

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 19, No. 1, 1999

## 3차원 천구에서의 외부일광조도 예측에 관한 연구

구현덕\*, 김기세\*, 나기태\*\*, 송인춘\*\*\*

\* 충남대학교 건축공학과 박사과정

\*\* 충남대학교 건축공학과 대학원 졸업

\*\*\* 충남대학교 건축공학과 교수

## A Study on the Prediction of Exterior Daylight Illuminance under Three Dimensional Hemisphere

H. D. Ku<sup>\*</sup>, K. S. Kim<sup>\*</sup>, K. T. Na<sup>\*\*</sup>, I. C. Song<sup>\*\*\*</sup>

\* *Chung-Nam National Univ. Graduate.*

\*\* *Chung-Nam National Univ.*

\*\*\* *Department of Architectural Engineering Chung-Nam National Univ.*

### ABSTRACT

A building and the solar are related to the privilege of solar benefit. To make step, it is required to build up an object, chase the position of object and the solar, find the shadow occurrence.

On the subject of direct illuminance, an intensive emission of irradiation is proposed to directly project to the benefit area. Simultaneously on the indirect illuminance, the integration of a finite element incident to the benefit area can be multiplied by the hemisphere luminance. A caution should be paid to eliminate the occupation area of the object around on the hemispherical sky, which can help run more accurate prediction.

기 호 설 명

- $d_i$  : 일(日)의 총합( $i=1 \sim 365$ )
- $t_i$  : 해당시간( $i=1 \sim 24$ )
- $A$  : 대기소멸계수(Atmospheric Extinction Coefficient, *Dimensionless*)  
제 1 조건식 ( $\beta < 0.075$ )  
: 0.1512 - 0.0262T  
제 2 조건식 ( $0.075 \leq \beta < 0.15$ )  
: 0.1656 - 0.0215T  
제 3 조건식 ( $\beta \geq 0.15$ )  
: 0.2021 - 0.0193T
- $m$  : 대기질량(Optical Air Mass,  $mg/m^3$ )  
$$m = \frac{1 - 0.1H}{\sin \alpha + 0.15(\alpha + 3.885)^{-1.253}}$$
  
H : 주광수해면의 해발높이(Km)
- T : 대기혼탁도(Atmospheric Turbidity, *Dimensionless*)  
$$T = \frac{\alpha + 85}{39.5 \exp(-w) + 47.4} + 0.1 + (16 + 0.22w)\beta$$
- $E_{sky}$  : 천정면 법선직달주광조도  
(= $E_N$ ) (Celestial Direct Nomal Illuminance,  $Lux/m^2$ )
- $E_{extra}$  : 대기권외 법선직달주광조도  
(= $E_o$ ) (Extraterrestrial Direct Nomal Illuminance,  $Lux/m^2$ )  
$$E_o = 126.82 + 4.248 \cos(d; \frac{2\pi}{365}) + 0.0825 \cos(2d; \frac{2\pi}{365}) - 0.00043 \cos(3d; \frac{2\pi}{365}) + 0.1691 \sin(d; \frac{2\pi}{365}) + 0.00914 \sin(2d; \frac{2\pi}{365}) + 0.01726 \sin(3d; \frac{2\pi}{365})$$
- $\alpha$  : 태양고도각(Solar Altitude, *Radian*)
- $\theta_t$  : 수해면 경사각(Solar Benefit Slope, *Radian*)
- Azi : 방위각(Azimuth)표식
- w : 대기수증기압(Atmospheric Vapor Pressure, *mb*)
- $\beta$  : Angstrom 혼탁계수(*Dimensionless*)
- w : 대기수증기압(Atmospheric Vapor

Pressure, *mb*)

- $\beta$  : Angstrom 혼탁계수(*Dimensionless*)
- $\Phi$  : 방위각(Azimuth, *Radian*)
- $\xi$  : 천정과 천공미소지점의 거리각(*Radian*)  
태양과 천공미소지점의 거리각(*Radian*)
- $\gamma$  :  $\gamma = \cos^{-1}(\cos(\Delta Azimuth_{Solar-L}(\alpha, \phi)) \times \cos(\Delta Altitude_{Solar-L}(\alpha, \phi)))$
- $\nu$  : 천정과 태양의 거리각(*Radian*)
- $L_z$  : 천정휘도( $kcd/m^2$ )
- $\theta_w$  : 경사도에 따른 천정좌표의 변화각 (*Radian*)
- $\varphi$  : 건물의 위도(Latitude, *Radian*)
- $B_{Azi}$  : 건물표면방위각(Building Azimuth, *Radian*)

1. 서 론

1.1 연구배경

1990년대 들어와 도시 재개발과 신도시 개발로 인한 도심밀집화 현상이 더욱 가속화되었을 뿐만 아니라 부동산 가격의 상승 및 개인생활권보장 등 복잡한 사회형상이 나타나고 있다. 특히 일조권의 경우에는 건설 시공자와 주변 거주자들간의 이권다툼으로 법정분쟁까지 비화되는 경우가 자주 발생되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 현행 건축법 시행령 제 86조에서 규정하고 있는 일조권평가는 해석에 따라 서로 다른 평가가 이루어질 수도 있다. 그러므로 건축시설물에 대한 일조평가를 설계단계에서부터 수행되도록 하여야 할 것이며, 이를 위한 건물일조평가방법 및 평가도구의 개발이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 목적에서 건물일조평가를 위한 외부일광조도예측방법으로 3차원 천구에서의 주광조도예측에 관한 기술을 개

1) 이정호, 건설기술/쌍용, p26, 1995. 9.

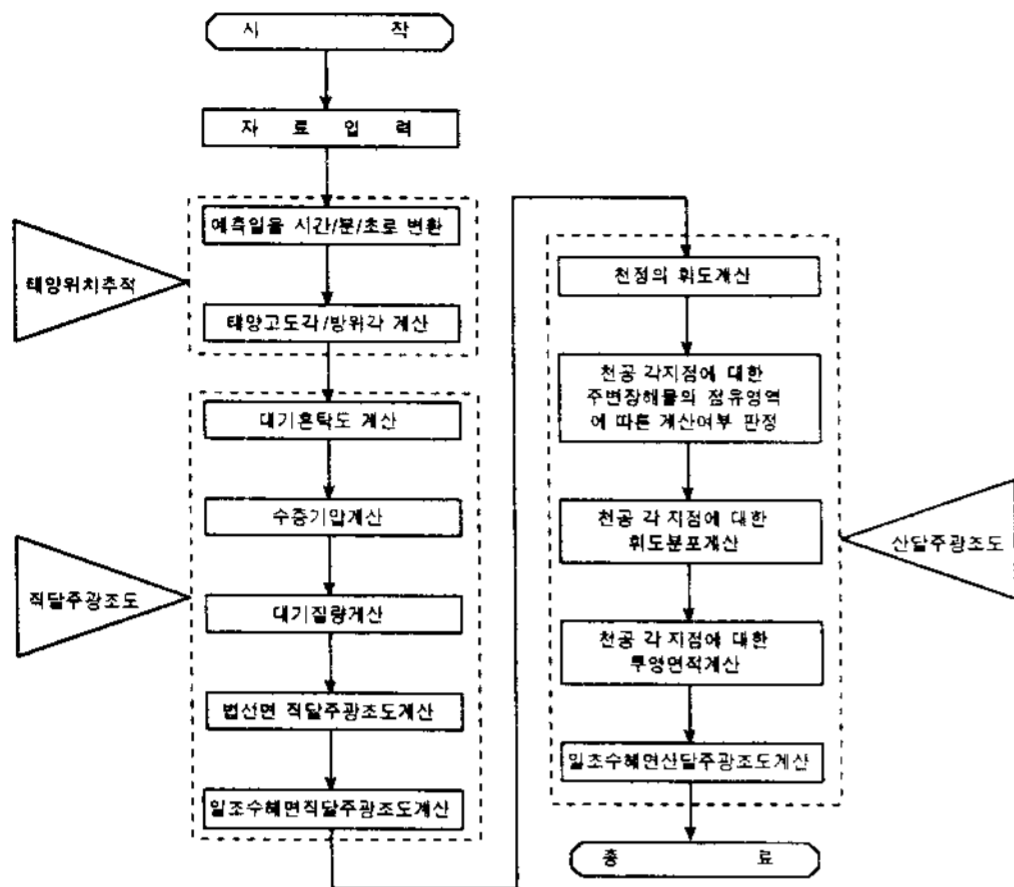


Fig. 1. 연구진행

발하고자 한다.

### 1.2 연구내용

Fig. 1.에서와 같이 시간처리방법, 직사일광조도계산방법, 산란일광조도계산방법으로 구성된다.

