

# 건물 자연채광 설계를 위한 외부조도 및 천공휘도분포 데이터베이스 구축

송 규동\* · 한 승민\*\*

\* 한양대학교 공학대학 건축공학과 교수, 건축학박사

\*\* 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정

## Developing Databases of External Illuminance and Sky Luminance Distributions for Building Daylighting Design

Song, Kyoo-Dong\*, Han, Seung-Min\*\*

\* Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Ph.D.

\*\* Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Hanyang University

---

**Abstract** : External illuminance and sky luminance distributions are necessary basic data for computer simulations to predict daylighting performances of a building design. To the end, the analysis method of weather data should be standardized and external illuminance and sky luminance distributions have to be constructed to analyze weather conditions and to apply them to daylighting designs. In this study, a computer program which calculates external illuminances and sky luminance distributions using Perez Sky Model was developed. Then, using the Typical Meteorological Year of Seoul as input data, databases of external illuminances and sky luminance distributions of Seoul were constructed.

---

**Key words** : Daylighting, External Illuminance, Sky Luminance Distributions, Direct Sunlight, Diffuse Skylight, Perez Sky Model

## 1. 서 론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

자연광은 건물의 환경요소들 중의 하나로서 광원 그 자체 이상의 의미를 지니고 있다. 이는 건물 에너지 절약과 이로 인한 비용의 절감이라는 한 측면뿐만 아니라 시각정보의 취득과 관련이 있는 것으로 시각환경과 외부환경의 접촉이라는 또 하나의 측면을 이야기하는 것이다(이석배, 1995). 각 지역에서 자연광이 건물 에너지 절약에 미치는 영향이나 건물 내의 재실자의 시각환경에 미치는 영향등을 예측 및 평가하기 위해서는 해당 지역의 외부조도 및 천공휘도분포 데이터가 필요하고 이 데이터들은 자연채광 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션에 필

수적인 입력 수치가 된다. 따라서 데이터베이스를 어떻게 작성하며 정확하게 구축하느냐의 여부는 해당 지역의 여러 건물 자연채광 설계안에 대한 예측 및 성능 평가의 정확성과 신뢰도에 영향을 미친다.

본 연구의 목적은 건물 자연채광 설계를 위하여 외부조도 및 천공휘도분포를 정확하게 예측할 수 있는 컴퓨터 모델을 개발하고 이 컴퓨터 모델을 이용해서 작성되어 있는 서울 지역의 표준기상년(한승민, 송규동, 1999)의 기상 요소를 입력 데이터로 적용하여 서울 지역의 외부조도 및 천공휘도분포 데이터베이스를 구축하는 것이다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 문헌에 의한 이론 연구, 외부조도 및 천공휘도분포 컴퓨터 프로그램의 개발, 그리

고 컴퓨터 프로그램을 이용하여 서울 지역의 외부조도 및 천공휘도분포 데이터베이스 구축 순서로 진행되었다.

기존의 자연채광 조도 예측 기법인 주광율법(Daylight Factor Method)이나 광속법(Lumen Method)에서는 외부의 수평면 조도값을 기초로 하여 실내 조도를 예측할 수 있었지만(Higbie and Levine, 1926), 좀 더 정확한 예측 기법으로서 그 이용이 증가하고 있는 광선 추적 기법(Ray-tracing Technique)에서는 천공의 휘도 분포를 예측함으로써 확산 천공광에 의한 조도를 정확하게 계산할 수 있다. 그러나 천공 휘도 분포의 예측은 외부 수평면 조도의 예측보다 어려운데, 그 이유는 천공의 휘도 분포가 그 날의 기상 조건과 측정 지점의 지리적·지형학적 위치에 영향을 받아서 매우 다양하게 변화하기 때문이다. 그래서 이것을 정확히 모델로 예측하는 것은 쉽지 않은 일이지만 그 동안 많은 연구와 실험에 의해 실제 천공 상태를 유사하게 예측할 수 있는 모델들이 개발되었다.

본 연구에서는 그 동안 개발된 모델들 중에서 가장 정확한 것으로 알려진 Perez 천공 모델(Perez et al. 1990, 1993)을 채택하여 컴퓨터 프로그램 개발에 적용하였다.

## 2. 기본이론의 검토

### 2.1. 태양의 고도와 방위각

외부 조도 및 천공 휘도 분포를 계산하기 위해서는 우선 태양의 고도와 방위각을 계산해야 한다. 태양의 고도와 방위각은 계산대상 장소의 위도와 경도, 계산대상 날짜와 시간으로부터 구할 수 있다. Fig. 1.은 태양의 고도각과 방위각의 개념을 나타낸 것으로서 태양의 고도( $\alpha$ )는 태양과 수평면이 이루는 각도를 말하며 방위각( $\phi$ )

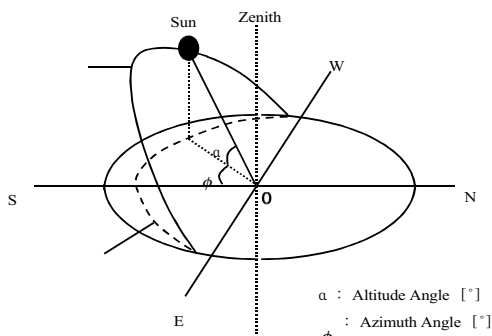


Fig. 1. Sun location

은 태양이 수평면에 투영된 위치가 정남쪽과 이루는 수평각을 말한다.

