는 고차수의 크기에 걸쳐 있기 때문에  $S_{UV}(\lambda)$  를 대수적으로 표시하였다. 이 밖에도  $S_{UV}(\lambda)$  의 스펙트럼 값을 표 4.1에 열거하였다.

보호되지 않은 눈이나 피부에 입사하는 자외선 복사의 허용 노출 시간은 다음 식으로 산출한다.

$$t_{\max} = \frac{30}{E_s} \text{ s} \quad (4.2)$$

여기에서

$t_{\max}$  : 허용 노출시간 (단위: 초)

$E_s$  : 유효 자외선 복사조도 (단위:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

표 4.1 - 피부와 눈에 대한 자외선 위험을 평가하기 위한 스펙트럼 가중 함수

| 파장 <sup>1</sup><br>$\lambda, nm$ | 자외선 위해 함수<br>$S_{UV}(\lambda)$ | 파장<br>$\lambda, nm$ | 자외선 위해 함수<br>$S_{UV}(\lambda)$ |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 200                              | 0,030                          | 313                 | 0,006                          |
| 205                              | 0,051                          | 315                 | 0,003                          |
| 210                              | 0,075                          | 316                 | 0,0024                         |
| 215                              | 0,095                          | 317                 | 0,0020                         |
| 220                              | 0,120                          | 318                 | 0,0016                         |
| 225                              | 0,150                          | 319                 | 0,0012                         |
| 230                              | 0,190                          | 320                 | 0,0010                         |
| 235                              | 0,240                          | 322                 | 0,00067                        |
| 240                              | 0,300                          | 323                 | 0,00054                        |
| 245                              | 0,360                          | 325                 | 0,00050                        |
| 250                              | 0,430                          | 328                 | 0,00044                        |
| 254                              | 0,500                          | 330                 | 0,00041                        |
| 255                              | 0,520                          | 333                 | 0,00037                        |
| 260                              | 0,650                          | 335                 | 0,00034                        |
| 265                              | 0,810                          | 340                 | 0,00028                        |
| 270                              | 1,000                          | 345                 | 0,00024                        |
| 275                              | 0,960                          | 350                 | 0,00020                        |
| 280                              | 0,880                          | 355                 | 0,00016                        |
| 285                              | 0,770                          | 360                 | 0,00013                        |
| 290                              | 0,640                          | 365                 | 0,00011                        |
| 295                              | 0,540                          | 370                 | 0,000093                       |
| 297                              | 0,460                          | 375                 | 0,000077                       |
| 300                              | 0,300                          | 380                 | 0,000064                       |
| 303                              | 0,120                          | 385                 | 0,000053                       |
| 305                              | 0,060                          | 390                 | 0,000044                       |
| 308                              | 0,026                          | 395                 | 0,000036                       |
| 310                              | 0,015                          | 400                 | 0,000030                       |

<sup>1</sup> 선택한 파장은 대표적인 것이다. 다른 값은 중간 파장에서 로그 보간으로 얻는 것이 바람직하다.  
\* 수은 방전 스펙트럼의 방출선

#### 4.3.2 눈에 대한 근자외선 위해 노출 한계

스펙트럼 영역 315 nm - 400 nm(UV-A)에서 눈에 대한 총 복사 노출은 노출 시간이 1,000초 미만인 경우  $10,000 J \cdot m^{-2}$ 를 초과하지 않아야 한다. 노출 시간이 1,000초(약 16분)를 초과하는 경우, 보호되지 않은 눈에 대한 UV-A 복사조도  $E_{UVA}$ 는  $10 W \cdot m^{-2}$ 를 초과하지 않아야 한다. 이 말은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{UVA} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10,000 J \cdot m^{-2} \quad (t < 1000 \text{ 초}) \quad (4.3a)$$

$$E_{UVA} \leq 10 W \cdot m^{-2} \quad (t \geq 1000 \text{ 초}) \quad (4.3a)$$

여기에서,

$E_{\lambda}(\lambda, t)$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ )

$\Delta \lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

t : 노출 지속시간 (단위: 초)

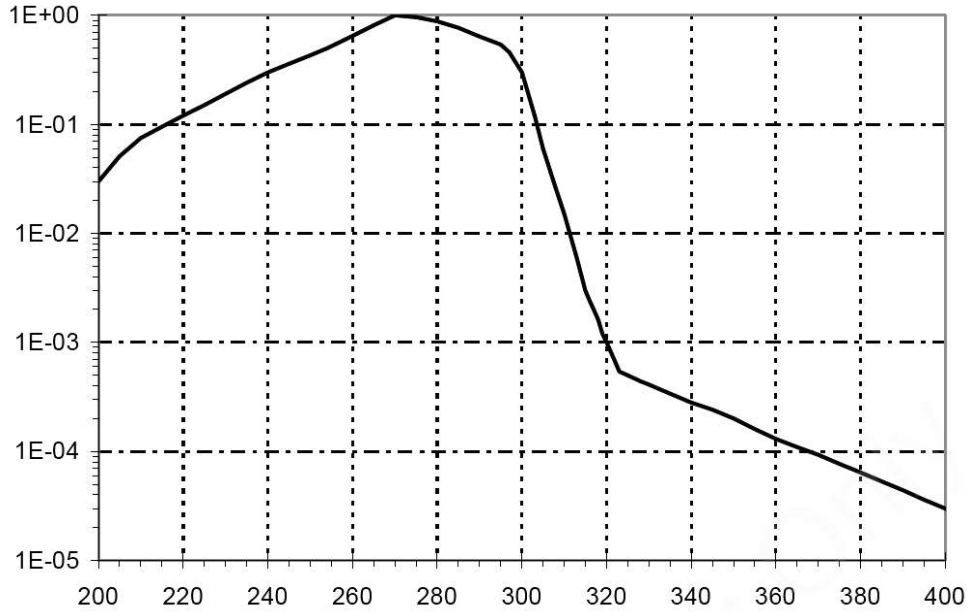


그림 4.1 - 피부와 눈에 대한 화학적 자외선 위해 스펙트럼 가중 함수  $S_{UV}(\lambda)$

노출 시간이 1,000초미만인 경우, 보호되지 않은 눈이나 피부에 입사하는 자외선 복사의 허용 노출 시간은 다음 식으로 산출한다.

$$t_{\max} \leq \frac{10,000}{E_{UVA}} \text{ s} \quad (4.4)$$

**비고** UV-A 영역에서 눈 노출의 경우, 1989년에 ICNIRP는 위의  $EL$ 을 1,000초에서 10,000초 (2.6시간)까지는 10,000  $J \cdot m^{-2}$ 의 복사 노출로 확장하고 10,000초  $\leq$  20,000초(8시간)에서는 1  $W \cdot m^{-2}$ 로 확장하도록 변경하였다.

#### 4.3.3 망막 청색광 위해 노출 한계

만성적인 청색광 노출로 인해 망막의 광화학적 부상을 방지하기 위해, 청색광 위해 함수  $B(\lambda)$ 에 대해 가중된 광원의 적분 스펙트럼 복사조도, 즉, 청색광 가중 복사조도  $L_B$ 는 다음에 의해 정의된 수준을 초과하지 않아야 한다.

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 \text{ } J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \text{ (} t \leq 10^4 \text{초인 경우)} \quad (4.5a)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ } W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \text{ (} t > 10^4 \text{초인 경우)} \quad (4.5b)$$

여기에서,

$L_{\lambda}(\lambda, t)$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ )

$B(\lambda)$  : 청색광 위해 가중 함수

$\Delta \lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

$t$  : 노출 지속시간 (단위: 초)

청색광 스펙트럼 가중 함수  $B(\lambda)$  를 망막 열 가중 함수  $R(\lambda)$  에 따라 **그림 4.2**에 그래프 형태로 표시하였다. 또, **그림 4.1**에서처럼, 이 함수는 고차수의 크기에 걸쳐 있기 때문에 세로축 값을 대수적으로 표시하였다. 이 밖에도  $B(\lambda)$  와  $R(\lambda)$ 의 스펙트럼 값을 **표 4.2**에 열거하였다.

**표 4.2 - 광대역 광원으로 발생한 망막 위해를 평가하기 위한 스펙트럼 가중 함수**

| 파장<br>nm  | 청색광 위해 함수<br>$B(\lambda)$ | 화상 위해 함수                           |
|-----------|---------------------------|------------------------------------|
| 300       | 0,01                      |                                    |
| 305       | 0,01                      |                                    |
| 310       | 0,01                      |                                    |
| 315       | 0,01                      |                                    |
| 320       | 0,01                      |                                    |
| 325       | 0,01                      |                                    |
| 330       | 0,01                      |                                    |
| 335       | 0,01                      |                                    |
| 340       | 0,01                      |                                    |
| 345       | 0,01                      |                                    |
| 350       | 0,01                      |                                    |
| 355       | 0,01                      |                                    |
| 360       | 0,01                      |                                    |
| 365       | 0,01                      |                                    |
| 370       | 0,01                      |                                    |
| 375       | 0,01                      |                                    |
| 380       | 0,01                      | 0,1                                |
| 385       | 0,013                     | 0,13                               |
| 390       | 0,025                     | 0,25                               |
| 395       | 0,05                      | 0,5                                |
| 400       | 0,10                      | 1,0                                |
| 405       | 0,20                      | 2,0                                |
| 410       | 0,40                      | 4,0                                |
| 415       | 0,80                      | 8,0                                |
| 420       | 0,90                      | 9,0                                |
| 425       | 0,95                      | 9,5                                |
| 430       | 0,98                      | 9,8                                |
| 440       | 1,                        | 10,0                               |
| 445       | 0,                        | 9,7                                |
| 450       | 0,                        | 9,4                                |
| 455       | 0,                        | 9,0                                |
| 460       | 0,                        | 8,0                                |
| 465       | 0,                        | 7,0                                |
| 470       | 0,                        | 6,2                                |
| 475       | 0,                        | 5,5                                |
| 480       | 0,                        | 4,5                                |
| 485       | 0,                        | 4,0                                |
| 490       | 0,                        | 2,2                                |
| 495       | 0,                        | 1,6                                |
| 500-600   | $10^{[(450-\lambda)/50]}$ | 1,0                                |
| 600-700   | 0,001                     | 1,0                                |
| 700-1050  |                           | $10^{[(700-\lambda)/500]}$         |
| 1050-1150 |                           | 0,2                                |
| 1150-1200 |                           | $0,2 \cdot 0^{0,02(1150-\lambda)}$ |
| 1200-1400 |                           | 0,02                               |

$100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$  을 초과하는 가중 광원 복사 휘도  $L_B$ 의 최대 허용 노출 지속시간  $t_{\max}$ 는 다음 식으로 산출한다.

$$t_{\max} = \frac{10^6}{L_B} \text{ s} \quad (t \leq 10^4 \text{ 초인 경우}) \quad (4.6)$$

여기에서

$t_{\max}$  : 최대 허용 노출시간 (단위: 초)

