

광속법을 이용한 등배치 설계에 관한 연구

(A Study On the Design of Balaced Illuminance Using Lumen Flux Method)

최홍규 · 최병숙 · 정성윤* · 김진성

(Hong-kyoo Choi · Byung-Sook Choi · Seong-Youn Jeong · Jin-Seoug Kim)

Abstract

This paper presents the effective design of the change of average illuminance and the arrangement of lamps by changing the form of working area and adjusting the distance between the wall and light. This study is intended to simplify the complex calculation of illuminance through the development of application program.

It's plan to study application programs that can attain the value of advanced uniformly-distributed illuminance and average illuminance by changing the distance between the horizontal/vertical wall and lamp and between the horizontal/vertical lamp and lamp.

1. 서 론

최근 들어 산업이 전문화, 정보화, 자동화 되어 감에 따라 건축물의 전기설비 중에서 조명에 요하는 소비전력이 총소비 전력의 약 20 ~ 35%로 증가하고 있다. 더욱이 건물의 인텔리전트화(Intelligent) 및 현대화는 종래 조명의 패턴을 변화시키고 있다. 이러한 조명설비는 명시조건을 만족시켜야 함은 물론 건축물내 각 작업장의 환경과 조화를 이루고, 한편으로는 경제적이며 취급하기 편하고 안전하여야 한다.

적절한 조명 환경을 얻기 위해서는 물체를 보기 쉬운 밝은 상태와 시각적으로 안락한 분위기를 이루면 된다. 이러한 조명 환경은 주광조명이나 인공조명을 적절하게 조합함으로써 얻어질수 있다.

인류는 오랜 세월 자연계에 적응되어 왔으므로 주광조명이 인간에게 가장 자연스럽고 건강하다 할 수 있다. 그러므로 인공 조명은 주광 조명이 부족할 때 보충하는 것이기에 중요하다.

이제는 에너지 절약의 방법을 더 이상 조명량의 희생으로부터 구할 것이 아니며 사용자의 시력보호와 작업능률의 향상에 따른 명시적 조명과 건축물의 악상에 따른 장식적 조명등을 위하여 다양한 형태의 조명방식 개발이 연구되기에 이른 것이다. 그러나 현재 국내 대부분 설계자, 시공자들의 경험이나 건축주의 감각에 의하여 결정되는 경우가 대부분이며, 체계적인 연구와 방법을 통하여 설계단계에서 조도 분포를 예측하여 조명 방식에 적용되는 경우는 드문 현실이다.

복잡 다양화 되어가는 조명 환경의 요구조건을 일일

직접적인 실험을 통하여 확인하는데 따르는 시간적, 비용적인 어려움이 있을 것이다. 또한 같은 공간내에서도 보다 다양한 형태의 조명 방식이 요구되는 현대 건축물을 위한 해결책은 아니며 복잡한 실내 구조와 마감재로 이루어지는 건축물에는 적용 자체가 어려운 방법이다.

조명설계를 실시하기 위해서는 원하는 조도를 제공하기 위하여 몇 개의 조명기구를 시설하여야 하는지를 알 수 있어야 하고 따라서 정확한 조도 계산법이 있어야 할 것이다. 조명 설계의 근간이 되는 평균조도 계산은 주어진 방에 조명기구를 설치할 때 평균조도가 얼마로 되는지 계산하는 것이다.

조도에 영향을 미치는 요소는 매우 많으나 크게 분류하면 방에 관련된 요소(방의 크기, 반사율, 조명기구 설치높이, 작업면 높이 등)와 조명 기구에 관련된 요소(배광곡선, 안정기율, 램프광속, 수명, 전압 등)로 구분 되는데 이러한 요소들을 충분히 고려하여야 정확한 조도 계산이 된다.

