

# 디지털화상처리기법에 의한 형태계수 및 휘도의 측정

## Determining Configuration Factors and Luminance Values by a Digital Image Processing Technique

송 규 동

Song, Kyoo Dong, Ph.D.

(정회원, 한양대학교 건축공학과, 건축학박사)

---

### Abstract

This paper describes the development and calibration methods of a video-based full-field luminance mapping system that can be used to determine the configuration factors and luminance values of a luminous environment. The system consists of an image-capture hardware system and a group of customized digital image-processing programs. The full-field luminance mapping system demonstrated useful features in determining not only geometric parameters such as configuration factors and solid-angles of openings and the sky factors of arbitrary-shape sky areas, but also photometric parameters such as luminance and illuminance values of openings and interior surfaces.

---

## 1. 서론

빛 환경에서 어느점으로 입사하는 빛의 양을 나타내는 照度와 인간의 眩輝感은 빛을 받거나 반사시키는 면의 형태계수와 輝度(luminance)에 의해 결정된다. 형태계수(configuration factor)는 어느 점에서 관찰되는 면의 겉보기 크기로서 그 면과 점이 이루는 각도와 거리에 의해 결정된다. 그리고 면광원의 형태계수에 그 면의 휘도(luminance)와  $\pi$ 를 곱하면 그점에서의 조도가 된다. 自然採光에 의한 실내의 작업면 위의 한 점에서의 조도를 계산하기 위해 가장 보편적으로 사용되는 晝光率法(daylight factor method)의 경우, 그 점으로부터 유리창을 통해 관찰되는 천공과 외부의 반사면에 의한 조도는 유리창을 통해 보이는 천공 부분과 외부 반사면의 형태계수와 각각의 휘도로부터 계산하며, 실내 면에서의 반사성분은 光束分離法(luminance split-flux method)에 의해 구한다음 전자와 후자를 합한 것이 그 점에서의 조도가 된다. 한편, 빛 환경의 질을 인간의 척도에서 판단하기 위한 도구로서 가장 보편적으로 이용되는 眩輝指數(glare index)의 경우 눈으로 관찰되는 광원의 휘도와 입체각(solid angle) 및 시야전체의 휘도를 사용하여 계산한다. 그러나 형태계수나 입체각을 계산식에 의해 구하는 경우 광원의 형태가 장방형 또는 원형인 경우를 제외하고는 매우 복잡한 계산과정이 요구되고, 특히 면의 휘도가 불균일 할때 그 입력 및 계산과정은 더욱 복잡해진다. 따라서, 설계 단계에 있는 건물의 자연채광 설계를 평가하기 위해 가장 널리 사용되는 방법은 축소모형이나 실물크기의 모형을 제작하여 모형실내의 조도와 휘도를 측정하고, 관찰자가 직접 실내의 분위기를 주관적으로 평가하는 것이다. 본 연구에서는 축소모형이나 실물모형실험에 이용될 수 있도록 디지털화상처리기법을 도입한 촬영 장치의 개발과 캘리브레이션 방법 및 배경이론에 대해 설명하였다.

## 2. 장치의 구성

본 연구에서 개발된 촬영장치는 180° 입체각 내의 모든 물체를 포착하기 위해 等距離射影(equidistant projection) 방식의 魚眼렌즈(15 mm, F2.8)와 과장별 투과율이 CIE 標準比視感度 곡선과 근접한 광학필터 및 16 mm 렌즈를 장착한 CCD 비디오카메라를 조합한 광학장치, 그리고 비디오카메라에 의해 포착된 아나로그 화상을 디지털화 하기 위한 화상보-드(8 bit, 256 gray scales)로 구성되어 있다. 비디오카메라는 시중에서 구할 수 있는 폐쇄회로용으로서 렌즈의 노출(f-stop)과 셔터 속도를 수동으로 조작할수 있으며, AGC(automatic gain control)도 수동으로 on/off할 수 있는 것이다. 화상보-드는 비디오카메라로부터 들어오는 아나로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜 세로와 가로 방향으로 480×512 개의 픽셀로 구성된 화상을 디

스크에 화일로서 저장한다. 또한, 디지털화상처리용 소프트웨어는 촬영된 화상으로부터 물체의 입체각과 형태계수 등의 기하학적인 값과 휘도와 조도 등의 광학적 값을 계산할 수 있게 개발 되었다. 그림 1 은 본 연구에서 개발된 디지털화상처리용 하드웨어 및 소프트웨어 시스템인 VLEAS (video-based luminous environment analysis system)의 구성 개념도를 보인 것이다.

