

Daylight Factor Method 를 이용한 채광장의 설계와

주광율의 직접조도분배에 의한 채광장의 평가

지 철 근 권 영 예  
서울대학교 공과대학 전기공학과

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

Chee,Chol-Kon Kwon, Younghye

Dept. of Electrical Eng. Seoul National University

ABSTRACT

A new and accurate expression 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 the 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 or an analyst can choose the best shape and location that satisfies his/her taste and purpose of the room.

I. 서 론

최근 신축되는 상업용 건물의 소비에너지 중 조명에 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 실내 설계와 창 설계가 있어야 할 것이다.

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

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

\* 국제 조명 학회 (Commission Internationale de l'Eclairage)

II. 모 델

본 논문에서는 청공중 가장 낮은 위도분포를 갖는 상태인 CIE 의 Standard Overcast Sky 하에서의 육면체의 실을 선정했다. 이는 건물 설계의 초기 단계에서 더욱 많은 주광을 실내에 들여 놓기 위한 것이다. 또한 채광장은 하나이고 사각형으로 벽의 한쪽면에 수직으로 위치시켰다.

III. 실의 검토

자연채광된 실을 설계함에 있어서 균제도의 지수로서 사용될 수 있는 평균주광율의 비를 채택하였다. 균제도의 지수는 이미 사용되고 있는 Emax/Emin 또는 Emin/Eav 용이 있으나 이들의 값을 구하기 위해서는 최소한 한 번의 point-by-point method 에 의한 수많은 점에서의 계산이 필요하다. 따라서 평균주광율의 비를 채택할 경우 인공 조명 설계시의 값이 lumen method 를 채광장 설계시에도 사용할 수 있다. 주광의 균제도는 실의 크기와 실내면의 반사율에 의존하는 값이다. 실을 그림 1 과 같이 이분하여 채광장을 갖는 실 I 과 창이 없는 실 II 로 나타낸다. 이 경우 실 II 는 공동(cavity)으로 간주될 수 있고, 가상의 반할면의 유효 반사율 Re 는 공동 반사율(cavity reflectance)이 된다.

$$Re = \frac{Rb * Ac}{Rb*Ac + At*(1 - Rb)} \tag{1}$$

Re : 가상 분할면의 유효 반사율  
Rb : 실 II 의 내부면의 평균 반사율  
Ac : 가상 분할면의 면적  
At : 실 II 의 내부 표면적

실 II 에서의 평균위도 Lb 는 ,

$$Lb = Eb * Rb \tag{2-1}$$

또한 Lb = Ev \* Re 이 된다.  $\tag{2-2}$

Eb : 실 II 의 내부면의 평균조도  
Ev : 창을 향한 가상면의 평균조도

$$\text{따라서 } Eb * Rb = Ev * Re , \tag{3}$$
$$\frac{Ev}{Eb} = \frac{Rb}{Re} \text{ 이다.}$$

여기서 Ev , 즉 가상분할면의 창을 향한 평균수직조도는 실 I 에서의 평균 주광율에 비례한다. 이렇게 되면 Ev/Eb 는 실 I 과 실 II 의 평균 주광율의 비가 된다.

식 (1) 을 대입하면,

$$\frac{E_v}{E_b} = \frac{\text{실 I 의 평균 주광율}}{\text{실 II 의 평균 주광율}} = 1 + (1 - R_b) * (1/w + 1/h) \quad (4)$$

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

IV. 창의 설계

(1) 창의 면적

실내의 표면상에서의 주광율의 평균은 창에 입사하는 광속에 비례하므로, 창의 실외를 향한 면상에서의 조도 =  $\frac{S * E_{gh,o}}{100}$  [lux] (5)

S : 실외로 향한 창면상에서의 주광율 [%]  
E<sub>gh,o</sub> : Overcast Sky 하에서의 실외의 수평조도

$$S = \theta/2 [2] \quad (\theta : \text{그림 2}) \quad (6)$$

그러므로 창 바깥면의 조도 =  $\frac{\theta * E_{gh,o}}{200}$  [lux] (7)

창에 입사하는 광속 =  $\frac{A_g * T_g * \theta * E_{gh,o}}{200}$  [lm] (8)

A<sub>g</sub> : 창의 면적  
T<sub>g</sub> : 창의 투과율

만약 DF<sub>avg</sub> 를 실내의 모든 표면에서의 주광율의 평균값이라 한다면 (DF<sub>avg</sub> 는 설계의 초기 단계에서 DDF = E<sub>d</sub>/E<sub>gh,o</sub> \* 100 의 값이 된다.),

실내의 평균조도 =  $\frac{DF_{avg} * E_{gh,o}}{100}$  [lux] (9)