Fig. 1.의 태양 고도( $\alpha$ )와 방위각( $\phi$ )은 각각 식(1)과 식(2)에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (1)$$

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{\sin \alpha \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \varphi}\right) \quad (2)$$

$\varphi$  : 위도 [°]

$\delta$  : 태양 적위 [°]

$\omega$  : 시각 [°] (1 시간당 15°의 비율로 시간을 각도로 환산한 것)

### 2.2. 천공 조건과 외부 조도

천공은 기본적으로 청천공(clear sky), 부분 담천공(partly cloudy sky), 담천공(overcast sky)의 3 가지로 구분되는데 현재까지 전 세계의 수 많은 연구자들이 이 세 가지 주요 천공 상태를 결정하기 위하여 운량의 범위를 서로 다르게 선택하고 있으며 서로 다른 척도, 즉 10 척도와 8척도(구름으로 덮혀 있는 천공의 면적 비율), 뿐만 아니라 서로 다른 분류 방법을 사용하고 있다. 각 연구자들의 분류 방법을 정리하면 다음과 같다.

Nakamura와 Oki(1979)는 10척도를 사용하여 청천공으로 2.5/10 이하인 운량을, 운량 7.5/10 이상을 담천공으로 그리고 이들 사이를 부분 담천공으로 정의하였다. Ruck(1985)은 8척도를 사용하고 있으며 2/8 이하의 운량을 청천공으로, 운량 2~6/8 범위를 부분 담천공으로, 운량 7 이상을 담천공으로 구분하고 있다. 미국 국립 해양대기청(NOAA)도 운량에 의해 천공 상태를 분류하는데, 운량 0~3/10을 청천공으로, 운량 4~7/10을 부분 담천공으로, 운량 8~10/10을 담천공으로 제안하고 있다.

목록에 의해서 나타내는 가시 천공율은 장기간동안 전 세계의 기상대에서 인간의 눈에 의해서 사용된 천공 상태 분류의 표준이다. 이러한 목록법은 천공의 운량을 10등분하여 구름이 전혀 없을 때를 0, 구름이 완전히 덮혀 있을 때를 10으로 측정하여 운량이 0~2일 때를 청천공, 운량이 3~7일 때를 부분 담천공, 운량이 8~10일 때를 담천공으로 분류한다.

외부조도는 직사일광조도(beam sunlight illuminance), 확산천공광조도(diffuse skylight illuminance), 이 두 가지를 더한 주광조도(daylight illuminance)로 분류된다(이상우 외, 1997).

### 2.3. 페레즈 천공 모델(Perez Sky Model)

자연채광에 의한 외부조도 및 천공휘도분포를 예측하기 위해서는 직사일광과 확산천공광에 의한 외부조도를 알아야 하는 것이 무엇보다 중요하다. 천공광의 경우, 실제 천공 상태의 휘도 분포를 정확하게 예측하기란 거의 불가능하다. 하지만 많은 연구에 의해서 실제 천공상태와 비슷한 천공 모델들이 개발되었다. 현재까지 개발되어 있는 천공휘도분포 모델 중 다양한 상태의 천공 조건에 대해 가장 정확한 결과를 얻을 수 있는 모델은 Perez의 천공 모델(Perez et al. 1990, 1993)이다.

Perez 천공 모델은 태양 천정각, 천공의 청정도, 천공의 밝기 및 대기의 수증기량의 4가지 인자를 사용하여 천공의 휘도 분포를 식(3)~식(19)의 단계를 거쳐 계산할 수 있는 것이다.

$$\Delta = [(I_d + I_{DN}) / I_d + 1.104Z^3] / [1 + 1.104Z^3] \quad (3)$$

$$\epsilon = I_d \times m / I_{ON} \quad (4)$$

$$W = \exp(0.07 \times T_d - 0.075) \quad (5)$$

Z: 태양 천정각 (rad)

$\Delta$ : 천공의 청정도 (1~8)

$\epsilon$ : 천공의 밝기

W: 대기 수증기량

$I_d$ : 수평면 확산 일사량 ( $W/m^2$ )

$I_{DN}$ : 법선면 직달 일사량 ( $W/m^2$ )

M: 대기의 광학적 두께

$I_{ON}$ : 대기권밖의 법선면 일사( $W/m^2$ )

$T_d$ : 3시간 동안의 지표면 노점 온도( $^{\circ}C$ )

대기권 밖의 법선면 일사( $I_{ON}$ )와 대기권 밖의 수평면 일사 ( $I_{oh}$ )는 각각 식(6)과 식(7)에 의해 계산한다.

$$I_{ON} = I_{sc} [1 + 0.33 \cos(\frac{360n}{365})] \quad (6)$$

$$I_{oh} = I_{sc} [1 + 0.33 \cos(\frac{360n}{365})] \times \cos Z \quad (7)$$

$I_{sc}$ : 태양 상수 ( $1350 W/m^2$ )

n: 1월1일로부터의 통산일 ( $1 \leq n \leq 365$ )

천공 청정도는 식(8)에 의해 계산한다.

$$k_T = I_T / I_{oh} \quad (8)$$

$k_T$ : 시간별 청정도

$I_{oh}$ : 대기권 밖의 수평면 일사량( $W/m^2$ )

