

# 조명시뮬레이션 프로그램의 계산정확도 - 직사성분

(Calculation Precision of the Lighting Simulation Programs - Direct Components)

신현만\* · 장우진\* · 홍성욱\*\*

(Hyun Man Shin · Woojin Jang · Sungwook Hong)

## 요약

조명설계를 신속하고 정확하게 하기 위하여 조명 시뮬레이션 프로그램을 사용한다. 조명시뮬레이션에 사용되는 프로그램들의 계산 정확도를 검증하기 위하여 배광분포를 알고 있는 광원을 사용하여 특정 지점의 조도를 해석적으로 구하고 이를 프로그램의 결과와 비교해 본다.

## Abstract

For rapid and precise design of lighting, lighting simulation programs are used. For determining the precision of the calculation results of the lighting simulation programs, the illuminance of the specific points are calculated analytically and are compared with the results of the programs by using light sources which have known LDC.

## 1. 서론

신속하고 정확한 조명설계를 위하여 최근 조명 시뮬레이션 프로그램을 많이 사용하고 있다. 이들 프로그램의 정확도가 얼마나 되는지를 알아보기 위하여 배광 데이터를 알고 있는 이상적인 등기구를 사용하여 특정 지점의 해석적인 조도값과 시뮬레이션 계산값을 비교하여 본다.

## 2. 본론

### 2.1. 시뮬레이션 프로그램

시뮬레이션의 계산 정확도 비교 검증에 사용된 프로그램은 우리나라에서 널리 사용되고 있는 Lightscape, AG132, Relux이다.

### 2.2. 시뮬레이션 방법

피조면에 반사조도성분이 생기지 않도록 무한평면에 등기구를 배치하여 각각의 수평조도를 비교해본다.

피조면 : 20 m × 20 m (x = 10 m, y = 10 m)

등기구 : 피조면 정 중앙 10 m 상방 (h = 10 m)

피조면과 등기구의 배치도는 그림 1과 같다.

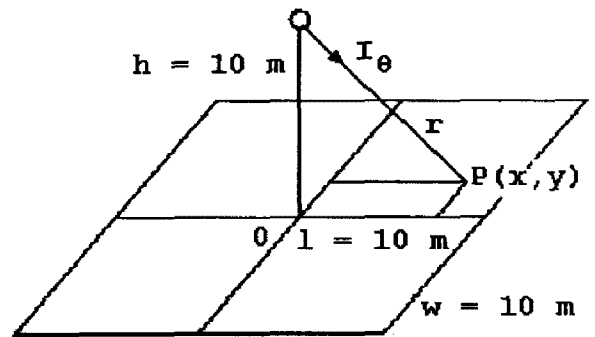
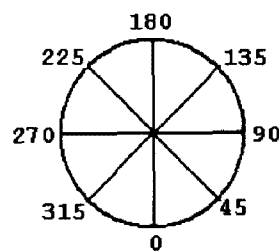


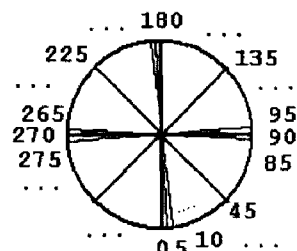
그림 1. 시뮬레이션 배치도  
Fig. 1. Arrangement of simulation

등기구의 배광분포 : 일정광도 I = 10,000 cd의 점광원 2가지(5° 간격, 45° 간격)와 최대광도 I<sub>m</sub> = 10,000 cd, I<sub>θ</sub> = I<sub>m</sub> cosθ의 점광원 2가지(5° 간격, 45° 간격)로서 모두 4가지를 사용한다.

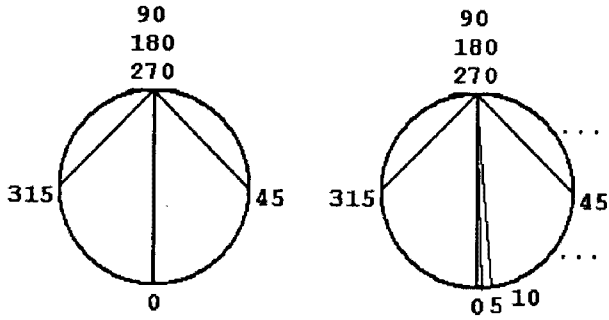
등기구의 배광분포는 그림 2와 같다.



