

# Daylight Factor Method를 이용한 채광창의 설계

Design of Daylighting Aperture Using Daylight Factor Method  
and its Evaluation by Distribution of Sky Component

池 哲 根\* · 權 英 惠\*\*  
(Chol-Kon Chee · Young-Hye Kwon)

## 요 약

이등분한 실의 주광율(Daylight Factor)의 비를 균제도의 지수로서 Lumen Method와 같이 정하고, 이를 만족하는 실의 깊이를 검토한 후, 설계 평균 주광율을 만족하는 창의 면적을 구하였다.

본 논문에서 제안한 창의 면적은 창의 면적 자체가 다른 벽면의 면적 변화에 영향을 주고 있음을 고려하지 않은 종래의 방법을 개선하였다. 이후 주광율 요소 중 가장 지배적인 양인 운천공으로부터 입사하는 성분(SCo: Sky Component from overcast Sky)의 분포를 창의 위치와 형태를 변화시켜 조사, 평가하였다.

참고 : Daylight Factor Method와 Lumen Method는 CIE에서 주광에 의한 조도를 계산하기 위하여 추천하는 방법임.

## Abstract

A new and accurate to derive a window area is presented with a sequence for daylighting design using Daylight Factor Method process not in its classical point-by-point method but in lumen method as in artificial lighting design process to consider daylight in the early stage of a building design process. Accepting CIE Overcast Sky as the worst state with the lowest sky luminance, a user of a room can have more available daylight in his or her room. In the design process uniformity is checked to ensure reasonably even daylighting by comparing the depth of the room with computed limiting depth. After these steps the shape and position of window is altered, of which the Sky Component of Daylight Factor under an Overcast Sky, SCo, is investigated and computed in Composite Simpson Multiple Integral so that a building designer of an analyst can choose the best shape and location that satisfies his/her taste and purpose of the room.

\*正會員: 서울대工大 電氣工學科 教授 · 工博

\*\*正會員: 서울대工大 大學院 電氣工學科

## 1. 서 론

최근 신축되는 상업용 건물의 소비에너지 중에서 조명이 차지하는 비율은 냉난방 보다도 더 많으며 30~40%에 이르고 있다. 조명에 소비되는 이 막대한 에너지를 절감하기 위해 에너지 효율형 인공조명 시스템과 그에 앞서 자연채광을 이용한 적절한 실외 설계와 창의 설계가 있어야 할 것이다.

자연채광을 이용할 경우 조명 에너지가 절감될 뿐만 아니라 인간의 심리환경에도 호감을 주는 환경을 제공할 수 있는 장점이 있다. Daylight Factor Method는 현재 CIE에서 채광 시스템의 특성을 판단하는 기법으로 추천되고 있다.

본 논문에서는 창의 면적을 보다 더 정확히 계산하고 실의 깊이가 채택한 근제도의 지수를 만족하는 지를 검토한다. 그 다음의 단계에서는 창의 형태와 위치를 변경하여 각각의 주광율(daylight factor) 중 청공으로부터 직접 입사하는 직접조도분을 조사하고 실의 사용이나 건물의 설계자가 실의 사용목적 또는 설계자의 의도한 바에 따라 선택이 가능하도록 하였다.

## 2. 모델

본 논문에서는 청공중 가장 낮은 휘도분포를 갖는 상태인 CIE의 표준 운천공<sup>6)</sup>하에 있는 육면체의 실을 선정하였다. 이는 가장 열악한 자연채광환경인 표준 운천공 상태에서 설계주광율(DDF)를 만족하는 채광 면적을 확보하여 그보다는 나은 자연채광환경에서 충분한 주광을 확보하기 위한 것이다. 또한 채광창은 하나이고 사각형으로 벽의 한쪽면에 수직으로 위치시켰다. 육면체의 실과 하나의 수직채광창을 계산의 복잡성을 피하기 위한 것이다.

