제 2 장 문헌 및 기본이론의 고찰

2.1 자연채광 시스템

현재 도심부에 건설되는 사무소 건물, 호텔 및 고층 아파트 때문에 주변 환경은 자연채광이나 통풍 면에서 여러 가지 제약을 받고 있다. 이러한 제약을 기존의 자연채광 수법으로는 해결하기 어렵기 때문에 설비형 자연채광 시스템에 대해서 관심이 높아지고 있으며 실제로 도입한 예도 증가하고 있다. 이러한 시대적 요구에 따라 실제로 일본, 홍콩 및 구미에서는 단독주택, 맨션, 사무소 등 자연광이 필요한 공간이지만 건축적인 채광 수법으로 실내에 자연광을 유입할 수 없는 곳에 여러 가지 설비 시스템을 사용함으로써 필요한 자연채광을 실시하고 있다(이상우 등, 1995).

선진 외국의 경우 오랜전부터 자연광을 실내 조명에 이용하기 위해 집광장치를 통해 주광의 단위면적당 광속 밀도를 높인 다음 반사거울을 사용하여 빛을 필요한 곳으로 유도하는 방법을 연구해 오고 있다. 1800 년대 후반, 미국과 소련의 과학자들은 건물의 측창을 통해 주광을 실내로 받아들이기 어려운 경우 집광장치와 방향조절장치의 사용에 관심을 갖기 시작했다. 이렇게 시작한 주광을 모으며 방향을 조절하는 기술은 단순히 광선반에 의해 빛을 조절하는 것에서부터 광학 기술, 즉 광덕트 또는 광섬유, 광학 렌즈 등을 이용하여 빛을 건물의 깊숙한 곳 또는 지하공간으로 이동시키는 기술까지 발전하게 되었다(Mirkovich, 1993). 특히 광덕트나 광섬유 장치를 통한 빛의 이동(Littlefair, 1990)은 일반적으로 측창이나 천창 등 주광을 받아들이는 개구부를 충분히 설치하기 힘든 대도시 고층 빌딩이나 지하공간 등에서 주광을 이용할 수 있게 한다. 이러한 장치를 설비형 자연채광 시스템이라 부를 수 있는데 <표 2.1>은 설비형 자연채광 시스템의 종류(김정태, 1994)를 정리하여 보인 것이다.

<표 2.1> 설비형 자연채광 시스템의 종류

채광 장소	채광 방식	내 용
건물의 일영부	태양광 자동추적 방식	태양의 위치에 맞추어서 반사 거울을 제어하여 태양직사광을 도입하는 방식. 태양광을 일정한 장소에 조사할 수 있고, 고층 건축물에 사용 가능.
	태양광 수동추적 방식	건물의 각도를 수동으로 제어하여 태양직사광을 도입하는 방식. 2-3 시간 정도의 일조시간을 얻을 수 있는 간이타입으로 비용이 적게 든다.
중정 아트리움	태양광 자동추적 방식	태양의 위치에 맞추어서 반사 거울을 제어하여 태양직사광을 도입하는 방식. 태양광을 일정한 장소에 조사할 수 있고, 고층 건축물에 사용 가능.
	블록거울 방식	건물 상부의 정해진 각도에 배치된 거울을 이용하여 태양직사광을 내벽에서 산란시키면서 도입하는 방식. 건물이 중층인 경우 유리하고 내부 전체가 밝아진다.
	건축화덕트 방식	건물의 내벽에 고반사체를 붙이고, 천공광을 상호반사에 의해 받아들이는 방식. 건물 내부 전체가 밝아지고 빛의 연출효과를 얻을 수 있다.
건물의 내부	톱라이트 방식	지붕에 설치한 돔으로, 천공광을 내장재의 반사에 의해서 실내로 받아들이는 방식. 비용이 저렴하여 이용하기 쉽다.
	덕트 방식	채광구로부터 입사하는 천공광을 고반사 거울로 구성된 광덕트에 의해 빛을 실내로 도입하는 방식. 효율이 높고, 자연광에 가까운 빛을 얻을 수 있다.
	광섬유 방식	태양위치에 맞추어 최적 각도로 제어된 렌즈로 태양직사광을 집광하고 광섬유에 의해 건물내부로 도입하는 방식. 광섬유를 임의로 굴절시킬 수 있어 덕트공간을 절약할 수 있으나 가격이 매우 비싸다.

2.1.1 지하공간을 위한 채광덕트 시스템

이 시스템은 덕트를 통하여 자연채광이 어려운 지하공간 실내로 외부의 빛을 유입시키는 기능을 가지고 있다. 광덕트 시스템의 종류에는 수직형 덕트방식과 수평형 덕트방식, 그리고 수직형과 수평형의 병용방식(이상우 등, 1995)이 있다.