$L_B$  : 청색광 위해 가중 복사조도

**비고 1** 스펙트럼 복사휘도  $L_\lambda$ 는 4.2.2.에서 설명한 대로,  $\alpha_{eff}$ 의 직원별 심도에서 평균을 구해야 한다

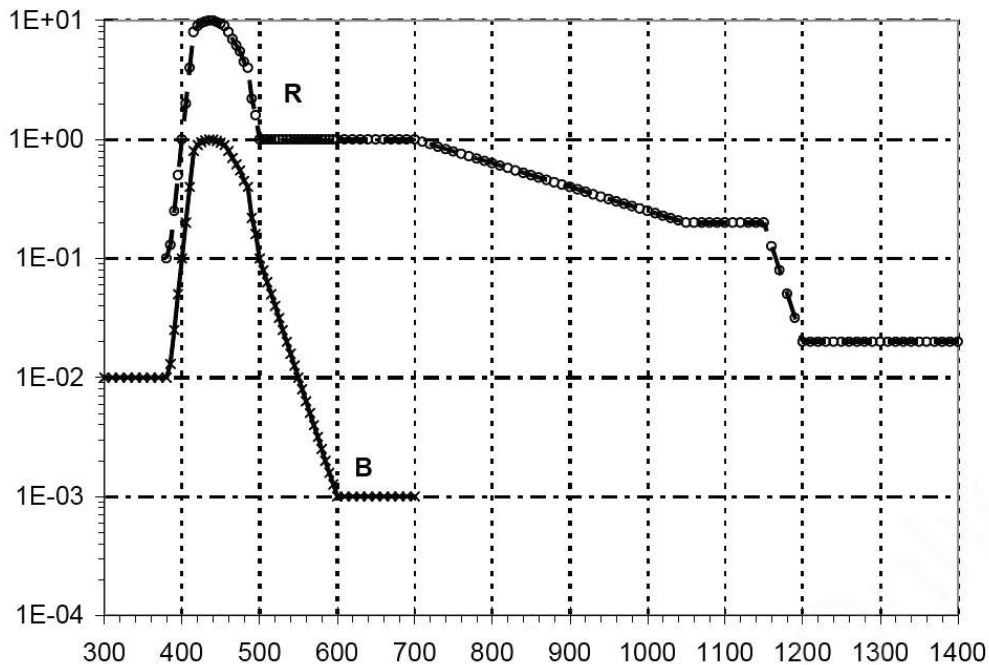


그림 4.2 - 망막 위해에 대한 스펙트럼 가중 함수:  $B(\lambda)$ 와  $R(\lambda)$

**비고 2** 인접하지 않은 광원 요소가 여러 개인 경우, 이 기준은 단일 광원 요소에 적용한다. 그리고 전체 광원에서 평균 복사휘도를 사용할 때는 전체적으로 광원을 적용한다.

#### 4.3.4 망막 청색광 위해 노출 한계 - 소형 광원

0.011 라디안미만의 각을 마주 대하는 광원의 경우, 4.3.3의 한계는 스펙트럼 복사휘도가 아니라 스펙트럼 복사조도에 근거한 더 간단한 식으로 표현된다. 식 (5.4)를 적용하면 0.011 라디안의 마주 대하는 각에 대한 L과 E의 관계는 약 104 계수가 된다는 것을 표시할 수 있다. 따라서 청색광 위해 함수  $B(\lambda)$ 에 대해 가중된 눈의 스펙트럼 조도  $E_\lambda$ 는 다음으로 정의된 수준을 초과하지 않아야 한다.

$$E_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t \leq 100 J \cdot m^{-2} \quad J \cdot m^{-2} \quad (t \leq 100 \text{초인 경우}) \quad (4.7a)$$

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 1 \quad W \cdot m^{-2} \quad (t > 100 \text{초인 경우}) \quad (4.7b)$$

여기에서,

$E_\lambda(\lambda, t)$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ )

$B(\lambda)$  : 청색광 위해 가중 함수

$\Delta\lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

$t$  : 노출 지속시간 (단위: 초)

청색광 가중 복사조도  $E_B$ 가  $0.01 W \cdot m^{-2}$ 를 초과하는 광원의 경우, 최대 허용 노출 지속시간은 다음으로 산출한다.

$$t_{\max} = \frac{100}{E_B} \text{ s} \quad (t \leq 100 \text{초인 경우}) \quad (4.8)$$

여기에서

$t_{\max}$  : 최대 허용 노출시간 (단위: 초)

$E_B$  : 청색광 위해 가중 복사조도

**비고 1**  $E_B$ 가 시간에 독립적으로 되는 노출 시간은 식(4.6)에서  $L_B$ 에 대해 주어진 10,000초가 아니라 100초라는 것에 주의한다. 이렇게 바뀐 이유는 노출 시간이 100초를 초과하는 경우에는 망막의 조사 면적 지름이 시간의 제곱근에 따라 증가한다고 가정하였기 때문이다. 따라서 망막의 유효 복사조도는 감소하며, 망막 복사 노출은 임무가 정해진 안구 운동을 가정하였기 때문에 100초 - 10,00초 사이의 노출 지속시간에서 시간에 독립적으로 된다. 이러한 거동을 그림 5.4에  $E_B$ 의 그래프 표현으로 나타내었다.

**비고 2** 안과 기구에 대한 또는 조사 중에 안구 운동이 최소가 되는 안정화된 눈에 대한 노출 시간은 10,000초로 확대되었다. 이것은 이러한 경우에 청색광 가중 복사조도가  $10^{-2} W \cdot m^{-2}$ , 즉 식 (4.7b)에 표시한 것보다 100배 더 작게 되는 것이 바람직하다.

#### 4.3.5 망막 열 위해 노출 한계

망막 열 부상을 방지하기 위해 화상 위해 가중 함수  $R(\lambda)$ 에 대해 가중된 광원의 적분 스펙트럼 복사조도, 즉, 화상 위해 가중 복사조도  $L_R$ 는 다음에 의해 정의된 수준을 초과하지 않아야 한다.

$$L_R = \sum_{380}^{1,400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50,000}{\alpha \cdot t^{0.25}} \quad W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \quad (100\mu s \leq t \leq 10s) \quad (4.9)$$

여기에서,

$L_\lambda$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ )

$R(\lambda)$  : 청색광 위해 가중 함수

$\Delta\lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

$\alpha$  : 광원의 대향각 (단위: 라디안)

**비고 1**  $L_{\lambda}$  는 0.0017 이상 0.1 이하 라디안의 직원뿔 심도에서 평균을 구해야 한다.

**비고 2** 인접하지 않은 광원 요소가 여러 개인 경우, 이 기준은 단일 광원 요소에 적용한다. 그리고 전체 광원에서 평균 복사휘도를 사용할 때는 전체적으로 광원을 적용한다.

#### 4.3.6 망막 열 위해 노출 한계 - 약한 시각 자극

혈오 반응을 활성화하는데 약한 시각 자극이 부적합한 적외선 열 램프 또는 근적외 광원의 경우, 노출 시간이 10초를 초과하는 눈에서 보았을 때 근적외선(780 nm - 1,400 nm) 복사휘도  $L_{IR}$ 은 다음으로 제한되어야 한다.

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1,400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6,000}{\alpha} \quad W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \quad (t > 10초) \quad (4.10)$$

여기에서,

$L_{\lambda}$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ )

$R(\lambda)$  : 화상 위해 가중 함수

$\Delta\lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

t : 노출 시간 (단위: 초)

$\alpha$  : 대향각 (단위: 라디안)

약한 시각 자극은 그 최대 조도(0.011 라디안을 마주 대하는 원형 심도에서 평균을 구함)이

$10 \text{ cd} \cdot m^{-2}$  미만인 것으로 정의한다.

**비고 1**  $L_{\lambda}$  는 0.011 이상 0.1 이하 라디안의 직원뿔 심도에서 평균을 구해야 한다.

**비고 2** 식 4.11a와 b에서 표현된 한계는 7 mm 지름 동공을 기준으로 한 것이다. 광원 복사조도가 약하다고 가정하였기 때문이다. 주위 빛이 놓을 수 있는 상황에서 3 mm의 동공 지름은 EL이 동공 지름의 비율(계수 5.5)을 제공한 것 만큼 더 높은 값으로 조정될 수 있다는 것을 의미한다고 가정할 수 있다. 즉 EL은  $33,000/\alpha W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ 로 증가할 수 있다(4.2.1 참조).

#### 4.3.7 눈에 대한 적외선 복사 위해 노출 한계

각막의 열 부상과 눈 렌즈에 미치는 지연 효과(백내장 발생)를 방지하기 위해, 파장 범위 780 nm - 3,000 nm에서 1,000초 미만의 시간 동안 적외선 복사에 대한 눈 노출은 다음을 초과하지 않아야 한다.

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3,000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18,000 \cdot t^{-0.75} \quad W \cdot m^{-2} \quad (t \leq 1,000초) \quad (4.11a)$$

시간이 1,000초를 초과하는 경우, 그 한계는 다음과 같이 된다.

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3,000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad W \cdot m^{-2} \quad (t > 1,000초) \quad (4.11b)$$

여기에서,

$E_{\lambda}$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ )

$\Delta\lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

t : 노출 시간 (단위: 초)

**비고 1** 추운 환경에서, 장시간 노출 한계는 복사 난방에 적외 광원을 사용하는 응용의 경우에는

0 °C 에서  $400 \text{ W} \cdot m^{-2}$ , 10 °C 에서  $300 \text{ W} \cdot m^{-2}$  까지 증가할 수 있다.

**비고 2** IR-C의 기여는 모든 백열광 광원에 대한 한계에 이미 포함되었다.

#### 4.3.8 피부에 대한 열 위해 노출 한계

피부의 가시 노출과 적외선 복사 노출(380 nm - 3,000 nm)는 다음으로 제한되어야 한다.

$$E_H \cdot t = \sum_{380}^{3,000} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 20,000 \cdot t^{-0.25} \quad J \cdot m^{-2} \quad (t \leq 10 \text{ 초}) \quad (4.7a)$$

여기에서,

$E_\lambda(\lambda, t)$  : 스펙트럼 복사조도 (단위:  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ )

$\Delta \lambda$  : 대역폭 (단위: nm)

t : 노출 지속시간 (단위: 초)

**비고** 이 노출 한계는 조직 온도의 상승으로 인한 피부 부상을 기준으로 한 것이며, 작은 면적의 조사에만 적용한다. 기간이 10초를 초과하는 노출 한계는 제공하지 않는다. 피부 부상에 필요한 피부 온도 이하에서는 심한 통증이 생기며, 통상적으로 편의를 위해 개인의 노출을 제한한다. 넓은 면적의 조사와 열 응력은 평가하지 않는다. 이 경우에는 제품 안전 표준에 적용할 수 없지만 환경 열 응력 기준으로 평가되어야 하는 개인과 환경 간의 열 교환, 물리적 활동, 각종 요인을 고려해야 하기 때문이다.

### 5 램프와 램프 장치의 측정

광 생물학적 복사값을 산출하는 것이 목적인 광학 복사의 측정은 광학복사 측정자들에게 엄청난 도전을 부여한다.  $S_{UV}(\lambda)$  등 전형적인 광 생물학적 작용 스펙트럼은 파장이 약간 변하더라도 값이 심하게 변한다. 더구나 유리 덮개가 있는 램프 광원에서 복사를 전달하는 것은  $S_{UV}(\lambda)$ 가 급격히 감소하는 영역에서 파장을 증가시켜 출력을 급격하게 증가시킨다. 따라서 가중 결과의 정확도 문제를 철저히 검토해야 한다.

복사조도 측정은 실행하기가 어렵지 않지만 복사휘도 측정은 쉽게 할 수 있는 것이 아니며, 특히 광 생물학적 위해에 대해서는 위해 평가에 따라 변하는 심도가 포함되기 때문에 실시하기가 어렵다. 이러한 이유로 각종 램프와 램프 장치의 위험군 분류를 지정하는데 사용할 방출을 측정하는데 필요한 조건과 절차에 관해서 다소 오랜 논의가 필요하다는 생각을 갖게 되었다.

이 규격에서 설명한 측정 절차는 생물리학적 현상을 고려하도록 고안되었다. 특히 이 절차에는 일반적인 복사 측정에 부적합한 것으로 간주되는 구경 또는 심도에 대한 평균이 포함될 수 있다. 그러나 비평균 측정값을 각 노출 한계와 비교할 수 있다면 위해는 과대평가될 수 있다.

심도 효과를 포함하여 4.3.에서 개발한 각종 노출 한계를 더 잘 비교하기 위해 이 항의 끝에 표와 그래프 형태로 요약하였다. 따라서 그림 5.4와 표 5.4는 복사조도에 기반한 위해 노출량 각각에 대한 최대값을 노출 시간의 함수로 요약한 반면, 그림 5.5와 표 5.5는 최대 복사조도에 기반한 (망막) 위해 노출량을 노출 시간의 함수로 요약하였다.

**비고** 모든 위해 평가에서 상위 파장 범위는 1.에서 3,000 nm로 주어졌다. 단색화 분광기를 사용하는 스펙트럼 복사조도 또는 복사휘도 측정은 신호 응답이 없기 때문에 IR에서 특히 2,500 nm - 3,000 nm에서는 하기 어렵고, 교정된 광원을 얻기도 어렵다. 그러나, 1,400 nm를 초과하는 파장에서는 가중 함수가 정의되어 있지 않다. 따라서 1,400 nm - 3,000 nm 파장에 대한 광대역 측정은 이 영역에서 눈과 피부에 대한 IR 위해 조건을 평가하는데 적합하다.

## 5.1 측정 조건

노출 한계 평가와 위험 분류 지정의 일환으로 측정 조건을 기록한다.

### 5.1.1 램프 열화(건조)

측정 중에 안정적인 출력을 유지하고 결과를 재현할 수 있도록 램프를 적합한 기간 동안 건조시킨다. 초기 동작 기간 중에는 램프 구성요소가 거의 평형에 도달하기 때문에 램프 출력 특성이 변한다. 건조하지 않은 램프에서 측정을 한다면 측정 기간 내에서의 변화와 측정 간 변화는 클 수 있다. 램프 출력은 대개 수명에 따라 감소하기 때문에 건조 시간은 보존적 위해 평가를 할 수 있을 정도로 짧은 것이 바람직하다.