## 3. 주광율(Daylight Factor)

### 3.1 주광율(Daylight Factor)의 정의

표준운천공하(Overcast Sky)에서의 주광율 DF<sub>0</sub>는 다음과 같은 정의 되었다.<sup>16)</sup>

$$DF_0 = \frac{E_i}{E_e} \times 100 [\%] \quad (1)$$

E<sub>i</sub> : 실외에서의 수평면 조도

E<sub>e</sub> : 같은 시각의 실내의 수평면 조도

### 3.2 주광율의 요소<sup>6)</sup>

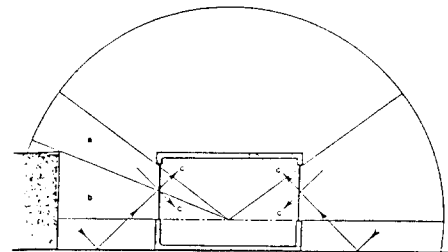
DF<sub>0</sub> = SC<sub>0</sub> + ERC<sub>0</sub> + IRC<sub>0</sub> (그림 1 참조) (2)

SC<sub>0</sub> : 청공으로부터 직접 입사하는 성분

ERC<sub>0</sub> : 실외의 건물이나 주변환경에 반사하여 실내로 입사하는 성분

IRC<sub>0</sub> : 실내로 입사한 후 실내면에 반사하여 한 지점에 도달한 빛의 성분

이 중 SC<sub>0</sub>가 가장 지배적인 성분이다.



a : SC , b : ERC , c : IRC

그림 1. DF<sub>0</sub>의 성분

### 3.3 SC<sub>0</sub>의 계산

CIE Standard Overcast Sky 상의 임의의 점 P에서의 휘도<sup>16)</sup>는 (그림 2 참조)

L<sub>p</sub> : p 점의 휘도

L<sub>z</sub> : 천정의 휘도

O : 천정으로부터 p까지의 각(=90°-고도)

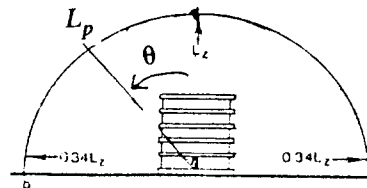


그림 2. CIE Standard Overcast Sky의 휘도

CIE 표준 운천구로부터 직접 입사하는 SC<sub>0</sub>는 천구 휘도분포, 유리의 투과율, 입체각( $\sin\theta d\theta d\phi$ )과 코사인 방향 보정( $\cos\theta$ )의 함수이다.  $\theta$ 와  $\phi$ 는 구좌표계와 같다.

$\theta = 90^\circ - \text{고도}$

$\phi$  는 편위상 창에 수직인 방향을  $\phi = 0$ 으로 하였다.

$$SCo = \frac{\text{천구의 한정부분에서 실내수평면에 닿는 조도-①}}{\text{천구의 모든 부분에서 옥외수평면에 닿은 조도-②}}$$

②의 계산은 해석적으로 하였고, 그 값은  $\frac{\pi}{9} L_z$ 이다.

①의 계산을 위해 참고문헌<sup>7)</sup>과 같이 좌표 변환을 한 후 ②를 나눈 값은,

$$SCo = \frac{3.054 Tg}{7\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \frac{\sin^2 \theta \cos \theta \cos^3 \phi}{\frac{5}{r^2}} + 2 + \frac{2 \cos \theta \cos \phi}{\sqrt{r}} + \left[ \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \phi (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{r} - \sin^2 \phi \right]^{\frac{3}{2}} d\theta d\phi \quad (3)$$

$$\text{단 } r = \cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \theta \quad (4)$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$$