(1) 수직형 덕트방식 : 이 방식은 건물의 지붕, 옥상 등의 채광장치에서 채광으로 수직덕트에 의해 필요한 실에 도입시키는 것이다.

(2) 수평형 덕트방식 : 이 방식은 건물 측벽의 채광장치에서 채광하여 수평으로 실내에 도입시키는 방식이다. 맨션 등 무창실이 있는 곳에 이용할 수 있으며 설치위치와 방향에 따라 조도가 변화한다.

(3) 수직, 수평 병용형 덕트방식 : 수직덕트와 수평덕트를 조합한 방식으로 건물 구조에 따라 다양하게 응용할 수 있으며 지하실의 채광 등에도 이용된다.

2.2 자연채광에 의한 실내 조도예측법

2.2.1 계산법

일반적으로 자연채광에 의한 실내 조도 예측 계산법으로 주광율법(Daylight Factor Method), 광속법(Lumen Method), 광속전달법(Flux Transfer Method) 등 3 가지 방법을 사용한다.

1) 주광율법 (Daylight Factor Method)

주광율법은 1950 년대 영국의 Hopkinson(Hopkinson et al., 1966)에 의해 개발된 것으로 청천공 및 담천공에 의한 실내 임의의 점에서의 조도만을 계산할 수 있다. 여기서 주광율(DF: Daylighting Factor)이란 실내 한 지점에서의 조도와 직사일광이 없다는 조건 하에서의 외부 수평면 조도와의 비를 말한다. 식으로 나타내면 식 (2.1)과 같다.

$$DF = \frac{E_i}{E_o} \times 100 \quad (\%) \tag{2.1}$$

단, E_i: 실내 측정점 조도 [lx]

E_o: 외부 수평면 조도 [lx]

식 (2.1)의 내용을 식 (2.2)와 같이 표현할 수 있다.

$$DF = SC + ERC + IRC \tag{2.2}$$

단, SC: 천공성분(Sky Component)

ERC: 외부 반사성분(Externally Reflected Component)

IRC: 내부 반사성분(Internally Reflected Component)

2) 광속법 (Lumen Method)

Lumen Input Method 또는 Total Flux Method 라 불리는 광속법은 1953 년 Southern Methodist University(미국)에서 개발되어(Biesele et al, 1953) 미국의 Griffith, Arner, Conover(Griffith et al, 1955; 1956)에 의해 수정된 것으로 직사일광에 의한 조도계산이 가능하나 실 중심선 상의 세점에 대해서만 계산이 가능하며 빛이 들어오는 실의 한 지점에 부과되는 빛의 비율인 사용계수(CU: Coefficient of Utilization)를 결정해야 하는 점에서 인공조명 계산과 유사하다. 광원이 천공과 지면인 경우 측창에 대한 실내 작업면 조도의 계산은 식 (2.3)과 같이 할 수 있다.

$$E_{work_plan} = E_e \times A_g \times T_g \times LLF \times CU \tag{2.3}$$

단, E_e: 외부조도 (E_s(천공조도)+E_g(지면반사조도))

A_g: 유리면의 넓이

T_g: 유리면의 투과율

LLF: 빛손실 계수

CU: 자연채광의 사용계수(빛손실 계수를 포함한 개구부의 면적에 입사하는 빛과 실내에서 측정위치에 도달하는 빛사이의 관계)

3) 광속전달법(Luminous Flux Transfer Method)

광속전달법은 1930 년대 Higbie 가 개발한 것(Higbie and Levine, 1926; Higbie and Randall, 1927)으로 유한요소법을 적용하여 실내면을 여러개의 요소로 분할하여 각 요소사이의 광속전달량을 계산한 다음 최종적으로 작업면상의 조도를 계산하는 방법이다. 실내 조도를 평가하는 계산방법 중에서 실내 반사성분을 가장 정확하게 계산한다. 또한 CIE 청천공 또는 담천공을 모두 사용할 수 있으며 주어진 어떤 점 또는 태양광이 입사하는 실내의 어떤 표면에서의 조도를 결정하는 개구부 면에 대한 조도 또는 휘도를 계산할 수 있다. 자연채광에 의한 작업면 위의 어떤 점에서의 조도는 주광율 계산법에서 이용되는 것과 비슷한 용어로 식 (2.4)와 같이 정의되어 질 수 있다.

$$E_p = E_S + E_{SE} + E_{ERE} + E_{IRE} \tag{2.4}$$

단, E_p: 작업면 위의 임의의 점에서의 조도 [lx]

E_S: 직사일광에 의한 조도 [lx]

E_{SE}: 천공광에 의한 조도 [lx]

E_{ERE}: 외부요소에 의한 조도 [lx]

E_{IRE}: 내부요소에 의한 조도 [lx]

광속전달법은 E_S와 E_{IRE}를 계산하는데 촛점이 있다. 천천공 또는 담천공시 어떤 한 지점에서 조도를 계산할 때 다음과 같은 항목이 필요하다.