그리고, 확산 일사량은 식(9)에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} I_d / I_T &= 1.0 - 0.09 k_T \quad (k_T \leq 0.22) \\ &= 0.9511 - 0.1604k_T + 4.3888k_T^2 \\ &\quad - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 \quad (0.22 < k_T \leq 0.8) \\ &= 0.165 \quad (0.8 \leq k_T) \end{aligned} \quad (9)$$

또한, 수평면 직달 일사량과 연직면 직달 일사량은 각각 식(10)과 식(11)에 의해 구한다.

$$I_{DH} = I_T - I_d \quad (10)$$

$$I_{DN} = I_{DH} / \sin(a_t) \quad (11)$$

$a_t$ : 태양 고도각 (rad)

천공의 밝기( $\Delta$ )를 계산하기 위하여, 광학적 대기의 두께(m) 과 대기권 밖의 법선면 직달일사량( $I_{ON}$ )이 입력값으로 필요하다. 태양이 천공 천정에 있을 때의 복사선이 통과하는 대기의 두께와 임의의 위치에서 통과하는 대기 두께와의 비율인 광학적 대기의 두께는 식(12)에 의해 얻어진다.

$$m = 1 / \cos Z \quad (12)$$

연직면 및 수평면 직달 조도( $E_{dH}$ )와 수직면 직달 조도( $E_{dV}$ )는 각각 식(13), 식(14), 식(15)에 의해 구할 수 있다.

$$E_{dN} = \text{MAX}\{0, I_{DN}[a_t + b_t W + c_t \exp(5.73Z - 5) + d_t \Delta]\} \quad (13)$$

$$E_{dH} = E_{dN} \times \sin(a_t) \quad (14)$$

$$E_{dV} = E_{dN} \times \cos(a_t) \quad (15)$$

$E_{dN}$ : 법선면 직달 조도 (lx)

$E_{dH}$ : 수평면 직달 조도 (lx)

$E_{dV}$ : 수직면 직달 조도 (lx)

$a_t$ : 입사각 (rad)

$a_i, b_i, c_i, d_i$ : 실험식에 의해 구해진 계수

수평면 확산 조도 ( $E_{kH}$ )는 식(16)로 구할 수 있다.

$$E_{kH} = I_d \{a_i + b_i W + c_i \exp(Z) + d_i \ln(\Delta)\} \quad (16)$$

그리고 수평면주광조도( $E_{th}$ )는 식(14)와 식(16)을 더한 값이 된다.

경사면 확산 조도( $E_{kS}$ )는 수평면 확산 조도와 표면의 기울기를 고려하여 식(17)에 의해 구한다.

$$E_{kS} = E_{kH} \{ (1-F_1)(1+\cos S)/2 + F_1 \times a/b + F_2 \sin S \} \quad (17)$$

$$F_1 = f_{11} + f_{12} + f_{13} \times Z$$

$$F_2 = f_{21} + f_{22} + f_{23} \times Z$$

$$a = \max(0, \cos)$$

$$b = \max(0.087, \cos S)$$

S: 경사면의 기울기

$f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{21}, f_{22}, f_{23}$ : 천공 청정도의 함수

천공의 임의의 점의 휘도( $L_v$ )의 천공 휘도의 비율로서 정의되는 상대 휘도( $lv$ )는 식(18)에 의해 구한다.

$$lv = f(\zeta, v)$$

$$= \{1 + a \exp(b/\cos \zeta)\} \{1 + c \exp(dv) + e \cos 2v\} \quad (18)$$

$lv$ : 상대 휘도

$v$ : 태양과 예측점 사이의 각 (rad)

$\zeta$ : 예측점의 천정각 (rad)

$a, b, c, d, e$ : 일사 상태의 실험 계수

최종적으로 천공 휘도( $L_v$ )는 확산 조도의 천공 모델을 일반화하여 식(19)로부터 얻을 수 있다.

$$L_v = l_v \times \frac{E_{kH}}{\int_{2\pi sr} (l_v(\zeta, \gamma) \cos \zeta) d\omega} \quad (19)$$

### 3. 외부조도 및 천공휘도분포 예측을 위한 컴퓨터모델의 개발

#### 3.1. 컴퓨터 모델의 개요

본 연구의 컴퓨터 모델은 이미 검증된 컴퓨터 모델을 기초로 하여 개념의 변화를 통해 수정·변형시켜서 완성하였다. 기초가 된 프로그램은 실내조도를 예측할 수 있는 프로그램(유기형, 1997)으로서 검증을 통해 평균 오차율이 5% 미만의 정확성을 가지는 프로그램으로 판명된 것이다. 이 프로그램에서 실내조도가 아닌 외부조도의 개념을 적용시키고 아울러 최종 출력시 천공휘도분포를 계산할 수 있도록 개발되었다.

Fig. 2.는 컴퓨터 모델의 구성을, Fig. 3.은 컴퓨터 모델의 흐름을 보여주는 것이다.