와 같이 된다.<sup>37)</sup>

$$\text{즉 } SCo = f(\theta_1, \theta_2, \phi_1, \phi_2)$$

여기서 다시, 적분구간  $\theta$ 와  $\phi$ 를 실내에서의 채광 창과의 관계를 표시하는 그림 3의 좌표계로 변환하면

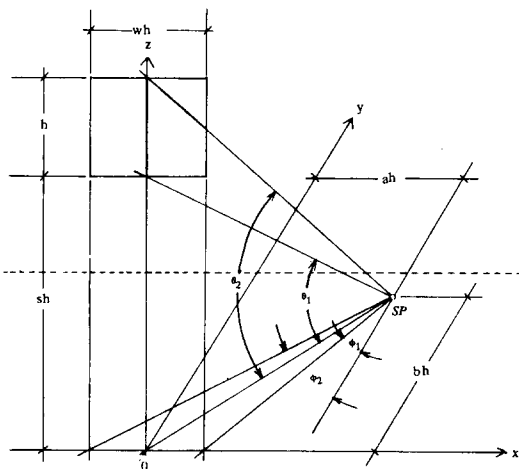


그림 3. 창과 실내 측정점간의 좌표계

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[ \frac{ch}{\sqrt{(ah)^2 + (bh)^2}} \right]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[ \frac{c+1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right]$$

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left[ a - \frac{1}{2} \frac{w}{b} \right]$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \left[ a + \frac{1}{2} \frac{w}{b} \right]$$

적분 구간  $\theta$ 와  $\phi$ 는 다음의 식과 그림 5에서 구해진다.<sup>4)</sup>  $\theta$ 와  $\phi$ 는 창의 위치와 크기, 계산위치에 의존하는 값임을 알 수 있다.

SCo을 계산하기 위하여 Composite Simpson 법을 사용하였다.

#### 4. 실의 검토 및 창의 설계

자연채광된 실을 설계함에 있어서 균제도의 지수로서 사용될 수 있는 평균주광율의 비를 채택하였다. 균제도의 지수는 이미 사용되고 있는  $E_{max}/E_{min}$  또는  $E_{min}/E_{av}$  등이 있으나 이들의 값을 구하기 위해서는 최소한 한번의 point-by-point method에 의한 수많은 점에서의 계산이 필요하다. 따라서 평균주광율의 비를 채택할 경우 인공 조명 설계시와 같이 lumen method를 채광창 설계시에도 사용할 수 있다. 주광의 균제도는 실의 크기와 실내면의 반사율에 의존하는 값이다. 실을 그림 4와 같이 이분하여 채광장을 갖는 실 I과 창이 없는 실 II로 나타낸다. 이 경우 실 II는 공동(cavity)으로 간주될 수 있고, 가상의 분할면의 유효 반사율  $Re$ 는 공동 반사율(cavity reflectance)이 된다.<sup>1)</sup>

$E_{max}$  : 전 실의 최대 조도

$E_{ad}$  : 전 실의 평균 조도

$E_{min}$  : 전 실의 최소 조도

$$Re = \frac{Rb \times Ac}{Rb \times Ac + At \times (1 - Rb)} \quad (5)$$

$Re$  : 가상 분할면의 유효 반사율

$Rb$  : 실 II의 내부면의 평균 반사율

$Ac$  : 가상 분할면의 면적

$At$  : 실 II의 내부 표면적

실 II에서의 평균휘도  $L_b$ 는,

$$L_b = E_b \times R_b \quad (6)$$

또한  $L_b = E_v \times R_e$ 이 된다.

$E_b$  : 실 II의 내부면의 평균 조도

$E_v$  : 창을 향한 가상면의 평균 조도

따라서  $E_b \times R_b = E_v \times R_e$ ,

$$\frac{E_v}{E_h} = \frac{R_b}{R_e} \quad \text{이다.} \quad (7)$$

여기서  $E_v$ , 즉 가상분할면의 창을 향한 평균수직 조도는 실 I에서의 평균 주광율에 비례한다. 이렇게 되면  $E_v/E_b$ 는 실 I과 실 II의 평균 주광율의 비로 파악할 수 있다.