## 2. 태양위치계산

시간이하 단위로 태양위치를 계산하기 위하여 일적위, 태양일출몰시간, 태양시각은 계산식(1)~(5)를 이용하게 된다. 이 계산식에서 얻어진 값을 계산식(6), (7)에 대입하면 시간이하 단위의 태양 방위각과 고도각을 구할 수 있다.

### 1) 일적위( $\delta$ , Solar Declination)

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{di + \frac{t_i}{24} + 284}{365} \times 360\right) \quad (1)$$

### 2) 태양일출몰시간

일출시간( $T_{est}$ ), 일몰시간( $T_{let}$ ), 일사수해시간( $T_{day}$ )으로 구분할 수 있다. 이때,  $\varphi$  는 위도 (Latitude)를 표시한다.

$$T_{est} = 12 - \left(\frac{24}{360} \times \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta)\right) \quad (2)$$

$$T_{let} = 12 + \left(\frac{24}{360} \times \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta)\right) \quad (3)$$

$$T_{day} = T_{let} - T_{est} \quad (4)$$

(시분표시 = 정수부+소수부×0.6)

### 3) 태양시각( $\omega$ , Solar Hour Angle)

$$\omega = -15(12 - t_i) \quad (5)$$

### 4) 태양고도각( $\alpha$ , Solar Altitude Angle)

$$\alpha = \sin^{-1}(\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta) \quad (6)$$

### 5) 태양방위각( $\psi$ , Solar Azimuth)

$$\psi = \cos^{-1}\left(\frac{\sin \delta \sin \alpha - \sin \delta}{\cos \delta \cos \alpha}\right) \quad (7)$$

## 3. 직사일광조도계산

CIE(The Commission International de l'Eclairage)에서 권장하는 경험식으로 Kittler, Krochmann, Dogniaux등에 의하여 제시된 천공 상의 일광조도계산식을 이용하였다.

$$E_{sky} = E_o \times \text{Exp}(-\text{Am}T) \quad (8)$$

수직면, 수평면, 경사면에 대한 계산식은 계산식(8)을 계산식(9),(10),(11)과 같이 표현할 수 있다. Fig. 2.에서 수직면의 직사일광조도를  $E_v$ , 수평면의 직사일광조도를  $E_H$ , 경사면의 직사일광조도를  $E_s$ 라 할 때,

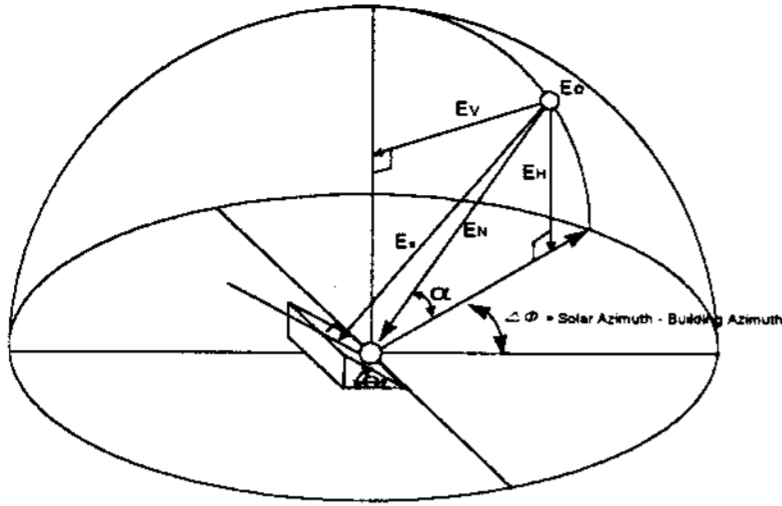


Fig. 2. 천구에서 일조수혜면에 대한 방사력의분력 ( $E_N = E_{sky}$ ,  $E_o = E_{extra}$ )

$$E_v = E_N \cos \alpha \cos \Delta \Phi \quad (9)$$

$$E_H = E_N \cos (90 - \alpha) \cos \Delta \Phi \quad (10)$$

$$E_S = E_N \cos \theta \quad (11)$$

가 된다. 여기서,  $\Delta \Phi$ 는 태양방위각과 건물방위각의 거리각(Angular Distance,  $\geq 0$ )으로, 태양고도각뿐만 아니라, 방위각에 따른 직사일광조도계산에 필요하다.

#### 4. 산란조도계산

##### 4.1 청천공(Clear sky)계산 이론식

청천공상태에서 산란조도를 계산하는 방법에는 균일천공(Uniform Sky)과 비균일천공(Nonuniform Sky)으로 구분할 수 있다. 실제로 천공상태는 비균일적이기 때문에 균일천공에 의한 계산방법은 정확하지 못하다는 결점이 있다.

따라서 본 연구에서는 비균일천공상태에서의 계산방법을 적용하였다. 이때 계산식(12)를 이용하였으며, 이는 천공을 미소성분으로 나누고 휘도 분포에 따라 적분하여 산란조도를 계산하는 방법이다.

$$E_{Diff, Sky} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{(\alpha, \phi)} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha d\phi \quad (12)$$

$L_{(\alpha, \phi)}$ 는 천공에서의 휘도분포를 나타내는 것으로 IES의 권장식인 Kittler의 실험식을 이용하여 계산한다(계산식 (13)).

$$L_{(\alpha, \phi)} = L_z \frac{(1 - e^{-0.32/\cos \epsilon})(0.91 + 10e^{-3\gamma} + 0.45 \cos^2 \gamma)}{(1 - e^{-0.32})(0.91 + 10e^{-3\nu} + 0.45 \cos^2 \nu)} \quad (13)$$

$L_z$ 는 천정의 휘도를 나타내는 것으로 태양의 고도와 대기혼탁도에 따라 달라지게 된다<sup>2)</sup>.

$$L_z = (1.34T - 3.46) \tan \alpha + 0.1T + 0.9 \quad (14)$$

$$L_z = \frac{3.25L_{z(60)} \sin \alpha}{[3.25 - 0.105(\alpha - 60) + 0.001(\alpha - 60)^2] \sin(60)} \quad (15)$$

##### 4.2 담천공(Overcast sky)계산 이론식

CIE표준담청공의 휘도분포식인 Moon and Spencer의 계산식(11)을 적용하게 된다. CIE 표준담청공은 실제의 담청공 휘도와 유사한 상태의 표준천공을 모델로 한 휘도분포산정식이다.

$$L_{(\alpha, \phi)} = L_z \frac{1 + 2 \sin \alpha}{3} \quad (16)$$

$$L_z = 0.123 + 8.6 \sin \alpha \quad (17)$$

2) "태양고도가 60°이하이면서 대기혼탁도가 3과 7.5사이에 있는 경우 Liebelt의 계산식(14)를 적용하고, 그 외에는 DOE-2에서 채택한 Winkelmann의 계산식(15)를 적용하였다." - 주수길, "컴퓨터그래픽을 이용한 천공조도 계산에 관한 연구", 대한건축학회논문집 7권4호, p121, 1991, 8. 및 한국건설기술연구원, "자연채광을 이용한 에너지 성능향상에 관한 연구, p56, 1989, 12.에서 제안한 상기 조건은, 대기혼탁도가 7.5이상인 경우와 3미만인 경우 계산결과가 불연속적이며, 조도값의 경향이 역전(기울기 부호역전)되는 현상이 생겨나게 된다. 태양고도가 60°를 넘는 경우는 기울기 부호역전현상은 없으나, 조도값이 갑자기 떨어지면서 불연속선이 생겨난다. 이러한 부분을 보정하기 위하여, 다음과 같은 조건을 제안한다.

|        |                    |         |
|--------|--------------------|---------|
| 조건식(1) | If, 대기혼탁도 > 3 then | 계산식(14) |
| 조건식(2) | If, 대기혼탁도 ≤ 3 then | 계산식(15) |