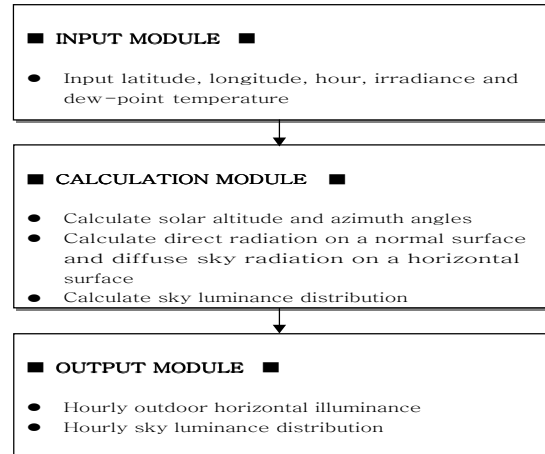


Fig. 2. Modules of Computer Program

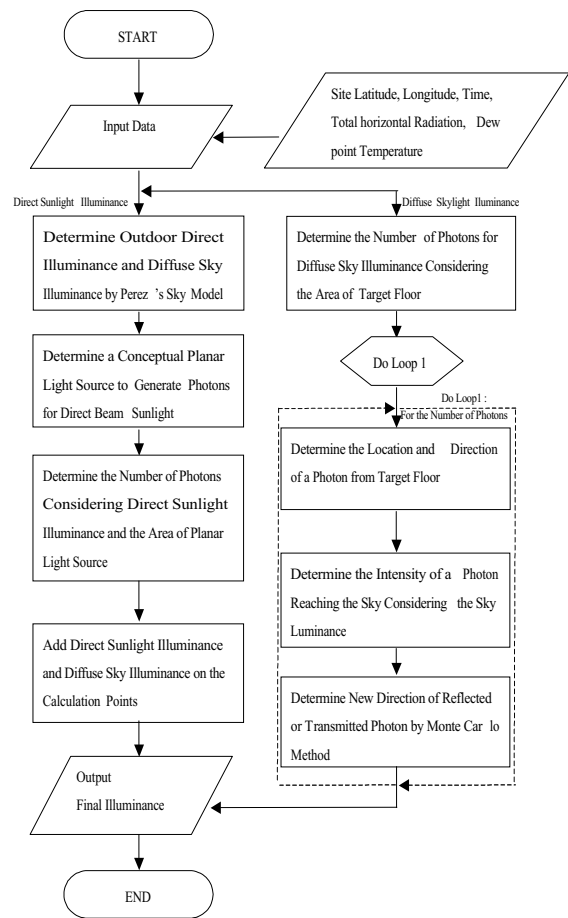


Fig. 3. Flow Chart of Computer Program

### 4. 외부조도 및 천공휘도분포 데이터베이스 구축

#### 4.1. 데이터베이스의 개요

개발한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 우리나라 지역의 외부조도 및 천공휘도분포 데이터베이스

**Table 1.** Hourly External Illuminances on a horizontal Surface(Seoul,6/21)

	Cloud Cover (1/10)	$E_{dH}(\text{lux})$	$E_{kH}(\text{lux})$	$E_{tH}(\text{lux})$
06:00	8	4174.50	96.78	4271.28
07:00		11558.28	967.36	12525.64
08:00		18148.70	4874.60	23023.30
09:00	8	11405.85	32198.08	43603.93
10:00		9622.02	44489.64	54111.66
11:00		23645.29	34200.57	57845.86
12:00	7	14661.54	68712.40	83373.94
13:00		13316.93	60763.92	74080.85
14:00		13226.93	67952.56	81179.49
15:00	7	15848.73	40166.36	56015.09
16:00		24508.42	10189.99	34698.41
17:00		18598.30	6836.46	25434.76
18:00	5	12174.83	2184.74	14359.57
19:00		4841.45	113.22	4954.67

**Table 2.** Hourly External Illuminances on a horizontal Surface(Seoul,9/21)

	Cloud Cover (1/10)	$E_{dH}(\text{lux})$	$E_{kH}(\text{lux})$	$E_{tH}(\text{lux})$
07:00		1856.46	0	1856.46
08:00		15474.90	1808.81	17283.71
09:00	0	6286.86	25780.08	32066.94
10:00		10843.47	36026.52	46869.99
11:00		13960.15	45182.17	59142.32
12:00	2	14087.07	55786.26	69873.33
13:00		14381.30	53204.12	67585.42
14:00		14193.60	39656.59	53850.19
15:00	1	8651.10	40912.25	49563.35
16:00		884.83	37861.29	38746.11
17:00		0	16897.22	16897.22

이스를 구축하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 대상 지역은 서울을 택하였고 시뮬레이션 수행 대상 시간은 일출부터 일몰까지 1 시간 단위로 매 시각별로 계산되었으며 이를 표와 그림으로 데이터베이스화하였다. 시뮬레이션에 의해 출력된 결과는 다음과 같이 표시되었다.

○ 외부조도: 직사일광조도와 확산천공광조도로 구분하였고 이를 더한 총 외부 주광조도값으로 나타내었다.

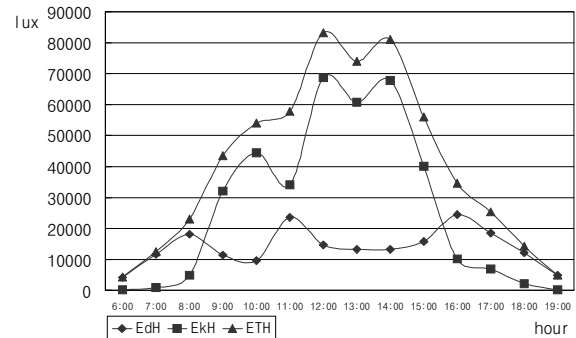
○ 천공회도분포: 회도는 태양 위치별로 계산되었고 고도는  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ , 방위각은  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$  사이에  $10^{\circ}$  간격으로 계산되어 출력되었다.