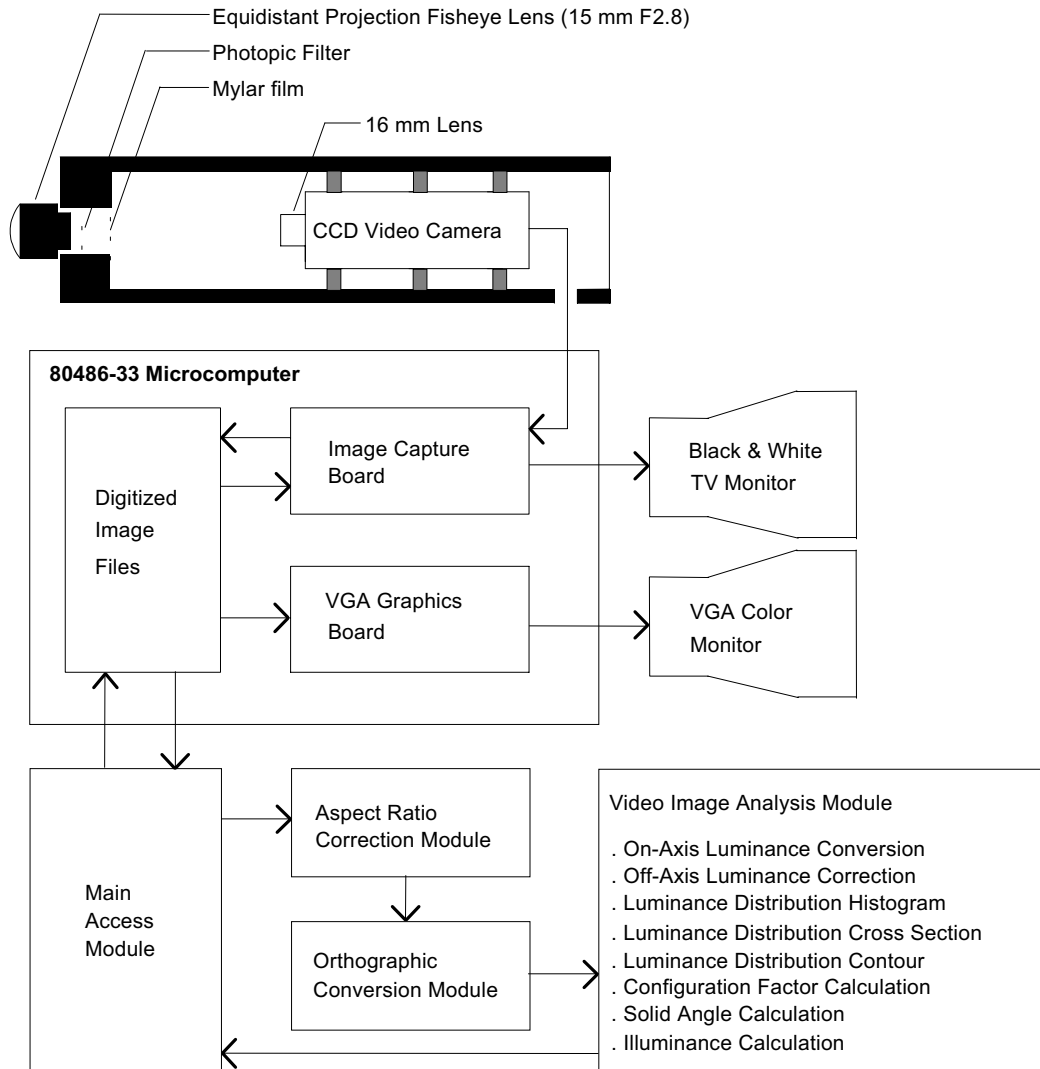


그림 1. VLEAS의 하드웨어 및 소프트웨어의 구성 개념도

### 3. 캘리브레이션

디지털화된 화상의 픽셀 값(0-255)으로부터 실제의 휘도( $\text{cd/m}^2$ )를 구하기 위해서는 사전에 두 값들 사이의 관계식을 어안렌즈의 노출 값별로 도출해야 하는데, 이를 위해 CIE 비시감도 특성, 광학축에서의 시스템 응답계수, 그리고 광학축 밖에서의 시스템 응답계수를 실험에 의해 구하였다. 또한, 화상으로부터 물체의 형태계수와 입체각을 구하기 위하여 광학장치의 기하학적 특성도 실험에 의해 파악하였다.

#### 3.1 CIE 비시감도 (CIE relative spectral luminous efficiency)

이 캘리브레이션은 서로 다른 파장을 갖는 빛이 입사할 때 비디오카메라의 CCD가 감응하는 정도를 인체의 눈이 감응하는 방식과 매우 근접하게 맞추어 주기 위한 것으로서, 비디오카메라의 CCD는 인체의 눈과는 다른 비시감도를 갖고 있으므로 광학필터를 사용하여 조정해 주어야 한다. 이를 위해 holographic

spectroradiometer를 사용하여 비디오카메라의 CCD가 입사하는 빛의 파장별로 CIE 비시감도 곡선과 유사한 감도를 갖게하는 필터의 조합을 결정하였다. 그림 2는 필터를 사용했을 때와 그렇지 않을 때의 비디오카메라의 비시감도 곡선을 CIE의 표준비시감도 곡선과 비교한 것이다.

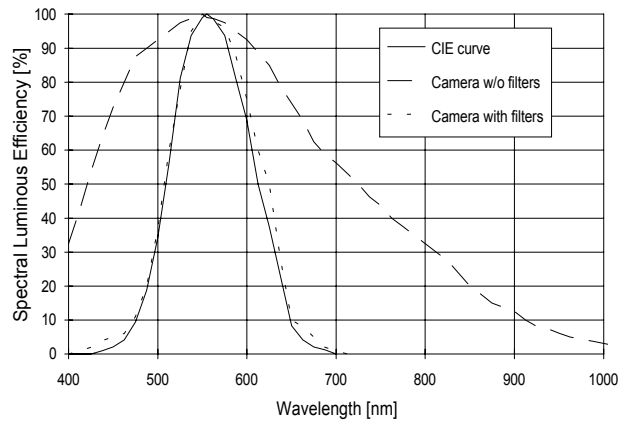


그림 2. 비시감도 곡선

### 3.2 광학축에서의 시스템 응답계수 (On-axis system response factor)

이 캘리브레이션은 광학장치의 축으로 입사하는 광선 (즉, 어안렌즈에 대해서 입사각이  $0^\circ$  인 광선)의 강도에 대해서 비디오카메라의 CCD의 감응정도를 알기 위한 것이다. 그림 3과 같이 휘도계( $1/3^\circ$ )와 광학장치를 무광택 백색의 원형표적으로부터 1 m 떨어진 거리에서  $45^\circ$  각도로 표적을 향하도록 위치시킨다. 그리고 일정한 광도를 갖는 점광원의 거리를 변화시켜 표적의 휘도를 조절하면서 휘도계로 측정된 값을 기록하고 동시에 광학장치로 표적을 촬영하는데, 이러한 과정을 어안렌즈의 노출값(f/2.8, f/4.0, f/5.6, f/8.0, f/11, f/16, f/22)을 바꾸어 가면서 반복하였다. 실험을 완료한 다음 휘도계로 측정된 값과 디지털화된 화상의 중심점의 픽셀 값 (0-255)에 대해 회귀분석기법을 적용하여 어안렌즈의 각각의 노출값에 대한 회귀식을 구하였다. 그림 4는 실제의 휘도와 픽셀 값과의 관계의 일례를 어안렌즈의 노출 f/11에 대해서 보인 것이다.