조도 계산법은 설계 단계에서 조명을 실시하려는 장소의 조명상황을 예측 할 수 있게 해주는 기능을 갖고 있다. 일반적으로 조명설비를 시공하고 난 후에는 이를 변경하는 것이 매우 어려우므로, 설계단계에서 조명상황을 예측하는 것은 매우 중요하다. 그러므로 적절한 조도를 얻기 위하여 조명이 실시되는 공간의 여러 가지 특성을 알아야 한다. 즉 공간의 물리적인 크기, 마감재의 재질에 따른 반사율, 사용되는 등기구의 배광특성, 사용하려는 램프의 종류 등을 미리 결정하고 그 공간의 특성에 적절한 조도 계산을 실시해야 한다.

현재 사용되고 있는 조도 계산법은 광속법, Zonal Cavity Method(구역공간법) 등이 있으며 광속법은 실내 조도를 계산하는 조명계산 방법이다. 이 방법은 실지수, 반사율을 이용하여 유효 광속을 구하며 이것으로부터 조명율을 산출해서 평균 조도를 계산하는 방법이다.

ZCM(구역공간법)이란 이용율은 조명율과 광손실율은 유지율과 같은 의미를 가지고 있다. 그러나 방의 형상을 나타내는 공간 비율은 3배광법의 실지수와 반비례하며 천장 및 바닥의 반사율을 고려하는 점이 3배광법과 다르므로 이용율과 조명율 사이에는 호환성이 없다.

ZCM, 광속법 등, 평균 조도를 계산하는데 이용되는 광속법은 비교적 큰 실내에서 여러개의 조명 기구를 사용할 때 작업면에 입사하는 평균적인 광속을 계산하는 것으로 소형의 방에 한두개의 조명 기구를 사용하는 경우나 복도와 같이 좁고 긴 형태의 실내의 경우에는 계산 결과의 오차가 커진다. 광속법은 직육면체의 방에서 벽면의 반사율이 모두 같은 경우에 평균 조도를 계산하는 것이며 방의 형태가 직육면체가 아닌 경우 비슷한 형태의 직육면체를 치환하거나 여러개의 직육면체를 분할하여 계산한다.

ZCM, 광속법 등, 평균 조도를 계산하는데 이용되는 광속법은 비교적 큰 실내에서 여러개의 조명 기구를 사용할 때 작업면에 입사하는 평균적인 광속을 계산하는 것으로 소형의 방에 한두개의 조명 기구를 사용하는 경우나 복도와 같이 좁고 긴 형태의 실내의 경우에는 계산 결과의 오차가 커진다. 광속법은 직육면체의 방에서 벽면의 반사율이 모두 같은 경우에 평균 조도를 계산하는 것이며 방의 형태가 직육면체가 아닌 경우 비슷한 형태의 직육면체를 치환하거나 여러개의 직육면체를 분할하여 계산한다. 평균조도를 계산하는데 있어서 점광원에 의한 조도 계산법을 적용하여 벽과 등과의 간격 및 작업공간 형태를 변화시켜 그에 따른 작업 공간이 시환경에 미치는 영향을 살펴봄으로써 가장 쾌적한 조명 기구의 배치를 설계하는데 있다. 이에 따라 벽과 등과의 간격을 조절하는 프로그램을 개발함으로써 각 공간의 조도 범위를 설정 비교하며, 균조도법을 적용하여 작업 공간의 조도를 고루 분포 시킬수 있는 등기구 배치를 설계하는데 있다.

2. 본 론

2.1. 조명설계

2.1.1 작업장 설계 조건

- 창문이 없는 작업장으로 설정하였다.
- 등기구의 종류 및 광원 : 메탈할라이드등
- 등기구 간격 : $S \leq 1.5H$

· 등기구 간격 : $S \leq 1.5H$

· 등과 벽과의 간격 : $S_0 \leq \frac{H}{2}$ (벽면을 이용하지 않을 때)

$S_0 \leq \frac{H}{3}$ (벽면을이용할 때)

이다.