램프의 건조는 해당하는 IEC 램프 표준의 규정에 따라 실시한다.

**비고** 형광등 또는 고휘도 방전램프 같은 방전 램프의 건조 시간은 대개 100시간이고, 텅스텐 램프의 경우는 정격 램프 수명의 1% 차수이다. 그러나 이러한 건조 기준은 솔라리아 램프 같은 특수 응용의 경우에는 다를 수 있다.

### 5.1.2 시험 환경

광원을 정확하게 측정하려면 환경을 통제해야 한다. 광원과 측정 장비의 운영은 환경 요인의 영향을 받는다. 이 밖에도 측정 경로에 오존이 형성된다면 정확도가 손상될 수 있으며 안전 위해가 발생할 수 있다. 구체적인 시험 조건은 해당 IEC 램프 표준을 참조하거나 이러한 표준이 없는 경우에는 해당 국가 표준 또는 제조자의 권고안을 따른다.

주위 온도는 특정 광원(예: 형광등)의 출력에 현저한 영향을 미친다. 측정을 실시하는 주위 온도를 해당 IEC 램프 표준에 따라 유지해야 한다.

일부 광원의 특성은 통풍에 의해 상당한 영향을 받을 수도 있다. 램프 자체로 인한 자연 대류로 생긴 것이 아닌, 시험 램프의 표면 위 공기 움직임은 안전을 고려하면(오존 생성) 가능한 한 많이 줄이는 것이 바람직하다. 피시험 장치에 순환을 관리하는 연동장치가 있는 경우에는 순환시켜 측정을 실시해야 한다.

### 5.1.3 외부 복사

외부 복사원과 반사가 측정 결과에 심하게 더해지지 않도록 세밀하게 검사하는 것이 바람직하다.

외부 복사를 줄이기 위해 종종 배플을 사용하기도 한다. 육안으로 검은색으로 보이는 표면은 자외선과 적외선 복사를 반사시킬 수 있다는 점에 주의한다. 또한 적외선 측정시에는 배플을 마주 보는 입력 각도가 크기 때문에 고온 배플로 인한 복사도 고려해야 한다.

### 5.1.4 램프 작동

시험 램프는 해당 IEC 램프 표준에 따라 작동해야 한다. 램프에 대한 표준이 없다면 램프 제조자의 작동 권고안을 준수하는 것이 바람직하다.

### 5.1.5 램프 장치 작동

시험 램프 작동 전원을 해당 IEC 표준에 따라 제공해야 한다. 제어장치에 대한 표준이 없다면 램프 제조자의 작동 권고안을 준수하는 것이 바람직하다.

## 5.2 측정 절차

### 5.2.1 복사조도 측정

이 설명은 광대역 및 스펙트럼 복사조도 측정에 모두 적용한다. 복사조도를 측정하기에 이상적인 계기는 원하는 신호대 잡음비를 산출한 다음 측정하기에 충분한, 지름 D의 평면 원형 면적 검출기이다.

- 중심선이 검출기 면적 평면에 수직한 직원뿔 내에서 복사를 수용한다.
- 법선에서 검출기 면적이 이루는 각도의 코사인에 따라 변하는 각 공간 응답을 갖는다.
- $\lambda_1$ 에서  $\lambda_2$ 까지 규정된 파장 대역 내에서 위치하여 일정한 스펙트럼 응답을 갖는다.

이 규격에서 최소 입력 구경 지름은 7 mm이어야 하며, 최대 입력 구경 지름은 50 mm 이어야 한다.

지름 25 mm의 평면 원형 구경은 소형 적분 구가 일반적이며 단색화 분광기의 입력으로 사용한다.

25 mm 지름 구경은 공간적으로 균일한 광학 복사 패턴을 갖는 광원을 사용한다. 공간적으로 균일한 복사조도를 생성하지 못하는 광원, 예를 들면 좁은 빔 반사기 램프의 경우, 침투 복사조도(강도)는 지름 구경이 25 mm가 안 되는 것을 사용하여 얻은 측정값보다 현저하게 더 높을 수 있다. 이러한 경우에 검출기 구경은 7 mm 지름 구경으로 제한해야 한다.

**그림 5.1**은 복사조도 또는 스펙트럼 복사조도 측정을 하는데 관련된 주요 개념을 그림으로 표현한 것이다. 필요한 경우에는 검출기 지름에 비해 큰 수용체에서 얼마간 떨어져 있으며 반각의 심도를 제한하는 구경을 포함시킨다.

이 측정은 최대 판독이 가능한 빔 위치에서 실시해야 한다. 단위 수광 면적 당 절대 입사 복사력을 판독할 수 있도록 계기를 교정해야 한다.

**비고 1** 실용적인 관점에서 볼 때 입력 구경을 바꾸려면 복사계 또는 분광 복사계를 재교정하는 상당한 추가 작업이 필요하다. 거리에 따른 복사조도의 변화가 알려져 있다면, 더 낮은 구경 요구사항을 얻는 한 가지 방법은 광원에서 떨어져 있는 검출기 구경을 측정 거리까지 옮기는 것이다. 이 때 200 mm 거리에 있는 7 mm 구경 원뿔은 이제 25 mm 구경, 즉, 표준 평가 거리의 약 3.5배 거리를 채운다.

**비고 2** 측정된 복사조도는 위해를 과대평가할 수 있기 때문에 규정된 것보다 더 작은 구경에서 평균을 구하지 않는 것이 좋다. 평균 구경의 최소 크기는 생리학적 및 행태 요인과 관련이 있으며, 특정 표면적에서 입사 복사의 평균이 된다.

**비고 3** 눈 생리학 등 수많은 이유로, **4.3.1**과 **4.3.2**에서 규정한 자외선 복사의 모든 노출 수준은 80도(1.4 라디안) 미만의 각도를 마주 대하는 광원, 즉 복사조도 면적의 법선의 40도 이내에 있는 광원을 사용한다. 따라서 더 큰 각도를 마주 대하는 광원에서의 방출은 80도의 전체 각도에서만 측정해야 한다.

복사조도 측정은 이 규격의 **4.3**.에서 설명한 다음의 위해에 적용한다.

- 315 nm - 400 nm 눈 노출 한계,  $E_{UVA}$
- IR 위해 노출 한계,  $E_{IR}$
- 피부 - 열 위해 노출 한계,  $E_H$

스펙트럼 복사조도 측정은 이 규격의 **4.3**.에서 설명한 다음의 위해에 적용한다.

- 200 - 400 nm 피부 및 눈 노출 한계,  $E_S$
- 망막 청색광 위해 노출 한계 - 작은 광원,  $E_B$

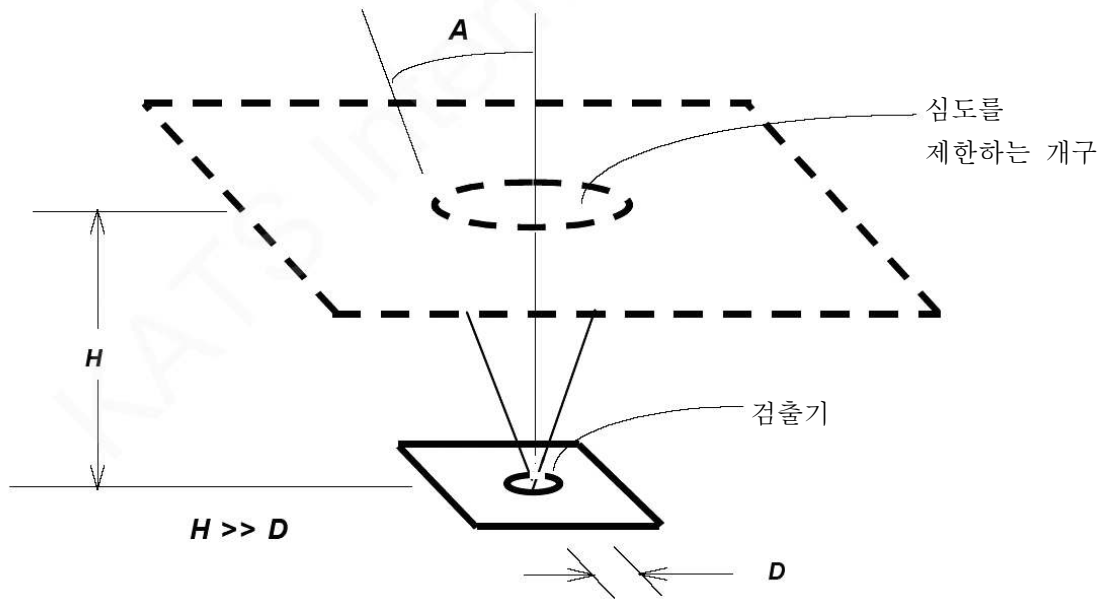


그림 5.1 - 복사조도 측정의 개념도

## 5.2.2 복사조도 측정

### 5.2.2.1 표준 방법

이 설명은 광대역 및 스펙트럼 복사조도 측정에 모두 적용한다. 복사휘도 측정은 다음의 광학 장치로 실시한다(그림 5.2 참조).

- 복사원을 검출기에 비추는 장치
- 평균 심도의 규정된 각 범위를 정하는 원형 필드 조리개가 있는 장치
- 복사조도 측정의 의미에서 평균 구경 역할을 하며 5.2.1에서 설명한 요구사항을 이행하는 원형 입구동(구경 조리개)이 있는 장치. 각이 작은 경우, 검출기 지름과 결상 장치의 초점 거리의 관계

는  $d = \alpha_{eff} H$  가 된다.

복사조도 측정과 마찬가지로, 그림 5.2와 같이 최소 구경 정지 지름  $D$ 는 펄스 광원의 경우 7 mm 동공 지름에 해당하며, 동공이 더 작을 수 있지만 안구와 두부 운동이 이 구경 평균을 허용하는 cw 광원에 대해 생물리학적으로 인정된 평균 구경이다. 복사조도 측정과 마찬가지로, 구경 조리개는 입사 복사조도 분포가 충분히 균일하다면 7 mm를 초과할 수 있다.

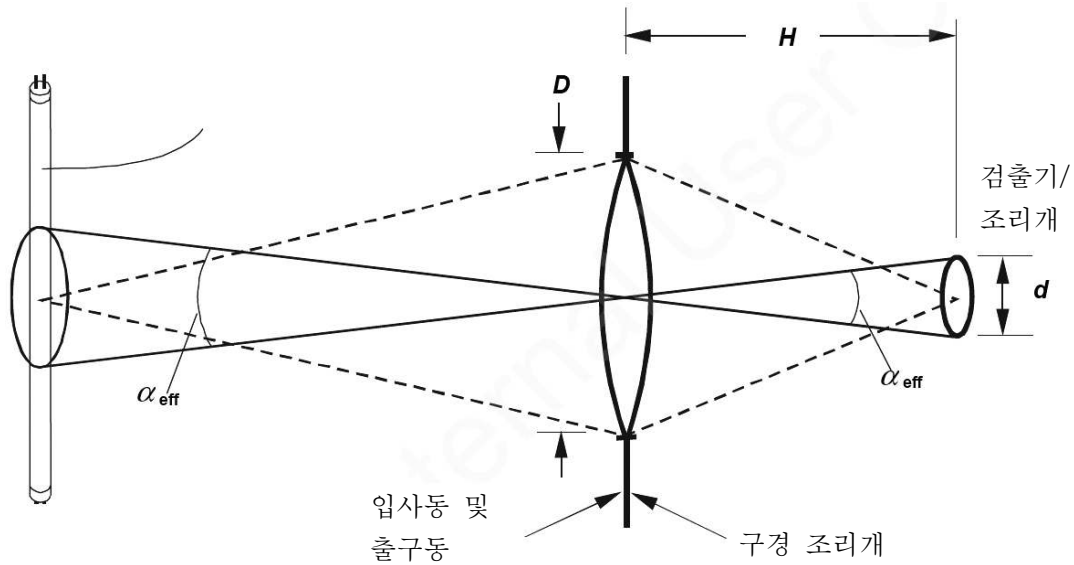


그림 5.2 - 복사휘도 측정을 위한 결상 장치의 예

계기의 심도(FOV)에서 평균하여 구한 단위 입체 수광각 당 그리고 단위 수광 면적 당 절대 입사 복사력을 판독할 수 있도록 계기를 교정해야 한다.