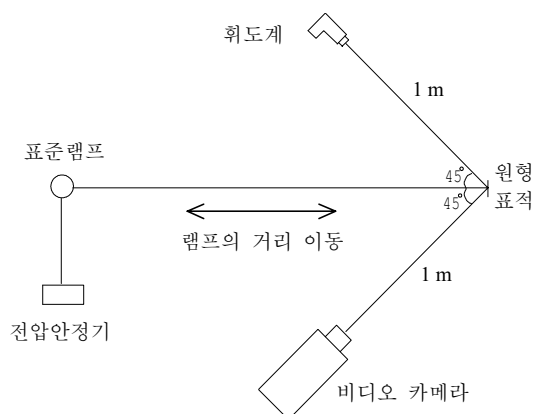


그림 3. 광학축에서의 응답계수를 구하기 위한 실험

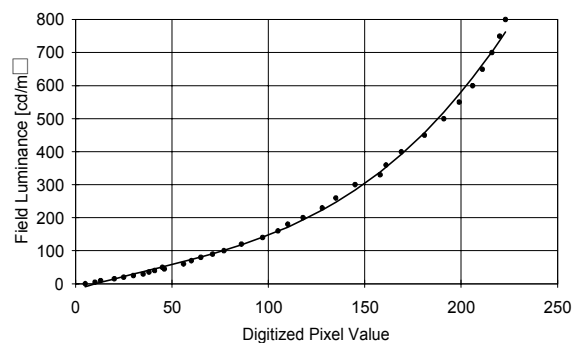


그림 4. 광학축에서의 응답계수 곡선 (f/11)

### 3.3 광학축 밖에서의 시스템 응답계수 (Off-axis system response factor)

이 캘리브레이션은 입사각이  $0^\circ$  보다 크고  $90^\circ$  이하인 광선이 비디오카메라의 CCD에서 감응되는 정도를 동일한 강도의 광선이 중심축으로 입사할 때에 CCD에서 감응되는 정도와 비교하기 위한 것이다. 즉, 똑같은 강도의 광선이 어안렌즈의 중심 축으로 입사하여 비디오카메라의 CCD에 감지되는 것과 중심 축 밖에서 입사하여 CCD에 감지되는 정도를 비교하면, 입사각이 커질수록 CCD에 도달하는 광선의 강도가 약해지는데 이러한 현상은 廣角렌즈에 의해 촬영된 화상에서 관측되는 비네트현상(vignette effect)이라 한다. 그 원인은 어안렌즈로 입사하는 광선의 입사각이 커질 수록 어안렌즈의 표면에서 반사되는 정도가 커지고 렌즈를 통과하는 경로가 길어져서 렌즈내에서의 투과손실이 커지기 때문이다. 이러한 현상을 정량적으로 알아내기 위해서는 균일한 휘도를 갖는 면을 촬영하여 디지털화된 화상의 중심점의 픽셀 값과 중심점 밖에 위치한 픽셀 값을 비교해야 하는데, 균일한 휘도를 갖는 면을 만들기 위해서 integrating sphere를 사용하였다. 그림 5는 integrating sphere내부를 촬영하여 얻은 화상화일의 픽셀 값을 입사각별로 나타낸 것으로서 중심축(즉, 입사각이  $0^\circ$ )에 해당하는 픽셀 값을 1로 볼때 입사각이  $0^\circ$  이상인 픽셀 값의 상대치를 어안렌즈의 노출  $f/11$ 에 대해 보인 것이다.

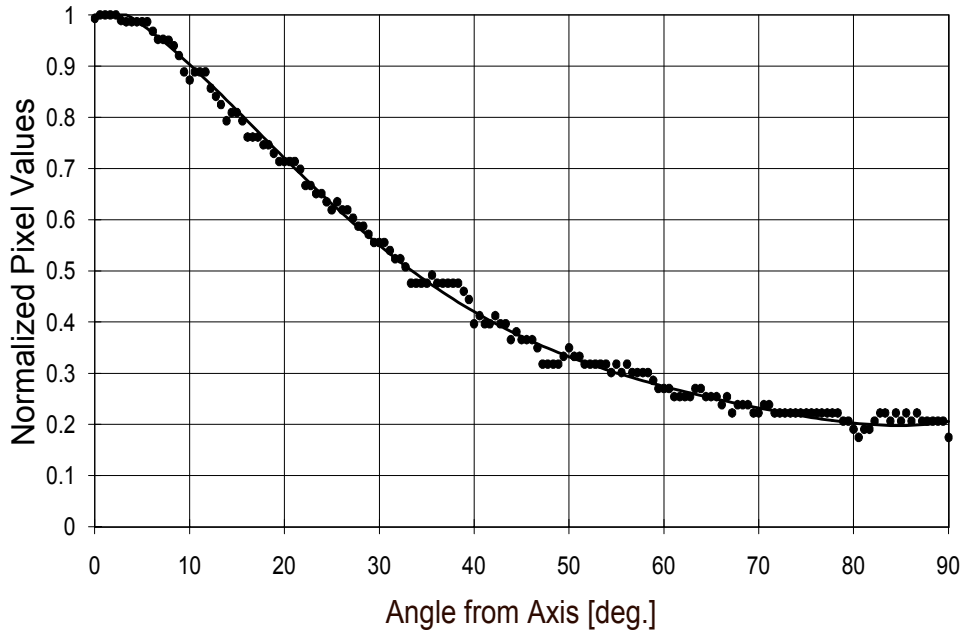


그림 5. 광학축 밖에서의 입사각별 응답계수 ( $f/11$ )

### 3.4 광학장치의 기하학적 특성

이 실험에서는 等距離射影 방식 魚眼렌즈의 기하학적 특성을 파악하기 위하여 광선의 실제 입사각이 디지털화된 화상으로부터 얼마나 정확하게 구해질 수 있는지를 알아보았다. 가로, 세로, 높이가 모두 200 mm인 백색 정육면체를 한쪽면만 열려있게 제작하고, 내표면에는 가로와 세로로 각각 25 mm 간격의 흑색 격자선을 그린 다음 광학장치의 어안렌즈를 열려있는 면으로부터 맞은편 내표면의 중심점을 향하도록 위치시켰다. 정육면체 내부를 촬영하여 디지털화상화일로 만든 후 가로와 세로 격자들이 만드는 교차점과 어안렌즈표면의 중심점이 이루는 각도에 대해 실제의 값과 화상으로부터 구한 값을 서로 비교하였다. 그림 6은 실험 모습과 각 교차점의 입사각을 비교해 보인 것으로서 두 값은 매우 근접하여  $\pm 1\%$  이내의 오차를 보이고 있다. 이 실험 결과로부터 본 촬영장치에 의해 만들어진 디지털화상으로부터 광선의 입사각이 99% 이상의 정확성을 갖고 구해질 수 있음을 확인할 수 있었다.