본 연구에서는 1년 12개월 365일 중 6월 21일(하지), 9월 21일(추분), 12월 21일(동지)를 선택하여 그 날의 데이터베이스를 수록하였다.

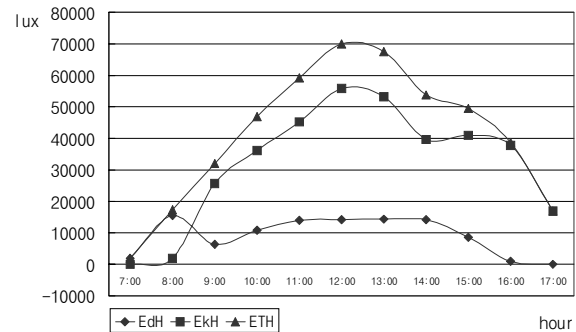
**4.2. 서울 지역의 외부조도 및 천공회도분포**

**Table 3.** Hourly External Illuminances on a horizontal Surface(Seoul,12/21)

	Cloud Cover (1/10)	$E_{dH}(\text{lux})$	$E_{kH}(\text{lux})$	$E_{tH}(\text{lux})$
09:00	0	5786.26	6.32	5792.59
10:00		17165.46	128.12	17293.58
11:00		32410.86	1431.92	33842.78
12:00	0	28381.72	9711.23	38092.95
13:00		28321.66	10597.59	38919.25
14:00		28540.00	3507.51	32047.52
15:00	0	24151.49	557.71	24709.20
16:00		7842.07	16.08	7858.15



**Fig. 4.** Hourly External Illuminances on a horizontal Surface(Seoul, 6/21)



**Fig. 5.** Hourly External Illuminances on a horizontal Surface(Seoul, 9/21)

**Table 1~Table 4**는 3월 21일, 6월 21일, 9월 21일, 12월 21일의 직사일광조도와 확산천공광조도, 이를 더한 외부 주광조도값 그리고 시간대 운량을 나타내고 **Fig. 4.~Fig. 7.**은 3월 21일, 6월 21일, 9월 21일, 12월 21일의 세 가지 조도의 분포를 보여주는 것이다. 모든 경우에서 볼 수 있듯이 태양의 고도가 낮은 이른 아침 시간과 늦은 오후 시간에는 직사일광조도가 확산천공광조도보다 주광조도를 차지하는 비율이 훨씬 높다는 것을 알 수 있었다.

**Fig. 8.~Fig. 11.**은 3월 21일, 6월 21일, 9월 21

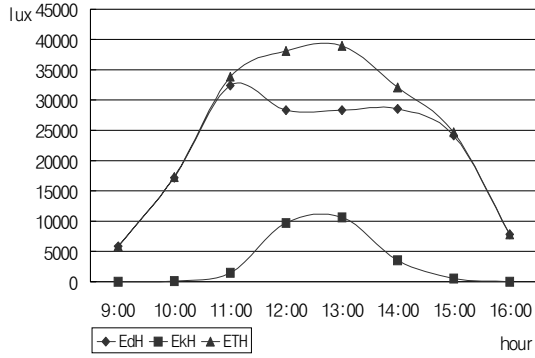


Fig. 6. Hourly External Illuminances on a horizontal Surface(Seoul, 12/21)

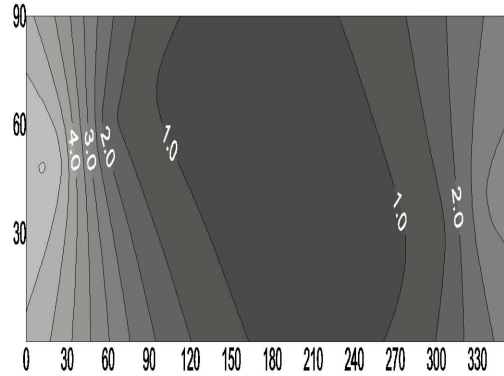


Fig. 9. Sky Luminance Distribution(Seoul, Noon, 12/21)

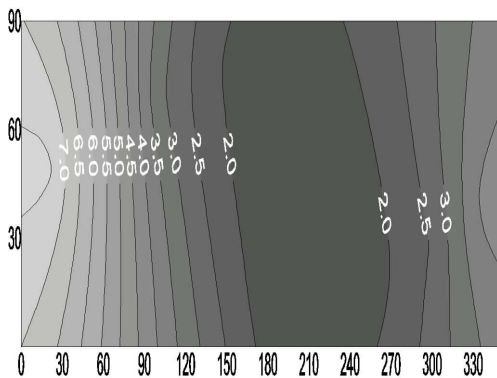


Fig. 7. Sky Luminance Distribution(Seoul, Noon, 6/21)

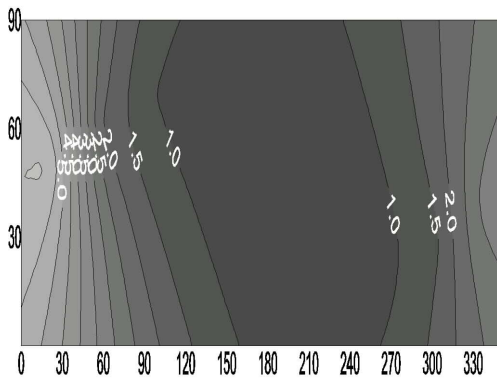


Fig. 8. Sky Luminance Distribution(Seoul, Noon, 9/21)

일, 12월 21일 12:00시의 천공 휘도 분포를 나타내고 Table 5~Table 8은 3월 21일, 6월 21일, 9월 21일, 12월 21일 15:00시의 천공 휘도값을 나타내는 것이다. 천공 휘도는 실제 천공 상태의 태양의 위치를 개념으로 계산되었으며 이를 x축과 y축의 2차원 그림으로 가시화한 것이 천공 휘도 분포도이다.