$$A_t = wh + lh + wl, \quad (8)$$

$$A_c = wh \quad \text{이므로} \quad (9)$$

식(5)를 대입하면,

$$\begin{aligned} \frac{E_v}{E_b} &= \frac{\text{실 I의 평균 주광율}}{\text{실 II의 평균 주광율}} \\ &= 1 + (1 - R_b) \times \left( \frac{1}{w} + \frac{1}{h} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

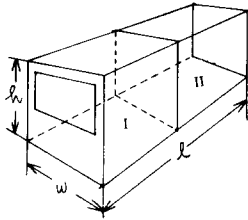


그림 4. 균제도 평가를 위한 실의 분리

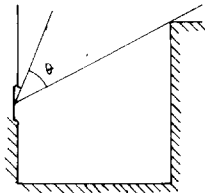


그림 5. 전방 건물과  $\theta$

실의 검토시 실내의 표면 반사율 즉, 바닥면, 벽면, 천정의 마감재가 우선적으로 선택되어졌다면 원하는 균제도를 만족하는 실의 크기를 설정할 수 있다. 또한 그의 역과정으로 반사율을 변경할 수 있다.

실내의 표면상에서의 주광율의 평균은 창에 입사하는 광속에 비례하므로,

$$\text{창의 실외를 향한 면상에서의 조도} = \frac{S \times E_{gh,o}}{100} \quad [\text{lux}]$$

$S$  : 실외로 향한 창면상에서의 주광율 [%]

$E_{gh,o}$  : Overcast Sky 하에서의 실외의 수평 조도

$$S = \theta/2 \quad (\theta : \text{그림 2})^{20)}$$

$$\text{그러므로 창 바깥면의 조도} = \frac{\theta \times E_{gh,o}}{200} \quad [\text{lux}]$$

$$\text{창에 입사하는 광속} = \frac{A_g \times T_g \times \theta \times E_{gh,o}}{200} \quad [\text{lm}]$$

$A_g$  : 창 면적

$T_g$  : 창 투과율

만약  $DF_{avg}$ 를 실내의 모든 표면에서의 주광율의 평균값이라 한다면 ( $DF_{avg}$ 는 설계의 초기 단계에서  $DDF = E_d/E_{gh,o} \times 100$ 의 값이 된다.),

$$\text{실내의 평균 조도} = \frac{DF_{avg} \times E_{gh,o}}{100} \quad [\text{lux}] \quad (15)$$

$$\text{실내면에 충돌하는 광속} = \frac{A \times DF_{avg} \times E_{gh,o}}{100} \quad [\text{lm}] \quad (16)$$

$A$  : 실내의 표면적, 창면적 포함

이 식에서 창면으로 다시 나가는 광속도 포함되어 있으므로,

$$\text{실내에서 흡수된 광속} = \frac{A \times DF_{avg} \times E_{gh,o} \times a}{100} \quad [\text{lm}] \quad (17)$$

$a$  : 평균 흡수율 =  $(1 - R)$

$R$  : 전체실의 평균 반사율

그러므로, 식(17)은

$$\text{실내에서 흡수된 광속} = \frac{A \times DF_{avg} \times E_{gh,o} \times (1 - R)}{100} \quad [\text{lm}] \quad (18)$$

광속보존법칙에 의하면, 실내에 입사된 광속은 창을 통해 다시 실외로 돌아가는 적은 양의 광속을 무시한다면 실내에서 수 차례의 충돌 후에 실내에서 흡수되는 광속과 일치해야 한다. 그러므로 식(14)=식(18)가 된다.

$$\frac{A_g \times T_g \times \theta \times E_{gh.o}}{200} = \frac{A \times DF_{avg} \times E_{gh.o} \times (1-R)}{100} \quad (19)$$

