

특집 : 대형 다목적 공간의 조명설계

## 다목적 돐공간에 시환경 평가를 위한 조명계산 프로그램

金 會 瑞 (단국대학교 건축공학과 교수)

### 1. 서 론

대공간 건축이라 함은 야구, 축구, 테니스 경기를 비롯하여 콘서트, 산업 전시회와 같은 이벤트를 유치할 수 있는 대형 공간으로서 일년 중 외부 기후의 변화에 언제든지 대처할 수 있으며, 한편으로는 자연 에너지의 합리적 이용에 따라 보다 쾌적한 실내 환경을 창출하는 오늘날에 있어 첨단 건축양식이라 하겠다. 특히 다목적 돐과 같은 대형 공간을 계획할 경우 내부 환경적 요소의 하나인 자연 채광 및 인공 조명 설계에 있어 밝기 및 색에 있어 공간적 분포에 대한 예측이 설계 초기 단계에서부터 고려되어야 할 것으로 생각된다.

조명에 대한 밝기와 색은 거주자의 視認性 및 심리적인 면에서도 크게 영향을 가져다준다고 볼 수 있다. 이러한 측면에서 볼 때 막구조 건축에 있어서는 투광성의 막으로부터 자연광이 입사되며 자연 채광은 외부 천공 상태가 晴天으로부터 曇天까지 변화함에 따라. 또는 낮으로부터 저녁까지 시간이 경과함에 따라 밝기와 함께 자연광의 색에 대한 변화를 볼 수 있다. 아울러 막구조 건축의 내부 공간의 밝기와 색은 크게 변동하게 되며 필요에 따라 인공 조명으로 이러한 부족한 부분을 보충할 필요가 있을 것이다.

종래의 실내조명 계산은 결과로서 조도 분포 또는 휘도 분포와 같은 밝기에 대한 지표로서 평

가되어 왔으며 자연 채광 및 인공 조명에 따른 건축 공간에서 색의 예측과 평가에 대해서는 충분한 대응이 없었다고 생각된다. 또한 컴퓨터 그래픽 등에 의해서 색에 대한 예측을 할 수 있는 경우도 있으나, 모두 다 그 목적이 디스플레이 및 인쇄물에 출력하고자 하는 것이었으며 여기서 말하는 색온도 및 색도 등에 대한 정량적인 예측 및 평가에 필요한 정보를 얻기에는 그 한계가 있었다.

특히 오늘날과 같이 생활공간의 쾌적화 및 에너지 절약적인 차원에서 고려해 볼 때 막구조 건축에 있어 다목적 대공간 내부에 대한 자연 채광 및 인공 조명에 따른 밝기와 색의 공간 분포를 예측할 수 있는 기법을 개발하여야 될 것이며 이에 대한 시뮬레이션 시스템의 개발이 시급히 이루어 져야 될 것이다.

### 2. 자연 채광 및 인공 조명의 설계 프로 세서

#### 2.1 조명 계산 방법

대공간 계획에 있어 옥내 경기장과 같은 건축에서는 투광성이 높은 막구조 지붕 구조를 일반적으로 많이 설계하고 있다고 생각된다. 이러한 건축물은 다목적으로 사용되어지고 있으며 야구 등 스포츠 경기가 행해질 경우 경기에 지장을 주

지 양을 범위에서 질적으로 높은 빛환경이 요구되어지고 있다. 막구조 대공간 조명에 있어서는 실측 또는 예측 계산을 통하여 자연 채광과 인공 조명에 따른 내부 공간에 대한 조도 분포를 계산하고 있으나 통상 투광성이 높은 지붕을 갖고 있는 막구조 대형 공간에서는 천장면의 휘도 분포가 직달일사를 포함하고 있기 때문에 내부 공간에 대한 휘도 분포를 예측하므로써 대형공간등 건축에 대한 보다 차원높은 실내조명환경을 만들 수 있을 것이다.

그러므로 조명 계산으로서는 다음과 같은 6가지 단계를 검토하여 계산하도록 한다.

- (1) 자연 광원 모델에 따른 천공 휘도 분포 및 투광성 막구조 천장의 휘도 분포 계산
- (2) 내부 공간의 형상에 대한 삼각형 요소에 따른 모델 설정
- (3) 자연 채광 또는 인공 조명에 따른 직접 조도 계산.
- (4) 광속 전달법에 따른 간접 조도 계산.
- (5) 임의 시점으로부터의 내부 공간의 휘도 분포 계산.
- (6) 임의 시점으로부터의 공의 휘도와 휘도 대비 계산.