각 날의 천공 휘도 분포에서 그 시간대의 천

Table 4. Hourly Sky Luminance (Seoul, 6/21,15:00)

Alt Azi	$(\times 10^3 \text{cd/m}^2)$									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	1.129	0.768	0.503	0.393	0.346	0.333	0.336	0.342	0.338	0.317
10°	1.100	0.734	0.471	0.359	0.309	0.291	0.293	0.305	0.317	0.317
20°	1.081	0.712	0.448	0.335	0.282	0.261	0.262	0.276	0.299	0.317
30°	1.072	0.697	0.433	0.318	0.263	0.240	0.238	0.254	0.283	0.317
40°	1.070	0.689	0.422	0.306	0.250	0.224	0.221	0.236	0.269	0.317
50°	1.072	0.685	0.416	0.298	0.240	0.213	0.208	0.223	0.258	0.317
60°	1.078	0.684	0.412	0.293	0.233	0.205	0.199	0.213	0.250	0.317
70°	1.084	0.685	0.411	0.289	0.229	0.200	0.192	0.205	0.243	0.317
80°	1.081	0.687	0.410	0.287	0.226	0.196	0.188	0.200	0.238	0.317
90°	1.096	0.689	0.410	0.286	0.224	0.194	0.185	0.196	0.235	0.317
100°	1.098	0.690	0.410	0.286	0.224	0.193	0.184	0.195	0.233	0.317
110°	1.098	0.689	0.410	0.286	0.224	0.193	0.184	0.195	0.234	0.317
120°	1.095	0.688	0.410	0.287	0.225	0.194	0.186	0.197	0.236	0.317
130°	1.089	0.687	0.410	0.288	0.227	0.197	0.189	0.201	0.239	0.317
140°	1.082	0.685	0.411	0.290	0.230	0.201	0.194	0.207	0.245	0.317
150°	1.076	0.584	0.413	0.294	0.235	0.207	0.201	0.215	0.252	0.317
160°	1.071	0.686	0.418	0.300	0.242	0.216	0.212	0.226	0.261	0.317
170°	1.070	0.691	0.425	0.309	0.253	0.228	0.225	0.241	0.273	0.317
180°	1.074	0.701	0.436	0.322	0.268	0.245	0.244	0.260	0.287	0.317
190°	1.086	0.717	0.454	0.341	0.289	0.269	0.269	0.284	0.303	0.317
200°	1.107	0.743	0.479	0.367	0.318	0.301	0.304	0.315	0.323	0.317
210°	1.140	1.779	0.514	0.405	0.360	0.347	0.350	0.354	0.344	0.317
220°	1.185	0.829	0.562	0.457	0.418	0.411	0.414	0.404	0.368	0.317
230°	1.244	0.893	0.625	0.527	0.500	0.502	0.501	0.465	0.394	0.317
240°	1.314	0.971	0.706	0.621	0.612	0.630	0.620	0.539	0.420	0.317
250°	1.390	1.059	0.801	0.738	0.763	0.811	0.782	0.624	0.444	0.317
260°	1.464	1.148	0.901	0.870	0.950	1.063	1.002	0.715	0.466	0.317
270°	1.522	1.220	0.988	0.992	1.148	1.392	1.285	0.794	0.481	0.317
280°	1.552	1.259	1.035	1.064	1.278	1.709	1.567	0.840	0.488	0.317
290°	1.547	1.252	1.027	1.051	1.254	1.638	1.502	0.832	0.487	0.317
300°	1.508	1.203	0.966	0.961	1.095	1.293	1.200	0.774	0.477	0.317
310°	1.444	1.124	0.874	0.832	0.895	0.984	0.934	0.689	0.460	0.317
320°	1.368	1.034	0.773	0.703	0.716	0.754	0.731	0.600	0.438	0.317
330°	1.293	0.948	0.682	0.592	0.577	0.589	0.582	0.517	0.413	0.317
340°	1.226	0.873	0.606	0.505	0.474	0.473	0.473	0.447	0.387	0.317
350°	1.171	0.813	0.547	0.440	0.399	0.391	0.394	0.389	0.362	0.317