- 정사각형과 직사각형으로 구분 설정하였다.
- 반사율은벽면이용시 천장 70%(백색 PLASTER), 벽 50%(연분홍색 페인트), 바닥 10%(농색인조석)을 적용했고,벽면을이용하지 않을 때는 천장70%(백색 PLASTER), 벽10%(적색 벽돌),바닥10%(농색 인조석)을 적용했다.
- 실지수에 따른 조명율은 다음과 같다.

표 1. 조명을 적용표

Table 1. Lighting Ratio of Application

反 射 率 率 바닥	80 %				70 %				50 %				30 %				0%				
	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	
室指數	照 明 率 (× 0.01)																				
0.6	56	49	45	42	55	49	45	42	53	48	44	42	51	47	44	41	40				
0.8	62	56	52	52	61	56	52	49	59	54	51	49	57	53	51	48	47				
1.0	66	61	57	57	65	60	57	54	63	59	56	53	61	57	55	53	51				
1.25	69	65	61	61	68	64	61	59	66	62	60	58	64	61	59	57	55				
1.5	71	67	64	64	70	66	64	61	68	65	62	60	66	63	61	59	57				
2.0	74	71	68	68	73	70	67	65	70	68	66	64	68	66	64	63	61				
2.5	76	73	71	71	74	72	70	68	72	70	68	67	70	68	67	65	63				
3.0	77	74	72	72	75	73	71	70	73	71	70	68	71	69	68	67	64				
4.0	78	76	74	74	77	75	74	72	74	73	72	70	72	71	70	69	66				
5.0	79	77	76	76	77	76	75	74	75	74	73	72	73	72	71	70	67				
7.0	80	79	78	78	78	77	76	76	76	75	74	73	73	72	72	69					
10.0	80	80	79	79	79	78	78	77	76	76	75	75	74	74	73	70					

- 광도 및 조도 계산은 다음과 같이 점광원에 의해 계산하였다.

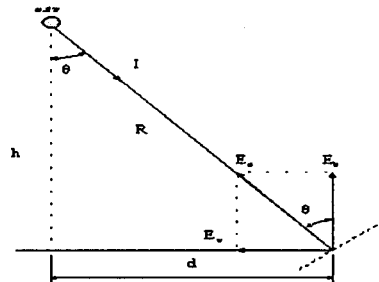


그림 1. 점광원에 의한 조도 계산

Fig. 1. Calculation of Illuminance for Lighting Sources

$$E_h = \frac{I \times \cos^3 \theta}{h^2} \times \text{보수율}$$

2. 1. 2 정사각형의 작업장

작업장은 다음과 같은 제원을 갖는다.

- 넓이 : 가로(X) : 12 [m], 세로(Y) : 12 [m]
- 작업면에서 등기구까지의 높이 : 4.15[m]
(방바닥에서 작업면까지의 높이 : 0.85[m])
- 반사율 : 천장 70[%], 벽 50[%], 바닥 10[%](벽면 이용시)
천장 70[%], 벽 10[%], 바닥 10[%](벽면 이용하지않을때)
- 필요 조도(E) : 500 [lx] (작업면의 조도)
- 광속(F) : 20500[lm]
- 실지수(K)

$$= \frac{X \cdot Y}{H(X+Y)} = \frac{12 \times 12}{2.15(12+12)} = 1.45$$

$$\therefore \text{실지수}(K) = F$$

즉, 1.5로 설정하였다.

표 2. 실지수 기호표

Table 2. A mark of Application

실지수	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.25	1.0	0.8	0.6
로마자	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

- 감광 보상율(D) : 1.3
 - 조명율(U) : 0.65(벽면 이용시)
0.61(벽면 이용하지않을 때)
 - 방의 면적(A) : X × Y
- 위와 같이 정하여 작업장의 조명기구 등수를 구하면 다음과 같다.

$$N = \frac{EAD}{FU} = \frac{500 \times 12 \times 12 \times 1.3}{20500 \times 0.66} = 6.92 \text{ 등}$$

$$N = \frac{EAD}{FU} = \frac{500 \times 12 \times 12 \times 1.3}{20500 \times 0.61} = 7.49 \text{ 등}$$

따라서 벽면 이용시 6.92등 이고 벽면을 이용하지 않을때는 7.49등 이므로 방의 구조 및 등기구 배치를 고려하여 9등, 9등을 설치 비교한다.