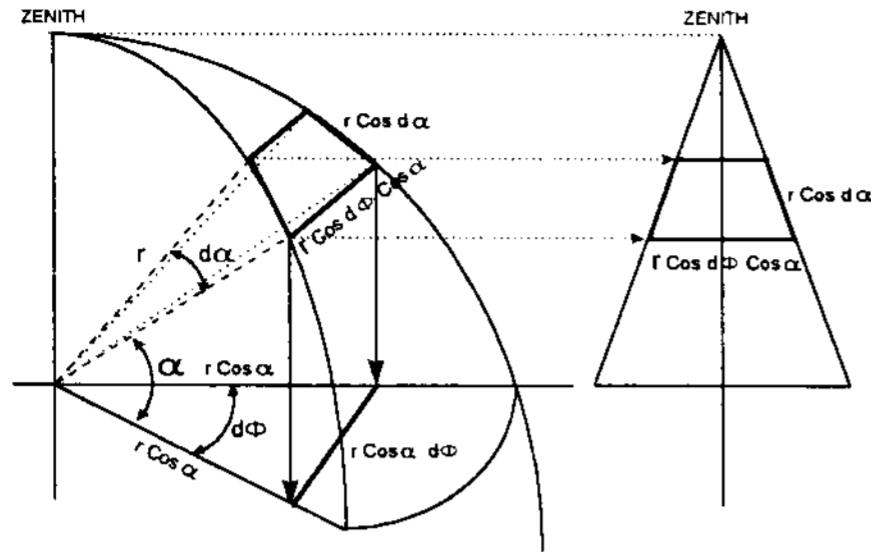


Fig. 3. 천공과 정면에서 분할된 dA

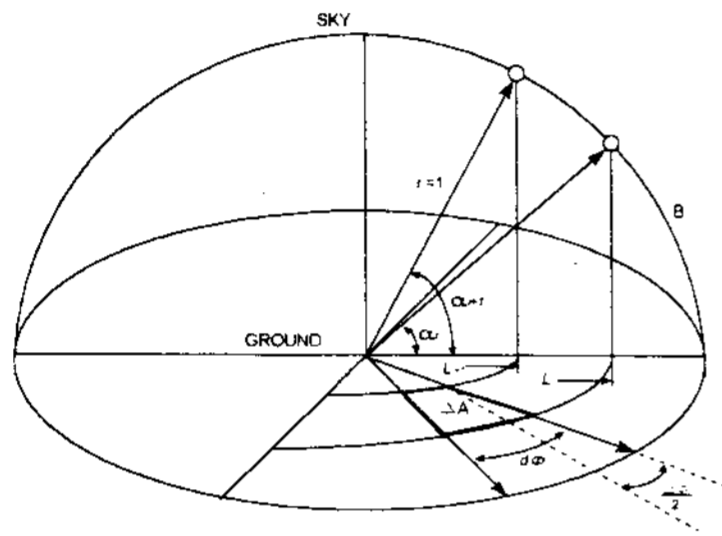


Fig. 4. 수평수혜면에 투영된 dA

### 4.3 산란조도계산 적분방법

계산식(12)를 계산하기 위해서는 Fig. 3과 같이 고도각( $d\alpha$ )과 방위각( $d\phi$ )의 곱으로 된  $dA$ 를 면적분하기 곤란하므로,  $d\alpha$ 와  $d\phi$ 를 미소등분할각의 곱으로 계산된  $\Delta A$ (Finite element)를 이용하여 이들의 합에  $\Delta A$ 가 계산된 천공에서의 휘도합을 곱하면 산란조도를 계산할 수 있다. 이 때, 음영이 발생하는 경우 장애물 투영영역은 계산하지 않는다. 천정휘도는 계산식(13)~(17)을 이용하게 되며, 수평면, 수직면, 경사면에 따라 각기 다른 계산방법이 사용된다. 이 때  $\Delta A$ 가 계산되는 천공의 영역에서만 휘도분포가 계산된다. 본 연구에서 개발한 수평면 투영면적 계산방법(계산식 18, 19, 20)은 다음과 같다.

#### 4.3.1 수평면 투영 $\Delta A$ 의 계산

Fig. 4에서 천공에 고도각  $\alpha_i$ 와  $\alpha_{i+1}$ 인 두 지점간의 간격을 미소등분할각이라고 할 때, 수평면에 투영되는  $\Delta A$ 는 계산식(18)과 같다.

$$L_{i+1} = r \cos \alpha_{i+1}$$

$$L_i = r \cos \alpha_i$$

$$\overline{AD} = \sqrt{2 L_{i+1}^2 - 2 L_{i+1}^2 \cos \alpha_{i+1}} \quad (18)$$

$$\overline{BC} = \sqrt{2 L_i^2 - 2 L_i^2 \cos \alpha_i}$$

$$H = L_i \cos\left(\frac{d\phi}{2}\right) - L_{i+1} \cos\left(\frac{d\phi}{2}\right)$$

$$\Delta A = H \left( \frac{\overline{AD} + \overline{BC}}{2} \right)$$

#### 4.3.2 수직면 투영 $\Delta A$ 의 계산

수평면은 미소등분할된 천공상의 2지점 고도각에 의하여 수평투영면적을 찾아가는 방법이라면, 수직면은 수평면의 것과는 정반대로 천공에서 수평면에 직각으로 투사된 2지점 방위각  $\alpha_i$ 와  $\alpha_{i+1}$ 에 의하여 수직투영면적을 찾게 된다.

계산식(19)는 수직면에서의 투영면적  $\Delta A$ 를 구하는 공식이며, Fig. 5는 천공상에 위치한 해당지점에서 수직면에 대한 천공투영면적을 찾아가는 방법을 전개한 것이다.

$$L_{i+1} = r \cos \phi_{i+1}$$

$$L_i = r \cos \phi_i$$

$$\overline{AD} = \sqrt{2 L_{i+1}^2 - 2 L_{i+1}^2 \cos \phi_{i+1}} \quad (19)$$

$$\overline{BC} = \sqrt{2 L_i^2 - 2 L_i^2 \cos \phi_i}$$

$$H = L_i \cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - L_{i+1} \cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right)$$

$$\Delta A = H \left( \frac{\overline{AD} + \overline{BC}}{2} \right)$$

#### 4.3.3 경사면 투영 $\Delta A$ 의 계산

경사면은 수직투영면적을 구하는 것과 동일하다(계산식(19)). 그러나 경사면에 영향을 미치는 천공영역에 따라 경사투영면적이 결정되어야 한다.

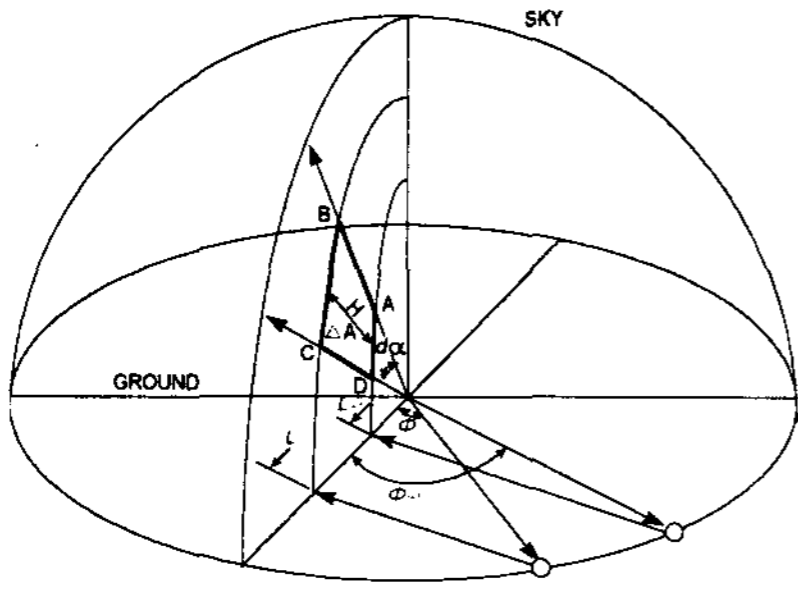


Fig. 5. 수직수혜면에 투영된  $dA$

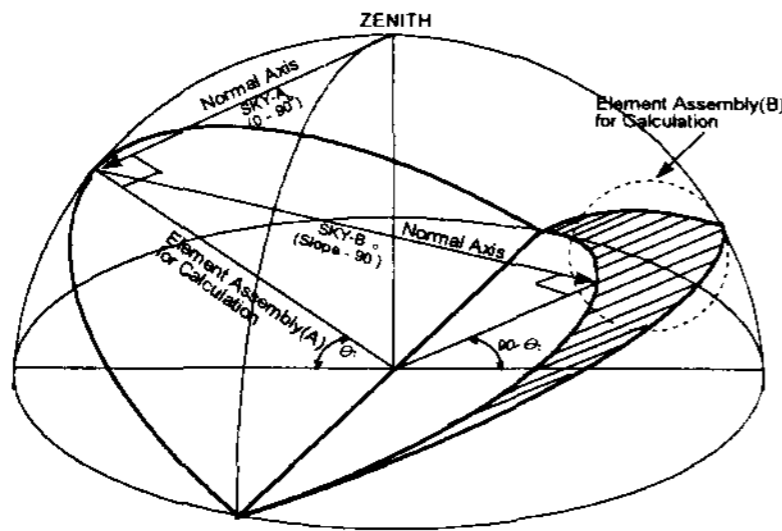


Fig. 6. 경사수혜면에 투영된  $dA$ 와 가상투영경사면

Fig. 6과 같이 천정을 건물방위각의  $\pm 90^\circ$ 를 기점으로 천공까지 연장하여 천구를 2개로 분할한다. 즉, 1/4구(球)가 2개 만들어진다.  $\theta_t$ 의 경사면은 건물방위각에서  $\pm 90^\circ$  까지 해당하는 각 지점에서 고도각  $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지 계산할 수 있어 수직면에서와 동일하다.