**Table 5.** Hourly Sky Luminance  
(Seoul,9/21,15:00) ( $\times 10^3\text{cd/m}^2$ )

Alt Azi	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	1.537	1.582	1.458	1.406	1.380	1.329	1.226	1.083	0.934	0.805
10°	1.379	1.369	1.218	1.144	1.115	1.093	1.052	0.983	0.896	0.805
20°	1.270	1.226	1.061	0.975	0.940	0.929	0.919	0.897	0.858	0.805
30°	1.201	1.133	0.959	0.865	0.824	0.815	0.820	0.826	0.822	0.805
40°	1.164	1.078	0.895	0.793	0.747	0.736	0.746	0.767	0.790	0.805
50°	1.150	1.050	0.858	0.749	0.696	0.681	0.691	0.721	0.762	0.805
60°	1.155	1.041	0.839	0.722	0.663	0.643	0.651	0.684	0.737	0.805
70°	1.173	1.046	0.833	0.708	0.642	0.617	0.622	0.655	0.716	0.805
80°	1.199	1.064	0.836	0.703	0.630	0.599	0.601	0.633	0.699	0.805
90°	1.227	1.079	0.844	0.702	0.624	0.588	0.586	0.617	0.686	0.805
100°	1.254	1.098	0.853	0.705	0.621	0.571	0.576	0.605	0.676	0.805
110°	1.275	1.113	0.861	0.708	0.621	0.578	0.570	0.598	0.669	0.805
120°	1.287	1.122	0.866	0.710	0.621	0.576	0.567	0.594	0.666	0.805
130°	1.290	1.124	0.867	0.710	0.621	0.575	0.566	0.593	0.665	0.805
140°	1.281	1.118	0.864	0.709	0.621	0.577	0.568	0.595	0.667	0.805
150°	1.264	1.105	0.857	0.706	0.623	0.579	0.573	0.601	0.673	0.805
160°	1.239	1.087	0.848	0.703	0.623	0.585	0.581	0.611	0.681	0.805
170°	1.211	1.068	0.839	0.702	0.627	0.594	0.594	0.625	0.693	0.805
180°	1.183	1.052	0.834	0.705	0.636	0.608	0.612	0.645	0.709	0.805
190°	1.162	1.042	0.835	0.715	0.653	0.630	0.637	0.670	0.728	0.805
200°	1.151	1.044	0.848	0.735	0.680	0.662	0.672	0.704	0.751	0.805
210°	1.155	1.063	0.876	0.771	0.723	0.710	0.720	0.746	0.777	0.805
220°	1.182	1.105	0.928	0.830	0.787	0.777	0.785	0.799	0.808	0.805
230°	1.236	1.180	1.011	0.921	0.884	0.875	0.873	0.865	0.842	0.805
240°	1.326	1.300	1.142	1.062	1.031	1.015	0.990	0.944	0.879	0.805
250°	1.462	1.480	1.342	1.279	1.252	1.216	1.145	1.039	0.918	0.805
260°	1.653	1.744	1.646	1.615	1.591	1.507	1.346	1.145	0.956	0.805
270°	1.904	2.113	2.098	2.138	2.116	1.923	1.596	1.260	0.992	0.805
280°	2.204	2.593	2.746	2.950	2.936	2.500	1.884	1.371	1.023	0.805
290°	2.508	3.129	3.572	4.167	4.223	3.234	2.171	1.465	1.047	0.805
300°	2.728	3.554	4.344	5.703	6.208	3.945	2.378	1.524	1.061	0.805
310°	2.772	3.644	4.525	6.197	7.248	4.120	2.420	1.535	1.063	0.805
320°	2.619	3.340	3.939	4.820	4.981	3.567	2.276	1.496	1.054	0.805
330°	2.339	2.824	3.086	3.420	3.421	2.801	2.012	1.415	1.034	0.805
340°	2.029	2.308	2.352	2.446	2.425	2.150	1.717	1.309	1.006	0.805
350°	1.754	1.889	1.820	1.812	1.789	1.669	1.448	1.194	0.972	0.1805