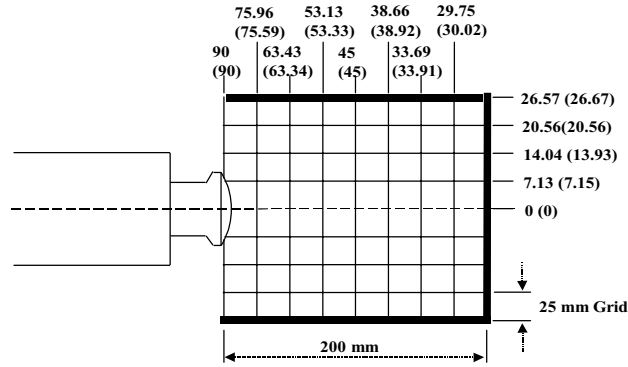


그림 6. 광학장치의 기하학적 특성 실험장치  
(숫자들은 이미지의 중심점으로부터의 실제의 각도와 측정된 각도를 나타냄)

#### 4. 디지털화상 처리기법과 배경이론

위의 과정을 통해 제작되고 캘리브레이션된 장치에 의해 축소모형이나 실제 공간의 화상을 디지털화일로 만든 후 촬영된 물체나 광원의 형태계수, 입체각, 휘도 및 조도를 구하기 위해 다음과 같은 방법에 의해 화상처리용 소프트웨어를 개발하였다.

##### 4.1 화상 변환 (Image conversion)

디지털화상으로부터 원하는 값들을 구하기 전에 먼저 수행해야 하는 화상처리기법은 等距離射影 방식으로 만들어진 화상화일을 正射影 방식으로 변환 시키는 것이다. 이 화상 변환은 아래에서 설명하고자하는 立体角投射原則 (solid angle projection principle)의 이론식을 디지털화상에 적용하기 위한 것이다. 그림 7에 표시된 바와 같이 등거리사영 방식의 화상으로부터 한 광선의 입사각  $\theta$ 는 식 (1)에 의해 구할 수 있다. 그리고, 해당 픽셀을 정사영 방식으로 변환하기 위해서는 식 (2)에 의해 그 픽셀의 중심 점으로부터의 거리  $d_{op}$ 를 구해야 한다.

$$\theta = \frac{d_{ep}}{r} \times \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$d_{op} = r \sin \theta \quad (2)$$

단,  $\theta$  = 광선의 입사각 [radians],  $d_{ep}$  = 등거리사영 화상에서 해당 픽셀과 중심점 사이의 거리,  $d_{op}$  = 정사영 화상에서 해당 픽셀과 중심점 사이의 거리,  $r$  = 화상의 반경

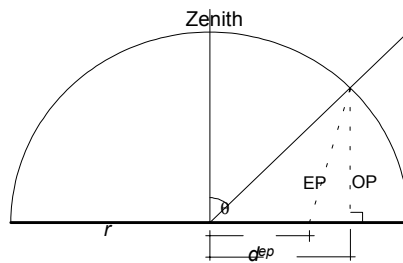


그림 7. 등거리사영 방식의 입사광선을 정사영방식으로의 변환시키는 개념

그림 8은 5개의 수직창과 모니터형 천창을 갖는 모형실의 외관을 보인 것이다. 그리고 그림 9는 바닥 중심점에서 촬영하여 얻은 모형실 내부의 등거리사영 방식의 화상이고 그림 10은 정사영방식으로 변환된 것이다.

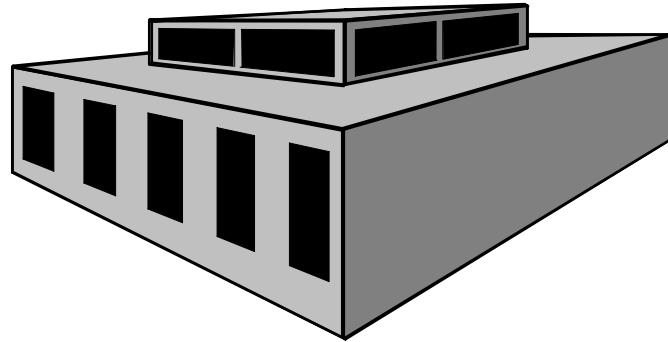


그림 8. 모형실의 외관

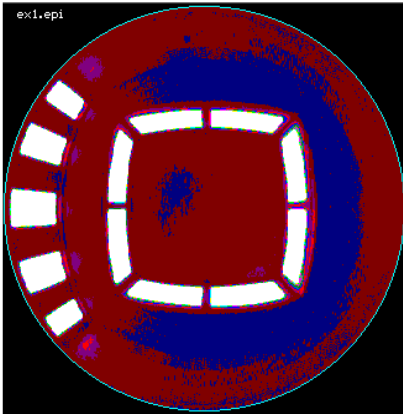


그림 9. 등거리사영 방식의 화상

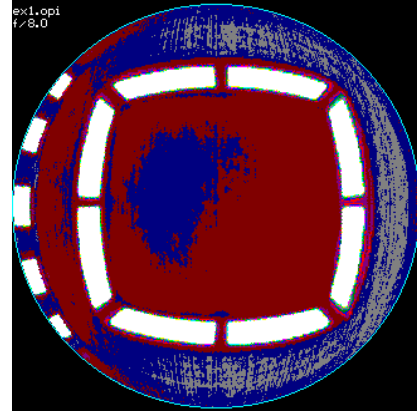


그림 10. 정사영 방식으로 변환된 화상

#### 4.2 형태계수와 입체각의 계산

그림 11과 같이 표면의 휘도가 균일하게  $L$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]이고 면적이  $S$  [ $\text{m}^2$ ]인 완전확산면에 의한 P점에서의 조도는 식 (3)에 의해 구할 수 있다.

$$E_p = L \int_S \frac{\cos \alpha \cos \theta}{D^2} dS \quad (3)$$

이때, 면의 휘도가 균일할 경우, 식 (3)은 그 면의 光束發散度  $M$  [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ]이  $M = \pi L$  이므로 식 (4)로 변환될 수 있다.