- 개구부의 크기와 형태
- 계산점에서 개구부의 모서리까지의 거리
- 계산점에서 본 천공의 모습 또는 개구부 면에서의 휘도
- 기후, 시간 그리고 태양의 위치

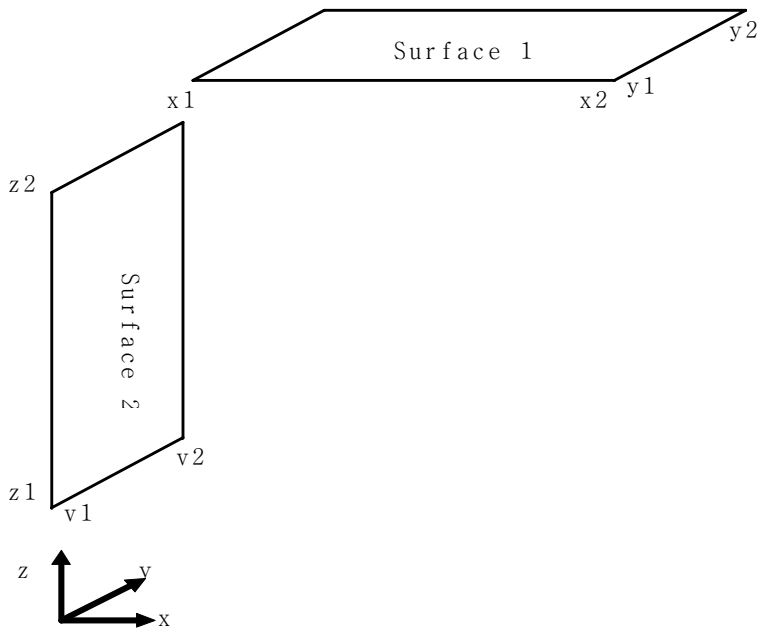
4) 형태계수

일반적으로, 광속전달법을 위한 광속전달 변환계수(Luminous Radiative Transfer Exchange Factor), 즉 형태계수에는 3 가지 형태가 있다. ; 1) Form Factor - 유한면(Finite

Area)에서 유한면으로 전달되는 광속을 계산할 때 사용되는 형태계수 2) Configuration Factor - 유한면에서 한 점으로 이동되는 광속을 계산할 때 사용되는 형태계수 3) 역자승법칙(Inverse Square's Law) - 점광원에 대한 한 점에서의 조도계산.

이 세가지 형태는 확산반사면(Lambertian Surface)에서 사용된다. Saraiji 와 Mistrick(1992)에 의하면 Configuration Factor 는 Form Factor 에 비해 광원이 되는 면의 모양과 방향에 관계없이 컴퓨터 모델링할 수 있다는 잇점이 있다. 또한 Form Factor 는 계산시간이 더 오래 걸리고 평행과 직각인 정방형에 대해서만 수치적으로 해석이 되어있는 제약이 있다. 이것은 형태계수의 계산 방법에 따라 계산시간이 결정되며, 또한 컴퓨터의 주기억용량(RAM) 및 하드디스크 용량이 제한 조건이 될 수 있다는 것을 나타낸다.

다음의 [그림 2.1]과 [그림 2.2], 식 (2.5)와 식 (2.6)은 Form Factor 의계산식을 나타낸 것이며, [그림 2.3]과 [그림 2.4], 식 (2.7)과 식 (2.8)은 Configuration Factor 의 계산식을 나타낸 것이다(Brackette, Fink and Pierpoint, 1983).



[그림 2.1] Form Factor 계산을 위한 수직한 두 면의 기하학적 형상

$$F_{12} = \frac{1}{\pi A_1} \int_{v1}^{v2}\int_{z1}^{z2}\int_{x1}^{x2}\int_{y1}^{y2} \frac{(x-\bar{x})(\bar{z}-z)}{\left((x-\bar{x})^2+(y-v)^2+z^2\right)^2} dxdzdvdy$$

$$= \frac{1}{2\pi A_1} \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{2}\sum_{m=1}^{2} G(v_i, z_j, x_k, y_m)(-1)^{i+j+k+m} \qquad (2.5)$$

$$G(v_i, z_j, x_k, y_m) = a\sqrt{c^2+b^2}\tan^{-1}\frac{a}{\sqrt{c^2+b^2}} + \frac{1}{4}\left(a^2-b^2-c^2\right)\ln\left(a^2+b^2+c^2\right)$$