## 2.2 자연 채광 광원

### 1) 담천비에 대한 천공의 모델화

전천후에 따른 천공 휘도 분포와 청천공의 경우 직사 일광 조도를 고려할 필요가 있으며 청천공으로부터 중간 상태를 거쳐 담천공으로 연속적으로 변화하는 천공 조건의 지표로서 가시광에

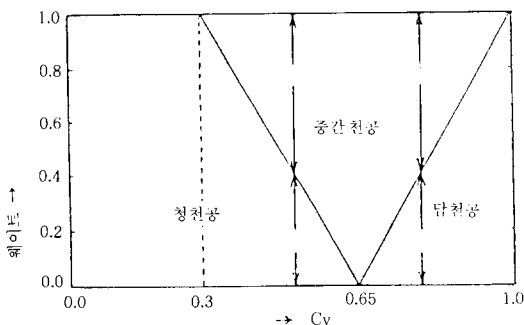


그림 1. Cv에 따른 천공상태의 모델화

관한 담천비(Cloud Ratio)Cv를 사용한다.(그림 1 참조)

$$CV = \frac{Ed}{Ed + Esh} \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기서, Ed는 천천공, 조도[lx], Esh는 수평면 직사 일광 조도[lx]

### ① 천천공 휘도 분포

그림 2에서 보듯이 천공상의 P점의 청천공 휘도 Lcl은

$$Lcl = \frac{\phi(h) \cdot f(\xi)}{0.2785 \cdot f(\pi/2 - hs)} Lzcl [cd/m^2] \dots\dots\dots(2)$$

여기서, Lzcl : 천정 휘도 [cd/m<sup>2</sup>]

### ② 천천공 조도

그림 2에서 임의 P점의 천공 휘도 L(θ, φ)는

$$L(\theta, \phi) = Lcl + Lin + Loc \quad \dots\dots\dots(3)$$

Lcl : 청천공 휘도 분포

Lin : 중간 청공 휘도 분포

Loc : 담천공 휘도 분포

따라서 천천공 조도 Ed[lx]는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Ed = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} L(\theta, \phi) \sin\theta \cos\theta \, d\theta \, d\phi \quad \dots\dots(4)$$

θ, φ는 천천공요소의 고도와 방위각을 뜻함.

## 2.3 자연채광 직접조도 계산

### 1) 직사일광조도

임의의 경사각(경사각 γ, 방위각 di)에 대하여 입사각 i로 입사할 경우

$$Esi = 134000 \cdot Pv^m \cdot \cos i [lx] \quad \dots\dots\dots(5)$$

여기서 Pv : 대기 투과율

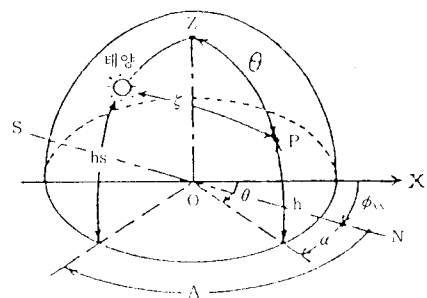


그림 2. 태양의 유도 및 방위각

$m : 1/\sinh$

$$\cos i = \cos \gamma \cdot \sinh s + \sin \gamma \cdot \cosh s \cdot \cos(A - di)$$

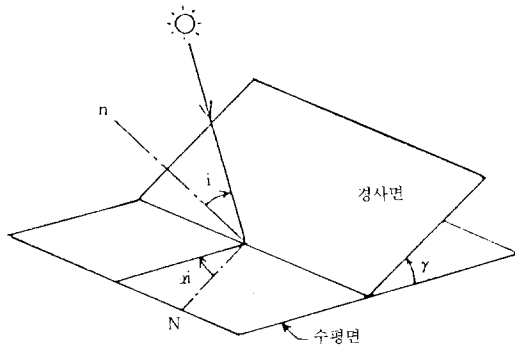


그림 3. 지붕면에 있어서의 태양 입사각

2) 돔지붕막 구조면 위에 있어 자연광조도

a) 직사일광조도  $E_{si}$

b) 천공광조도  $E_{d\gamma}(lx)$

$$E_{d\gamma} = E_d \{ (1 + \cos \gamma) / 2 \} \dots\dots\dots(6)$$

c) 지면광조도  $E_g(lx)$

$$E_g = (E_d + E_{si}) \cdot \rho_g \cdot \{ 1 - \cos \gamma / 2 \} \dots\dots\dots(7)$$