$$E_p = M \int_S \frac{\cos \alpha \cos \theta}{\pi D^2} dS \quad (4)$$

식 (4)의 우측 항에서  $M$ 은 빛의 량과 관계되는 것이고 그 외는 모두 면광원과 수조점사이의 기하학적인 거리나 각도를 나타냄을 알 수 있다. 이때, 우측 항에서 기하학적인 항목만을 따로 분리하여 식 (5)와 같이 표현한 것이 수조점 P에 대한 면의 형태계수  $U$ 가 된다.

$$U = \int_S \frac{\cos \alpha \cos \theta}{\pi D^2} dS \quad (5)$$

또한, 그림 11에 나타난 것처럼 면광원 상의 미소면  $dS$ 의 미소입체각  $d\omega$ 는  $d\omega = dS \cos \alpha / D^2$  이므로 이것을 식 (5)에 대입하면 식 (6) 이 구해진다

$$U = \int_{\omega} \frac{\cos \theta}{\pi} d\omega \quad (6)$$

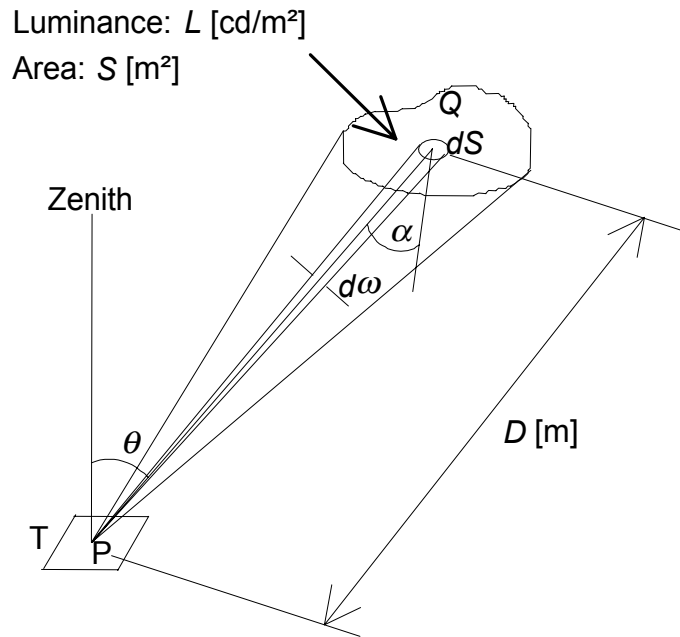


그림 11. 평면상의 점과 면광원사이의 기하학적 관계

따라서, 수조점에서의 조도를 구하기 위한 식 (3)은 식 (7)로 변환 됨을 알 수 있다.

$$E_p = \pi LU = MU \quad (7)$$

식 (7)은 균일한 휘도  $L$  [ $\text{cd/m}^2$ ] 또는 광속발산도  $M$  [ $\text{lm/m}^2$ ]를 갖는 완전확산면에 의한 조도는 그 면의 형태계수  $U$ 를 식 (5) 또는 (6)을 이용하여 구할 수 있음을 보여주고 있다. 그러나, 식 (5)와 (6)은 장방형또는 원형 처럼 간단한 형태의 면에 대해서는 쉽게 풀 수 있으나, 자연채광에서의 면광원, 즉, 외부의 수목이나 방해물 등에 의해 가려진 부정형의 천공부분 등에 대해서는 매우 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

형태계수를 구하는 또다른 방법은 잘 알려져있는 立体角投射原則에 의한 것이다. 이 방법은 그림 12에 보인 것처럼 평면상의 점 P를 중심으로 단위 반경을 갖는 반구를 그리고 미소면적  $dS$ 와 점 P에 의해 형성되는 미소입체각  $d\omega$ 를 식 (8)에 의해 구하는 것이다.

$$d\omega = \frac{dS \cos \alpha}{D^2} = \frac{dS'}{1^2} \quad (8)$$

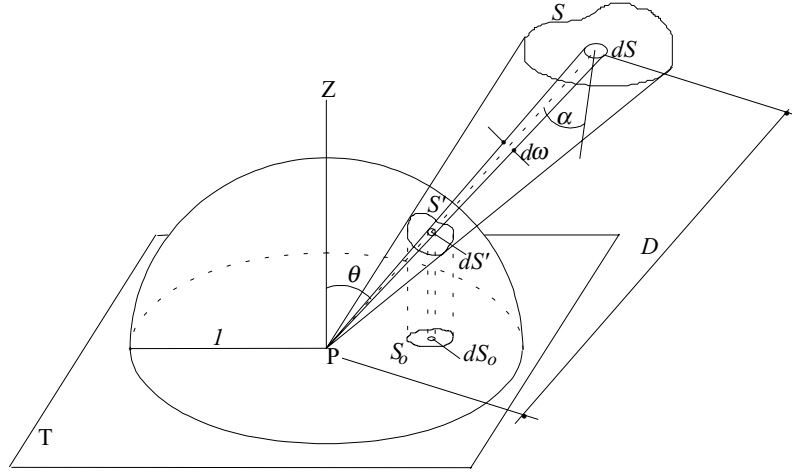


그림 12. 정사영방식에 의한 입체각투사

이때, 반구 표면상에 투영된 면적  $dS'$  를 다시 수평면으로 정사투영하면  $dS_o$  가 되는데  $dS_o = dS' \cos \theta$  이므로 식 (8)은 다시 식 (9)로 변환 될 수 있다.

$$d\omega = \frac{dS_o}{\cos \theta} \quad (9)$$

식 (9)를 식 (6)에 대입하면 면광원의 형태계수는 식 (10)에 의해 구할 수 있게되는데, 이것은  $dS_o$ 를 단위 직경을 갖는 원의 면적으로 나누는 것이 된다.