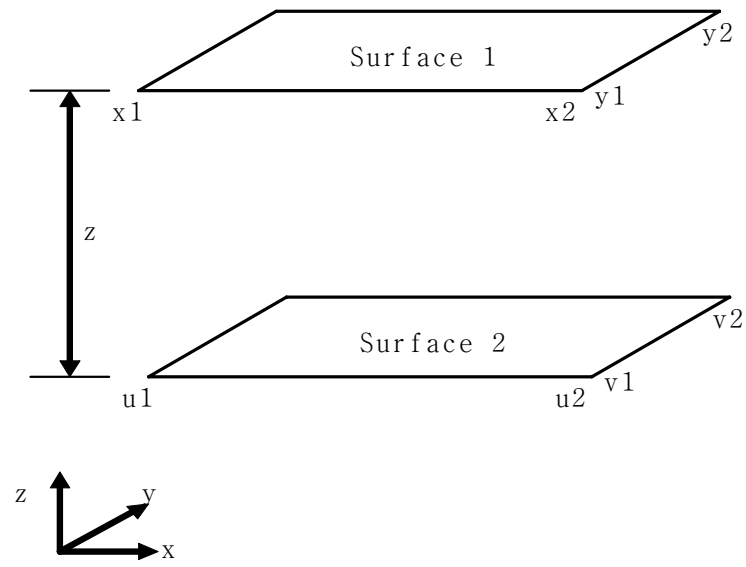
단, $a = y_m - v_i$

$b = \bar{z} - z_j$

$c = x_k - \bar{x}$

$\bar{x}$: 표면 2 의 x 좌표값

$\bar{z}$: 표면 1 의 z 좌표값



[그림 2.2] Form Factor 계산을 위한 평행한 두 면의 기하학적 형상

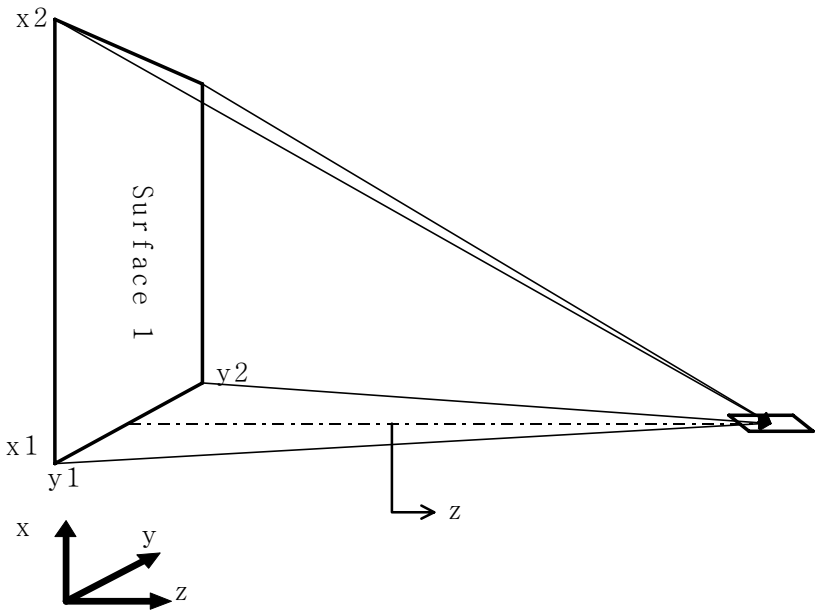
$$F_{12} = \frac{z^2}{\pi A_1} \int_{u1}^{u2} \int_{v1}^{v2} \int_{x1}^{x2} \int_{y1}^{y2} \frac{dudvdxdy}{\left((x-u)^2 + (y-u)^2 + z^2\right)^2}$$

$$= \frac{z^2}{2\pi A_1} \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \sum_{k=1}^{2} \sum_{m=1}^{2} H\left(u_i, v_j, x_k, y_m\right)(-1)^{i+j+k+m} \qquad (2.6)$$

$$H\left(u_i, v_j, x_k, y_m\right) = a\sqrt{1+a^2}\tan^{-1}\frac{b}{\sqrt{1+a^2}} + a\sqrt{1+b^2}\tan^{-1}\frac{a}{\sqrt{1+b^2}} - \frac{1}{2}\ln\left(1+a^2+b^2\right)$$