위의 식은 닫힌 공간에서의 평균조도를 계산한 Sumpner<sup>9)</sup>와 Lynes<sup>2)</sup>의 식과 일치한다. 전실의 평균 반사율은

$$R = \frac{\rho_f \times A_f + \rho_c \times A_c + \rho_w \times A_w + \rho_g \times A_g}{(A_f + A_c + A_w + A_g) - A} \quad (20)$$

- $\rho_f$  : 바닥면의 반사율
- $\rho_c$  : 천정면의 반사율
- $\rho_w$  : 벽면의 반사율
- $\rho_g$  : 유리의 반사율
- $A_f$  : 바닥면적(=1×w)
- $A_c$  : 천정면적(=1×w)
- $A_w$  : 벽면적(=(1×h+w×h)×2-A<sub>g</sub>)
- $A_g$  : 창면적

이므로, A<sub>w</sub>와 같이 A<sub>g</sub>에 의존하는 값임을 알 수 있다. 따라서 식(20)과 식(21)을 식(19)에 포함하여 구하여야 한다.

$$\text{결국 } A_g = \frac{DF_{avg} (A - \rho_f \times A_f - \rho_c \times A_c - \rho_w \times (2 \times h \times \ell + 2 \times w \times \ell))}{T_g \times \theta / 2 + DF_{avg} \times (\rho_g - \rho_w)} \quad (22)$$

이 된다.

### 5. 설계 및 평가 예

- 실 크기=9m×10m×3m(길이×폭×높이)
- 작업면 높이=0.7m
- 창턱의 위치=0.7m
- 주광반에 의한 설계 조도=300 lux
- 반사=80%/50%/30%(천정/벽/바닥)

- 유리의 반사율=10%
- 시야를 가로막는 전방 건물의 높이=30m
- 전방의 건물과 실의 최소거리=40m
- 9월 8시에서 18시까지의 평균 옥외 수평면 조도 × =15000 lux
- 창의 가시광선 영역에서의 투과율=85%
- 장기간의 관측 자료가 필요하다.