**Table 6.** Hourly Sky Luminance  
(Seoul,12/21,15:00) ( $\times 10^3\text{cd/m}^2$ )

Alt Azi	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	2.079	2.306	2.528	2.597	2.533	2.384	2.201	2.016	1.848	1.704
10°	1.833	2.004	2.188	2.273	2.269	2.197	2.084	1.953	1.823	1.704
20°	1.633	1.767	1.925	2.015	2.044	2.024	1.967	1.887	1.796	1.704
30°	1.485	1.583	1.722	1.811	1.860	1.874	1.859	1.821	1.767	1.704
40°	1.354	1.444	1.567	1.652	1.711	1.746	1.761	1.757	1.737	1.704
50°	1.265	1.341	1.451	1.531	1.593	1.641	1.676	1.699	1.708	1.704
60°	1.202	1.268	1.367	1.442	1.503	1.557	1.605	1.647	1.680	1.704
70°	1.162	1.219	1.309	1.377	1.436	1.491	1.546	1.601	1.655	1.704
80°	1.139	1.190	1.272	1.333	1.387	1.441	1.499	1.563	1.632	1.704
90°	1.129	1.175	1.250	1.305	1.354	1.404	1.463	1.531	1.612	1.704
100°	1.129	1.170	1.240	1.289	1.332	1.378	1.435	1.506	1.595	1.704
110°	1.133	1.172	1.238	1.281	1.319	1.361	1.415	1.487	1.582	1.704
120°	1.139	1.176	1.238	1.278	1.311	1.349	1.401	1.473	1.572	1.704
130°	1.144	1.180	1.241	1.278	1.307	1.343	1.393	1.465	1.566	1.704
140°	1.146	1.182	1.242	1.278	1.306	1.340	1.389	1.461	1.563	1.704
150°	1.146	1.181	1.242	1.278	1.306	1.340	1.389	1.461	1.563	1.704
160°	1.143	1.179	1.240	1.278	1.308	1.344	1.394	1.466	1.567	1.704
170°	1.137	1.175	1.238	1.279	1.313	1.351	1.404	1.476	1.575	1.704
180°	1.132	1.171	1.238	1.283	1.321	1.364	1.419	1.491	1.585	1.704
190°	1.128	1.171	1.242	1.292	1.336	1.384	1.441	1.512	1.599	1.704
200°	1.131	1.177	1.254	1.311	1.361	1.412	1.471	1.539	1.617	1.704
210°	1.143	1.195	1.279	1.342	1.397	1.452	1.510	1.572	1.637	1.704
220°	1.170	1.229	1.321	1.391	1.450	1.506	1.559	1.612	1.661	1.704
230°	1.215	1.283	1.385	1.461	1.523	1.576	1.621	1.659	1.687	1.704
240°	1.284	1.363	1.476	1.558	1.619	1.665	1.696	1.713	1.715	1.704
250°	1.381	1.474	1.601	1.668	1.744	1.775	1.784	1.772	1.744	1.704
260°	1.510	1.624	1.767	1.856	1.901	1.909	1.884	1.837	1.774	1.704
270°	1.678	1.819	1.983	2.073	2.096	2.065	1.995	1.903	1.803	1.704
280°	1.889	2.071	2.264	2.346	2.330	2.242	2.113	1.969	1.830	1.704
290°	2.146	2.392	2.625	2.688	2.603	2.431	2.228	2.030	1.853	1.704
300°	2.443	2.791	3.090	3.104	2.901	2.616	2.332	2.081	1.872	1.704
310°	2.742	3.262	3.691	3.578	3.182	2.768	2.410	2.117	1.885	1.704
320°	2.941	3.677	4.470	3.970	3.356	2.851	2.450	2.135	1.891	1.704
330°	2.909	3.601	4.260	3.900	3.329	2.839	2.444	2.133	1.890	1.704
340°	2.029	2.308	2.352	2.446	2.425	2.150	1.717	1.309	1.882	1.704
350°	2.368	2.686	2.965	2.995	2.827	2.572	2.308	2.070	1.868	1.704

공 상태에 따라 부분 담천공이나 담천공에 포함되는 운량이 있을 경우는 분포를 이루는 선들의 기울기가 완만하며 분포값들이 각도별로 고른 분포를 보이고 있으며 청천공에 해당하는 운량이 있을 경우는 분포선들의 기울기가 급격히 커지며 휘도값의 상승폭도 커지는 것을 볼 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 직사일광 조도와 확산천공광 조도의 구분 및 이를 더한 외부 주광조도뿐만 아니라 동시에 천공휘도분포까지 예측할 수 있는 컴퓨터 모델을 개발하였고 개발된 컴퓨터 모델을 이용하여 서울 지역의 외부조도 및 천공휘도분포를 연중 매 시각별로 정량적으로 예측하여 이를 표와 그림으로 도식화함으로써 데

이터 베이스를 구축하였다.

시뮬레이션 결과 중 일몰에 가까운 오후 시간대에는 입력 데이터가 있음에도 불구하고 조도와 휘도의 계산이 되지 않는 경우가 있었는데 이는 페레즈 천공 모델의 한계로써 태양의 고도가 너무 낮기 때문에 값이 수렴하지 않고 무한 발산해버렸기 때문이라고 사료되었다.

본 연구를 바탕으로 하여 향후 연구되어야 할 사항은 다음과 같다.

1) 본 연구에서는 대상 범위를 서울 지역으로 한정하여 진행하였지만 건물 자연채광 성능 평가를 위한 더 폭넓은 데이터베이스 구축을 위해서는 범위를 여러 지역으로 확대하는 것이 필요하다.

2) 본 연구에서 진행한 외부 환경 데이터베이스를 이용하여 건물 내 실내의 조도 및 휘도 분포의 정성적인 평가에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

이상우, 이연구, 김광우, 유호천, 김정태, 김희서, 김신도, 조균형, 구재우, 『건축환경계획론』, 태림문화사, 서울, pp.110~114  
권택연, 임정대. 『대수·기하학』, 문운당, 서울, pp.203~204, 1976.

Boyer, L.L. and K.D. Song. Daylighting and Sunlighting Effectiveness with Various Atrium Canopy Systems, Proc. 20th National Passive Solar Conference, Minneapolis, MN., American Solar Energy Society, July 1995.

Choi, A.S. A Systems Modeling Approach to The Analysis of Daylight Dimming Systems, Doctoral Dissertation, Pennsylvania State Univ., pp.65~73, May 1997.

Higbie, H.H. and A.A. Levine. Prediction of Daylight from Sloped Windows, Transactions of the IES, March, pp.273~324, 1926.

Lehmer, D.H. Proc. 2nd. Symposium. on Large-Scale Digital Calculating Machinery, Harvard Univ. Press, 1951.

Perez, R.; P. Ineichen; R. Seals.; J. Michalsky; and R. Stewart. Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance, Solar Energy,

Vol.44, No.5, pp.271~289, 1990.

Song, K.D. and L.L. Boyer. Instrumentation System for Evaluating Daylighting Performance in Sunlit Atria with Design Stage Scale Models, ASHRAE Transactions, Vol. 100, Part1, 1993.