

5. 조도계산법(구역공간법, ZCM)

조도계산법에는 여러 가지가 있으나, 계산법의 원리에 따라 분류하면 광속법, 해석적 방법, 입자추적법 등이 있다. 해석적 방법은 기하학적 공간에서 특정 배광분포를 가진 조명기구가 제공하는 광속의 전달과정을 수식으로 풀어서 계산하는 것으로서 그 정확도가 높으나 계산이 복잡하고 단순한 공간 외에는 계산이 거의 불가능한 단점이 있다. 통상은 조도를 조명기구에서 직접 면에 도달하는 직접분과, 한 번 이상의 반사를 거쳐 면에 도달하는 간접분으로 나누어 직접분은 거리의 역제곱의 법칙을 이용하여 계산하고, 간접분은 해석적인 방법으로 계산하는 수단이 비교적 간단한 컴퓨터 프로그램으로 많이 개발되어 있다. 이 방법을 사용하면 계산 시간은 빠르나 정확도는 입자추적법에 비하여 떨어진다.

입자추적법은 조명기구에서 나오는 빛을 입자로 생각하고, 그 입자의 경로를 추적하여 면에 도달하는 광속을 계산하는 방법이다. 각 입자가 최초 조명기구에서 출발하는 방향, 면에 도달하여 흡수 또는 반사되는 여부, 반사되는 각도 등은 확률에 근거한 몬테카를로 법을 이용하여 계산된다. 이 방법은 매우 정확한 결과를 얻을 수 있으며 얻어지는 결과도 다양하여 응용의 범위가 크나 입자의 개수가 늘어날수록 정확도가 높아지므로 계산시간이 오래 걸리는 단점이 있어 조도계산 보다는 배광곡선의 예측, 광학계의 설계 등 특수 용도에 사용되는 경우가 많다.

광속법은 1920년 미국의 Harrison과 Anderson이 모형에서의 실내조도를 측정하고 이를 응용하여 실내면에서의 조도를 계산할 수 있도록 실용화한 삼배광법에서 출발한 방법으로서 앞서 설명한 두 가지 방법과는 달리 실험에 근거한 방법이라는 특징이 있다. 실험에 근거한 경우에는 비교적 오차가 커지므로 현재 각국의 조명학회와 국제조명위원회에서 여러 형태의 이론적, 실험적 개선을 가하여 독자적인 계산법을 확립하고 표준으로 제시하고 있다. 광속법의 종류로는 최초의 삼배광법에 더하여 이를 개선한 북미조명학회의 구역공간법(Zonal Cavity Method, ZCM), 영국구역법(British Zonal Method), 독일의 LiTg법, 프랑스의 UTE법, 국제조명위원회의 계산법 등이 있으며, 우리 나라와 일본에서는 아직도 주로 삼배광법을 사용하고 있다.

5.1 구역공간법의 개요

이 계산법은 건축물의 실내에 조명을 실시할 경우, 작업면 또는 바닥면에서의 평균조도를 계산하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 평균조도를 계산할 경우 다음 사항에 유의하여야 한다.

- ① 이 계산법은 북미조명학회에서 개발한 평균조도 계산법인 구역공간법에 근거하며, 그 일부를 국내실정에 적합하도록 수정한 것이다.
- ② 구역 공간법을 이용하여 전반 조명에 의한 실내면의 평균조도를 계산할 수 있으며, 역으로 원하는 평균조도를 제공하는 조명기구의 갯수를 결정하는데 이용할 수 있다.
- ③ 조명기구의 갯수가 결정되면 전체 조명기구의 사용전력을 방의 면적으로 나누어 단위면적 당 조명전력을 계산할 수 있으며, 이 값을 조명전력 허용기준치와 비교하여 적합한 조명기구가 선정되었는지 판정할 수 있다.
- ④ 이 계산법의 계산순서는 국내에서 기존 이용되고 있던 삼배광법(통칭 광속법)과 거의 같으며, 이용률(Coefficient of Utilization, CU)은 조명률과, 광손실률(Light Loss Factor, LLF)은 유지율(maintenance factor, 감광보상률의 역수)과 같은 의미를 가지고 있다. 그러나 방의 형상을 나타내는 공간비율(Cavity Ratio, CR)은 삼배광법의 실지수와 반비례하며, 천장 및 바닥의 반사율을 고려하는 방법에서 구역공간법과 삼배광법이 서로 다르므로, 이용률과 조명률 사이에 호환성은 없다.
- ⑤ 구역공간법, 삼배광법, CIE(국제 조명위원회)법 등, 평균조도를 계산하는데 이용되는 광속법은, 비교적 큰 실내에서 다수의 전반 조명기구를 사용할 때 작업면에 입사하는 평균적인 광속을 계산하는 것이므로, 소형의 방에서 한 두개의 조명기구를 사용하는 경우나 복도와 같이 좁고 긴 형상의 실내의 경우에는 계산 결과의 오차가 상대적으로 커진다.
- ⑥ 광속법은 직육면체의 방에서 벽면의 반사율이 모두 같은 경우에 평균조도를 계산하는 것이다. 방의 형태가 직육면체가 아닌 경우, 비슷한 형태의 직육면체로 치환하거나 여러개의 직육면체로 분할하여 계산한다. 또 각 벽면의 반사율이 크게 차이 나는 경우에는 반사율의 면적가중 평균치를 취하여 계산한다.
- ⑦ 같은 조명기구를 동일 갯수 사용하더라도 배열방식에 따라 조도가 달라진다. 이 계산법은 조명기구를 균등하게 배치한 경우에 대하여 평균조도를 산출하며, 천장의 일부에 편중되어 있거나 벽면에 취부한 경우 오차가 발생한다.
- ⑧ 이용률은 방이 비어 있고, 실내 각 면이 완전확산 반사를 한다는 가정 하에 계산된 것이다. 이를 이용하여 계산된 평균조도는 작업면에 입사하는 총 광속을 작업면의 면적으로 나누어 계산된 것으로, 작업면상의 여러 점에서 조도를 측정하여 계산한 평균치와는 매우 다를 수 있다.