실 I 과 실 II 의 평균 주광율의 비가 3을 넘지 않도록 하는 실의 최대 깊이는 9.23m 이므로 창 면적은 식 (16)에 의해

$$A_g = 4.67m$$

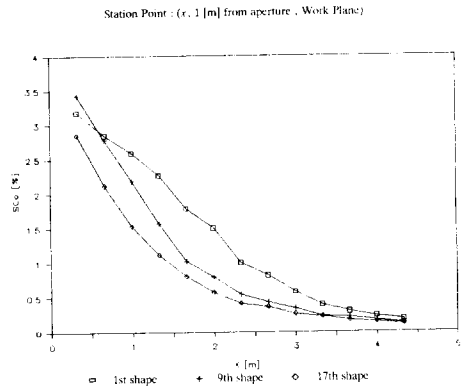


그림 6. x 방향의 분포

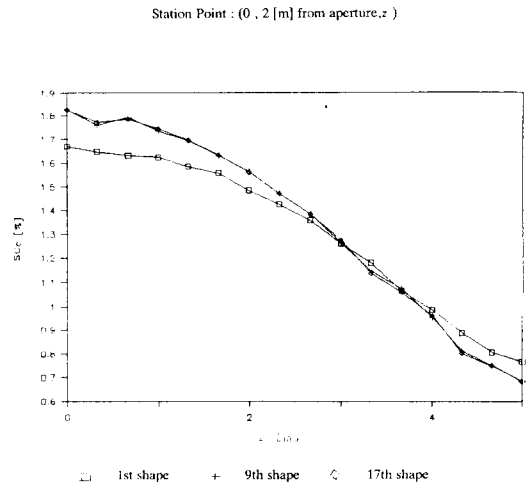


그림 7. z 방향의 분포

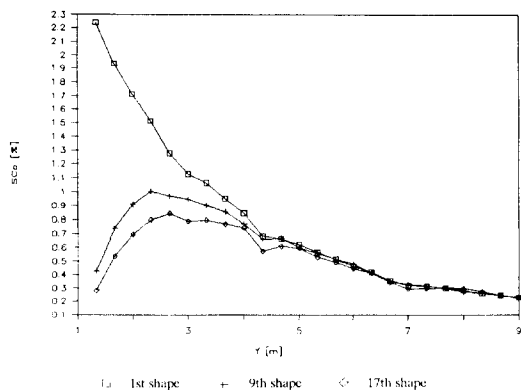


그림 8. y 방향의 분포

Skylight &amp; Daylight factor

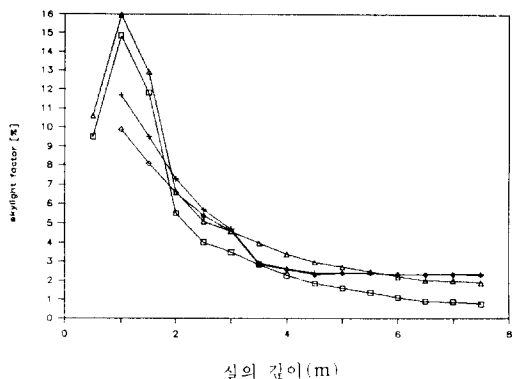


그림 9. 축척모델, 실제의 실, 계산 결과와의 비교

+ 축척 모델의 결과  $\diamond$  실제의 실에서 측정된 결과  
 $\square$  계산한 SCo  $\triangle$  계산한 DFo

DDf=2.0%

이고, 창의 형태를 가로/세로 또는 세로/가로가 10을 넘지 않도록 하고 위치를 바꾸면서 실내의 각 지점에서 SCo를 구한다.

17개의 창 형태 중 2번, 8번, 17번 창을 벽면의 중앙에, 작업면 높이에 설치하였을 때의 몇개소에 있어서의 SCo의 분포는 다음과 같다.

그림 6에서 그림 8과 같이 가로로 넓은 창이 고 큰 분포를 갖음을 알 수 있다.

## 6. 결론

Daylight Factor Method를 이용하여 균제도의 지수로서 Lumen Method와 같이 평균값의 비로 정하고, 이를 만족하는 실의 깊이와 창의 투과율, 반사율을 고려한 창의 면적을 구한 후, 채광창의 형태와 위치를 변화시켜 조도분포를 조사하였다. 이러한 과정은 설계의 초기단계에서 주광의 조도분포를 예측하도록 하여준다.

본 논문에서는 Overcast Sky에서 투과율의 직접 조도분반의 분포를 조사하였으나 장기간의 조도자료가 갖추어져 있다면 우리나라의 각 도시에 알맞는 창공의 채택이 바람직하다. 조도 분포를 예측할 수 있다면 주광을 보완해 주는 인공광의 배치, 소등, 제어를 효율적이고 합리적으로 실시할 수 있다.

### 참고문헌

- 1) K. Matsuura, H. Tanaka, "Optimum turning-off depth for saving lighting energy in side-lit offices", J.Illum. Inst. Japan (1979)
- 2) J. A. Lynes, "A sequence for daylighting design", Lighting Research & Technology, Vol. 11, No.12(1979)
- 3) Claude L. Robbins, Daylighting, Van Nostrand Reinhold Company(1986)
- 4) M.S. Millet, J.R. Bedrick, "Predicting Daylight Distribution in proposed interior designs", Lighting Design & Application, March, pp. 23-30(1980)
- 5) W.E. Sumpner, Proc. Phys. Soc., 12, 10(1982)
- 6) J.E. Kaufman, H. Haynes, eds. IES Lighting Handbook(1984)
- 7) H. J. Bryan, R.D. Clear, "Calculating Daylight Illuminance with Programmable Hand Calculator", Journal of the I.E.S., Vol 10, No. 4, pp. 219-277(1981)
- 8) P.Moon, D.E. Spencer, "Illuminance from a nonuniform sky", Illuminating Engineering 37: 707