여기서  $\rho_g$  : 지면반사율 = 0.1

d) 지붕면 위의 자연광 직접조도  $E_r(lx)$

$$E_r = E_{si} + E_{d\gamma} + E_g \dots\dots\dots(8)$$

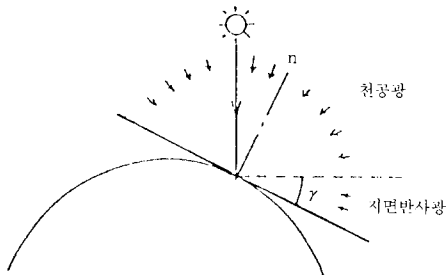


그림 4. 막구조 표면에 있어서의 천공입사

3) 돔 개방시 내부 자연광 직접조도  $E_{Io}$

a) 직사 일광조도  $\rightarrow E_{si}$

b) 천공광 조도  $E_{dI}(lx)$

$$E_{dI} = \int_{\Omega} L(\theta, \phi) \cdot \cos \beta \cdot dw \dots\dots\dots(9)$$

여기서  $dw$ 는 천공미소부분의 입체각,  $\beta$ 는 법선과  $dw$ 의 여각,

$\Omega$ 는 개방부의 입체각을 뜻함

따라서

$$E_{Io} = E_{si} + E_{dI} \dots\dots\dots(10)$$

4) 돔 폐쇄시 내부 자연광 직접조도  $E_{Ic}(lx)$

$$E_{Ic} = \int_{\Omega_R} E_{\gamma} \cdot \tau_R \cdot \cos \beta \cdot dw \dots\dots\dots(11)$$

여기서  $E_{\gamma}$ 은 (식 8)  $\cdot \tau_R$ 은 지붕면 실효투과율,  $\Omega_R$ 은 지붕막면 입체각을 뜻함

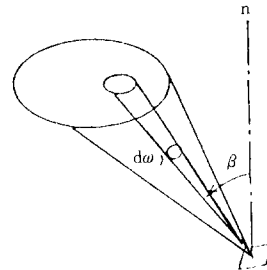


그림 5. 막구조 지붕표면과 시점간의 입체각 투사율

2.4 인공조명 직접조명 알고리즘

1) 램프 및 조명기구

a) 램프 : 임의의 HID 램프

b) 조명기구 : 투광기형기구

c) 기구의 배광 : 광축으로부터 축의 대칭에 있어 임의의 배광  $I(\theta)$

2) 조명기구의 위치 : 광축방향과 계산점 결정

a) 기구의 위치 및 계산점의 위치로부터 양자의 거리  $\gamma(m)$ 를 구한다.

b) 기구로부터 계산점쪽의 방향과 광축과의 여각  $\theta$ 를 구한다.

c) 기구의 배광으로부터 계산점방향에 대한 광도  $I(\theta)$ 를 구한다

d) 계산점에 있어서 수조점의 법선과 입사광과의 여각  $\phi$ 를 구한다

3) 직접조도  $E_{Dr}$ 의 계산식

조명기구 1개로부터 직접조도  $E_{D1}$ 는

$$E_{D1} = I(\theta) \cos \phi / r^2 (lx) \dots\dots\dots(12)$$

기구수를  $n$ 이라 한다면 이들에 따라 직접조도  $E_{Dn}$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$E_{Dn} = \sum_{i=1}^n E_{D1} \dots\dots\dots(13)$$

2.5 상호반사 계산

1) 각 삼각형 요소의 평균 직접조도로부터 각 삼각형 요소의 간접조도를 광속전달계산법에 의

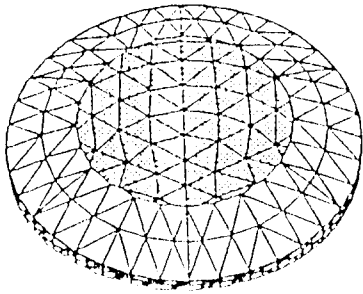


그림 6.

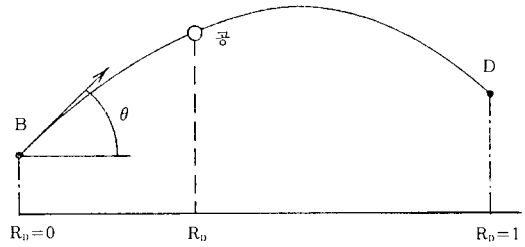


그림 7. 공의 좌표

해 계산한다.

2) 직접조도에 간접조도를 더하여 전조도로부터 전휘도 성분을 구한다.