**비고** 복사휘도의 측정은 규정된 심도보다 더 작은 심도에서 평균을 구하지 말아야 한다. 그 이유는 위해를 과대 평가할 수 있기 때문이다. 평균한 심도의 크기는 망막보다 더 큰 면적 위에 광원의 상에 대한 복사력을 분산하는 안구 운동의 범위와 관련이 있다. 평균 심도  $\alpha_{eff}$ 의 크기는 광원 크기  $\alpha$ 와 무관하다. 규정된 심도  $\alpha_{eff}$ 보다 더 작은 각도  $\alpha$ 를 마주 대하는 광원의 경우, 평균을 구한 복사휘도 값은 광원의 실제 물리적 복사휘도보다 더 작게 된다. 그러나 이와 같이 생물리학적으로 유효한 값은 노출 한계를 비교하기에 적합한 값이다. 스펙트럼 복사휘도 측정은 이 규격의 4.3.에서 설명한 다음의 위해에 적용한다.

- 망막 청색광 위해 노출 한계,  $L_B$
- 망막 열 노출 한계,  $L_R$
- 망막 열 노출 한계 - 약한 시각 자극,  $LE_{IR}$

#### 5.2.2.2 대체 방법

복사휘도 측정은 복사휘도 값을 얻기 위해 측정된 복사휘도 값을 측정 심도로 나눈 정의가 정확한 심도로 실시한 복사조도 측정으로 개념화할 수 있다. 결상에 대한 복사휘도 방법(위)의 대안으로, 원형 필드 조리개가 광원에 놓여 있는 복사조도 측정 장치를 사용하여 복사휘도 측정을 할 수 있다 (그림 5.3). 필드 조리개의 크기  $F$ 와 필드 조리개와 구경 조리개의 거리  $r$ 은 심도를 정의한다. 즉,

$$\gamma = F/r \quad (5.1)$$

이 방법은 필요한 심도를 얻기 위해 필드 조리개를 길보기 광원에 충분히 가깝게 놓을 수 있다는 것을 의미한다.

광원 면적에 수직한 검출(정의 3.31에서  $\theta=0$ )의 경우, 측정된 복사조도  $E$ 와 광원 복사휘도  $L$ 의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$E = L \cdot \Omega \quad (5.2)$$

여기에서 각  $\Omega$  (단위: sr)은 측정 심도다. 즉 그림 5.3과 같이, 평면각  $\gamma$  (단위: 라디안으로 마주 대하는 입체각이다. 또, 각도가 작은 경우 평면각  $\gamma$ 와 입체각  $\Omega$ 의 관계는 다음과 같다.

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \quad (5.3)$$

따라서 그림 5.3에 표시한 치수를 사용하면, 광원 복사회도로 표현한 복사조도는 다음으로 주어진다.

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \quad (5.4)$$

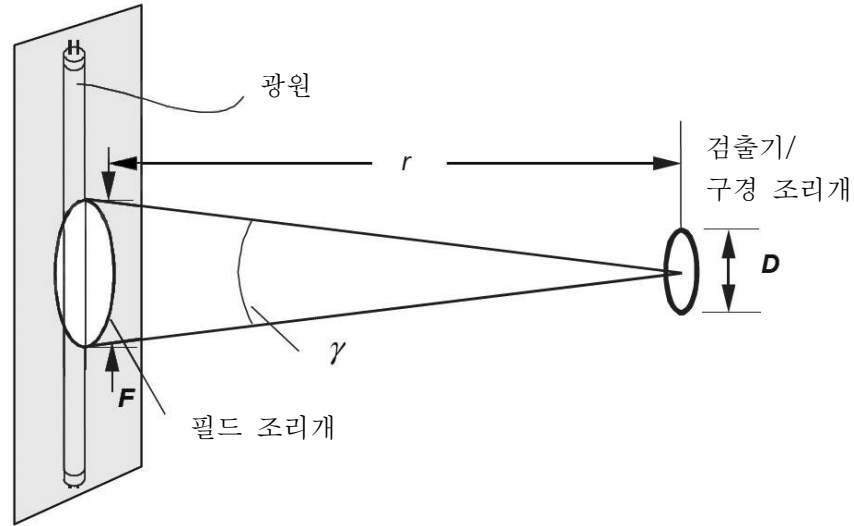


그림 5.3 - 복사회도 대체 방법

특정 위해와 비교할 수 있는 복사회도 값을 얻기 위해 복사조도 측정을 사용할 때 필드 조리개 지름 F는 다음과 같이 설정해야 한다.

$$\gamma = \alpha_{eff} \quad (5.5)$$

**비고** 청색광 위해 소형 광원 복사조도 한계는 규정된 측정 평균 심도의 복사회도 한계에 해당한다. 복사조도 한계는 식 (5.4)를 사용하여 평균 측정 심도에 복사회도 한계를 곱해 유도한다.

### 5.2.3 광원 크기의 측정

광원과 마주 대하는 각  $\alpha$ 를 측정하려면 광원의 50% 방출점을 결정해야 한다. 가시 복사는 IR 복사와 유사하게 사용할 수 있을 만큼 스펙트럼 균일성이 충분한지 검증한 후에 사진이나 정지형 카메라를 사용하는 일반적인 방법을 사용한다. 광원 양단의 스펙트럼이 변하면 스펙트럼 각 영역의 크기가 달라질 수 있다. (Silney and Wolbarsht, 1980, 12.6.6항 참조)

### 5.2.4 펄스 광원의 펄스 폭 측정

어떤 광원의 공칭 펄스 지속시간  $\Delta t$ 를 측정하려면 방출이 첨두값의 50%를 초과하는 시간을 측정해야 한다. 가시 복사를 UV 또는 IR 복사에 대한 상사로 사용할 수 있을 만큼 스펙트럼 균일성이 충분한지 검증한 후에 오실로스코프가 있는 광전지를 사용하는 일반적인 방법을 사용한다. 펄스 중에 스펙트럼이 변하면 스펙트럼 각 영역의 펄스 폭이 달라질 수 있다.

## 5.3 분석 방법

### 5.3.1 가중 곡선 보간

표 4.1에서 정의한 가중 곡선은 대개 가중 광원 방출을 산출할 수 있을 충분한 분해능을 갖지 못한다. 이 함수는 반로그 좌표에서 어떤 국소 영역에서 어느 정도 선형적이다. 따라서 보간된 값을 표준

화하려면 특정값의 로그에서 선형 보간을 하여 원하는 파장 간격(예: 1 나노미터 간격을 권고함)의 중간값을 얻어야 한다. 보간된 숫자의 진수가 보간된 가중 요인에 필요한 값이 된다.

### 5.3.2 산 출

광원 위해 값은 해당 함수의 산출은 스펙트럼 주사를 가중하고 총 가중 에너지를 산출해야 한다.

이 방법을 반복할 수 있도록 이 규격에서는 보간을 하거나 또는 400 nm 미만의 스펙트럼의 경우 합이 1 nm가 되도록 해야 한다. 그 후 이 1 nm 분해능에서 가중 및 합산을 실시한다. 400 nm를 초과하는 경우에는 5 nm의 계단 크기를 사용해야 한다,

### 5.3.3 측정 불확도

모든 측정 결과의 질은 불확도를 분석하여 정량화해야 한다. 산출된 모든 결과는 규격 지침을 따르는 불확도 값으로 짝을 지어야 한다. 각 결과의 불확도를 확장 불확도로 기록한다. 확장 불확도는 2.에서 열거한 ISO 지침에서 정의한 포함인자  $k = 2$ 를 사용하여 결합 표준 불확도  $u_c$ 로 산출한다. 불확도 값은 교정 불확도로 유도하는 것이 바람직하여, 산출을 통해 **부속서 C**에서 설명한 모든 광원을 포함해야 한다.

표 5.4 피부 또는 각막 표면 노출 한계 요약(복사조도를 기준으로 한 값)

| 위해 명                | 관련 식                                                        | 파장범위<br>nm | 노출 지속시간<br>초          | 제한 구경<br>라디안(도) | 일정한 복사조<br>도로 표현한 노<br>출 한계<br>$W \cdot m^{-2}$ |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| 화학적<br>자외선<br>피부와 눈 | $E_s = \sum E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | 200 - 400  | < 30,000              | 1.4 (80)        | 20/t                                            |
| 눈 UV-A              | $E_{UVA} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$              | 315 - 400  | $\leq 1000$<br>> 1000 | 1.4 (80)        | 1,000/t<br>10                                   |
| 청색광<br>소형 광원        | $E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | 300 - 700  | $\leq 100$<br>> 100   | < 0.011         | 100/t<br>1.0                                    |
| 눈 IR                | $E_{IR} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$               | 780 - 3000 | $\leq 1000$<br>> 1000 | 1.4 (80)        | 18,000/t <sup>0.75</sup><br>100                 |
| 피부 열                | $E_H = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$                  | 380 - 3000 | < 10                  | $2\pi$ sr       | 20,000/t <sup>0.75</sup>                        |

표 5.5 망막 노출 한계 요약(복사휘도를 기준으로 한 값)

| 위해 명                  | 관련 식                                                           | 파장범위<br>nm  | 노출 지속시간<br>초                                           | 심도<br>라디안                                                             | 일정한 복사<br>휘도로 표현한 노<br>출 한계<br>$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$        |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 청색광                   | $L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$    | 300 - 700   | 0.25 - 10<br>10 - 100<br>100 - 10,000<br>$\geq 10,000$ | $0.011 \cdot \sqrt{(t/10)}$<br>0.011<br>$0.011 \cdot \sqrt{t}$<br>0.1 | $10^6/t$<br>$10^6/t$<br>$10^6/t$<br>100                              |
| 망막 열                  | $L_R = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$    | 380 - 1,400 | < 0.25<br>0.25 - 1.0                                   | 0.0017<br>$0.011 \cdot \sqrt{(t/10)}$                                 | $50,000/(\alpha \cdot t^{0.25})$<br>$50,000/(\alpha \cdot t^{0.25})$ |
| 망막 열<br>(약한 시각<br>자극) | $L_{IR} = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ | 780 - 1,400 | < 10                                                   | 0.011                                                                 | $6,000/\alpha$                                                       |