구역공간법의 개요는 다음과 같다. 정방형의 실내에 조명기구를 설치하였을 때 작업면의 평균

조도 E는

$$E = \frac{N \times F \times CU \times LLF}{A} \quad (1)$$

N : 조명기구의 갯수

F : 한 조명기구에 들어 있는 램프들의 총 광속

CU : 이용률 (Coefficient of Utilization)

LLF : 광손실률 (Light Loss Factor)

A : 작업면의 면적

로 계산된다. CU는 조명기구내에 들어 있는 램프들이 발산하는 총 광속중에서 작업면에 입사하는 광속의 비를 나타내는 것으로서 조명기구의 배광분포, 방의 형상, 실내면의 반사율 등에 따라 변화하는 값이다. LLF는 사용안정기의 종류나 시간의 경과에 따른 조명기구 오염 등에 의해 램프의 광속이 변화하는 것을 고려하기 위하여 포함된 계수이다.

따라서 위 (1)식의 분자는 설치된 조명기구에 들어있는 램프들이 발생하는 총 광속 중에서 작업면에 입사하는 광속을 나타내며, 이를 작업면의 면적으로 나누어 작업면에서의 평균조도를 구할 수 있다.

CU는 조명기구의 배광분포, 방의 크기, 실내면의 반사율에 의해 영향을 받는다. 구역공간법에서는 방을 세개의 공간으로 나누고 이를 기준으로 하여 CU의 값을 계산한다. 즉, 등기구면에서부터 천장면 까지를 천장공간, 작업면에서부터 바닥면 까지를 바닥공간, 등기구 면에서 작업면 사이를 방공간으로 나눈 뒤, 천장공간과 바닥 공간을 유효반사율을 갖는 가상 천장면과 가상 바닥면으로 치환하여, 이를 천장과 바닥으로 하는 방공간에 대한 조도계산을 수행한다.

5.2 공간비율(Cavity Ratio)

직육면체 공간에서 위, 아래면의 방사전달은 그 방의 폭, 길이, 높이의 비의 함수이다. 공간비율은 이들 특성을 한개의 양으로 표시하여 방사전달을 계산할 수 있도록 해 준다.

이 계산법에서는 방의 형상, 등기구의 매단 길이, 작업면의 높이 등이 CU값에 영향을 주는 것을 방공간비율(Room Cavity Ratio, RCR), 천장공간비율(Ceiling Cavity Ratio, CCR), 바닥공간비율(Floor Cavity Ratio, FCR)로 각각 나타낸다. 즉 그림 1에서와 같이 방을 세 공간으로 나누고, 각 공간율은 다음 식으로 계산된다.

$$\text{공간비율} = \frac{5h(\text{공간의 길이} + \text{공간의 폭})}{\text{공간의 길이} \times \text{공간의 폭}} \quad (2)$$

여기서

$$h = \begin{cases} h_{RC} : \text{RCR 계산시} \\ h_{CC} : \text{CCR 계산시} \\ h_{FC} : \text{FCR 계산시} \end{cases}$$

이다.