단, $a = 1/z(x_k - u_i)$

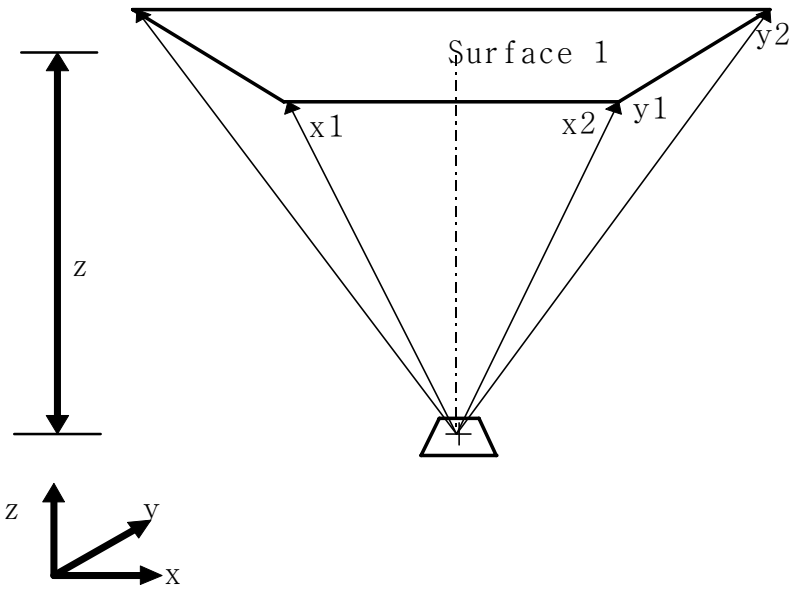
$b = 1/z(y_m - u_j)$



[그림 2.3] Confuguration Factor 계산을 위한 수직한 두 면의 기하학적 형상

$$C = \int_{x1}^{x2}\int_{y1}^{y2} \frac{xz}{\pi\left(x^2 + y^2 + z^2\right)^2} dxdy = \frac{z}{2\pi}\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2} F\left(x_i, y_j\right)\left(-1\right)^{i+j} \qquad (2.7)$$

$$F\left(x_i, y_j\right) = \frac{-1}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \tan^{-1} \frac{y_j}{\sqrt{x_i^2 + z^2}}$$



[그림 2.4] Confuguration Factor 계산을 위한 평행한 두 면의 기하학적 형상

$$C = \int_{x1}^{x2}\int_{y1}^{y2} \frac{z^2}{\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^2}\,dxdy = \frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2} F\left(x_i, y_j\right)\left(-1\right)^{i+j} \qquad (2.8)$$

$$F\left(x_i, y_j\right) = \frac{x_i}{\sqrt{x_i^2+z^2}}\tan^{-1}\frac{y_j}{\sqrt{x_i^2+z^2}} + \frac{y_j}{\sqrt{y_j^2+z^2}}\tan^{-1}\frac{x_i}{\sqrt{y_j^2+z^2}}$$

5) 자연채광 분석을 위한 계산법의 비교

광속법과 주광율 계산법은 정확한 계산결과를 얻을 수 있으며 좋은 설계 및 분석의 도구로써 개발되어져 왔으나 다음과 같은 한계를 지니고 있다.

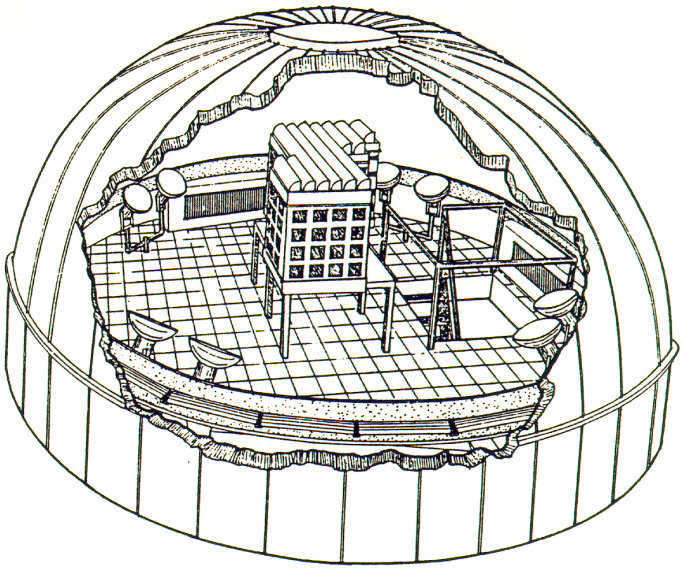
- 실내공간 내의 계산점에서 직사일광에 의한 또는 실내 표면에서 반사된 빛에 의한 조도를 계산할 수 없다.
- 주광을 위한 개구부를 가진 실내와 이웃한 공간에서 반사된 빛 또는 태양광이 입사하는 실내에서 경사진 표면에 반사된 빛을 고려할 수 없다.
- 청천공과 담천공 상태에서, 주광을 위한 개구부의 다른 다양한 형태를 분석할 수 없다.
- 간접 자연채광 시스템을 분석할 수 없다.