그러나 건물방위각에서  $\pm 90^\circ$ 의 외부에 위치한 각 지점은  $90^\circ - \theta_t$ 의 가상의 경사면을 만들어  $\theta_t$  고도각 이상에서 수직면투영면적 계산방법과 동일하게 계산할 수 있다. Fig. 6에서 빗금친 부분은 가상경사면에서의 투영면적이 생기는 영역을 표시한 것이다.

여기서 " $\theta_t$ 고도각 이상"은, 1/4구에서 방위각에 따라  $\theta_t$ 는 변화하기 때문에 Fig. 7과 같이  $\angle \beta$ 를 구해서 해당방위각의  $\angle \beta$  이상 고도각에서만 계산되도록 해야한다는 것을 의미하는 것이다.  $\angle \beta$ 는 계산식(20)을 이용하여 구한다.

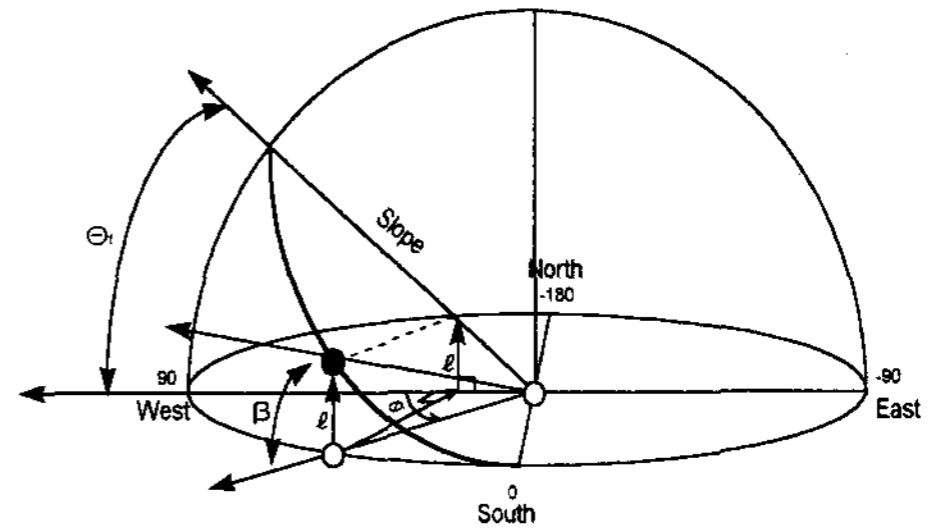


Fig. 7. " $\theta_t$ 고도각 이상"인  $\angle \beta$

$$l = r \cos \phi_i \sin \theta_t$$

$$\sin \beta = \frac{l}{r} \tag{20}$$

$$\beta = |\sin^{-1}(\cos \phi_i \sin \theta_t)|$$

## 5. 장애물 점유영역 비계산법

주변 장애물에 대한 천공상의 점유영역을 비계산처리하기 위하여 장애물이 천공의 어느 지점을 점유하고 있는지를 확인하여야 한다. 본 연구에서는 꼭지점 내각법<sup>3)</sup>과 접선 교점법<sup>4)</sup>을 적용하였다.

### 5.1 꼭지점 내각법

건물은 단위형상으로 구성되며, 단순 4각형으로 표현할 수 있다. 사각형의 4개 꼭지점 중 두 개의 꼭지점이 다른 꼭지점과 이루는 내각의 범위 내에 천공지점이 위치하는 경우 계산을 하지 않는다. Fig. 8에서 점 A,B,C,D는 장애물의 꼭지점이며, 점 O는 천공지점의 위치이다. 천공지점 위치는 장애물의 내부, 빗면, 또는 외부에 있게 된다. 천공지점이 장애물의 내부와 빗면에 위치하는

3) 단위형상의 꼭지점들과 천공지점의 위치에 따라 좌표형상이 바뀌어 각 경우에 대한 32개의 조건식이 필요하다.

4) 좌표계산이 간단하며, 계산소요시간이 짧은 장점이 있다. 본 연구에서는 2가지 방법을 개발, 적용하여 계산의 정확도를 높였으며, 별도의 계산함수로 작성하여 직사일광조도계산시 천공지점 대신에 태양위치를 대입하면 음영발생시간을 추적할 수 있고, 조도 차단시간을 구할 수 있다.

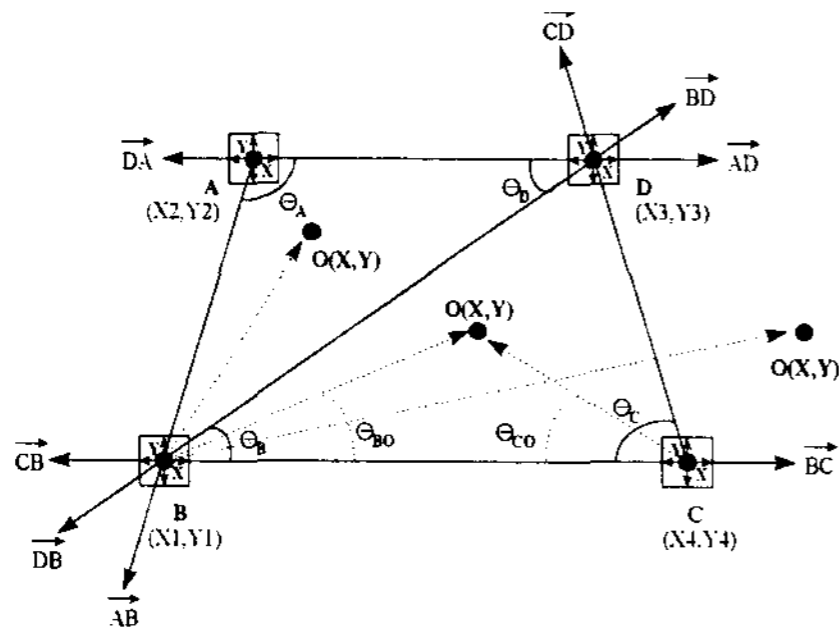


Fig. 8. 사각형의 꼭지점과 천공지점의 위치

경우 비계산되며, 이를 판정하는 방법은 4가지의 순서에 의거하여 진행하게 된다. 1단계로 꼭지점 B에서 꼭지점 C,D와 이루는 내각과 꼭지점 B와 점 O가 이루는 내각의 크기를 비교한다( $\theta_B \geq \theta_{BO} \rightarrow 1$ ).

2단계로 꼭지점 C와 꼭지점 B, D가 이루는 내각과 꼭지점 C와 점 O가 이루는 내각의 크기를 비교한다( $\theta_C \geq \theta_{CO} \rightarrow 1$ ). 2단계과정에서 얻어진 참값의 합이 2가되면, 점 O는 삼각형 BCD에 위치하게 된다. 즉 비계산 된다.

만약 참값이 2가 아니면, 꼭지점 A와 D를 중심으로 상기 2단계과정을 거치게 된다. 그 결과 참값이 2가 아니면 계산처리 된다. 즉 1,2단계의 참값이 2이거나 3, 4단계의 참값이 2인 경우만 비계산처리 된다. 이를 좌표축상에 표현하여 계산하는 경우 Fig. 9와 같이  $\theta_{MAX}$ ,  $\theta_{MIN}$ ,  $\theta_{BO}$ ,  $\theta_{CO}$ ,  $\theta_{AO}$ ,  $\theta_{DO}$ 의 관계로 나타낼 수 있다.

### 5.2. 접선 교점법

단순화된 4각형을 임의의 기준좌표에서 천구지점(좌표: Altitude, Azimuth)까지 연장한 직선과 접하는 교점의 개수가 1개인 경우 천구지점이 각 부분의 내부에 위치하게 됨으로 계산여부를 판정하게 된다(창문의 경우는 반대).