1. 정사각형의 작업장(9등)

▶ 점광원에 의한 조도계산

표 2. 각구간의 조도계산표

Table 2. Illumination Calculation of Body

구간조도	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅
간격	507.69	442.05	442.05	442.05	442.05

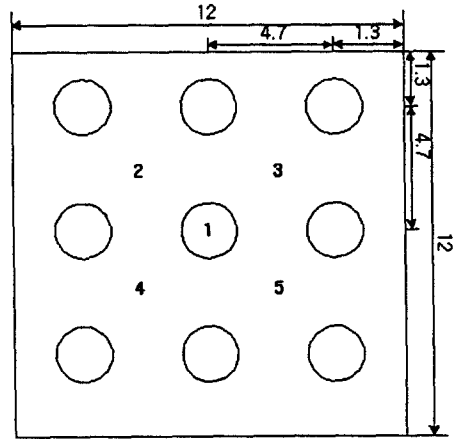


그림 2. 정사각형의 작업장 (9등)

Fig. 2. Working Room of quadrilateral (9 Lighting)

2. 정사각형의 작업장(9등)

▶ 점광원에 의한 조도계산

표 3. 각구간의 조도계산표

Table 3. Illumination Calculation of Body

구간조도	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅
간격	662.35	586.29	586.29	586.29	586.29

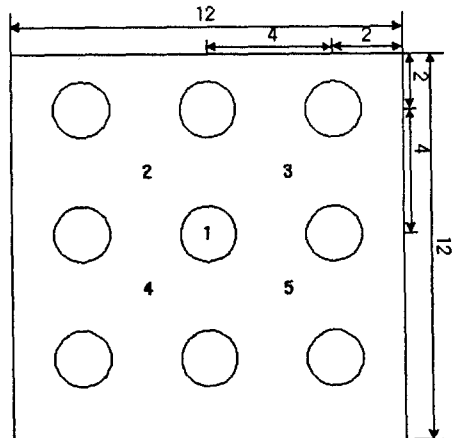


그림 3. 정사각형의 작업장 (9등)

Fig. 3. Working Room of quadrilateral (9 Lighting)

2. 1. 3 작업장 설계 조건

작업장은 다음과 같은 제원을 갖는다.

- 넓이 : 가로(X) : 18 [m], 세로(Y) : 8 [m]
- 작업면에서 등기구까지의 높이 : 4.15[m]
(방바닥에서 작업면까지의 높이 : 0.85[m])
- 반사율 : 천장 70[%], 벽 50[%], 바닥 10[%]
(벽면 이용시)
천장 70[%], 벽 10[%], 바닥 10[%]
(벽면 이용하지않을때)
- 필요 조도(E) : 500 [lx] (작업면의 조도)
- 광속(F) : 20500[lm]
- 실지수(K)

$$= \frac{X \cdot Y}{H(X + Y)} = \frac{18 \times 8}{4.15(18 + 8)} = 1.33$$

$$\therefore \text{실지수(K)} = G$$

즉, 1.25로 설정하였다.

- 감광 보상율(D) : 1.3
- 조명율(U) : 0.64(벽면 이용시)
0.58(벽면 이용하지않을 때)
- 방의 면적(A) : X × Y

위와 같이 정하여 작업장의 조명기구 등수를 구하면 다음과 같다.

$$N = \frac{EAD}{FU} = \frac{500 \times 18 \times 8 \times 1.3}{20500 \times 0.64} = 7.13 \text{ 등}$$

$$N = \frac{EAD}{FU} = \frac{500 \times 18 \times 8 \times 1.3}{20500 \times 0.58} = 7.87 \text{ 등}$$

따라서 벽면 이용시 7.13등이나 방의 구조 및 등기구 배치를 고려하여 8등을 설치하고 벽면을 이용하지 않을 때는 7.87등이나 방의 구조 및 등기구 배치를 고려하여 8등을 설치 비교한다.