광속전달법은 이러한 문제를 극복할 수 있으며 가장 효과적인 자연채광분석 방법 중 하나로 컴퓨터 모델로 자주 이용된다(Gillette et al., 1983 ; Kolar, 1984).

2.2.2 모형실험법

모형 실험은 거의 모든 설계 경우를 다룰 수 있는 이론적인 가능성을 가지고 있다. 이 방법은 모형제작의 숙련도, 그리고 측정장비의 정확도 및 사용능력에 따라 그 정확성이 결정된다(Spitzglas et al., 1985).

모형실험 방법에는 모형의 크기에 따라 축소모형(Physical Scale Model)의 측정법과 실물 크기 모형(Mock-Up)의 측정법 등 2가지 방법이 있다. 또한 실제 천공상태에서 조도계로 측정하는 방법이 있으며 [그림 2.5]와 같이 실제 천공을 인공적으로 구현한 인공천공 하에서 천공 및 직사일광의 변화에 따른 다양한 천기상태에서 측정하는 방법이 있다(Robbins, 1986).



(a) 미국 Texas A&M 대학교에 설치된 인공천공 모습

(b) 미국 Lawrence Berkeley National Laboratory의 인공천공에서 축소모형 실험을 수행하는 장면

[그림 2.5] 인공 천공

2.3 주광의 발광효율

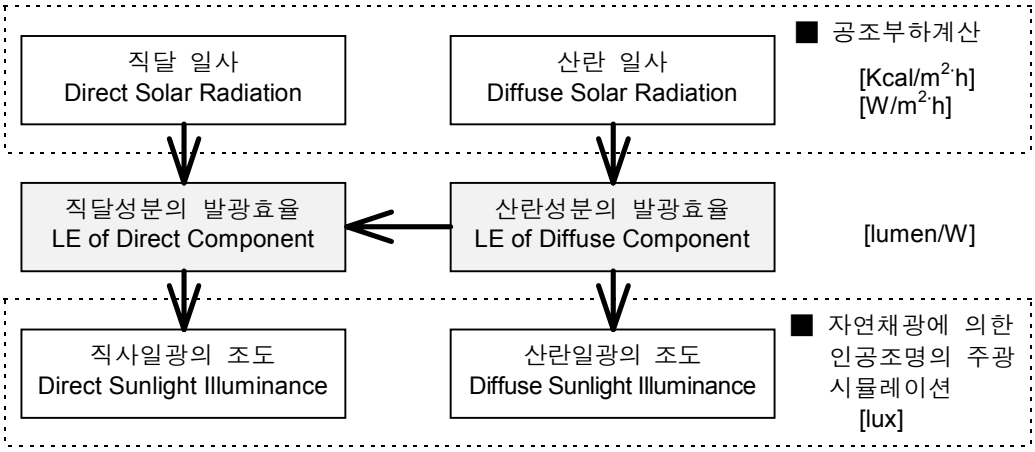
2.3.1 개요

에너지의 효율적인 설계에 대한 관심이 증가됨에 따라 자연채광에 대한 관심이 증가되고 있다. 이러한 관심의 증가로 인해 건물에서 자연채광의 효과를 예측하는 방법에 대한 연구가 필요하게 되었다. 또한 자연광의 도입에 따른 일사에 의한 냉방부하의 증가를 고려하여 열적 평가를 실시할 필요가 있다. 이런 경우 시각별 직달 일사량, 천공 일사량, 외기 온습도 등의 데이터와 더불어 조도 데이터가 필요하다. 그러나 현재의 기상대의 측정치나 건축물의 공조부하계산에 이용되고 있는 평균년 기상자료에는 조도 데이터에 관한 항목은 없다.

외부조도의 예측방법으로는 대기권학(Atmospheric Science)의 원칙에 따른 계산, 실험식에 의한 유도 등이 있다. 이러한 방법들은 복잡성과 정확성에 있어서 매우 다양하며 조도를 계산하기 위해 많은 변수를 대입해야 한다. 이들 방법 중에서 대부분은 그 정확성이 전 범위의 조명상태에 대해서 증명되어 있지 않다.

일사에 관한 정보는 기상자료와 계산식에 의해 구할 수 있다. 그러므로 일사 상태와 그 결과 야기되는 조도 상태 사이의 상호관계로부터 외부조도를 구할 수 있다. 조도는 대부분 일사량에 따라 달라지므로 일사에 의해서 조도를 구하는 방법을 정립하는 것이 바람직하다. 따라서 전체 일사량에 대한 조도의 관계를 나타내는 발광효율(LE: Luminous Efficacy)의 값을 안다면 직달 일사량과 천공 일사량을 각각 직사일광 조도와 확산천공광 조도로 변환시킬 수 있게 된다.