Fig. 10에서 기준점 Z에서 천구지점인 점 O에 이루는 직선은 장애물의 꼭지점 A,B,C,D가 인접하는 꼭지점에 서로 연결하는 선분과 교점을 이

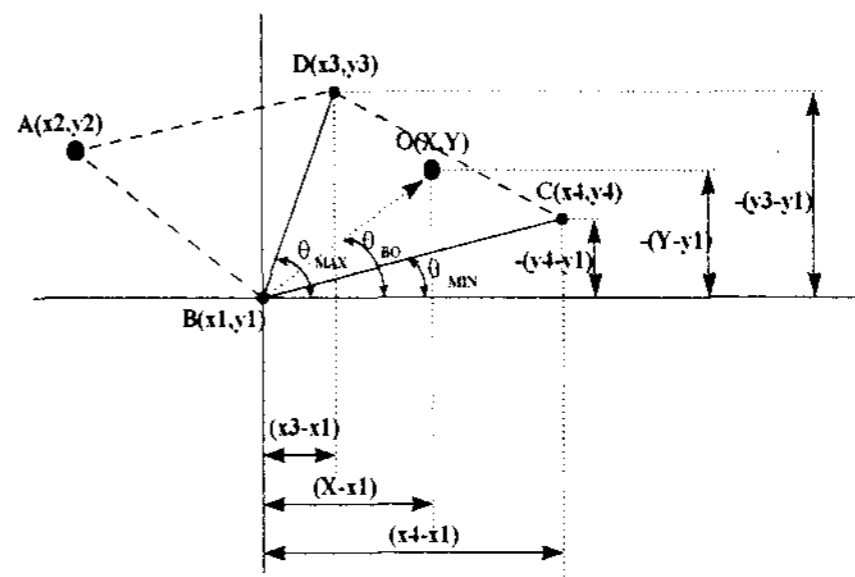


Fig. 9. 꼭지점 B와 천공지점의 좌표

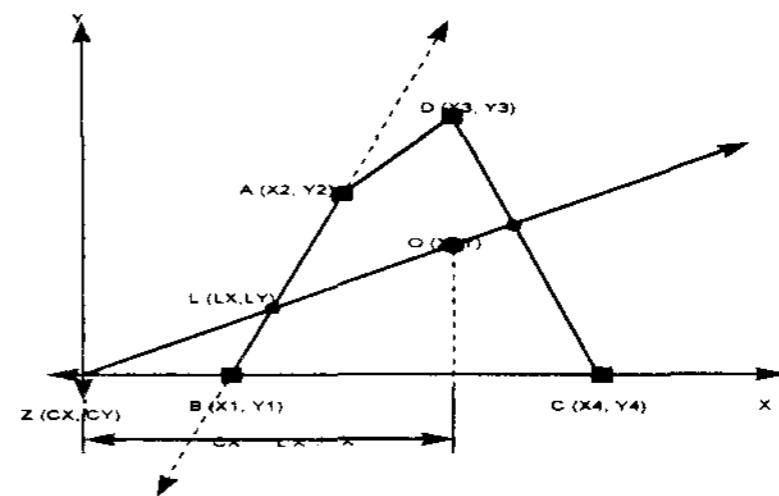


Fig. 10. 꼭지점과 천공지점의 직선 및 교점

루게 된다. 교점을 이루지 못하는 경우(또는 접하는 경우, 기울기가 같은 경우)와 각 선분들의 교점의 합이 2개 이상 되는 경우는 장애물 외부에 위치하게 된다.

## 6. 계산결과

본 연구에서 개발한 시간처리식(계산식(1)~(4)), 직사일광계산식(계산식(9)~(11), 주2), 산란계산식(주3, 계산식(18)~(20)), 그리고 장애물 비계산처리방법을 이용하여 일광조도를 계산하였다. 하계(8월21일)와 동계(1월21일)로 구분하였으며, 남쪽에서  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ 의 경사면 조도를 계산하였다. 입력조건은 Table 1과 같다.

### 6.1 직사일광조도

하계의 경우 남쪽은 12시를 기준으로 대칭을 이루고 있으며,  $30^\circ$ 의 경사면은 12시에 최고의 직

Table 1. 일광조도계산 입력조건

|                 |        |
|-----------------|--------|
| Angstrom 대기혼탁계수 | 0.145  |
| 위도              | 36.18° |
| 경도              | 135°   |
| 지방시경도           | 127.5° |
| 해발고도            | 100m   |

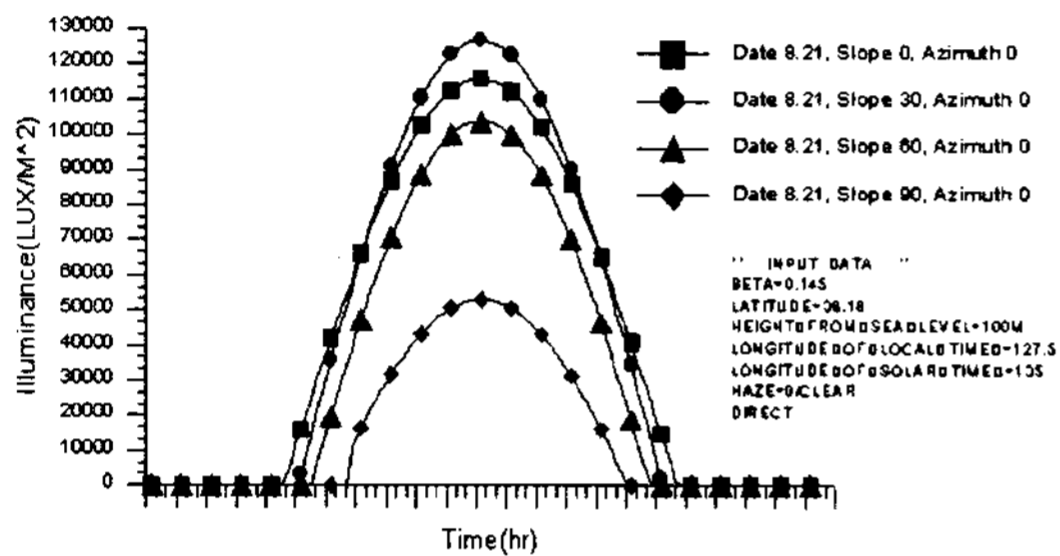


Fig. 11. 경사면에 대한 남향 직사일광조도(8월 21일)

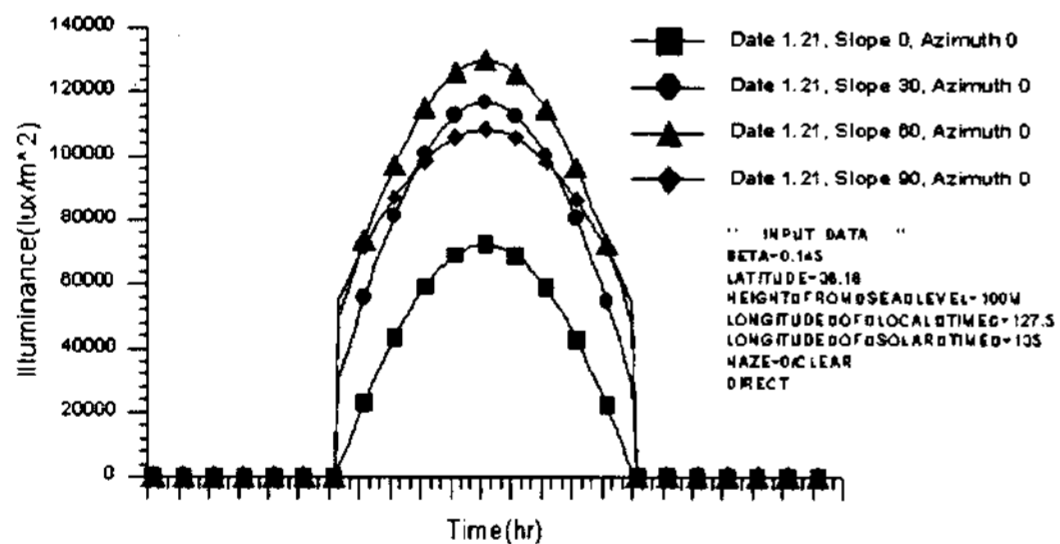


Fig. 12. 경사면에 대한 남향 직사일광조도(1월 21일)

달일조수혜를 보이고 있다.

동계의 경우, 남향에서는 수평면의 직사일광조도가 가장 낮게, 60° 경사면에서 가장 높게 나타났다.

### 6.2 산란조도

산란조도는 천공상태에 따라 청천공(Clear sky)과 담천공(Overcast sky)로 구분할 수 있다.