1. 직사각형의 작업장(8등)

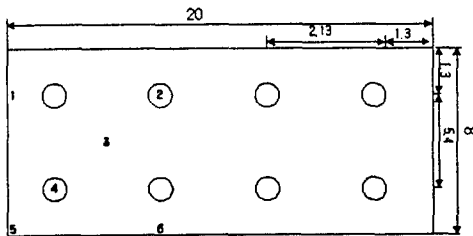


그림 4. 직사각형의 작업장 (8등)

Fig. 4. Working Room of right-angled quadrilateral (8 Lighting)

▶ 점광원에 의한 조도계산

표 4. 각구간의 조도계산표

Table 4. Illumination Calculation of Body

구간조도 간격	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆
1.3m	359.71	475.22	445.80	426.03	307.28	405.59

2. 직사각형의 작업장(8등)

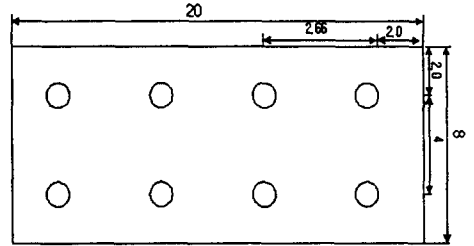


그림 5. 직사각형의 작업장 (8등)

Fig. 5. Working Room of right-angled quadrilateral (8 Lighting)

▶ 점광원에 의한 조도계산

표 5. 각구간의 조도계산표

Table 5. Illumination Calculation of Body

구간조도 간격	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆
2m	349.50	571.04	578.78	484.95	267.88	395.88

3. 결과 및 검토

3. 1. 정사각형의 작업장

3. 1. 1 벽면 이용시

표 6. 각구간별 조도값 (9등)

Table 6. Illumination Calculation of Body

간격	각 구간의 조도값					평균치	균조도
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅		
1.3m	507.65	442.05	442.05	442.05	442.05	455.18	0.971
1.2m	491.00	430.09	430.09	430.09	430.09	442.28	0.972
1.1m	470.39	401.56	401.56	401.56	401.56	415.31	0.967
1.0m	455.27	390.78	390.78	390.78	390.78	403.68	0.968

3. 1. 1 벽면을 이용하지 않을 때

표 7. 각구간별 조도값 (9등)

Table 7. Illumination Calculation of Body

간격	각 구간의 조도값					평균치	균조도
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅		
2.0m	662.35	586.29	586.29	586.29	586.29	601.50	0.974
1.9m	642.74	570.02	570.02	570.02	570.02	584.57	0.975
1.8m	612.13	546.96	545.96	545.96	545.96	559.19	0.976
1.7m	588.32	524.60	524.60	524.60	524.60	537.34	0.976

3. 2. 직사각형의 작업장

3. 2. 1 벽면 이용시

표 8. 각구간별 조도값 (8등)

Table 8. Illumination Calculation of Body

간격	각 구간의 조도값						평균치	균조도
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆		
1.3m	359.71	475.22	445.80	426.03	307.28	405.59	403.27	0.761
1.1m	361.24	468.59	433.91	420.70	317.15	405.72	401.22	0.790
1.0m	359.40	458.48	422.02	414.14	323.23	407.25	307.42	0.813
0.9m	359.40	449.62	410.95	406.67	330.66	407.43	394.12	0.839

3. 2. 2 벽면을 이용하지 않을 때

표 9. 각구간별 조도값 (8등)