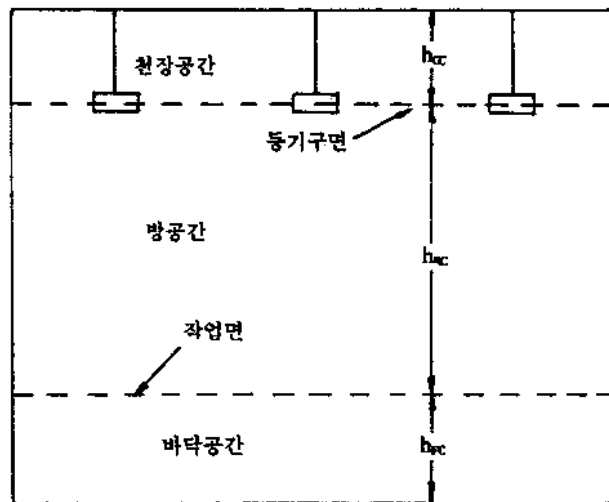


그림 1. 구역공간법에서의 세 공간.

5.3 유효 공간 반사율

각각 다른 반사율의 천장과 벽으로 구성된 천장공간과, 바닥과 벽으로 구성된 바닥공간을, 각각 하나의 유효 천장공간 반사율 ρ_{CC} 와 유효 바닥공간 반사율 ρ_{FC} 로 치환할수 있다. 표 1은 천장, 바닥공간의 공간비율과 천장, 벽, 바닥 반사율에 따른 유효공간 반사율을 보인 것이다. 공간을, 반사율이 표에 나와있지 않은 경우에는 보간을 실시한다. 여기에서 각 반사율은 시공 초기의 값으로서 오염에 의한 반사율의 저하는 광손실률에서 보정한다. 천장에 부착하거나 매입한 조명기구의 경우에는 CCR이 0으로 되며, 실제의 천장반사율을 그대로 이용한다.