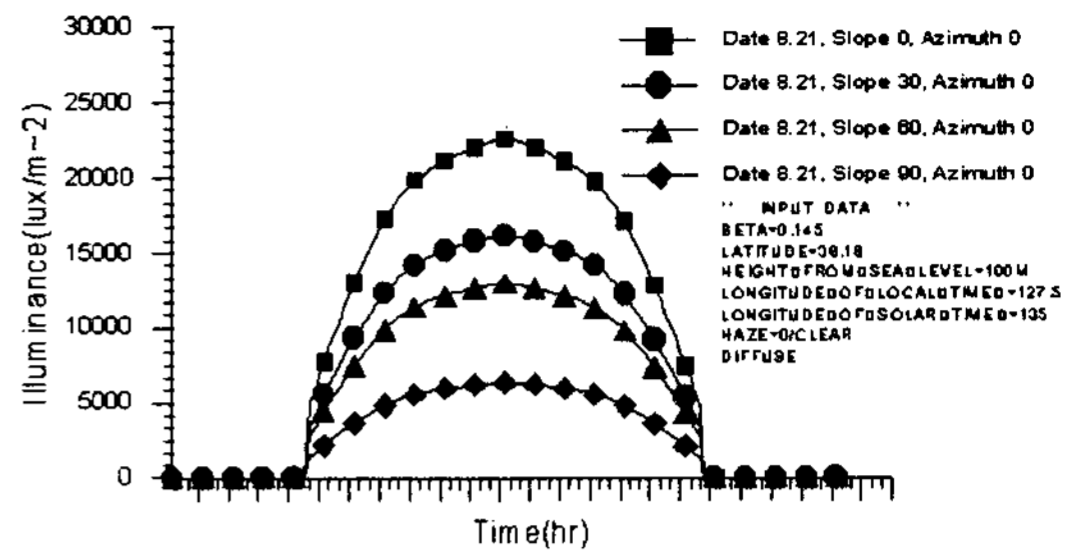


Fig. 13. 경사면에 대한 남향 청천공 산란조도(8월 21일)

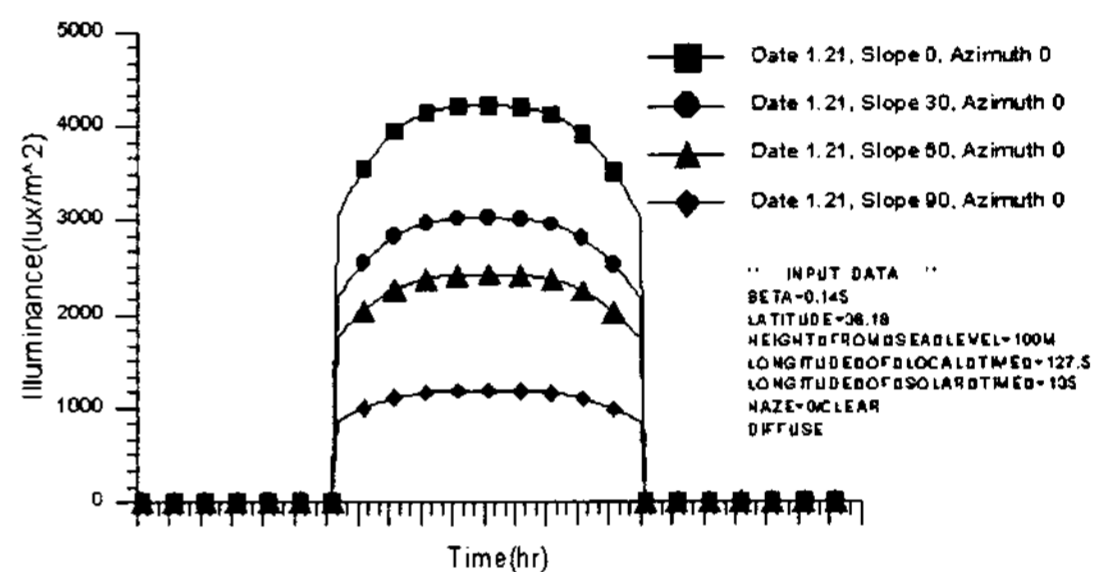


Fig. 14. 경사면에 대한 남향 청천공 산란조도(1월 21일)

### 6.2.1 청천공에서의 산란조도

산란조도는 직사일광조도와 달리 시간에 상관 없이 일정한 변화를 보여주었으며, 급격한 일조량 감소나 증가는 일어나지 않았다.

하계에서 경사면이 수평에 가까울수록 더 높은 일조량을 보여주고 있다.

동계의 경우 하계와는 달리 일출몰 전후시간에서 급격한 상승과 하락을 보여주고 있으나, 그 이후에는 하계 때와 마찬가지로 안정된 곡선의 변화를 보여주었다. 방위에 따른 일조량은 하계 때와 동일한 경향을 보여주고 있으나, 하계에 비하여 전체적으로 낮게 나타났다.

### 6.2.2 담천공에서의 산란조도

계산식(16),(17)로 볼 때, 청천공상태에서의 비균일천정과는 달리 담천공에서는 방위각과는 상관 없이 고도에 따라 변화하는 특성을 보여주게



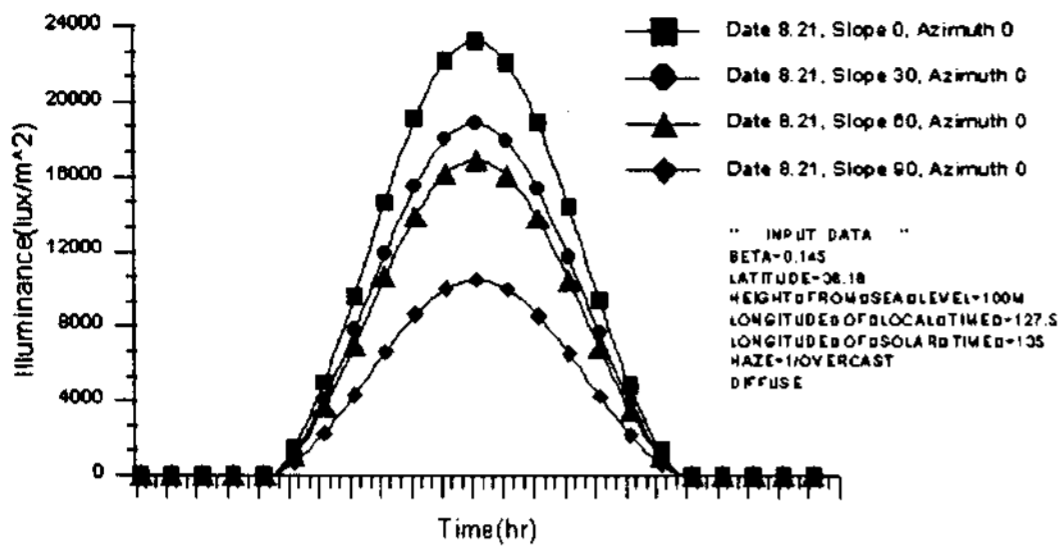


Fig. 15. 경사면에 대한 남향 청천공 산란조도(8월21일)

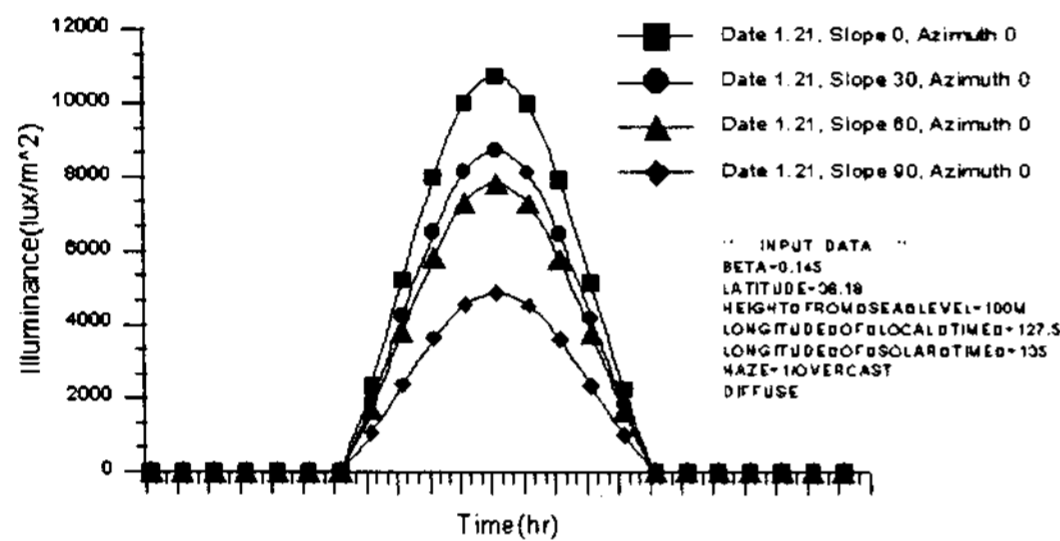


Fig. 16. 경사면에 대한 남향 담천공 산란조도(1월21일)

된다.