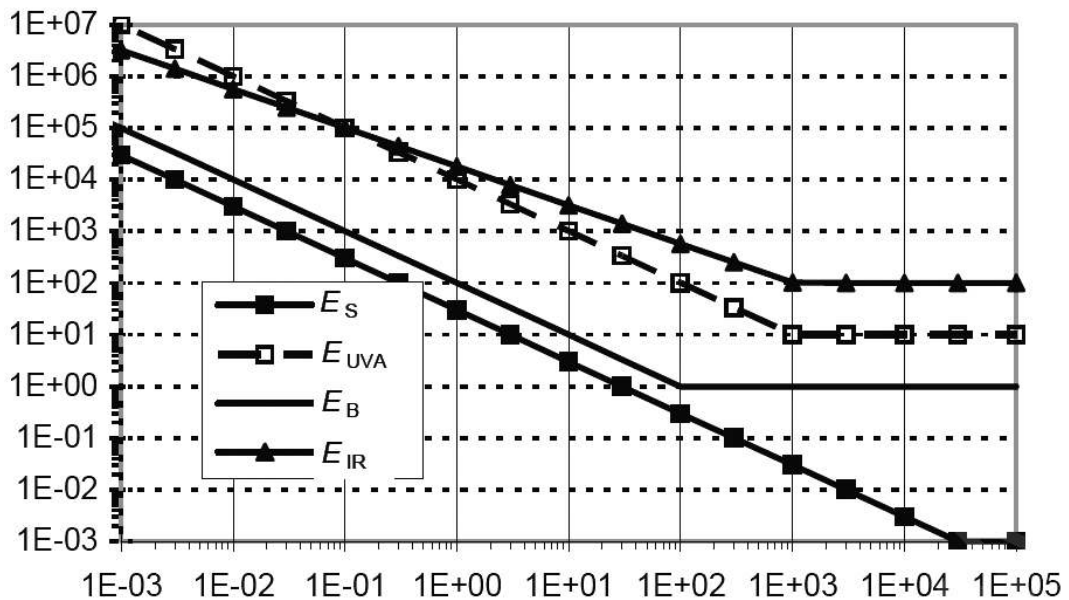


그림 5.4 - 가중 복사조도 노출 한계 대 일정한 노출 시간

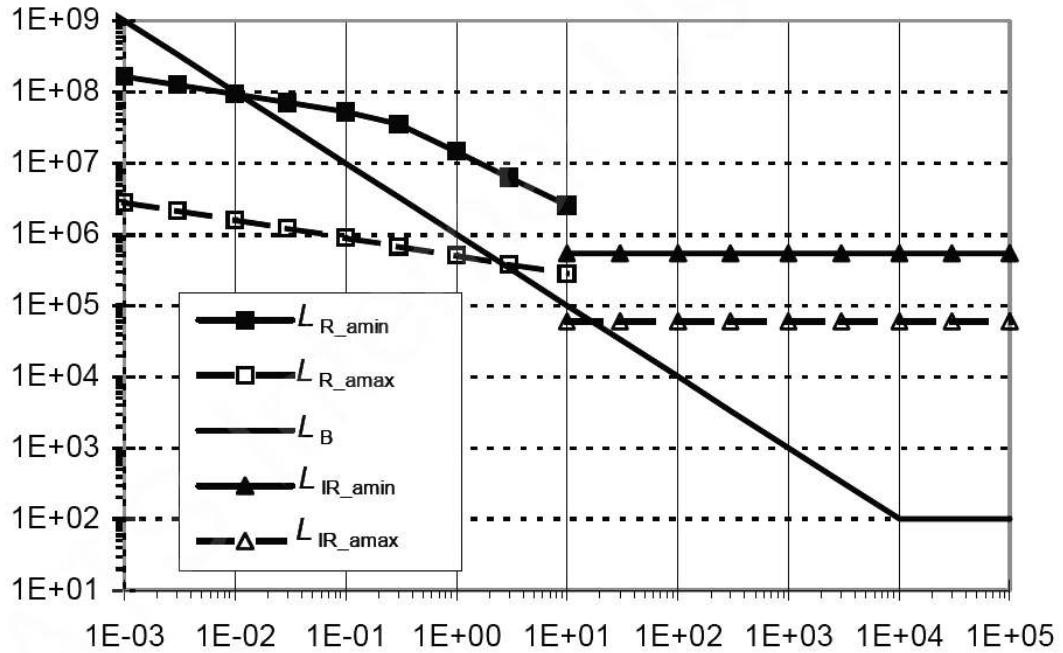


그림 5.5 - 가중 복사휘도 노출 한계 대 일정한 노출 시간

## 6 램프 분류

이 규격은 IEC SC34A를 대표하여 CIT TC 6-47에서 개발하였다. 이 공동 노력은 중요해 보였기 때문에, 램프 복사로 인한 광 생물학적 위해 값을 보고하는 위험군 분류와 거리에 관한 문제를 합의할 수 있었다. 램프는 몇 가지 측면에서 위험할 수 있기 때문에 분류 계획은 도움이 된다. 이 규격의 목적을 위해 그 값을 다음과 같이 기록해야 한다고 결정하였다.

- 전반조명용 램프(3.11의 정의 참조)의 경우, 위해 값은 500 룩스의 복사조도를 생성하는 거리에 있지만 200 mm 이상의 거리에서 복사조도 또는 복사휘도 값으로 보고해야 한다.
- 펄스 램프 광원 등 그 밖의 모든 광원의 경우, 위해 값은 200 mm 거리에서 기록해야 한다.

이 항에서는 램프를 분류한다. 그러나 유사한 분류 체계를 조명기구나 동작 램프가 포함된 그 밖의 장치에도 적용할 수 있다. 전반 조명용 램프의 경우, 복사조도를 측정하는 거리는 측정 설비의 재량에 맡긴다.

분류 계획은 잠재 위험만을 나타낸다. 사용 요인, 노출 시간, 조명기구 영향에 따라 이러한 잠재적 위해는 실제 위해가 되거나 되지 않을 수도 있다. 각 위험군 분류에 대해 4.3.에서 규정한 각 위해에 대한 복사조도 및 복사휘도 방출 한계를 표 6.1에 요약하였다.

**비고** 경우에 따라, 전반조명 및 특수 응용에 동일한 램프를 사용할 수 있는데, 이 경우에는 램프의 정해진 용도를 평가하는 것이 바람직하다.

## 6.1 연속과 램프

### 6.1.1 제외군

제외군 분류의 철학적 기준은 이 규격에서는 램프가 끝점에 대한 광 생물학적 위해를 가하지 않는다는 것이다. 이 요구사항은 다음의 위해를 가하지 않는 모든 램프를 만족해야 한다.

- 노출시간이 8시간(30,000초) 이내인 화학적 자외선 위해( $E_s$ )
- 노출시간이 1,000초(약 16분) 이내인 근자외선 위해( $E_{UVA}$ )

- 노출시간이 10,000초(약 2.8시간) 이내인 망막 청색광 위해( $L_B$ )
- 노출시간이 10초 이내인 망막 열 위해( $L_R$ )
- 노출시간이 1,000초 이내인 눈 적외선 복사 위해( $E_{IR}$ )

이 램프들은 제외군에 속한다.

또한, 강한 시각 자극이 없는 적외선 복사( $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  미만)를 방출하며 노출시간이 1,000초 이내인 근적외선 망막 위해( $L_{IR}$ )을 가하지 않는 램프도 제외군에 속한다.

### 6.1.2 위험군 1(저위험)

이 분류의 철학적 기준은 램프가 노출에 관한 통상적인 거동 제한 때문에 위험을 일으키지 않는다는 것이다. 이 요구사항은 제외군에 대한 한계를 초과하지만 다음의 위험을 가하지 않는 모든 램프에 의해 충족된다.

- 노출시간이 10,000초 이내인 화학적 자외선 위해( $E_s$ )
- 노출시간이 300초 이내인 근자외선 위해( $E_{UVA}$ )
- 노출시간이 100초 이내인 망막 청색광 위해( $L_B$ )
- 노출시간이 10초 이내인 망막 열 위해( $L_R$ )
- 노출시간이 100초 이내인 눈 적외선 복사 위해( $E_{IR}$ )

이 램프들은 위험군 1(저위험)에 속한다.

또한, 강한 시각 자극이 없는 적외선 복사( $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  미만)를 방출하며 노출시간이 100초 이내인 근적외선 망막 위해( $L_{IR}$ )을 가하지 않는 램프도 위험군 1(저위험)에 속한다.

### 6.1.3 위험군 2 (중위험)

위험군 2(중위험)의 철학적 기준은 램프가 매우 밝은 광원에 대한 혐오 반응으로 때문에 또는 열적 불쾌감 때문에 위험을 일으키지 않는다는 것이다. 이 요구사항은 위험군 1(저위험)에 대한 한계를 초과하지만 다음의 위험을 가하지 않는 모든 램프를 만족해야 한다.

- 노출시간이 1,000초 이내인 화학적 자외선 위해( $E_s$ )
- 노출시간이 100초 이내인 근자외선 위해( $E_{UVA}$ )
- 노출시간이 0.25초(혐오 반응) 이내인 망막 청색광 위해( $L_B$ )
- 노출시간이 0.25초(혐오 반응) 이내인 망막 열 위해( $L_R$ )
- 노출시간이 10초 이내인 눈 적외선 복사 위해( $E_{IR}$ )

이 램프들은 위험군 2(중위험)에 속한다.

또한, 강한 시각 자극이 없는 적외선 복사( $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  미만)를 방출하며 노출시간이 10초 이내인 근적외선 망막 위해( $L_{IR}$ )을 가하지 않는 램프도 위험군 2(중위험)에 속한다.

### 6.1.4 위험군 3 (고위험)

이 분류에 대한 철학적 기준은 램프가 순간적인 또는 짧은 노출에 대해서도 위험을 일으킬 수 있다는 것이다. 위험군 2(중위험)에 대한 한계를 초과하는 램프가 위험군 3(고위험)에 속한다.

## 6.2 펄스 램프

펄스 램프 기준은 단일 펄스에 그리고 지속시간이 0.25초 이내인 펄스군에 적용한다.

펄스 램프는 제조자가 규정한 최고 공칭 에너지 부하에서 평가해야 한다.

각 펄스에 대한 관련 가중 복사 노출( $H$  또는  $E \cdot t$ ), 또는 시간 적분 가중 복사 조사량( $L \cdot t$ )을 전체 펄스 폭에서 광원으로부터 방출된 가중 복사조도 또는 복사휘도를 적분하여 얻어야 한다. 저군 시간은 최대 0.25초로 제한된다. 산출된 가중 복사 노출 또는 가중 복사 조사량을 평가된 각각의 광 생물학적 위험에 대해 4.3에 규정한 노출 한계와 비교해야 한다.

**비고** 얻은 가중 복사휘도 값은 4.2.2에서 논의한 대로 0.0017 라디안 끼인각의 직원뿔 심도에서 평균을 구해야 한다.  
시험 대상인 램프의 위험군은 다음과 같이 결정한다.

- 노출 한계를 초과하는 램프는 위험군 3(고위험)에 속하는 것으로 분류한다.
- 단일 펄스 램프의 경우, 가중 복사 노출 또는 가중 복사휘도 조사량이 EL 미만인 램프는 제외군에 속하는 것으로 분류한다.
- 반복 펄스 램프의 경우, 가중 복사 노출 또는 가중 복사휘도 조사량이 EL 미만인 램프는 6.1에서 논의한 연속과 위험 기준을 적용하여 펄스 방출의 시간 평균값으로 평가한다.

**표 6.1 - 연속과 램프의 위험군에 대한 방출 한계**

| 위험               | 작용 스펙트럼           | 기호        | 방출 한계           |                 |                 | 단위                             |
|------------------|-------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|
|                  |                   |           | 제외              | 저위험             | 중위험             |                                |
| 화학적 자외선          | $S_{UV}(\lambda)$ | $E_s$     | 0.001           | 0.003           | 0.03            | $W \cdot m^{-2}$               |
| 근자외선             | $B(\lambda)$      | $E_{UVA}$ | 10              | 33              | 100             | $W \cdot m^{-2}$               |
| 청색광              | $B(\lambda)$      | $L_B$     | 100             | 10,000          | 400,000         | $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ |
| 청색광, 소형 광원       | $R(\lambda)$      | $E_B$     | 1.0*            | 1.0             | 400             | $W \cdot m^{-2}$               |
| 망막 열             | $R(\lambda)$      | $L_R$     | $28,000/\alpha$ | $28,000/\alpha$ | $71,000/\alpha$ | $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ |
| 망막 열, 약한 시각 자극** |                   | $L_{IR}$  | $6,000/\alpha$  | $6,000/\alpha$  | $6,000/\alpha$  | $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ |
| 적외선 복사, 눈        |                   | $E_{IR}$  | 100             | 570             | 3,200           | $W \cdot m^{-2}$               |

\* 소형 광원은  $\alpha$ 가 0.011 라디안 미만인 것으로 정의한다. 10,000초에서 평균 심도는 0.1 라디안이다.  
\*\* 전반조명이 아닌 광원의 평가도 포함한다.

## 부속서 A

### (참 고)

### 생물학적 효과의 요약

#### 생물학적 효과 데이터시트 #1: 적외선 백내장

**A.1 생물학적 효과:** 적외선 백내장은 "산업적 열 백내장", "가마작업자 백내장", "유리직공 백내장"으로도 알려져 있다.

**A.1.1 조직/부위:** 눈/수정체

**A.1.2 스펙트럼 범위:** 700 nm - 1,400 nm, 3,000 nm까지 가능

**A.1.3 작용 스펙트럼의 첨두:** 알려져 있지 않음, 900 - 1,000 nm로 추정

**A.1.4 자료 현황:** 1,064 nm(Wolbarsht, 1992)와 IR-A 영역(Pitts and Cullen, 1981)에서 토끼의 급성 백내장에 대한 한계 데이터를 입수할 수 있다. 사람에 대한 데이터는 없다. 가법성의 정도와 작용 스펙트럼은 알려져 있지 않다. 전염병 증거는 양호하다(Lydahl, 1984).

**A.1.5 시간 추이:** 만성적으로 고수준에 노출된 다음 해에 수정체의 흐림 현상이 두드러진다. 경과 시간은 노출과 임계치 간의 차이가 얼마나 큰지에 따라 달라진다. 심한 노출은 짧은 시간에 반응을 일으킨다.

**A.1.6 메커니즘:** 최근 증거는 광화학적 반응을 암시하지만 대개 열적인 것으로 추정하고 있다.

세부 내용은 알지 못한다. 렌즈는 직접 조사에 의해(Vogt, 1919), 또는 가열된 홍채로 인한 전도성 가열로 인해(Goldmann, 1983) 가열될 수 있다.