(a) I = 일정, 45° 간격



(b) I = 일정, 5° 간격



(c)  $I_{\theta} = I_m \cos\theta$ , 45° 간격 (b)  $I_{\theta} = I_m \cos\theta$ , 5° 간격

그림 2. 등기구의 배광곡선 데이터  
Fig. 2. Light distribution curves of luminaires

### 2.3. 해석값과 시뮬레이션값의 결과 비교

특정 지점 P(x, y)의 조도  $E_P$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$E_P = \frac{I}{r^2} \cos\theta$$

여기서,  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + h^2}$ ,  $\theta = \cos^{-1} \frac{h}{r}$  이다.

등기구를 피조면의 중앙에 위치시켰으므로, 조도는 등기구를 중심으로 상하좌우 대칭을 이루게 된다. 표 1과 표 2에 그 일부(그림 1에서 1 상한 부분) 계산 결과를 나타낸다. 표 1은 광도  $I = 10,000$  cd로 일정할 때이고(그림 2 (a), (b)), 표 2는 광도  $I_{\theta} = I_m \cos\theta$ ,  $I_m = 10,000$  cd로서 그림 2 (c), (d)와 같이 각도에 따라 변화한다. 해석적으로 계산할 경우에는 등기구의 배광 데이터를 드문드문 주거나(45° 간격) 조밀하게 주거나(5° 간격)에 관계없이 동일한 조도값이 계산된다.

표 1. 해석적으로 계산한 조도값 ( $I = 10,000$  cd)  
Table 1. Analytic values of the illuminance ( $I = 10,000$  cd)

(단위: lx)

10	35.4	35.1	34.3	33.1	31.5	29.6	27.6	25.5	23.3	21.2	19.2
9	41.1	40.7	39.7	38.2	36.2	33.8	31.3	28.7	26.1	23.6	21.2
8	47.6	47.2	45.9	43.9	41.4	38.5	35.4	32.2	29.0	26.1	23.3
7	55.0	54.4	52.8	50.4	47.2	43.6	39.7	35.9	32.2	28.7	25.5
6	63.1	62.4	60.4	57.3	53.4	49.0	44.3	39.7	35.4	31.3	27.6
5	71.6	70.7	68.3	64.5	59.7	54.4	49.0	43.6	38.5	33.8	29.6
4	80.0	79.0	76.1	71.6	65.9	59.7	53.4	47.2	41.4	36.2	31.5
3	87.9	86.7	83.2	78.0	71.6	64.5	57.3	50.4	43.9	38.2	33.1
2	94.3	92.9	89.1	83.2	76.1	68.3	60.4	52.8	45.9	39.7	34.3
1	98.5	97.1	92.9	86.7	79.0	70.7	62.4	54.4	47.2	40.7	35.1
0	100	98.5	94.3	87.9	80.0	71.6	63.1	55.0	47.6	41.1	35.4
y/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

표 2. 해석적으로 계산한 조도값 ( $I = I_m \cos\theta$ )  
Table 2. Analytic values of the illuminance ( $I = I_m \cos\theta$ )

(단위: lx)