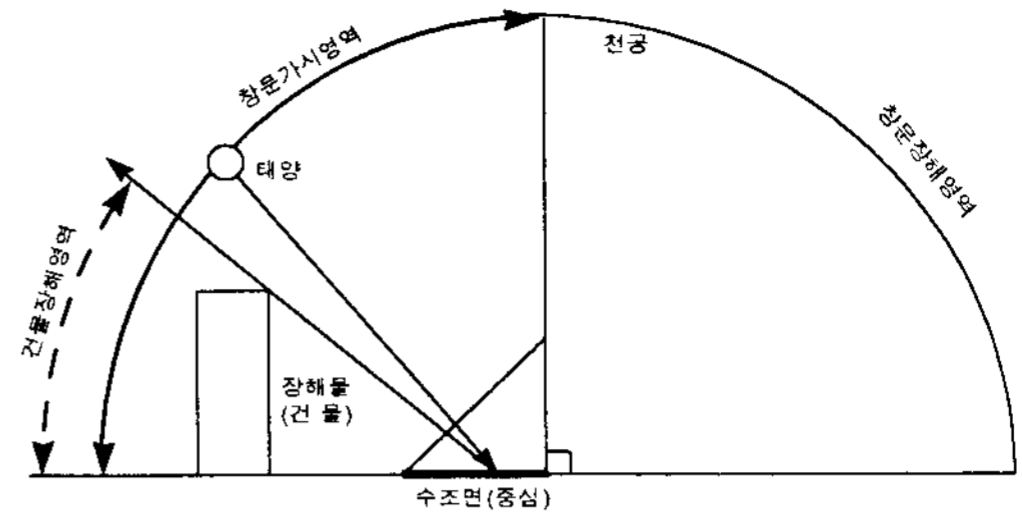
### 6.3 장애물에 의한 직사일광조도

꼭지점 내각법과, 접선 교점법을 이용하여 하계 남향에서 수평면에 대한 직사일광조도를 계산하였다. 건물과 창문의 형상은 Fig. 17과 같으며, 입력좌표는 Table 2와 같다.

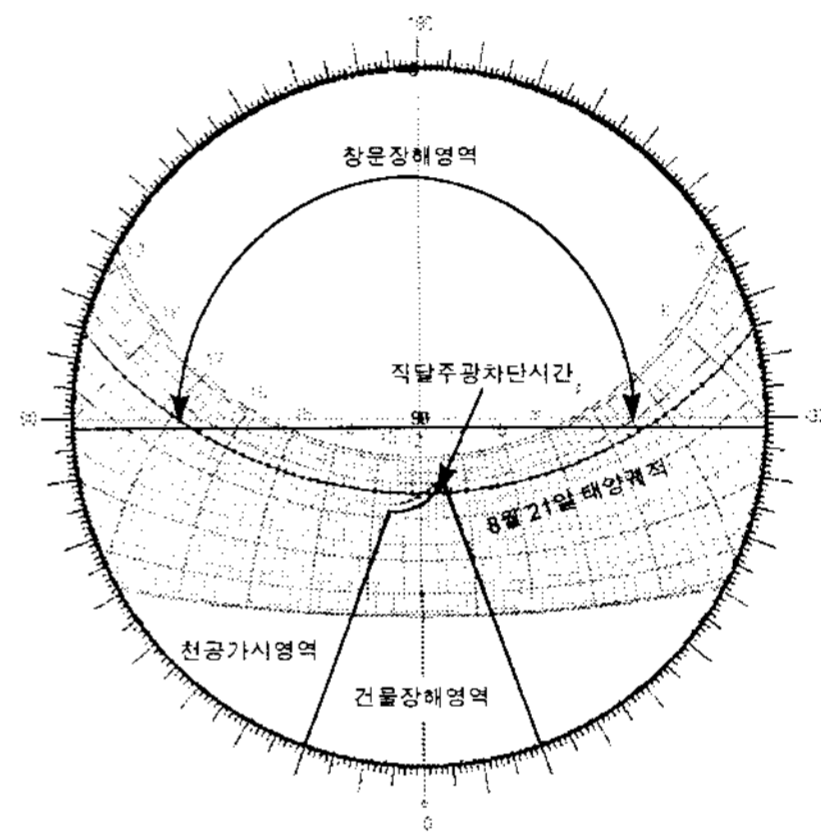
Table 2. 입력처리된 건물의 치수각

| 구 분 | 꼭지점 좌표         |                |                |                |                |                |                |                |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|     | B              |                | A              |                | D              |                | C              |                |
|     | X <sub>1</sub> | Y <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | Y <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | Y <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | Y <sub>4</sub> |
| 장애물 | -20            | 0              | -20            | 70             | 20             | 60             | 20             | 0              |
| 창 문 | -90            | 0              | -90            | 90             | 90             | 90             | 90             | 0              |

5) 1일(24시간)에 대하여 단위모형 당 총 11,943,936개의 순환처리과정을 거치며, CPU time(100MHz/586)은 15분 02초로 나타났다.



(a) 장애물 가시영역과 장애영역



(b) Stereographic projection에서의 건물과 태양궤적

Fig. 17. 천공상에 위치한 건물의 형상

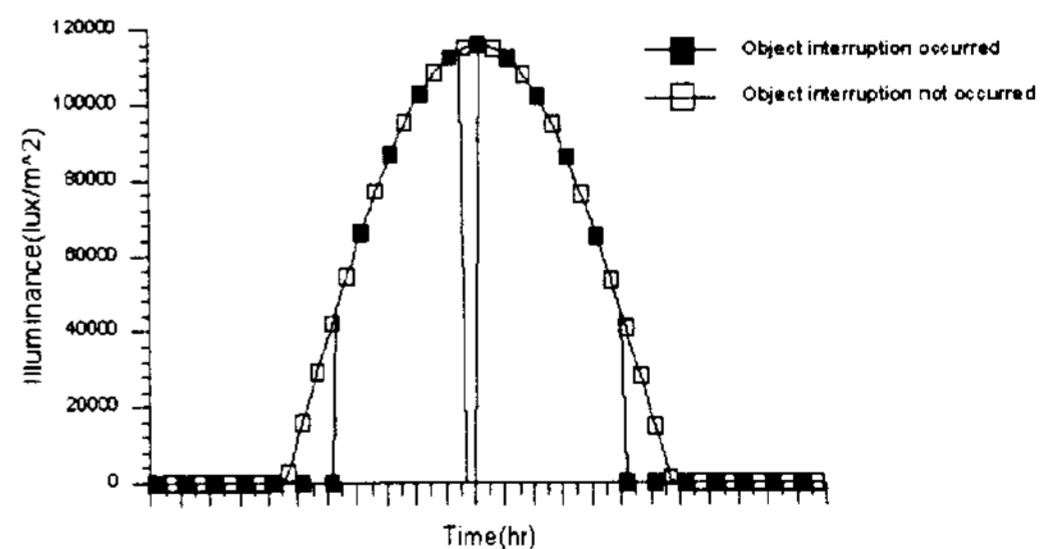


Fig. 18. 장애물에 의한 직사일광조도

직사일광수해차단시간은 Fig. 17에서 건물이 8월 21일의 태양궤적도와 만나는 시간인 11:30~50분, 창문에 의한 5:30분~7:00, 17:00~18:30으로 나타났다. 그 결과는 Fig. 18과 같다. Fig. 18에서 일출물 전후 1시간 30분과 정상곡선에서 벗

어나 갑자기 떨어지는 부분이 직사일광수혜를 받지 못하는 시간이 된다.

직사일조수혜는 장애물이 없을때에 비하여 13.6% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 태양고도가 상대적으로 낮고 일출몰시간이 짧은 동계의 경우 직사일광수혜량의 비율이 더욱 커질 것으로 예측되었다.

### 6.4 장애물에 의한 산란조도

건물 및 창문에 의해 천공에 개방된 면적은 전천공 면적의 42%(천공상의 건물점유면적을 8%, 창문 비가시면적을 50%)이다. 산란조도에서는 2가지 경우인 청천공과 담천공으로 구분하여 계산하였다.

#### 6.4.1 청천공 상태

장애물의 점유면적이 커지면서 전천공의 58%를 차단한 결과 Fig. 19에서와 같이 전천공 개방시보다 85% 낮게 나타났다.