실내면에 송출하는 광속 =  $\frac{A * DF_{avg} * E_{gh,o}}{100}$  [lm] (10)

A : 실내의 표면적, 창면적 포함

실내에서 흡수된 광속 =  $\frac{A * DF_{avg} * E_{gh,o} * a}{100}$  [lux] (11)

a : 평균 흡수율 = (1 - R)  
R : 전체실의 평균 반사율

그러므로, 식 (11) 은

실내에서 흡수된 광속 =  $\frac{A * DF_{avg} * E_{gh,o} * (1 - R)}{100}$  [lux] (12)

광속보존법칙에 의하면, 실내에 입사된 광속은 창을 통해 다시 실외로 돌아가는 적은 양의 광속을 무시한다면 실내에서 수 차례의 송출 후에 실내에서 흡수되는 광속과 일치해야 한다. 그러므로 식 (8) = 식 (12) 가 된다.

$$\frac{A_g * T_g * \theta * E_{gh,o}}{200} = \frac{A * DF_{avg} * E_{gh,o} * (1 - R)}{100} \quad (13)$$

위의 식은 닫힌 공간에서의 평균조도를 계산한 Sumpner [5] 와 Lynes [2] 의 식과 일치한다.

전실의 평균 반사율은

$$R = \frac{P_f * A_f + P_c * A_c + P_w * A_w + P_g * A_g}{(A_f + A_c + A_w + A_g)} = A \quad (14)$$

- P<sub>f</sub> : 바닥면의 반사율
- P<sub>c</sub> : 천정면의 반사율
- P<sub>w</sub> : 벽면의 반사율
- P<sub>g</sub> : 유리의 반사율
- A<sub>f</sub> : 바닥면적 (= 1\*w)
- A<sub>c</sub> : 천정면적 (= 1\*w)
- A<sub>w</sub> : 벽면적 (= (1\*h + w\*h)\*2 - A<sub>g</sub>)
- A<sub>g</sub> : 창면적

이므로, A<sub>w</sub> 와 값이 A<sub>g</sub> 에 의존하는 값임을 알 수 있다. 따라서 식 (14) 와 식 (15) 를 식 (13) 에 포함하여 구하여야 한다.

$$\text{결국 } A_g = \frac{DF_{avg} (A - P_f * A_f - P_c * A_c - P_w * (2 * h * 1 + 2 * w * 1))}{T_g * \theta / 2 + DF_{avg} * (P_g - P_w)} \quad (15)$$

이 된다.

(2) 창의 위치와 형태

1) 주광율(Daylight Factor)의 정의

Overcast Sky 에서의 주광율 DF<sub>o</sub> 는 다음과 같이 정의되었다.

$$DF_o = \frac{E_i}{E_e} * 100 \quad [\%] \quad (17)$$

E<sub>i</sub> : 실외에서의 수평면 조도  
E<sub>e</sub> : 같은 시각의 실내의 수평면 조도

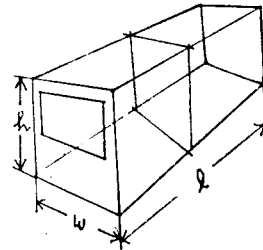


그림 1. 균계도 평가를 위한 실의 분리

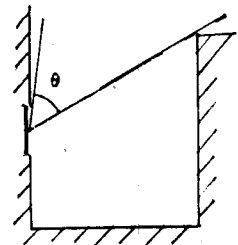


그림 2. 전방건물과 θ

2) 주광율의 요소

$$DF_o = SC_o + ERC_o + IRC_o \quad (\text{그림 3 참조}) \quad (18)$$

- SC : 청공으로부터 직접 입사하는 성분
- ERC : 실외의 건물이나 주변환경에 반사하여 실내로 입사하는 성분
- IRC : 실내로 입사한 후 실내면에 반사하여 한 지점에 도달한 빛의 성분

이 중 SC<sub>o</sub> 가 가장 지배적인 성분이다.