**A.1.7 증상:** 심도의 흐림

**A.1.8 필요한 정보:** 심한, 그리고 부수적 자외선 복사 노출에 대한 작용 스펙트럼, 복수 노출의 가법성, 재발 노출로 인한 지연 효과의 가능성

**A.1.9 램프 이용 경험:** 가열 램프 노출로 인한 우발적 부상은 알려져 있지 않다. 노출된 모집단이 제한적이다.

#### A.1.10 주요 관련문서:

GOLDMANN, H. ExperimentELLE Untersuchungen über die Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. Die Physik des Feuerstars I. Teil. Arch. für OphthalmoI., **130**, 93-130 (1983).

LYDAHL, E. Infrared Radiation and Cataract. Acta Ophtalmologica, Suppl. **166**, 1-63 (1984).

PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. Determination of Infrared Radiation Levels for Acute Ocular Cataractogenesis. von Graefes Arch. Ophthal., **217**, 285-297 (1981).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. New York, Plenum, (1980).

VOGT, A. ExperimentELLE Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzweLLiges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. Klin. Mb/ Augenheilk., **63**, 230-231 (1919).

WOLBARSH, M.L. Cataract from Infrared Lasers: Evidence for Photochemical Mechanisms. Lasers and Light Ophthalmology, **4**, 91-96 (1992).

## 생물학적 효과 데이터시트 #2: 광각막염

### A.2 생물학적 효과: 광각막염

#### A.2.1 조직/부위: 눈/각막

A.2.2 스펙트럼 범위: (180 - 200) nm - (400 - 420) nm, 주로 200 - 320 nm

A.2.3 작용 스펙트럼의 첨두: 약 270 nm (Pitts, 1971), 약 288 nm (Cogan and Kinsey, 1946)

A.2.4 자료 현황: 토끼(200 nm - 400 nm), 원숭이(200 nm - 320 nm), 사람(200 nm - 300 nm)에 대한 급성 임계치 데이터를 입수할 수 있다. 각 시험실의 데이터가 대개 양호하게 일치한다.

A.2.5 시간 추이: 노출 후 4 - 12시간 후에 지연된 반응이 두드러진다. 경과 시간은 노출과 임계치 간의 차이가 얼마나 큰지에 따라 달라진다. 심한 노출은 짧은 시간에 반응을 일으킨다. 매우 심한 노출을 제외하면 24 - 48시간에 제거된다.

A.2.6 메커니즘: 광화학적 반응이 일련의 생물학적 반응을 유발한다. 세부 내용은 알지 못한다.

A.2.7 증상: "눈에 모래가 낀 것 같음", 안검 경련(갑작스런, 격렬한, 눈꺼풀 근육의 비자발적 수축), 심도의 약간 흐림, 눈꺼풀 조직의 반응(위쪽 및 아래쪽 눈꺼풀의 열림)

A.2.8 필요한 정보: 305 nm - 320 nm 범위에서 더 높은 임계치 분해능, 재발 노출로 인한 지연 효과의 가능성

A.2.9 램프 이용 경험: 살균등과 수은등 및 크세논등에서의 우발적 노출은 일반적이지 않지만, 특수한 응용에서는 일반적으로 발생한다. 노출된 모집단이 제한적이다.

#### A.2.10 주요 관련문서:

COGAN, D.G. and KINSEY, V.E. Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation. Arch. Ophthalmol., **35**, 670-617 (1946).

HEDBLUM, E.E. Snowscape Eye Protection. Arch. Environ. Health, **2**, 685-704 (1961).

LEACH, W. M. Biological Aspects of Ultraviolet Radiation, A Review of Hazards. BRH/DBE **70-3**, U.S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland (Sept. 1970).

MACKEEN, D., FINE, S., AARON, A., and FINE, B.S. Preventable Hazards at UV Wavelengths. Laser Focus, **7(4)**, 29 (1971).

PITTS, D.G. and TREDICI, T.J. The Effects of Ultraviolet on the Eye. Amer. Ind. Hyg. Ass. J. **32(4)**, 235-246 (1971).

## 생물학적 효과 데이터시트 #3: 광망막염

### A.3 생물학적 효과: 광망막염

#### A.3.1 조직/부위: 눈/망막

A.3.2 스펙트럼 범위: 유수정체안(수정체가 손상되지 않은)에서 400 nm - 700 nm(주로 400 - 500 nm), 무수정체안(수정체 없음)에서 310 nm - 700 nm(주로 310 - 500 nm)

A.3.3 작용 스펙트럼의 첨두: 약 445 nm (Ham, 1971), 붉은털원숭이 무수정체안에서 약 310 nm (Ham, 1980)

A.3.4 자료 현황: 원숭이에 대한 급성 임계치 데이터를 입수할 수 있으며, 태양 또는 용접 아크를 우연히 볼 때 그리고 의료용 레이저 과장에서 인간에 대한 보장 데이터를 입수할 수 있다.

**A.3.5 시간 차이:** 이 부상 메커니즘은 장시간(10초 이상) 노출에 대해서만 열적 부사에서 우세하다. 노출되고 12시간 후에 지연된 반응이 두드러진다. 경과 시간은 노출과 임계치 간의 차이가 얼마나 큰지에 따라 달라진다. 심한 노출은 짧은 시간에 반응을 일으킨다. 최대 반응은 대개 48시간에 기록되었다. 인간이 아크 및 태양광선에 우연히 노출된 경우에는 회복 사실이 일부 기록되었다.

**A.3.6 메커니즘:** 광화학적 반응이 일련의 생물학적 반응을 유발한다. 망막 색소 상피에 집중되었다. 세부 내용은 알지 못한다.

**A.3.7 증상:** "맹점", 또는 밝은 아크가 망막에 비칠 때 암점증. 노출 후 48시간 이내에 눈을 검사하면 노출 후 망막 가시 부상(대개 청색광으로 인한 색소 탈실 또는 자외선 파장으로 인한 과색소 침착)이 보인다. 심하지 않은 경우에 회복을 보일지라도 시력 손실이 영구적일 수 있다.

**A.3.8 필요한 정보:** 부상에 대한 더 많은 지식이 필요하다. 노출 지속시간이 10초 미만인 경우 400 nm - 450 nm 범위의 데이터, 복수 노출의 가법성에 관한 데이터, 한계 이하 수준에서 재발 노출로 생긴 지연 효과의 가능성

**A.3.9 램프 이용 경험:** 램프를 응시하여 생긴 과도 노출로 인한 부상은 거의 보고되지 않고 있다. 대개 광망막염을 방지하기 위한 자연적인 혐오 반응으로 노출이 제한된다. 노출된 모집단이 제한적이다.

#### **A.3.10 주요 관련문서:**

HAM, W.T. Jr, MUELLER, H.A., and SLINEY, D.H. Retinal Sensitivity to Damage by Short-WaveLength Light. *Nature*, **260(5547)**, 153-155 (1976).

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on WaveLength, Power Level and Exposure Time. *Vision Res.*, **20(12)**, 1105-1111 (1980).

MAINSTER, M.A. Spectral Transmission of Intraocular Lenses and Retinal Damage from Intense Light Sources. *Am. J. Ophthalmol.*, **85**, 167-170 (1978).

MARSHALL, J. Light Damage and the Practice of Ophthalmology. In: *Intraocular Lens Implantation*, Rosen E., Arnott, E., and Haining, W. (eds). London, Moseby-Yearbook, Ltd.(1983).

PITTS, D.G. The Human Ultraviolet Action Spectrum. *American Journal Optom. Physiol. Opt.*, **51**, 946-960 (1974).

SLINEY, D.H. Eye Protective Techniques for Bright Light. *Ophthalmology*, **90(8)**, 937-944 (1983).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. New York, Plenum (1980).

SPERLING, H.G. (ed). Intense Light Hazards in Ophthalmic Diagnosis and Treatment. *Proceedings of a Symposium, Vision Res.*, **20(12)**, 1033-1203 (1980).

VARMA, S.D. and LERMAN, S. (eds). *Proceedings of the First International Symposium on Light and Oxygen Effects on the Eye*. Oxford: IRL Press (1984) [also published as *Current Eye Res.*, **3(1)** (1984).]

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).

WILLIAMS, T.B. and BAKER, B.N. (eds). *The Effects of Constant Light on the Visual System*. New York, Plenum Press (1980).

YOUNG, R.W. A Theory of Central Retinal Disease. In: *New Directions in Ophthalmic Research*, Sears, M.L. (ed). New Haven, Yale University Press, 237-270 (1981).

## 생물학적 효과 데이터시트 #4: 망막 열 부상

### A.4 생물학적 효과: 망막 열 부상

#### A.4.1 조직/부위: 눈/망막과 맥락막

#### A.4.2 스펙트럼 범위: 400 nm - 1,400 nm(주로 400 - 1,100 nm)

#### A.4.3 작용 스펙트럼의 침투: 약 500 nm (Ham, 1966)

**A.4.4 자료 현황:** 토끼와 원숭이에 대한 급성 임계치 데이터를 입수할 수 있다. 사람에 대한 데이터는 제한적이다. 각 시험실에서 얻은 자료가 대개 양호하게 일치한다.

**A.4.5 시간 추이:** 이 부상 메커니즘은 짧은 시간(10초 미만) 노출에 대해 파장이 700 nm를 초과할 때 광화학적 망막 부상에 대해서 우세하다. 반응은 노출 후 즉시(또는 5분 이내에) 두드러진다. 회복은 제한적이거나 회복되지 않는다.

**A.4.6 메커니즘:** 열화학적 반응은 단백질과, 그 밖의 생물 조직이 파괴된 세포의 주요 생물학적 성분을 변성시킨다. 빛 흡수와 초기 부상은 망막 색소 상피와 맥락막에 집중되었다.

**A.4.7 증상:** "맹점", 또는 밝은 아크가 망막에 비칠 때 암점증. 노출 후 5분 이내에, 확실하게 하려면 48시간 이내에 눈을 검사하면 노출 후 망막 부상(대개 색소 탈실)이 보인다. 노출 직후 시력 손상이 가장 심하며, 14일 이내에는 제한적 회복이 생길 수도 있다.

**A.4.8 필요한 정보:** 이미지 크기가 큰(1mm 초과) 노출에 관한 데이터가 필요하다.

**A.4.9 램프 이용 경험:** 실제로 어떤 램프로 이 부상을 유발할 수 없다. 눈에 초점을 맞춘 크세논등은 임상학적으로 볼 때 영향을 미칠 수 있다. 따라서 확대된 크세논등을 응시하여 생긴 부상이 거의 보고되지 않아야 한다. 대개 부상을 방지하기 위한 자연적인 혐오 반응으로 노출이 제한된다.

#### A.4.10 주요 관련문서:

ALLEN, R.A. Retinal Thermal Injury. Proc ACGIH Topical Symposium, 26-28 November 1979, ACGIH, Cincinnati, Ohio (1980).

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on WaveLength, Power Level and Exposure Time. Vision Res., **20(12)**, 1105-1111 (1980).

HAM, W.T. Jr, WILLIAMS, R.C., GEERAETS, W.J., MUELLER, H.A., GUERRY, D., CLARKE, A.M., and GEERAETS, W.J. Effects of Laser Radiation on the Mammalian Eye. Trans. NY Acad. Sci., **28**, 517-526 (1966).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. Plenum, New York (1980).

## 생물학적 효과 데이터시트 #5: 자외선 백내장

### A.5 생물학적 효과: 자외선 백내장

#### A.5.1 조직/부위: 눈/수정체

#### A.5.2 스펙트럼 범위: 290 nm - 325 nm, 400 nm까지 가능

A.5.3 작용 스펙트럼의 첨두: 급성 백내장의 경우 약 305 nm (Pitts, 1977). 파장이 325 nm를 초과하는 경우 작용 스펙트럼에 대한 효과는 입수할 수 없다(Lerman, 1980, Zigman, 1979)

A.5.4 자료 현황: 토끼와 원숭이(295 nm - 325 nm)에 대한 급성 임계치 데이터를 입수할 수 있다. 급성 백내장에 대한 인간 데이터는 없지만, UV-B 복사 만성 노출에 대한 전염병적 증거는 있다 (Taylor, 1988)

A.5.5 시간 추이: 대개 노출 4시간 이상 지연되어 수정체의 흐림 현상이 두드러진다. 경과 시간은 노출과 임계치 간의 차이가 얼마나 큰지에 따라 달라진다. 심한 노출은 짧은 시간에 반응을 일으킨다. 임계치 근처에서만 며칠 내 일부가 제거된다. 그렇지 않으면 수정체가 영구 불투명해진다.