#### 6.4.2 담천공 상태

청천공과는 달리 담천공은 방위각과는 무관하게 고도각에 따라 변하는 균일천공에 가깝기 때문에 청천공에 비하여 상대적으로 커다란 감소 일어나지 않았으나, 장애물 점유면적인 58%와 유사한 60.9% 감소한 것으로 나타났다. Table 3에서 천공 장애물이 있을 때와 없을 때의 수평면에

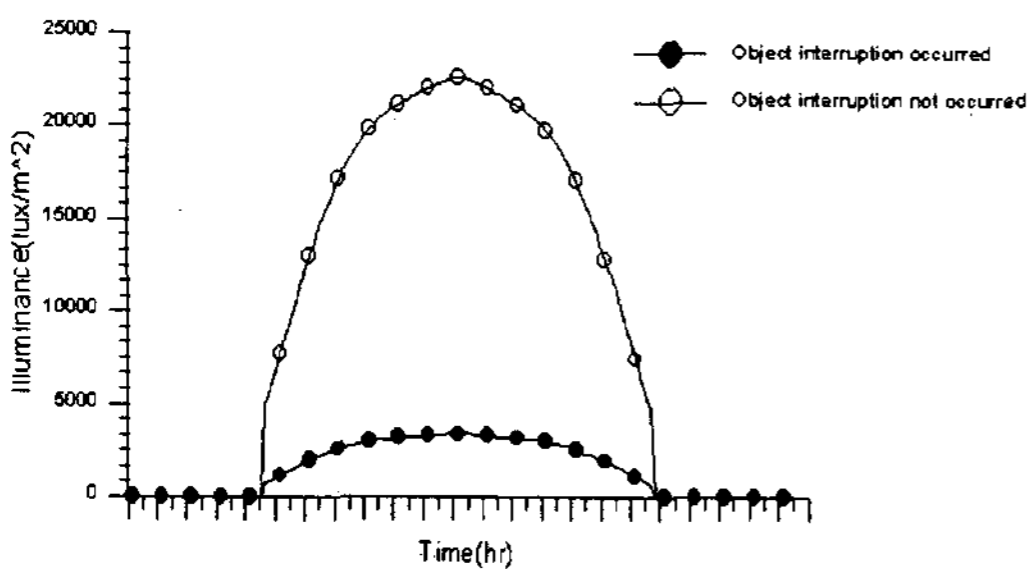


Fig. 19. 장애물에 의한 청천공 산란조도

Table 3. 장애물에 의한 수평면 조도 계산결과

| 구분     | 직달주광 조도(lux/m <sup>2</sup> ) |            | 청천공 산달주광 조도(lux/m <sup>2</sup> ) |            | 담천공 산달주광 조도(lux/m <sup>2</sup> ) |            |
|--------|------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
|        | 천공장애                         | 전천공        | 천공장애                             | 전천공        | 천공장애                             | 전천공        |
| 합계     | 4980058.81                   | 5763894.98 | 201245.848                       | 1343409.58 | 390521.531                       | 997710.171 |
| 감소율(%) | 13.6                         | -          | 85                               | -          | 60.9                             | -          |
| 최대값    | 115769.405                   | 115769.405 | 3379.75839                       | 22561.4583 | 9099.49176                       | 23247.5158 |
| 평균값    | 63038.7192                   | 72960.6959 | 2547.4158                        | 17005.1846 | 4943.31052                       | 12629.2427 |
| 최소값    | 0                            | 1256.07926 | 711.003777                       | 4746.2807  | 80.0850565                       | 204.602484 |

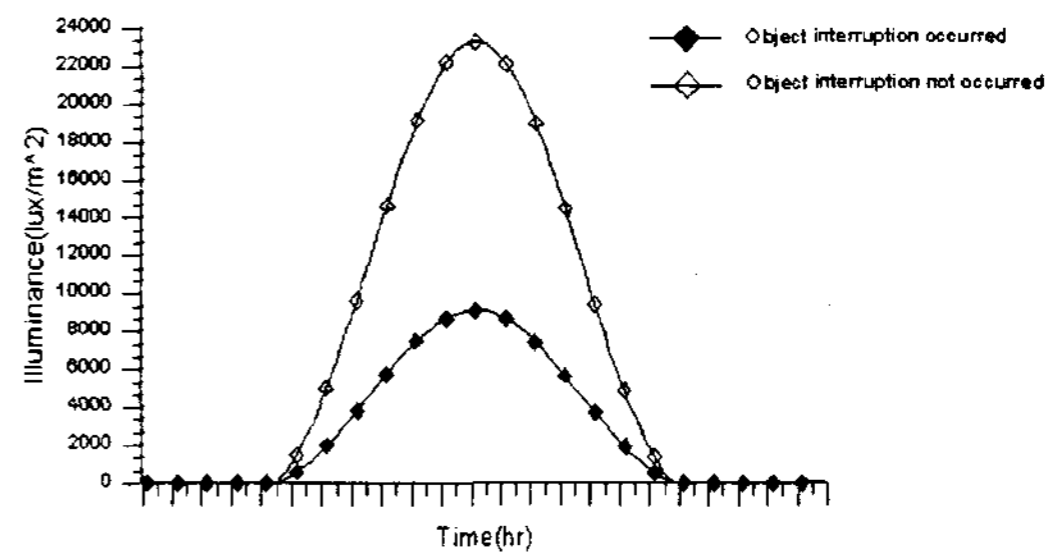


Fig. 20. 장애물에 의한 담천공 산란조도

대한 천공조건별 조도계산 결과를 비교하였다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 3차원 천구에서의 외부일광조도 해석을 위하여 주변 장애물들에 의한 태양의 수평, 수직, 경사면에 대한 직사, 산란(청천공, 담천공)일광조도량을 해석할 수 있는 기법을 개발하였다.

- (1) 직사일광조도계산에서 직사일광이 천공의 태양위차상에서 산란이 없이 수조면에 직접 투사된다는 전제로 수조면의 수평, 수직, 경사면등에 대한 방위별 직사일광조도량을 구할 수 있도록 하였다.(계산식(9)~(11))
- (2) 산란조도계산에서는 수평, 수직, 경사면에 대한 단위면적계산방법을 통해 보다 정확한 산

란조도계산이 가능하도록 하였다.(계산식(18)~(20))

- (3) 일조수조면에 장애물에 의한 음영이 발생하는 경우, 천공에서 이들이 차지하는 영역을 구분하여 비계산처리하여 장애물에 의한 직달, 산란조도를 해석할 수 있도록 하였다.(꼭지점 내각법과 접선교점법)

본 연구의 해석결과, 국내 일광조도측정 자료(참고문헌 4의 p.69)와 비교하여 볼 때, 전천공 조도는 측정값  $80,000\text{lux}/\text{m}^2$  보다 높은  $138330.86\text{lux}/\text{m}^2$  으로 나타났으며, 산란조도는  $37,000\text{lux}/\text{m}^2$  보다 낮은  $2,2561.49\text{lux}/\text{m}^2$  으로 나타났다. 그러나 IES Lighting Handbook에서 제시하는 값과는 거의 유사하게 나타나고 있었다.

본 연구를 통해 외부일광조도를 예측할 수 있는 기술을 개발하였으며, 향후 정밀한 외부일광조도를 예측하기 위하여 가상천구의 개발 및 천구 휘도분포, 조도분포 등에 대한 측정자료축적과 국내환경에서 개발된 실험식들이 적용되어야 하며, 천구상의 장애물이 있는 경우 외부일광조도의 변화를 예측할 수 있는 측정 및 실험 등이 요구되어진다.

## 참 고 문 헌

1. 한국태양에너지학회, 태양에너지핸드북, 1판, 태림문화사, 서울, pp.254~255, 1991, 6, 10.
2. 이정호, 일조일사환경평가를 위한 프로그램 「해바라기」 개발, 대한건축학회학술발표논문집, 서울, p.195, 1996, 4, 27.
3. 한국에너지기술연구소, 주요지역별 기상자료, 증보판, 대전, p.5, 1983, 6, 3.
4. 동력자원부, 상업용 건물의 자연채광설계기법 개발에 관한 연구, 서울, pp.55~84, 1991, 2.
5. 김태부외 6, 공업수학, 5판, 청문각, 서울, 1991, 1, 10.
6. Franky P. Incropera, David P. Dewitt, Introduction to heat transfer, 2nd edition, pp.576~580, 1990.
7. Narendra K. Bansal, Passive building design, A handbook of natural climatic control, pp.27~36, 1994.
8. Kaufman, John., IES lighting handbook, reference volume, no. 5, 1984.