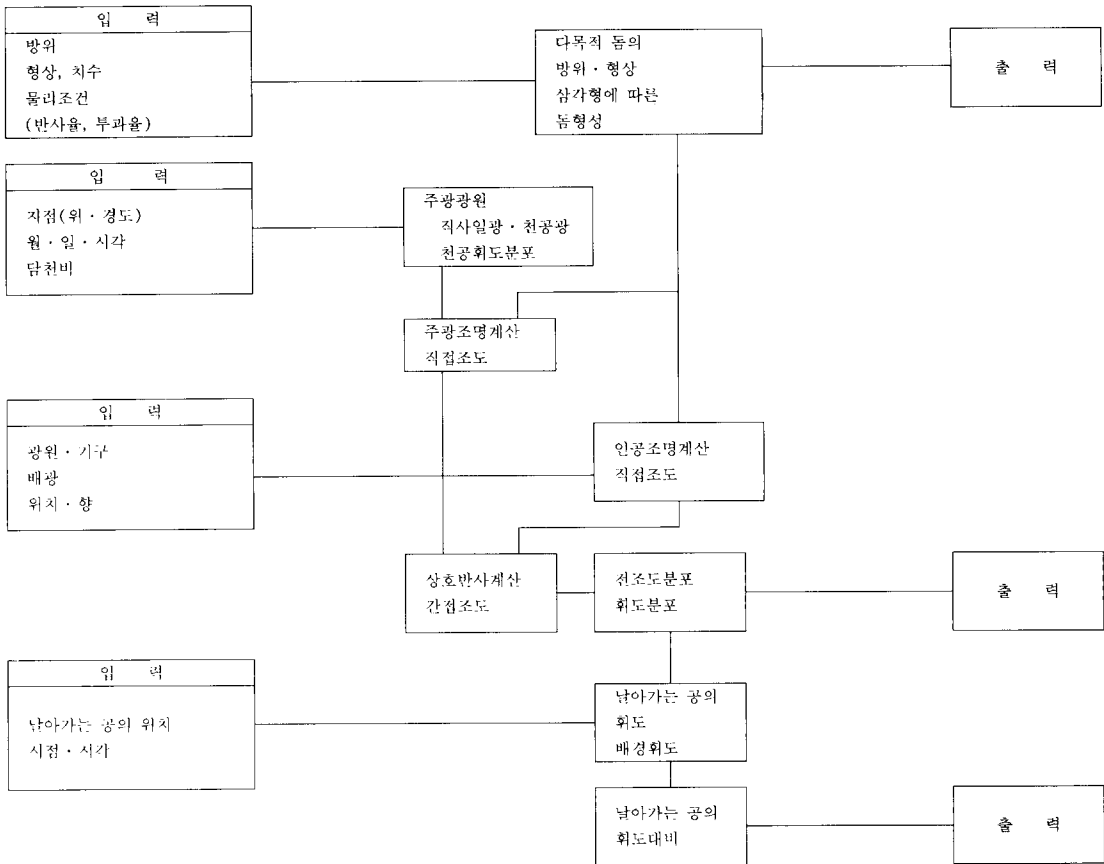
## 2.6 날아가는 공의 휘도 및 배경과의 휘도대비

### 1) 시점의 좌표

시점의 좌표는 돔내에 있어 임의로 정할 수 있다.

### 2) 공의 좌표

공의좌표는 타점(B), 낙하점(D)의 좌표와 던져진각( $\theta$ ) 및 상대적 날아간거리( $R_0$ )에 의해 정해진다. 단 타구는 포물선을 그린다고 생각한다.



<대공간 돔에 있어 조명계산 프로그램 흐름도>

3) 공의 휘도

시점으로부터 보이는 공의 반구면을 적당히 분할하여 각 분할면의 휘도  $L$ 을 보이는 면적 ( $dS \cos \theta$ )에 의해 평균하여 휘도  $L_T$ 로 하고 공의 반사율은 0.75(완전확산반사)로 한다.

$$L_T = \frac{\int_{2\pi} L \cos \theta \, ds}{\int_{2\pi} \cos \theta \, ds} \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} L \cos \theta \, ds \dots \dots \dots (14)$$

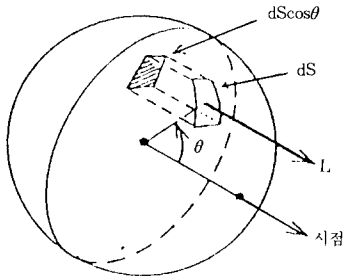


그림 8. 공의 휘도

4) 배경휘도

시점으로부터 본공의 배후에 보이는 요소에 대한 휘도를 배경휘도  $L_B$ 로 한다.