10	25.0	24.8	24.0	22.9	21.4	19.8	18.0	16.1	14.3	12.7	11.1
9	30.5	30.2	29.2	27.7	25.8	23.6	21.2	18.9	16.7	14.6	12.7
8	37.2	36.7	35.4	33.4	30.9	28.0	25.0	22.0	19.2	16.7	14.3
7	45.0	44.4	42.7	40.1	36.7	33.0	29.2	25.5	22.0	18.9	16.1
6	54.1	53.3	51.0	47.6	43.3	38.6	33.8	29.2	25.0	21.2	18.0
5	64.0	63.0	60.1	55.7	50.3	44.4	38.6	33.0	28.0	23.6	19.8
4	74.3	73.1	69.4	64.0	57.4	50.3	43.3	36.7	30.9	25.8	21.4
3	84.2	82.6	78.3	71.8	64.0	55.7	47.6	40.1	33.4	27.7	22.9
2	92.5	90.7	85.7	78.3	69.4	60.1	51.0	42.7	35.4	29.2	24.0
1	98.0	96.1	90.7	82.6	73.1	63.0	53.3	44.4	36.7	30.2	24.8
0	100	98.0	92.5	84.2	74.3	64.0	54.1	45.0	37.2	30.5	25.0
y/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

시뮬레이션에 의한 결과는 5° 간격의 조밀한 배광데이터를 사용하는 경우에는 세 가지 프로그램 모두 동일한 광도나 각도에 따라 변화하는 광도 모두의 경우에서 최대 0.3 %의 오차 이내에서 해석적인 값과 일치하였다.

그러나, 45° 간격의 배광 데이터를 사용한 시뮬레이션 결과는 프로그램 내에서 주어진 배광 데이터로부터 보간근사값을 사용하게 되어, 오차가 상당히 커질 것으로 예상하였다. 시뮬레이션 결과는 동일한 광도를 가지는 경우에는 조밀한 배광 데이터를 사용한 경우와 거의 동일하게 정확한 결과를 얻었으나, 각도에 따라 변화하는 광도  $I_{\theta} = I_m \cos\theta$ 의 경우에는 오차가 커져서 데이터가 주어지지 않은 영역에서는, 프로그램에 따라 다르지만, 최대 7.6 % 정도의 오차가 발생하였다. 이것은 보간근사에 선형근사를 사용한 결과로 해석된다. 즉, 주어진 데이터는 그림 3과 같이 부드러운 근사값 대신 직선근사를 사용하여, 데이터가 주어진 0°, 45°, 90° 지점에서는 해석값과 유사한 값을 나타내지만 이외의 지점에서는 실제 의도하는 배광값과는 차이가 생기게 된 것으로 사료된다.

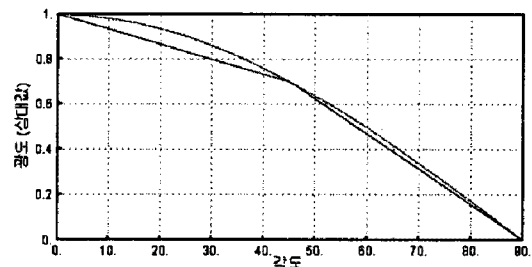


그림 3. 등기구의 배광 데이터 근사  
Fig. 3. Light distribution interpolation of luminaires

표 3에 광도  $I_{\theta} = I_m \cos\theta$ 의 경우, 각 지점에서, 각 프로그램 별 조도오차를 표시하였다.

표 3.  $l = l_m \cos \theta$  에서 조도값 % 오차 : 그림 2 (a), (c) 의 경우

Table 3. The % errors of the illuminance when  $l = l_m \cos \theta$  : In case of Fig. 2 (a), (c)

(a) Lightscape

10	0.0	0.2	0.1	0.0	-0.3	-0.2	-0.3	0.2	0.3	0.5	1.9
9	0.4	0.3	0.4	0.0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.2	0.5	0.5
8	1.0	1.2	0.9	0.6	0.5	0.3	0.0	-0.3	-0.3	-0.2	0.3
7	1.6	1.7	1.4	1.4	1.2	0.7	0.4	0.0	-0.3	-0.5	0.2
6	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.2	0.9	0.4	-3.2	-0.3	-0.3
5	2.7	2.7	2.5	2.3	2.0	1.7	1.2	0.7	0.3	-0.1	-0.2
4	2.8	2.9	2.8	2.7	2.4	2.0	1.6	1.2	0.5	-0.1	-0.3
3	2.9	3.1	3.0	2.9	2.7	2.3	1.8	1.4	0.6	0.0	0.0
2	2.4	2.8	3.0	3.0	2.8	2.5	2.0	1.4	0.9	0.4	0.1
1	1.7	2.3	2.8	3.1	2.9	2.7	2.2	1.7	1.2	0.3	0.2
0	0.0	1.7	2.4	2.9	2.8	2.7	2.2	1.6	1.0	0.4	0.0
y/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(b) AGI32