$$U = \int_{S_o} \frac{1}{\pi} dS_o = \frac{S_o}{\pi} \quad (10)$$

식 (10)도 수학적 계산에 의해 부정형 면의 형태계수를 구할 경우 매우 복잡한 과정을 거쳐야 하지만, 그림 12와 똑같은 원리로 작용하는 광학장치를 사용하는 경우 실존하는 모든물체들의 형태계수와 입체각을 쉽게 구할 수 있게 된다. 본 연구에서 개발된 광학장치에 의해 촬영되고 앞에서 설명한 화상변환과정을 거쳐 얻은 정사영 방식의 화상은 입체각투사원칙의 개념을 그대로 적용할 수 있는 것으로서, 식 (10)의 분모인  $\pi$ 가 디지털화된 화상을 이루는 전체 픽셀 수인  $N$ 으로 표현되며, 면적이  $S$ 이고 임의의 형태를 갖는 면 광원이 수평면상에 정사투영된  $dS_o$ 는 그 면을 구성하는 픽셀 수  $n$ 을 세어서 구할 수 있으므로 식 (10)을 정사영 방식의 디지털화상에 적용하면 식 (11)로 변환 될 수 있다. VLEAS에 의해 촬영된 디지털화상은 총 82,429개의 픽셀로 구성되어 있다. VLEAS의 화상처리용 소프트웨어는 정사투영된 면을 이루는 픽셀 수  $n$ 을 화면에 보여진 화상으로부터 손쉽게 구할수 있도록 작성되었다.

$$U = \frac{n}{N} \quad (11)$$

점 P에서 반구전체의 입체각은  $2\pi$  [sr]이고 그것이 평면상에 정사투영되면  $\pi$ 가 되므로 픽셀 한개가 갖는 입체각은  $d\omega$ 는 식 (12)에 의해 구할 수 있다. 임의의 형태를 갖는 물체의 입체각은 그 물체를 정사영 방식으로 투영한 화상을 이루는 모든 픽셀에 대해 식 (12)를 이용하여 구하고 그것들을 합하여 구할 수 있게 된다.

$$d\omega = \frac{\pi}{N} \times \frac{1}{\cos \theta} \quad (12)$$

식 (12)에서  $\theta$ 는 점 P와 미소면의 중심점이 이루는 입사각으로서  $d\omega$ 는  $\theta$ 가  $0^\circ$ 에 가까워질수록 작아지고  $90^\circ$ 에 가까워질수록 커짐을 알 수 있다. 즉, 디지털화상을 이루는 픽셀이 화상의 중심부분에 위치한 것일수



록 그 픽셀에 의해 나타내진 물체의 입체각은 작은 것이고, 화상의 가장자리에 위치한 픽셀에 의해 나타내진 물체의 입체각은 큰 것임을 뜻한다. 그림 13은 서로다른 입사각을 갖는 픽셀들의 입체각을 보인 것이다.

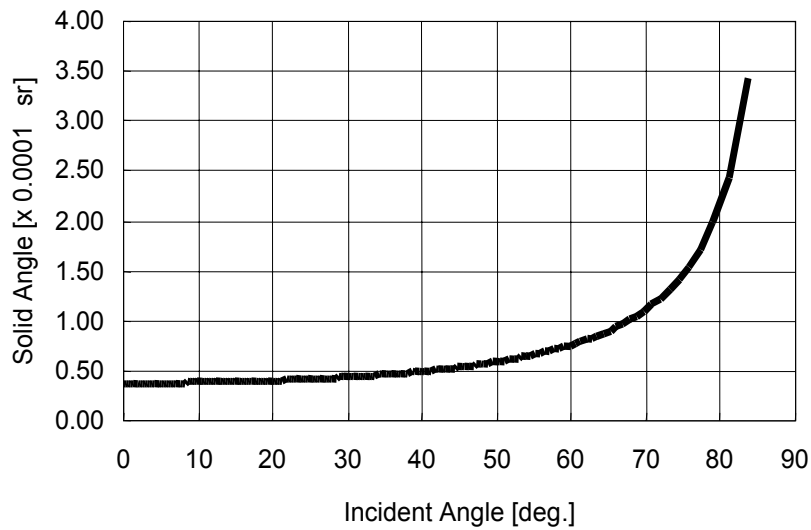


그림 13. 디지털화상 픽셀의 입사각별 입체각

### 4.3 휘도와 조도의 계산

VLEAS에 의해 촬영된 화상을 구성하는 픽셀들은 0에서 255 사이의 값을 갖게되는데, 이 값들로부터 앞에서 설명한 캘리브레이션 과정을 거쳐 도출된 회귀식들을 적용하여 실제의 휘도로 변환 할 수 있다. 우선, 광학축 밖에 위치한 픽셀들의 값을 보정한 다음, 광학축에서의 시스템 응답계수 회귀식을 적용하여 각 픽셀들의 값을 휘도로 변환시킨다. 그런 다음 카메라가 위치한 점에서의 조도는 다음과 같은 방법에 의해 계산한다.

식 (12)로부터 각 픽셀이 갖는 입체각  $d\omega$ 를 구할 수 있으므로 미소면에 의한 점 P에서의 조도는 식 (13)에 의해 구할 수 있다.

$$dE = dL \cos \theta d\omega \quad (13)$$

그리고, 식 (12)를 식 (13)에 대입하면 식 (14)를 얻을 수 있고, 식 (14)의  $dE$ 와  $dL$ 을 각각 정사영 화상내의  $i$  번째 픽셀에 의해 구해지는 조도와 휘도로 나타내면 식 (15)가 된다.

$$dE = dL \frac{\pi}{N} \quad (14)$$

$$E_p = \sum_{i=1}^n E_i = \frac{\pi}{N} \sum_{i=1}^n L_i \quad (15)$$

식 (15)는 디지털화상처리 기법을 적용한 촬영장치를 사용하는 경우 조도계만을 사용하여 행하는 실험에서는 하기 어려운 작업을 매우 쉽게 할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 다시말해서, 조도계만을 사용해서 측정되는 조도는 그 점에서 관찰되는 모든 면으로부터의 빛의 총량으로서 어떤 특정한 광원 또는 반사면으로부터의 빛의 양을 개별적으로 평가하는 것이 거의 불가능하다. 그러나 디지털화상처리 기법을 적용할 경우 컴퓨터화면에 보여진 화상 하나로부터 각각의 광원 또는 어떤 특정한 부분으로부터의 반사광을 따로따로 구할 수 있게 된다.