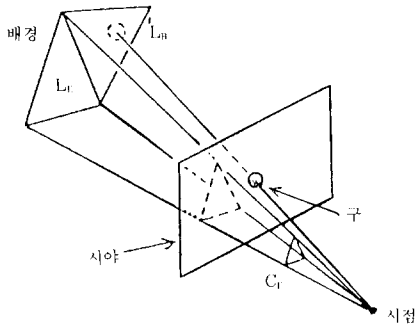


그림 9. 배경휘도와 순응휘도

5) 날아가는 공의 휘도대비

공의 휘도  $L_T$ 와 배경휘도  $L_B$ 로부터 대비  $C$ 을 구한다.

$L_T > L_B$ 의 경우

$$C = \frac{L_T - L_B}{L_T} \text{ (정대비)} \dots \dots \dots (15)$$

$L_B > L_T$ 의 경우

$$C = \frac{L_B - L_T}{L_B} \text{ (역대비)} \dots \dots \dots (16)$$

6) 순응휘도

시선은 시야내에서 움직이고 있기 때문에 눈은 시야에 대한 평균휘도에 순응하고 있다고 생각한다. 시각에 따라 정해지는 시야내에 보이는 요소의 휘도  $L_F$ 을 요소의 투사율  $C_F$ 에 의해 평균한 것을 순응휘도  $L_A$ 로 한다면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_A = \frac{\sum L_F C_F}{\sum C_F} \dots \dots \dots (17)$$

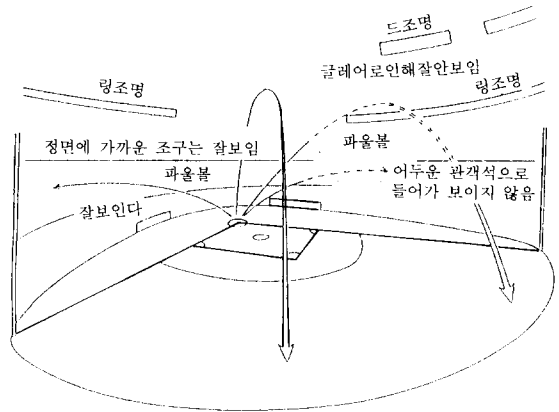


그림 10. 외야석 수비쪽에서 바라보는 공의 모양

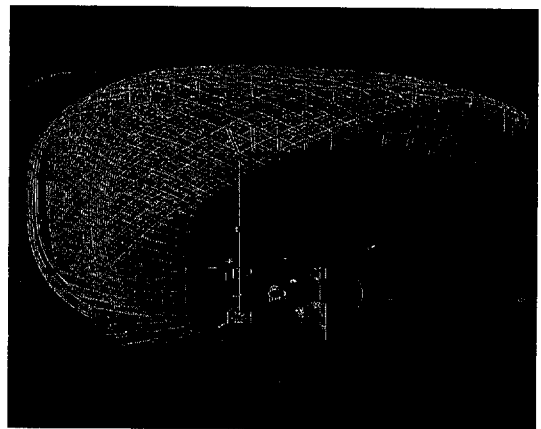


그림 11. 대공간돔에 대한 그래픽디자인

2.7 조명계산 프로그램의 응용

조명계산 프로그램의 응용으로서 다음과 같은

빛환경예측에 대한 검토를 할 수 있다.

1) 주간 담천시 및 우천시의 빛환경 :

인공조명과 함께 혼합 조명을 이룰 수 있으며, 이 때의 조명상태를 알고자 할 때

2) 주간의 청천시의 빛환경 :

태양고도가 높고 인공조명을 점등할 필요가 없을 경우의 상태를 알고자 할 때

3) 야간의 빛환경 :

인공조명만의 조명을 하고자 할 때

이 때 통상 야외야구장의 얇은 막과 같이 천공을 배경으로 날아가는 공이 천공과 공의 휘도가

거의 같다고 보면 휘도대비가 0에 근접하므로 공을 시야에서 놓치기가 쉬우므로 이러한 프로그램의 개발에 따라 조명을 해야 할 시각, 장소 및 방향설정에 충분히 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Igawa Norio et al : A study on daylight availability of fabric structure(Part 1), Architectural Institute of Japan, 1985.
- 2) K. Matsuura et al : Prediction of luminous distribution in an open and shut skylight Dome and evaluation of contrast of fry ball, Architectural Institute of Japan, 1990.

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 회 서(金會瑞)

1953年 7月 27日生. 1979年 漢陽大 建築工學科 卒, 1982年 日本 京都大 學校 建築工學科 碩士課程 卒(碩士). 1986年 日本 京都大學校 建築工學科 博士課程 卒(博士). 1987年 美國 UC Berkeley Lawrence Berkeley National 研究所 Window and Daylighting Group 研究員. 現在 서울시 建築審議委員. 檀國大 建築工學科 副教授. 當學會 編修委員.