A.5.6 메커니즘: 광화학적 반응. 자세한 내용은 알려져 있지 않다.

A.5.7 증상: 시력의 흐려짐

A.5.8 필요한 정보: 급성 노출에 대한 작용 스펙트럼과 UV-A 노출 영향. 복수 노출의 가법성, 재발 노출로 인해 지연된 효과의 가능성

A.5.9 램프 이용 경험: 크세논 아크등 노출로 인한 우발적 부상은 알려져 있다. 노출된 모집단이 제한적이다.

#### A.5.10 주요 관련문서:

BRACHEM, A. Ophthalmic ultraviolet action spectra. Am. J. Ophthalm., **41**, 969-976 (1956).

LERMAN, S. Radiant Energy and the Eye. Mac Millan, Inc., New York, (1980).

PARRISH, J.A., ANDERSON, R.R., URBACH, F., and PITTS, D. UV-A: Biological Effects of Ultraviolet Radiation with Emphasis on Human Responses to Longwave Ultraviolet. Plenum Press, New York (1978).

PITTS, D.G. The Ocular Ultraviolet Action Spectrum and Protection Criteria. Health Physics, **25**, 559-566 (1973).

PITTS, D.G., CULLEN, A.P., and HACKER, P.D. Ocular Ultraviolet Effects from 295-1000 nm. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., **16(10)**, 932-939 (1977).

SLINEY, D.H. Estimating the Solar Ultraviolet Radiation Exposure to an Intraocular Lens Implant. J. Cataract Refract. Surg., **13**, 296-301, May 1987.

SLINEY, D.H. Physical Factors in Cataractogenesis - Ambient Ultraviolet Radiation and Temperature. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., **27(5)**, 781-790, 1986.

TAYLOR, H.R., WEST, S.K., ROSENTHAL, F.S., MUNOZ, B., NEWLAND, H.S., ABBEY, H., and EMMETT, E.A. Effect of Ultraviolet Radiation on Cataract Formation. New England Journal of Medicine, **319**, 1429 (1988).

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). Optical Radiation and Visual Health. Boca Raton, CRC Press (1986).

ZIGMAN, S., DATILES, M., and TORCZYNSKI, E. Sunlight and Human Cataracts. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., **18(5)**, 462-467, 1979.

ZUCLICH, J.A. and CONNOLLY, J.S. Ocular Damage Induced by Near Ultraviolet Laser Radiation. Invest. Ophthalmol., **15**, 760-764 (1976).

## 생물학적 효과 데이터시트 #6: 자외선 홍반

### A.6 생물학적 효과: 자외선 홍반

#### A.6.1 조직/부위: 피부

#### A.6.2 스펙트럼 범위: (180 - 200) - (400 - 420) nm, 주로 200 - 320 nm

#### A.6.3 작용 스펙트럼의 첨두: 약 295 nm (Urbach, 1968, Anders, 1995), 약 254 nm(Hausser, 1928, Coblentz, 1932, Freeman, 1966)

**A.6.4 자료 현황:** 인간에 대한 급성 임계치 데이터를 입수할 수 있다. 두 개의 작용 스펙트럼(하나는 4 - 8 시간, 다른 하나는 24 - 48시간)을 고려한다면 각 시험실에서 얻은 데이터가 양호하게 일치한다.

**A.6.5 시간 추이:** 노출 4-12시간 지연되어 반응이 두드러진다. 경과 시간은 노출과 임계치 간의 차이가 얼마나 큰지에 따라 달라진다. 심한 노출은 짧은 시간에 반응을 일으킨다. 극히 심한 노출을 제거하고 24 - 47 시간 안에 제거된다.

**A.6.6 메커니즘:** 광화학적 반응은 일련의 생물학적 반응을 야기한다. 자세한 내용은 알려져 있지 않다(van der Leun, 1965)

**A.6.7 증상:** "일광 화상", 자외선 복사 노출 부위에 피부의 홍조

**A.6.8 필요한 정보:** 305 - 320 nm 범위에서 더 높은 임계치 분해능. 재발 노출로 인한 지연 효과의 가능성

**A.6.9 램프 이용 경험:** 살균등과 수은등 및 크세논등에서의 우발적 노출은 일반적이지 않지만, 특수한 응용에서는 일반적으로 발생한다. 태양등 제품에서의 의도적 노출

#### A.6.10 주요 관련문서:

ANDERS, A., ALTHEIDE, H., KNALMANN, M., and TRONNIER, H. Action Spectrum for Erythema in Humans Investigated with Dye Lasers. Photochemistry and Photobiology, **61**, 200, (1995).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. Bur. Stand. J. Res., **8**, 541 (1932).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. Bur. Stand. J. Res., **12**, 13-14 (1934).

COBLENTZ, W.W., STAIR, R., and HOGUE, J.M. The Spectral Erythemic Reaction of the Human Skin to Ultraviolet Radiation. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., **17**, 401-403 (June 1931).

FITZPATRICK, T.B., PATHAK, M.A., HARBER, L.C., SIEJI, M., and KUKITA, A. (eds). Sunlight and Man. Tokyo, Tokyo University Press (1974).

FITZPATRICK, T.B. Dermatology in general medicine 5th ed. McGraw Hill, New York, pp. 1555-1561, (1999) and its references.

FREEMAN, R.G., OWENS, D.W., KNOX, J.M., and HUDSON, H.T. RELative Energy Requirements for an Erythema Response of Skin to Monochromatic WavELengths of Ultraviolet Present in the Solar Spectrum. J. Invest. Dermat., **64**, 586-592 (1966).

HAUSSER, K.W. Influence of WavELength in Radiation Biology. Strahlentherapie, **28**, 25-44 (1928).

HAUSSER, K.W. and VAHLE, W. Sunburn and Suntanning. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Siemens Konzerns **6(1)**, 101-120 (1927), Translated in: Biologic Effects of Ultraviolet Radiation (F. Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969).

HAWK ed. Photodermatology. Arnold, London, pp. 43-52, (1999) and its references.

ISO 17166:1999 / CIE S007 - 1998 Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. van der LEUN, J.C. Theory of Ultraviolet Erythema. Photochemistry and Photobiology, **4**, 453, (1965).

LUCKIESH, M., HOLLADAY, L.L., and TAYLOR, A.H. Reaction of Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. J. Opt. Soc. Amer., **20**, 423-432 (1930).

PARRISH, J.A., JAENICKE, K.F. and ANDERSON, R.R. Erythema and mELanogenesis action spectrum of normal human skin. Photochemistry and Photobiology, **36**, 187, 1982.

SCHMIDT, K. On the Skin Erythema Effect of UV Flashes. Strahlentherapie, **124**, 127-136 (May 1964).

URBACH, F. (ed). The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation. Pergamon Press, New York. pp. 83-39, 327-436, 541-654, (1968).

World Health Organization. Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria **14**, WHO, Geneva (1979).

## 부속서 B

### (참 고)

### 측정 방법

#### B.1 계측장비

##### B.1.1 이중 단색화 분광기: 권고하는 계기

위해 분류를 목적으로 하는 광원 측정은 교정과 시험 중에 정확도를 요구한다. 가중을 정확하게 하기 위해서는 검출기의 넓은 스펙트럼 응답과 높은 스펙트럼 분해능이 필요하기 때문에 대역외 미광 거부에 대한 요구사항은 엄격하다. 교정원은 통과대역 중에서 거부되어야 하는 넓은 스펙트럼 출력을 제공한다. 텅스텐 또는 텅스텐-할로겐 교정 램프의 경우 270 nm에서 대역외 에너지 대 통과대역 에너지의 비율은  $10^{-4}$  미만인 것이 바람직하다. 이중 단색화 분광기는 필요한 선택도를 제공하는 유일한 계기이며, 자외선 복사와 가시 복사를 포함하는 위해 측정에 권고한다. 단색화 분광기는 편의성과 속도 면에서 제한적임이 인정되고 있다. 자외선 또는 가시 스펙트럼에서 단일 단색화 분광기 사용은 이중 단색화 분광기에서 얻은 결과와 필적하는 결과를 얻을 수 있는 경우에만 사용하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 단일 단색화 분광기는 스펙트럼 방출 대역이 매우 제한적인 것으로 알려진 LED 같은 램프에 충분히 사용할 수 있다.

##### B.1.2 광대역 검출기

작용 스펙트럼을 교정할 때는 적절한 주의를 기울여 현대식 광대역 검출기를 사용할 수 있다. 지속 시간이 짧은 펄스 또는 저장도 광원의 경우에도 광대역 검출기를 사용하기 편리하다. 광대역 위해 센서는 필터를 사용하여 가중 스펙트럼을 정합시킨다. 이 정합은 결코 정확하지 않으며, 약간의 오차가 생기게 된다. 스펙트럼 오차는 광원의 스펙트럼 또는 검출기의 스펙트럼 응답을 모르는 범위에서만 불확도에 기여한다.

광원 스펙트럼을 모른다면, 검출기와 작용 스펙트럼 간의 최대 백분을 편차 지점을 불확도로 추정해야 한다. 불확도를 측정할 때는 작용 스펙트럼이 영인 스펙트럼 영역을 고려해야 한다.

검출기 응답과 광원 스펙트럼을 모두 알고 있다면 간단한 산출로도 교정인자를 알 수 있다. 적절한 교정인자를 사용한다면 광대역 검출기는 이 규격의 측정에 유효한 방법을 제공한다. 복사측정을 하는 사람은 교정인자가 고유한 각각의 경우에 유효하다는 것을 밝힐 의무가 있다. 스펙트럼을 변경시키거나 변경시킬 수 있는 변동이 있다면 교정인자를 재측정해야 한다.

**비고** 가중 광대역 복사계와 이중 단색화 분광기를 조합하면 많은 상황에서 측정 절차를 개선할 수 있다. 광원 유형의 공간적, 일시적, 항목별 변동은 여과된 검출기를 사용하여 신속하게 조사할 수 있다.

#### B.2 계기의 한계

##### B.2.1 잡음 등가 복사조도

모든 계기는 측정을 할 수 없는 한계를 갖는다. 위해 분석에서, 측정이 계기 한계 이하라는 것만이 알려진 사실일 때 영 신호를 보고하는 것은 부적절하다. 위해 시험에 사용한 계기는 측정 한계 수준을 결정하도록 특성화되어야 한다. 계기 판독이 영이거나 측정 한계 이하라면 이에 해당하는 측정 한계를 보고하면 된다. 계기 한계 값이 광원 분류에 영향을 미칠 만큼 중요한 수준이라면 품질이 더 높은 계기가 필요할 것이다.

**비고** 분광복사계의 측정 한계는 검출기의 잡음 한계에 의해 좌우된다. 검출기의 잡음 한계는 검출기 암신호의 RMS 변동으로 간주할 수 있다. 측정과 동일한 치수를 갖는 스펙트럼, 소위 "잡음 등가 입력(NEI)"을 제공하려면 검출기의 잡음 한계를 시스템의 교정 스펙트럼에 곱한다. 보고된 스펙트럼 측정은 측정된 스펙트럼의 각 파장에서 더 높은 값과 NEI를 갖는다.

### B.2.2 계기 스펙트럼 응답

스펙트럼 응답(슬릿 함수)의 형상과 측정간격 대 대역폭의 비율은 시스템이 스펙트럼 범위가 좁은 신호(예: 원자 방출선)를 정확하게 측정할 수 있는지를 결정할 것이다. (Kostkowski, 1997, 5장 참조). 삼각형 스펙트럼 응답(슬릿 함수)을 대역폭을 균일하게 분할한 보고 간격을 갖는 시스템에 사용하는 단색화 분광기는 그 스펙트럼 형상에 관계없이 모든 신호를 정확하게 측정할 것이다. (CIE 63 - 1984, 1.8.4.2.1항 참조 또는 Kostkowski, 1997, 5.9항 참조). 이로 인한 편차는 측정된 에너지에 오차를 발생시킬 수 있다. 시스템의 스펙트럼 응답은 파장이 좁은 광원을 스펙트럼 분해능을 높게 하여 측정함으로써 결정해야 한다. 측정된 스펙트럼은 단일 파장으로 설정할 때 시스템의 응답을 대표할 수 있는 광원 파장에 대해 대칭이어야 한다. 협대역 신호에서 에너지를 정확하게 측정할 수 있는 시스템의 능력은 보고된 각 주파수에서 스펙트럼 응답을 합한 정확도에 좌우된다. 합한 스펙트럼 양단의 변동은 측정된 총 신호의 잠재 오차이며 불확도 분석에 포함되어야 한다. 위해 평가 결과는 계기 특성에 의해 영향을 받게 된다. 단색화 분광기의 대역폭은 스펙트럼의 가중 결과를 변화시켜 레벨이 변할 것이다. 대역폭이 유한한 모든 계기는 잘못된 파장에서 신호를 보고 하기 때문에 가중 합계에 오차를 발생시킨다. 아래 표 B.1은 가중 합계에서 불확도의 2 % 상위 경계에 권고하는 대역폭을 열거한 것이다.