만일 면광원의 전체 면적에 걸쳐 휘도가 균일한 경우 식 (15)는 식 (16)으로 변환된다. 식 (16)은 결과적으로 식 (7)과 같게 되므로 정사영방식의 디지털화상으로 포착된 물체의 형태계수는  $n/N$ 이 됨을 증명하는 것이다.

$$E_p = \frac{\pi}{N} \sum_{i=1}^n L = \pi L \frac{n}{N} = \pi LU \quad (16)$$

마지막으로, 점 P를 에워싼 전체 반구가 균일하지 않은 휘도를 가질 때, 점 P에서의 조도는 식 (17)로 구할 수 있다. 식 (17)은 어느 점에서의 조도는 그 점에서 관찰되는 모든 면의 휘도의 평균치에  $\pi$ 를 곱하여 구할 수 있음을 나타낸다.

$$E_p = \pi \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i \right) \quad (17)$$

## 5. 적용 사례

그림 14는 5개의 수직 창과 격자형 천장을 갖는 모형실의 바닥면 중심점에서 VLEAS를 사용하여 촬영한 화상을 보인 것이다. 이때 측정된 외부 수평면 조도는 6390 lx이고 광학장치의 위치에서 측정된 조도는 1440 lx이다. 만일 조도계를 사용하여 측정을 했을 경우 외부 수평면 조도에 대한 실내 작업면 조도의 비로서 주광율을 계산할 수는 있지만 천공성분과 실내반사성분을 구분하기 위해서는 동일한 모형실의 실내 표면을 검정 색으로 만든 후 한번 더 측정을 행하든지 아니면 검정 색 실내 표면을 갖는 모형을 하나 더 제작한 다음 동시에 측정을 하는 수 밖에 없다. 더욱이, 각각의 개구부에 의해 얼마만큼의 조도를 얻을 수 있는지를 알기 위해서는 하나의 개구부만을 남긴 채 다른 개구부는 폐쇄 시킨 후 실험을 반복해야 하므로 많은 시간이 소요된다. 그러나, 어안렌즈를 장착한 광학장치에 의해 촬영되고 디지털화 된 화상을 처리하는 기법을 적용할 경우, 하나의 화상을 대상으로 다양한 방법으로 빛 환경의 평가를 행할 수 있다.

그림 15는 화상처리용 소프트웨어에 의해 개구부만을 보인 것이다. 이때 개구부 전체의 천공율(sky factor) 즉, 개구부 전체의 형태계수는 전체 화상을 구성하는 픽셀의 갯수에 대한 개구부를 구성하는 픽셀수의 비로서 25.1 % 로 계산되었고 개구부만으로부터의 조도는 1115 lx로 계산 되었으므로 천공성분(sky component)은 77.4 % 이고 실내반사성분(internally reflected component)은 22.6 % 임을 쉽게 알 수 있다.

그림 16은 각각의 개구부에 대한 형태계수와 휘도 및 조도를 구하기 위한 화상 처리 소프트웨어의 적용 예를 보인 것이다. 천창 A 와 B는 실제로는 동일한 면적을 갖고 있지만 입체각투사 법칙에 의해 측정점의 바로 위에 위치한 천창 A의 형태계수가 천창 B의 형태계수보다 더 큰 것을 시각적으로 확인할 수 있다. 천창 A의 경우 형태계수는 3.23 %, 평균 휘도는 1036 cd/m<sup>2</sup>, 천창 A만에 의한 측정점에서의 조도는 105 lx를 구할 수 있었고, 천창 B의 경우 형태계수는 1.23 %, 평균 휘도는 1552 cd/m<sup>2</sup>, 그리고 천창 B만에 의한 측정점에서의 조도는 60 lx임을 쉽게 알 수 있었다.

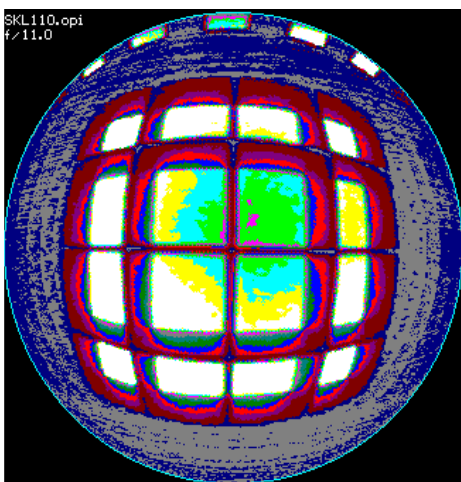


그림 14. 수직 창과 격자형 천장을 갖는 축소모형실의 화상

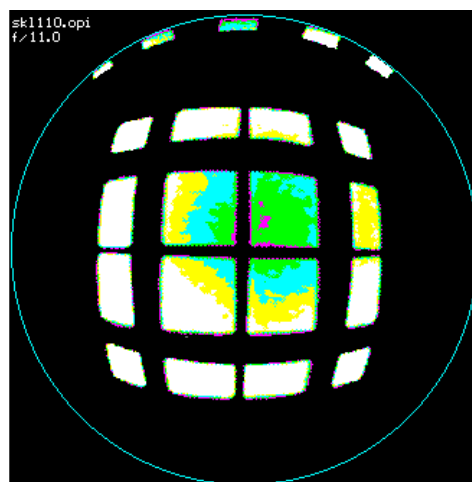


그림 15. 개구부만을 보인 화상

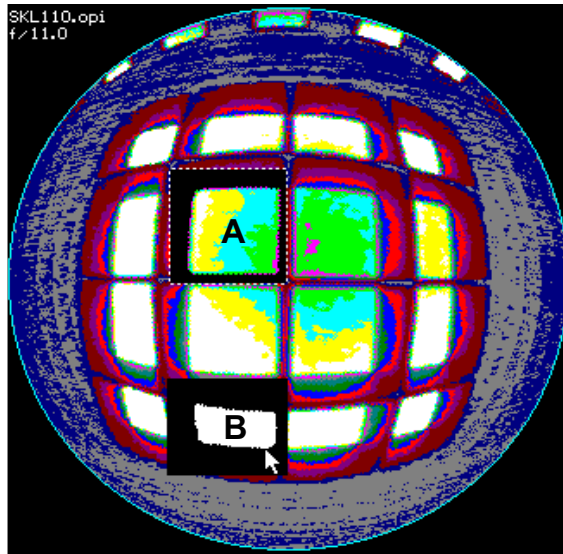


그림 16. 각각의 개구부에 대한 분석 예

그림 17은 도심지에 위치한 고층 건물 군과 한 그루의 나무로 둘러 싸인 지점에서 촬영한 화상으로서 디지털 화상 처리 기법을 적용하여 그림 18에 보인 것처럼 측정점에서 관찰되는 천공율 (34.1 %)을 쉽게 구할 수 있는 예를 보인 것이다.