Table 9. Illumination Calculation of Body

간격	각 구간의 조도값						평균치	균조도
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆		
2.0m	349.50	571.04	578.78	494.95	267.88	395.88	443.01	0.605
1.9m	351.38	549.93	557.50	381.07	274.71	394.19	418.13	0.657
1.8m	350.92	538.29	537.56	471.61	280.64	397.84	429.48	0.705
1.7m	350.47	520.30	515.44	460.01	281.00	399.38	421.10	0.667

3. 결과 및 검토

2가지 작업장의 경우 정사각형의 작업장이 직사각형의 작업장에 비해 평균 조도값과 균조도 값이 높음을 알 수 있었고, 등과 벽사이의 간격이 좁아질수록 정사각형의 작업장인 경우 균조도 값이 낮아지고 직사각형의 작업장의 경우 균조도 값이 높아짐을 확인할 수 있었다.

정사각형의 작업장의 경우 벽면을 이용했을때가 벽면을 이용하지 않을 때 보다 균일한 조도 분포를 얻는 균조도 값과 평균 조도값이 낮음을 알 수 있었다. 직사각형의 작업장인 경우는 균조도값이 좋으나 평균 조도값이 낮은 결과를 알 수 있었다.

따라서 2가지 작업장을 비교해 볼 때 같은 면적과 같은 조건(벽면을 이용시와, 벽면을 이용하지 않을때) 하에 정사각형의 작업장이 직사각형의 작업장에 비해 등수가 각각 1등이 많이 사용되므로 경제적인 면에서 떨어지고, 고른 분포의 균조도를 얻기 위해서는 정사각형의 작업장을 사용하는 것이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

벽면을 이용할 때와 이용하지 않을 때의 관계는 반사율에 따라서 조명율이 결정됨에 따라 등수가 결정되기 때문에 등과 벽사이의 간격에 따라 평균 조도가 결정된다는 것을 알 수 있었다.

앞으로의 연구는 가로와 세로의 등과 벽사이의 간격 및 등과 등사이의 간격을 다른 형태로 변화시킴으로써 훨씬 향상된 균조도 값과 평균 조도값을 얻을수 있는 프로그램을 개발하는 것이 향후 연구해야 할 과제중의 하나이다.

참 고 문 헌

- (1) W. M. C. Lan, Perception & Lighting, Van Nodstrand Reinhold, 1992.
- (2) Lighting Handbook, 8/e, Illuminating Engineering Society of North America
- (3) 기다리 조명 설계의 기술 계산, pp. 109-114.
- (4) 전기 설비 사전, 1989.
- (5) 지철근 최신조명공학, 운문당, 1994.
- (6) Kaufman, J.E., ed., IES Lighting Handbook, Reference.
- (7) S. Stannard, "The Evolution of Lighting Software", LD+A Vol. 22, NO.6, June, 1992, pp.21-24우,
- (8) Nils Svendenius, "Searching for Useful Lighting Design Software", Proceeding of 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting Vol. 1, 1995, pp.19-24.
- (9) Joseph B. Murdoch, Illumination Engineer from Edison's Lamp to the Laser

◇ 著 者 紹 介 ◇

최 홍 규(崔洪圭)

1950년 1월7일생. 1975년 홍익대 전기. 1977년 연세대학교 전기(석사). 1992년 홍익대학교 전자(박사). 현재 전기설비연구소 소장, 홍익대학교 전기공학과 교수.

최 병 숙(崔秉淑)

1960년 11월25일생. 1986년 경일대 전기공학과 졸업. 1994년 경일대학교 전기공학과 졸업(석사). 1995년 건축전기설비기사 자격취득. 현재 홍익대 대학원 박사과정.

정 성 윤(鄭聖允)

1973년 2월3일생. 1999년 홍익대 전기공학과 졸업. 현재 홍익대 대학원 전기공학과 석사과정.

김 진 성(金進成)

1974년 3월28일생. 1999년 홍익대 전기공학과 졸업. 현재 홍익대 대학원 전기공학과 석사과정.