[그림 2.6](宿谷昌則, 木村建一, 1980)는 발광효율을 이용하여 일사량 데이터로부터 조도 데이터를 추정하는 방법을 나타낸 것이다.



[그림 2.6] 일사량 데이터로부터 조도 데이터를 추정하는 방법

2.3.2 발광효율의 기본 개념

주광의 발광효율이란 수평면 일사량에 대한 수평면 조도의 비를 말하며 일사 에너지의 분광분포를 알 경우 발광효율(LE) η [*lm*/W]은 식 (2.9)로 정의된다(Treado and Kusuda, 1981).

$$\eta = \frac{K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{0}^{\infty} E(\lambda) \cdot d\lambda} \tag{2.9}$$

단, K_m: CIE 최대 비시감도 (555nm 에서 680 *lm*/W)

V(λ): 파장 λ의 단색복사의 CIE 표준 비시감도

E(λ): 파장 λ의 복사속 (W/m^2·nm)

2.3.3 기존의 연구결과

기존의 연구에서 주광의 발광효율은 대표적인 천기상태에 대해서 나타내져 왔다. 다음의 <표 2.2>~<표 2.5>(Littlefair, 1985)는 다양한 천기 상태에 대해 여러 연구

자들이 발표한 기존의 발광효율의 값을 정리한 것이다.

<표 2.2> 직달 일사의 발광효율의 값

연구자	발표년도	측정장소	측정치(*lm*/W)
Dogniaux	1960	Uccle, Belgium	52~97 α에 대한 함수
Kuhn	1973 (1968)	Plateau Sta, Antarctica	94~103
Evnevich and Nikol'skaya	1976	Moscow, USSR	59~93 α에 대한 함수
Liebelt	1978 (1975~6)	Karlsruhe, Germany	109.2±10.4
Chandra	1980	Roorkee, India	α에 대한 함수
Aydinli	1980	Calculated	α, β, ω에 대한 함수
Shukuya and Kimura	1980 (1978~9)	Tokyo, Japan	62~122 α에 대한 함수
Petersen	1982 (1977~9)	Vaerlose, Denmark	103
Saito, Sakai and Endo	1983		α에 대한 함수
Navvab, Karayel, Ne'eman and Selkowitz	1983 (1978~82)	San Francisco, USA	21~116 α,달에 대한 함수
McCluney	1984	Calculated	58~109 α에 대한 함수
Gillette and Treado	1984 (1980~83)	Gaithersburg, Maryland, USA	103±28

<표 2.3> 확산천공 일사의 발광효율의 값

연구자	발표년도	측정장소	측정치(*lm*/W)
Drummond	1958 (1955)	Pretoria, South Africa	132(average), 달, 시간에 대한 함수
Blackwell	1966	Kew	130
Barteneva and Poljakova	1968	Repeteke, Karakuma, USSR	118
Krochmann	1970		130~133
Kuhn	1973	Plateau Sta, Antarctica	122~156 α에 따라 증가
Evnevich and Nikol'skaya	1976	Moscow, USSR	95~115 α에 따라 증가
Liebelt	1978 (1975~6)	Karlsruhe, Germany	113.3±8.0
Chandra	1980	Roorkee, India	84
Aydinli	1980	Calculated	125.4±6.1
Arumi-Noe	1981	Golden, USA	140
Page and Thompson	1982	Calculated	152~173, Linke turbidity Factor 에 따라 증가
Peterson	1982 (1977~9)	Vaerlose, Denmark	146±14
McCluney	1984	Calculated	125~141, α의 증가에 따라 감소

<표 2.4> 직달 일사+확산천공 일사의 발광효율의 값

연구자	발표년도	측정장소	측정치(*lm*/W)
Drummond	1958 (1955)	Pretoria, South Africa	104
Blackwell	1966	Kew	119±2
Schuze	1970	Calculated	105±10
Krochmann	1970		85~90
Chroscicki	1971	Warsaw and Stockholm	α에 대한 함수
Kuhn	1973 (1968)	Plateau Sta, Antarctica	98~108
Evnevich and Nikol'skaya	1976	Moscow, USSR	77~79 α에 대한 함수
Lofberg	1976	Stockholm, Sweden	100±15
Liebelt	1978 (1975~6)	Karlsruhe, Germany	110.8±5.8
Aydinli	1980	Calculated	α에 대한 함수
Rattunde	1980 (1975~8)	Berlin, Germany	108±3
Arumi-Noe	1981	Golden, USA	114
Peterson	1982 (1977~9)	Vaerlose, Denmark	113±7