3) SCo 의 계산

CIE Standard Overcast Sky 상의 임의의 점 p 에서의 휘도 [8] 는 ( 그림 4 참조)

$$L_p = L_z * (1 + 2 * \cos \theta) / 3 \quad (19)$$

Lp : p 점의 휘도  
Lz : 천정의 휘도  
0 : 천정으로부터 p까지의 각 (-90-고도)

$$SCo = \frac{3.054 * T_g}{7 * \pi * r^2} \left( \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\sin^3 \theta \cos \theta \cos^3 \phi}{r^2} + 2 + \frac{2 \cos \theta \cos \phi}{r^2} \right) d\theta d\phi + \left( \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \phi (\cos^2 \theta - \sin^2 \phi)}{r} \right)^{3/2} d\theta d\phi \quad (20)$$

단  $r = \cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \theta$

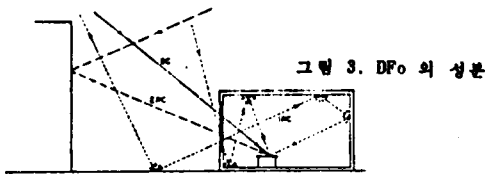


그림 3. DFo의 성분

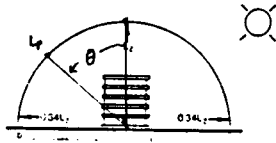


그림 4. CIE Standard Overcast Sky의 휘도

적분 구간  $\theta$  와  $\phi$  는 (4) 에서와 같이, 즉 다음의 식과 그림 5에서 구하여진다.  $\theta$  와  $\phi$  는 창외 크기, 계산위치에 의존하는 값임을 알 수 있다. SCo 을 계산하기 위하여 Composite Simpson 법을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \tan^{-1} \left( \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) \\ \theta_2 &= \tan^{-1} \left( \frac{c+1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) \\ \phi_1 &= \tan^{-1} \left( \frac{a-1/2w}{b} \right) \\ \phi_2 &= \tan^{-1} \left( \frac{a+1/2w}{b} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

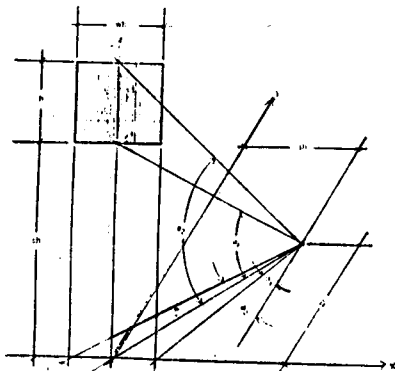


그림 5. 실내의 좌표계

V. 설계 및 평가 예

- 실 크기 = 8 m \* 10 m \* 3 m ( 길이 \* 폭 \* 높이 )
- 작업면 높이 = 0.7 m
- 창턱의 위치 = 0.7 m
- 주광만에 의한 설계조도 = 300 lux
- 반사율 = 80 % / 50 % / 30 % ( 천정 / 벽 / 바닥 )
- 유리의 반사율 = 10 %
- 시아를 가로막는 전방 건물의 높이 = 30 m
- 전방의 건물과 실의 최소거리 = 40 m
- 8 월 8 시에서 18 시까지의 평균 옥외 수평면 조도 = 15000 lux
- 창의 가시광선 영역에서의 투과율 = 85 %
- \* 장기간의 관측 자료가 필요하다.

실 I 과 실 II 의 평균 주광울의 비가 3 을 넘지 않도록 하는 실의 최대 길이는 9.23 m 이므로 창의 면적은 식 16 에 의해

$$A_g = 4.67 \text{ m}^2$$

$$DDF = 2.0 \%$$

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

17 개의 창 형태 중 2번, 8번, 17번 창을 벽면의 중앙에, 작업면 높이에 설치하였을 때의 몇개소에서의 SCo 의 분포는 다음과 같다. 그림과 같이 가로로 넓은 창이 고른 분포를 갖음을 알 수 있다.