10	0.0	0.2	0.1	3.5	1.1	1.3	2.0	2.7	3.1	3.7	3.7
9	2.4	2.0	1.8	1.1	0.3	0.3	1.1	1.6	2.2	3.2	3.7
8	4.3	4.2	3.8	3.0	2.5	1.4	0.0	0.6	1.8	2.2	3.1
7	5.6	5.7	5.4	4.9	4.2	3.1	1.8	0.4	0.6	1.6	2.7
6	7.0	6.7	6.5	6.0	5.5	4.6	3.3	1.8	0.0	1.1	2.0
5	7.5	7.4	7.3	7.0	6.6	5.7	4.6	3.1	1.4	0.3	1.3
4	7.6	7.6	7.7	7.5	7.1	6.6	5.5	4.2	2.5	0.3	1.1
3	7.0	7.1	7.4	7.7	7.5	7.0	6.0	4.9	3.0	1.1	0.4
2	5.6	6.0	6.8	7.4	7.7	7.2	6.5	5.4	3.8	1.8	0.1
1	3.2	4.3	6.0	7.1	7.6	7.4	6.7	5.7	4.2	2.0	0.2
0	0.0	3.2	5.6	7.0	7.6	7.5	7.0	5.6	4.3	2.4	0.0
y/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(c) Relux

10	0.0	-0.2	-0.3	0.0	-0.3	-0.7	-0.8	-1.1	-1.1	-1.9	-1.7
9	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	-1.6	-1.9
8	1.0	0.9	0.9	0.6	0.5	0.3	0.0	-0.3	-0.8	-0.8	-1.1
7	1.4	1.2	1.2	1.1	0.9	0.7	0.4	0.0	-0.3	-0.5	-1.1
6	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.8
5	1.9	1.9	1.8	1.8	1.6	1.2	1.0	0.7	0.3	-0.1	-0.7
4	7.6	7.6	1.9	1.9	1.7	1.6	1.3	0.9	0.5	0.3	-0.3
3	7.0	7.1	7.4	2.0	1.9	1.8	1.4	1.1	0.6	0.4	0.0
2	5.5	6.0	6.8	7.4	1.9	1.8	1.6	1.2	0.9	0.4	-0.3
1	3.2	4.3	6.0	7.1	7.6	1.9	1.7	1.2	0.9	0.6	-0.2
0	0.0	3.2	5.5	7.0	7.6	1.9	1.8	1.4	1.0	0.4	0.0
y/x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3. 결론

이 논문에서 조사한 바와 같이 조명시뮬레이션 프로그램의 직사조도 계산 정확도는 적당한 배광 데이터를

입력하면 오차 0.3 % 이내에서 해석값과 일치하는 것으로 나타났다. 그러나, 배광 데이터가 원래 등기구의 배광을 충실히 나타내지 못할 경우에는 오차가 커져 8 % 에 가까운 오차가 나타났다. 등기구의 배광이 이 연구에서와 같이 부드러운 경우에도 이 정도의 오차를 보였는데, 만약 등기구의 배광이 크게 변화하는 모양이라면 더욱 오차가 커질 가능성이 있으므로, 등기구의 배광 데이터는 등기구의 배광을 잘 표현할 수 있는 정도로 주어져야 한다.

결론적으로 직사성분 조도를 시뮬레이션하는 경우에는 적절한 배광 데이터로 양호한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 추후, 실제 상황에 적용하기 위하여 직접성분 외에 간접성분에 대한 시뮬레이션 프로그램의 정확도도 연구의 필요성이 있다.

참고 문헌

- [1] <http://www.cgarchitect.com>
- [2] <http://www.agi32.com/index.htm>
- [3] <http://www.relux.biz/>