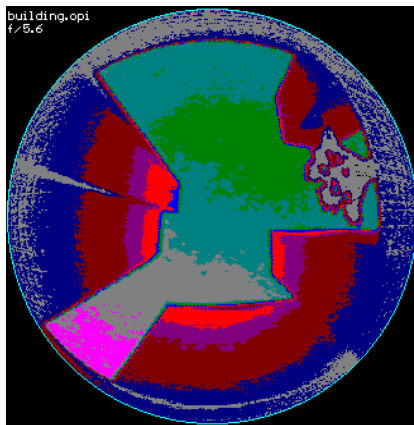


그림 17. 고층 건물로 둘러 싸인 지점에서의 화상

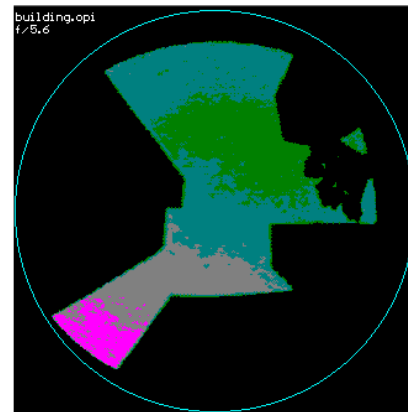


그림 18. 천공 부분만을 보인 화상

## 6. 결 론

현재까지 개발되어 있는 빛 환경 평가 도구들은 그 나름대로의 장점과 단점들을 지니고 있다. 특히 자연 채광에 의한 빛 환경을 평가하는 방법 중 축소 모형을 이용한 실험은 가장 정확한 결과를 얻을 수 있다는 장점은 있지만 개구부와 실내 표면의 기하학적 및 광학적 변수와 외부 조건과 관련한 변수가 많아질수록 모형 제작을 위한 시간과 실험을 위한 시간이 대단히 많이 소요되는 단점이 있다. 한편, 컴퓨터 모델을 이용할 경우 결과를 신속하게 얻을 수 있는 장점은 있지만, 실의 기하학적 형태가 복잡해질 수록 결과의 정확성이 떨어지며 실제적인 천공 상태를 모델링하는 것이 매우 어려운 것이 단점으로 지적된다. 따라서, 좀 더 정확

하고 다양한 방법으로 빛 환경을 평가하기 위해서는 어느 한가지 방법에만 의존하지 않고 컴퓨터에 의한 방법과 모형 실험에 의한 방법을 병행하는 것이 바람직하다. 즉, 모형 실험에 의해 조도 및 휘도의 측정 등을 정량적으로 행하고 아울러 실의 분위기 등을 정성적으로 평가한 다음 다양한 외부 상태에서 측정된 조도의 값을 외부 조도에 대한 비로 환산하여 컴퓨터 모델에 입력시킴으로써 연간 조명 에너지 절약 효과 등을 분석해 보는 방법이 권장된다. 따라서, 본 연구에서 다른 디지털화상 처리기법에 의한 빛 환경 평가 방법은 기존의 모형 실험법에 대한 보완책으로서 다양한 기하학적 및 광학적 특성을 갖는 모형을 제작한 다음 다양한 외부 조건에 대해 한번씩의 촬영을 행하여 다양한 방법으로 개구부의 기하학적 값과 광학적 값들을 손쉽게 분석할 수 있게 한다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. 또한, 자연채광 설계용 컴퓨터 모델 중 미국의 Berkeley Lab.에서 개발된 SUPERLITE처럼 실내의 조도를 계산하는데 외부의 수평면 조도 뿐만 아니라 천공의 휘도 분포를 직접 입력 자료로 이용할 수 있도록 개발된 모델을 사용할 경우, 대상 지역에서 장시간에 걸쳐서 천공을 촬영하여 화상 데이터베이스를 구축해 놓으면 설계단계에서 다양한 형태로 개구부의 위치와 크기를 변화 시키면서 계산 점에서 개구부를 통해 관측되는 천공의 고도와 방위각의 범위만 계산 하면 해당되는 범위의 천공 휘도를 화상 데이터베이스로부터 읽어 내어 계산에 사용할 수 있기 때문에 훨씬 더 정확한 결과를 얻을 수 있게 된다.

## 7. 참고문헌

1. Love, J.A. and M. Navvab. 1989. A Comparison of Photometric Modeling and Computer Simulation Techniques for Daylighting Prediction under Real Sky Conditions, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IV, Atlanta, GA, ASHRAE.
2. Love, J.A. and M. Navvab. 1991. Daylighting Estimation Under Real Skies: A Comparison of Full-Scale Photometry, Model Photometry, and Computer Simulation, Journal of the Illuminating Engineering Society, Winter 1991, IESNA. New York, NY.
3. Hopkinson, R.G., P. Petherbridge, and J. Longmore. 1966. Daylighting, Heinemann, London, UK.
4. Nakamura, H. and M. Oki. 1975. Measurement of Luminance Distribution under Various Sky Conditions by Orthographic Projection Camera, Proc. of the CIE 18th Session, London, U.K.
5. 中村 洋. 1976. 正射影カメラによる輝度および輝度分布の測定 (その 1. 寫眞測光法と正射影カメラ・感光材料), 日本建築學會論文報告集 第243號.
6. 中村 洋. 1976. 正射影カメラによる輝度および輝度分布の測定 (その 2. 寫眞濃度の測定・校正・測定手順など), 日本建築學會論文報告集 第243號.
7. Robbins, C.L., K.C. Hunter, T.W. Cannon. 1984. Mapping Sky and Surface Luminance Distribution using an All-Sky Flux Mapper, Energy in Buildings: Technical Proceedings of the 1983 International Daylighting Conference, Phoenix, AZ. Vol. 6.
8. Weaver, N.L., C.L. Robbins, K.C. Hunter, and T.W.Cannon. 1986. Development of a Second-Generation, All-Sky, Video-Based Luminance Mapper of Daylighting Research, (extended abstract), Proc. I, International Daylighting Conference, Long Beach, CA, 1986.
9. Gonzalez, R.C. and P. Wintz. 1987. Digital Image Processing, 2nd Ed., Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.