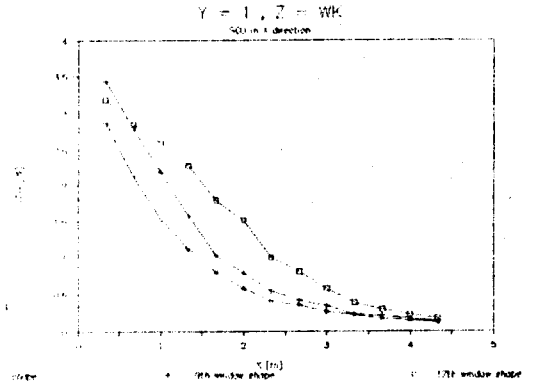


그림 6. 세 개의 채광창 형태에 대하여 X 방향으로 살펴본 SCo 의 분포

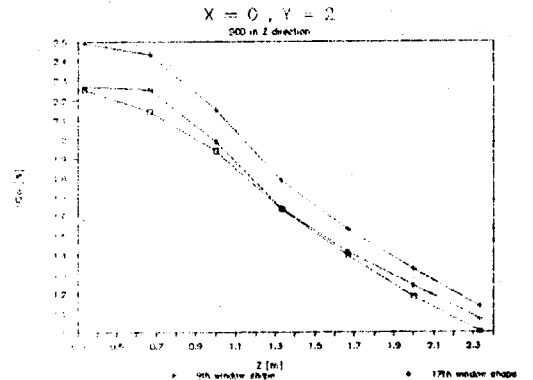


그림 7. Z 방향의 SCo

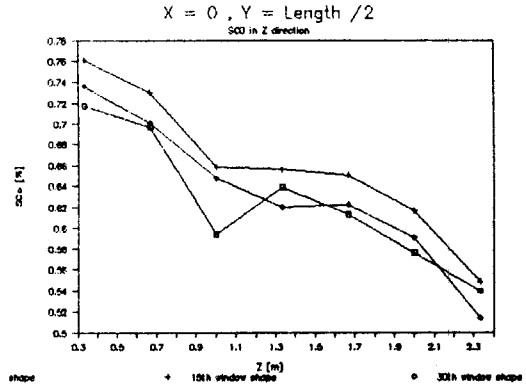
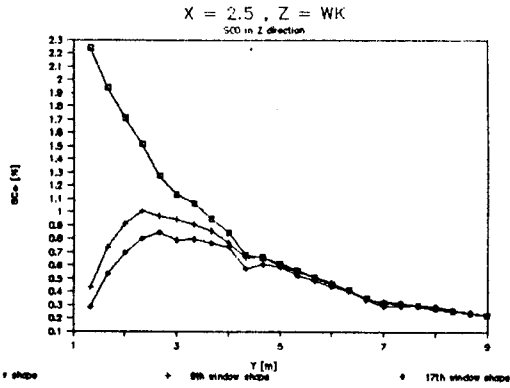
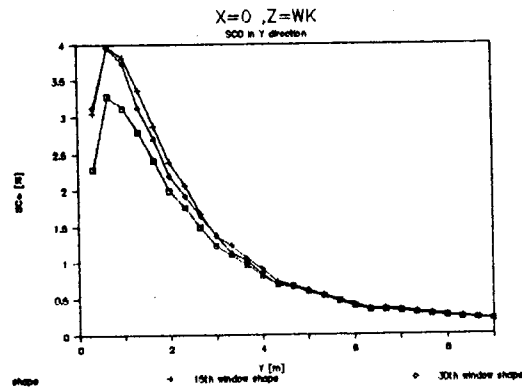
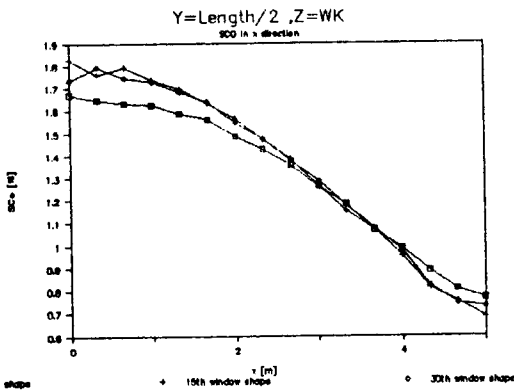


그림 8. y 방향의 SC0



### VI. 결론

Daylight Factor Method 를 이용하여 근제도의 지수로서 Lumen Method 와 같이 평균값의 비로 정하고, 이를 만족하는 실의 길이와 창면적을 구한 후, 채광창의 형태와 위치를 변화시켜 조도분포를 조사하였다. 이러한 과정은 설계의 초기단계에서 주광의 조도분포를 예측하도록 하여 준다.

본 논문에서는 Overcast Sky 에서 주광의 직접조도분포의 분포를 조사하였으나 장기간의 조도자료가 갖추어져 있다면 우리나라의 각 도시에 합맞는 채광의 선택이 바람직하다. 조도 분포를 예측할 수 있다면 주광을 보완해 주는 인공광의 배치, 소광, 제어등 효율적이고 합리적으로 실시할 수 있다.

### 참고 문헌

- [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,Ltg.Research & Tech. Vol.11 No.12(1979)
- [3] Claude L.Robbins,Daylighting, Van Nostrand Reinhold Company (1986)
- [4] M.S.Millet, J.R.Bedrick, Lighting Design & Application, March, 1980, pp.23-30.
- [5] W.E.Sumpner, Proc.Phys.Soc., 12, 10(1882)
- [6] W.E.Sumpner, Phil.Mag., 35, 81(1893)
- [7] J.E.Kaufman, H.Haynes, eds. IES Lighting Handbook, Vol.1, New York: IES/US (1981)
- [8] H.J.Bryan, R.D.Clear, "Calculating Daylight Illuminance with a Programmable Hand Calculator", Journal of the IES, 10(4) : 219-27.
- [9] P.Moon, D.E.Spencer, Illuminance from a nonuniform sky. Illuminating Engineer 37:707