<표 2.5> 담천공 확산 일사의 발광효율의 값

연구자	발표년도	측정장소	측정치(*lm*/W)
Drummond	1958 (1955)	Pretoria, South Africa	106
Krochmann	1964	Washinton, USA	155
Blackwell	1966	Kew	120±5
Blackwell	1966	Kew	155
Barteneva and Poljakova	1968	Repeteke, Karakuma, USSR	103
Dogniaux and Lemoine	1976		110
Evnevich and Nikol'skaya	1976	Moscow, USSR	60~92 α에 대한 함수
Lofberg	1976	Stockholm, Sweden	111±18
Rattunde	1980 (1975~8)	Berlin, Germany	116±10
Peterson	1982 (1977~9)	Vaerlose, Denmark	121±7
Page	1984		112~128 α에 대한 함수

2.3.4 宿谷昌則, 木村建一의 연구

1978 년 8 월 9 일부터 1979 년 6 월 9 일까지 10 개월간 동경에 있는 18 층 건물 옥상에서 2 대의 일사계로 수평면 전일사량과 수평면 천공광 조도를 동시에 측정하여 다음과 같은 회귀식을 유도하였다(宿谷昌則, 木村建一, 1980).

1) 전천일사의 발광효율(η_T)

$$\eta_T = \eta_o \cdot a \tag{2.10}$$

이 때 η_o는 대기권외에서의 발광효율로서 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_o = E_o / I_o = 93.7 lm / W \tag{2.11}$$

단, E_o: 대기권외 법선면 조도(126,800 *lm*/W)

I_o: 대기권외 법선면 일사량(1164 Kcal/m^2·h = 1353 W/m^2)

a: 태양고도별 실험상수

2) 직달일사의 발광효율(η_D)

$$\eta_D = \eta_o \cdot b \cdot K_{DR} + \eta_o \cdot C \tag{2.12}$$

이 때 K_{DR}은 대기권외 수평면 일사량에 대한 지상에서의 수평면 일사량의 비로서 다음과 같이 정의된다.

$$K_{DR} = I_{DH} / I_o \cdot \sinh \tag{2.13}$$

단, I_{DH}: 지표면의 수평면 직달일사량 [Kcal/m^2·h]

b, c: 태양고도별 실험상수

3) 천공확산일사의 발광효율(η_d)

$$\eta_d = \eta_o \cdot d \tag{2.14}$$

단, d : 태양고도별 실험상수

다음 <표 2.6>는 각 실험상수에 대한 태양고도별 값이며, <표 2.7>~<표 2.9>는 <표 2.6>에서 구한 실험상수를 이용하여 일사의 각 성분에 대한 발광효율을 태양고도별로 구한 값을 나타낸 것이다.

<표 2.6> 태양고도별 실험상수

SIN h [h]	0 ~ 0.2 [0 ~ 11]	0.2 ~ 0.4 [12 ~ 23]	0.4 ~ 0.6 [24 ~ 36]	0.6 ~ 0.8 [37 ~ 53]	0.8 ~ 1.0 [54 ~ 90]
a	0.961	1.147	1.225	1.258	1.347
b	0.191	0.449	0.286	0.059	0.040
c	0.524	0.768	0.965	1.125	1.328
d	1.051	1.339	1.376	1.364	1.345

<표 2.7> 전천일사의 발광효율[*lm*/W]

SIN h [h]	0 ~ 0.2 [0 ~ 11]	0.2 ~ 0.4 [12 ~ 23]	0.4 ~ 0.6 [24 ~ 36]	0.6 ~ 0.8 [37 ~ 53]	0.8 ~ 1.0 [54 ~ 90]
η_T	90.0	107.5	114.8	117.9	126.2

<표 2.8> 직달성분의 발광효율[*lm*/W]

SIN h [h] K_{DR}	0 ~ 0.2 [0 ~ 11]	0.2 ~ 0.4 [12 ~ 23]	0.4 ~ 0.6 [24 ~ 36]	0.6 ~ 0.8 [37 ~ 53]	0.8 ~ 1.0 [54 ~ 90]
0.1	50.9	76.2	93.1	106.0	124.1
0.3	54.5	84.6	98.5	107.1	123.3
0.5	58.0	93.0	103.8	108.2	122.6
0.7	61.6	101.4	109.2	109.3	121.8

<표 2.9> 천공성분의 발광효율[*lm*/W]

SIN h [h]	0 ~ 0.2 [0 ~ 11]	0.2 ~ 0.4 [12 ~ 23]	0.4 ~ 0.6 [24 ~ 36]	0.6 ~ 0.8 [37 ~ 53]	0.8 ~ 1.0 [54 ~ 90]
η_d	98.5	125.5	128.9	127.8	126.0