표 B.1 - 권고하는 대역폭

| 범위(nm)                        | 대역폭(FWHM)            |
|-------------------------------|----------------------|
| $200 \leq \lambda \leq 400$   | $\leq 4 \text{ nm}$  |
| $400 \leq \lambda \leq 600$   | $\leq 8 \text{ nm}$  |
| $600 \leq \lambda \leq 1,400$ | $\leq 20 \text{ nm}$ |
| $1,400 \leq \lambda$          | 대역폭 제한 없음            |

광원 스펙트럼을 고려하는 더 완전한 분석을 사용하여 제안된 대역폭 정확도를 완화할 수 있다. 그 분석 결과에는 명시된 측정 불확도가 포함되어야 한다.

**비고** 스펙트럼 주사 중에 신호를 일정하게 적분하는 시스템에는 스펙트럼 응답 형상으로부터 또는 대역폭 대 보고 구간의 비율로부터 측정된 총 전력에 오차가 생기지 않을 것이다. 이와 같은 계기에서 대역폭이 크면 가중 결과에 여전히 오차가 생길 것이다.

### B.2.3 파장 정확도

광원의 스펙트럼 형상을 결정하는데 사용한 계기의 파장 정확도는 가중값에 큰 영향을 미친다. 예를 들면, 자외선 위해 가중 함수,  $S_{UV}(\lambda)$ 는 극단적으로, 즉 300 nm에서 3 nm 이상 250 %를 변경시킨다. 오차의 적당한 한계를 바란다면 측정된 에너지를 적당한 파장에 지정하여 적절하게 가중되도록 해야 한다.

**표 B.2**는 간격이 0.1 nm 옮겨질 때 측정 보고 간격으로부터 가중 결과의 변화를 나타낸 예이다. 측정 값은 분광복사계가 삼각형 응답, 2 nm 대역폭, 1 nm 보고 간격을 갖는다고 가정하여 산출한다. 측정 값의 합은 B.2.2에서 설명한 원리 때문에 라인이 이동된 것과 같다. 가중 측정은 파장이 0.1 nm 변할 때  $2\frac{1}{2}\%$  변화시킨다. 계기 파장이 0.1 nm 오차가 있다면 이 크기에서 오차가 발생할 수 있다.

표 B.2 - 파장 오차에 대한 가중값 오차의 예

| nm  | $S_{UV}(\lambda)$ | 305 nm  |         | 305.1 nm |         | 합의 비율         |
|-----|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------------|
|     |                   | 측정값     | 가중값     | 측정값      | 가중값     |               |
| 304 | 0.8485            | 0.25000 | 0.2121  | 0.22500  | 0.01909 |               |
| 305 | 0.06000           | 0.50000 | 0.03000 | 0.47500  | 0.02850 |               |
| 306 | 0.04540           | 0.25000 | 0.1135  | 0.27500  | 0.1249  |               |
| 307 | 0.03436           | 0.00000 | 0.00000 | 0.02500  | 0.00086 |               |
| 합   |                   | 1.0000  |         | 1.0000   |         | $\geq 100\%$  |
| 합   |                   |         | 0.06256 |          | 0.06094 | $\geq 97.4\%$ |

$S_{UV}(\lambda)$  는 자외선 위해 가중 함수이다.

위해 시험에 사용한 단색화 분광기의 파장 정확도는 가중 결과에 3 % 미만의 파장 불확도로 생긴 오차를 제공하기에 충분한 것이 좋다. 따라서 정확도는 스펙트럼 영역과 사용한 가중 함수에 따라 달라진다. 표 B.3은 오차가 ~3%로 제한되는 정확도를 요약한 것이다.

표 B.3 - 권고하는 파장 정확도

| 범위(nm)                        | 파장 정확도 |
|-------------------------------|--------|
| $200 \leq \lambda \leq 300$   | 0.2 nm |
| $300 \leq \lambda \leq 325$   | 0.1 nm |
| $325 \leq \lambda \leq 600$   | 0.2 nm |
| $600 \leq \lambda \leq 1,400$ | 2 nm   |

광원 스펙트럼을 고려하는 더 완전한 분석을 사용하여 제안된 대역폭 정확도를 완화할 수 있다.

그 분석 결과에는 명시된 측정 불확도가 포함되어야 한다.

#### B.2.4 표유 복사력

분광 복사계의 절대 교정을 하려면 스펙트럼 출력이 높고 에너지가 높은 광원을 사용해야 한다. 스펙트럼 거부가 불충분하면 스펙트럼 다른 부분에서 별도의 에너지를 교정에 포함시킨다. 이 오차의 결과는 분광 복사계를 부족 교정하여 잠재 위해의 판독값을 더 낮춘다. 총 에너지와 단색화 분광기를 통과한 신호의 일반적인 비율은  $10^4$  차수이다. 1 % 정확도를 얻으려면 대역외 복사의 거부는  $10^6$  차수가 되어야 한다. (CIE 63 - 1984 참조).

#### B.2.5 스펙트럼 복사조도 측정을 위한 입력 광학장치: 권고

통상적인 입력 광학장치를 사용하는 단색화 분광기에는 수많은 문제가 발생한다. 교정 광원과 측정 광원은 분극이 동일하지 않을 수 있으며, 이로 인해 입력각 변동을 야기하는 광원 크기가 같지 않을

것이다. 더구나 측정된 광원은 작은 각과 큰 각을 모두 마주 대할 것이다. 이러한 차이는 측정 오류를 야기할 수 있다. 복사조도를 측정할 때는 적분구를 단색화 분광기의 입력 장치로 사용할 것을 권고한다. 코팅의 무작위 반사가 입사광의 극성을 없애고, 설계를 올바르게 하여 코사인 응답을 가능한 한 일치하도록 정합시키는 것이 좋고, 적분구 내의 다중 반사는 복사계의 입력을 일관되게 채우기 때문이다. 자외선 검출기의 코사인 응답에는 더 많은 어려움이 생길 수 있다.

올바르게 설계된 확산기는 단색화 분광기 또는 복사계의 입력 장치로 충분할 수 있다.

#### **B.2.6 선형성**

피시험 램프나 장치는 시험 장치를 교정하는데 사용한 광원과 다른 복사측정 크기를 갖는 것으로 가정해야 한다. 교정이 유용하게 되려면 장치의 선형성을 알아야 하고, 선형 범위 내에서 시험 측정을 해야 한다. 장치의 비선형성은 장치가 선형성을 갖게 하는 교정 기능을 이용하여 교정할 수 있다. 이 조정은 교정과 측정에 적용해야 한다는 것에 유의한다..

#### **B.3 교정 광원**

권고하는 교정 광원은 자외선 영역에서는 중수소 방전 램프, 그리고 더 높은 파장의 자외선, 스펙트럼의 가시 영역과 근적외선 영역에서는 교정용 텅스텐/텅스텐-할로젠 램프이다. 중수소 램프는 출력 레벨이 변할 수 있지만 스펙트럼 형상은 유지한다. 따라서 중수소 램프를 사용하여 200 nm - 350 nm 에서 장치를 교정하려면 250 nm - 350 nm 범위에서 텅스텐(또는 텅스텐-할로젠) 램프의 교정 수준과 비교하여 조정해야 한다. 중수소형을 사용하는 파장은 텅스텐(또는 텅스텐-할로젠) 램프 교정시 잡음을 고려하면 가능한 한 파장이 짧아야 한다.

## 부속서 C

### (참 고)

### 불확도 분석

불확도를 분석하려면 모든 불확도 원인을 정량적으로 평가해야 한다. 불확도 분석의 첫 단계는 각종 불확도 원인을 파악하는 것이다. 아래에 열거한 목록이 램프와 램프장치를 분류할 때 사용한 측정 불확도를 평가하는 시작점이 될 수 있다. 자세한 내용은 CIE 53 - 1982, 복사계와 광도계 성능을 기술하는 방법을 참조한다.

계기

과장

대역폭

변하는 스펙트럼에 대한 응답

선형성

안정도

미광

경로외

대역외

교정

표준(지정된 불확도)

거리

정렬

전기적 동작

측정

정렬

거리

피시험 광원

안정성

온도

크기

전기적 동작

각 불확도 요인을 파악하거나 추정해야 한다. 그 후 위해 분류에 사용한 가중값에 미치는 영향을 파악하기 위해 각 요인을 측정을 통해 전파해야 한다. 위의 5.3.3에서 알 수 있듯 가중값에 미치는 백분율 영향은 각 요인의 백분율 불확도와 다를 수 있다. 백열등 출력 변화에서 이것은 입력 전류의 함수로 보인다. 전류 변화는 램프에서 소모된 에너지를 변화시켜 결국 램프의 저항과 온도를 변화시킨다. 전류 변화 이후 램프의 총 출력은 선형적으로 변하지 않을 것이다. 온도 변화 때문에 단일 과장에서 출력은 총 출력의 변화를 따르지 않을 수 있다. 변화가 선형적이 아니더라도, 변화가 작으면 선형으로 간주할 수 있다. 불확도를 전파하는 통상적인 방법은 초기 요인 변화에 대한 최종값 변화량을 찾는 것이다. 이와 같은 영향 대 입력 변화의 비율을 감도라고 한다. 백열등의 예에서 램프 전류가 작은 백분율로 변하면 해당 과장에서 출력이 변하게 된다.

표 C.1 - 불확도 전파의 예

|      | 램프 전류   | 300 nm에서 신호 |
|------|---------|-------------|
| 설정 1 | 8.20000 | 8451        |
| 설정 2 | 8.2011  | 8461        |
| 변화   | 0.0134% | 0.118%      |

감도는  $0.118 \% / 0.0134 \% = 9$

300 nm에서 전류 불확도가 0.1 %이면 출력 불확도는 0.9 %가 된다.

각 불확도를 최종값으로 바꾸어 백분율로 표현한다. 전체 불확도를 구적법으로 결합하고, 백분율로 표현된 이 결합 불확도를 측정값과 함께 기록한다.

## 부속서 D

### (관련정보)

### 일반참조

ACGIH (미국산업위생가협회). 화학물질 및 물리적요소에 대한 제한치(TLV) ; 생물학적노출지수(BEI). 신시네티, ACGIH

ANSI/IESNA (미국국가표준협회/미국조명기사협회) RP27.1-96. 램프의 광생물학적 안전을 위한 추천 관례 - 일반요구사항. 뉴욕, IESNA 1996

ANSI/IESNA (미국국가표준협회/미국조명기사협회) RP27.2-00. 램프의 광생물학적 안전을 위한 추천관례 -측정시스템- 측정기술. 뉴욕 IESNA 1996

ANSI/IESNA (미국국가표준협회/미국조명기사협회) RP27.1-96. 램프의 광생물학적 안전을 위한 추천관례 - 위험그룹 분류 및 라벨링. 뉴욕, IESNA 1996

CIE 143/3-1999 램프의 광생물학적 안전에 대한 추천. 규격의 검토. CIE 중 광생물학 및 광화학에서 (1999)

CIEx019-1998 광방사위험의 측정

ICNIRP (비전리방사 보호에 대한 국제위원회). 자외선 노출제한에 대한 지침. 보건물리학 71,978,(1996)

ICNIRP (비전리방사 보호에 대한 국제 위원회). 비간섭성 광방사 대역의 노출제한에 대한 지침서 (0.38-4  $\mu\text{m}$ ). 보건물리학 73,539-554,(1997)

IEC 기술보고서 60825-9 레이저제품의 안전, 9부: 비간섭성 광방사에 대한 최대허용노출제한치의 적합성, 1999

IRPA/INIRC(국제 비전리방사위원회). 180  $\mu\text{m}$  - 140  $\mu\text{m}$ 파장의 적외선방사(비간섭성 광방사)의 노출제한에 대한 지침서. 보건물리학 49,331-340,(1985) 및 56,872(1989)

KOSTKOWSKI, H.J. 신뢰할만한 분광복사. 분광복사 상담사, 라 플라타, 메릴랜드 (1997)

SLINEY, D.H 및 WOLBARSH, M.L. 레이저 및 기타 광원의 안전한취급. 플레넘, 뉴욕(1980)