표 1. 유효공간반사율

바닥 또는 천장 반사율	90	80	70	60	50
벽 반사율	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
공간비율					
0.2	89 88 87 86 85 84 84 82 79 78 78 77 77 76 76 75 74 72	79 78 78 77 77 76 76 75 74 72 71 70 68	70 69 68 68 67 67 66 66 65 64	60 59 59 59 58 57 56 56 55 53	50 50 49 49 48 48 47 46 46 44
0.4	88 87 86 85 84 83 81 80 79 76 77 76 75 74 73 72 71 70 68	79 77 76 75 74 73 72 71 70 68	69 68 67 66 65 64 63 62 61 58	60 59 59 58 57 55 54 53 52 50	50 49 48 48 47 46 45 45 44 42
0.6	87 86 84 82 80 79 77 76 74 73 78 76 75 73 71 70 68 66 65 63	78 76 75 73 71 70 68 66 65 63	69 67 65 64 63 61 59 58 57 54	60 58 57 56 55 53 51 50 46	50 48 47 46 45 44 43 42 41 38
0.8	87 85 82 80 77 75 73 71 69 67 78 75 73 71 69 67 65 63 61 57	78 75 73 71 69 67 65 63 61 57	68 66 64 62 60 58 56 55 53 50	59 57 56 55 54 48 47 46 43	50 48 47 45 44 42 40 39 38 36
1.0	86 83 80 77 75 72 69 66 64 62 77 74 72 69 67 65 62 60 57 55	77 74 72 69 67 65 62 60 57 55	68 65 62 60 58 55 53 52 50 47	59 57 55 53 51 48 45 44 43 41	50 48 46 44 43 41 38 37 36 34
1.2	85 82 78 75 72 69 66 63 60 57 76 73 70 67 64 61 58 55 53 51	76 73 70 67 64 61 58 55 53 51	67 64 61 59 57 54 50 48 46 44	59 56 54 51 49 46 44 42 40 38	50 47 45 43 41 39 36 35 34 29
1.4	85 80 77 73 69 65 62 59 57 52 76 72 68 65 62 59 55 53 50 48	76 72 68 65 62 59 55 53 50 48	67 63 60 58 55 51 47 45 44 41	59 56 53 49 47 44 41 39 38 36	50 47 45 42 40 38 35 34 32 27
1.6	84 79 75 71 67 63 59 56 53 50 75 71 67 63 60 57 53 50 47 44	75 71 67 63 60 57 53 50 47 44	67 62 59 56 53 47 45 43 41 38	59 55 52 48 45 42 39 37 35 33	50 47 44 41 39 36 33 32 30 26
1.8	83 78 73 69 64 60 56 53 50 48 75 70 66 62 58 54 50 47 44 41	75 70 66 62 58 54 50 47 44 41	66 61 58 54 51 46 42 40 38 36	58 55 51 47 44 40 37 35 33 31	50 46 43 40 38 35 31 30 28 25
2.0	83 77 72 67 62 56 53 50 47 43 74 69 64 60 56 52 48 45 41 38	74 69 64 60 56 52 48 45 41 38	66 60 56 52 49 45 40 38 36 33	58 54 50 46 43 39 35 33 31 29	50 46 43 40 37 34 30 28 26 24
2.2	82 76 70 65 59 54 50 47 44 40 74 68 63 58 54 49 45 42 38 35	74 68 63 58 54 49 45 42 38 35	66 60 55 51 48 43 38 36 34 32	58 53 49 45 42 37 34 31 29 28	50 46 42 38 36 33 29 27 24 22
2.4	82 75 69 64 58 53 48 45 41 37 73 67 61 56 52 47 43 40 36 33	73 67 61 56 52 47 43 40 36 33	65 60 54 50 46 41 37 35 32 30	58 53 48 44 41 36 32 30 27 26	50 46 42 37 35 31 27 25 23 21
2.6	81 74 67 62 56 51 46 42 38 35 73 66 60 55 50 45 41 38 34 31	73 66 60 55 50 45 41 38 34 31	65 59 54 49 45 40 35 33 30 28	58 53 48 43 39 35 31 28 26 24	50 46 41 37 34 30 26 23 21 20
2.8	81 73 66 60 54 49 44 40 36 34 73 65 59 53 48 43 39 36 32 29	73 65 59 53 48 43 39 36 32 29	65 59 53 48 43 38 33 30 28	58 53 47 43 38 34 29 27 24 22	50 46 41 36 33 29 25 22 10 19
3.0	80 72 64 58 52 47 42 38 34 30 72 65 58 52 47 42 37 34 30 27	72 65 58 52 47 42 37 34 30 27	64 58 52 47 42 37 32 29 27 24	57 52 46 42 37 32 28 25 23 20	50 45 40 36 32 28 24 21 19 17
3.2	79 71 63 56 50 45 40 36 32 28 72 65 57 51 45 40 35 33 28 25	72 65 57 51 45 40 35 33 28 25	64 58 51 46 40 36 31 28 25 23	57 51 45 41 36 31 27 23 22 18	50 44 39 35 31 27 23 20 18 16
3.4	79 70 62 54 48 43 38 34 30 27 71 64 56 49 44 39 34 32 27 24	71 64 56 49 44 39 34 32 27 24	64 57 50 45 39 35 29 27 24 22	57 51 45 40 35 30 26 23 20 17	50 44 39 35 30 26 22 19 17 15
3.6	78 69 61 53 47 42 36 32 28 25 71 63 54 48 43 38 32 30 25 23	71 63 54 48 43 38 32 30 25 23	63 56 49 44 38 33 28 25 22 20	57 50 44 39 34 29 25 22 19 16	50 44 39 34 29 25 21 18 16 14
3.8	78 69 60 51 45 40 35 31 27 23 70 62 53 47 41 36 31 28 24 22	70 62 53 47 41 36 31 28 24 22	63 56 49 43 37 32 27 24 21 19	57 50 43 38 33 29 24 21 19 15	50 44 38 34 29 25 21 17 15 13
4.0	77 69 58 51 44 39 33 29 25 22 70 61 53 46 40 35 30 26 22 20	70 61 53 46 40 35 30 26 22 20	63 55 48 42 36 31 26 23 20 17	57 49 42 37 32 28 23 20 18 14	50 44 38 33 28 24 20 17 15 12
4.2	77 62 57 50 43 37 32 28 24 21 69 60 52 45 39 34 29 25 21 18	69 60 52 45 39 34 29 25 21 18	62 55 47 41 35 30 25 22 19 16	56 49 42 37 32 27 22 19 17 14	50 43 37 32 28 24 20 17 14 12
4.4	76 61 56 49 42 36 31 27 23 20 69 60 51 44 38 33 28 24 20 17	69 60 51 44 38 33 28 24 20 17	62 54 46 40 34 29 24 21 18 15	56 49 42 36 31 27 22 19 16 13	50 43 37 32 27 23 19 16 13 11
4.6	76 60 55 47 40 35 30 26 22 19 69 59 50 43 37 32 27 23 19 15	69 59 50 43 37 32 27 23 19 15	62 53 45 39 33 28 24 21 17 14	56 49 41 35 30 26 21 18 16 13	50 43 36 31 26 22 18 15 13 10
4.8	75 59 54 46 39 34 28 25 21 18 68 58 49 42 36 31 26 22 18 14	68 58 49 42 36 31 26 22 18 14	62 53 45 38 32 27 23 20 16 13	56 48 41 34 29 25 21 18 15 12	50 43 36 31 26 22 18 15 12 09
5.0	75 59 53 45 38 33 28 24 20 16 68 58 48 41 35 30 25 21 18 14	68 58 48 41 35 30 25 21 18 14	61 52 44 36 31 26 22 19 16 12	56 48 40 34 28 24 20 17 14 11	50 42 35 30 25 21 17 14 12 09
6.0	73 61 49 41 34 29 24 20 16 11 66 55 44 38 31 27 22 19 15 10	66 55 44 38 31 27 22 19 15 10	60 51 41 35 28 24 19 16 13 09	55 45 37 31 25 21 17 14 11 07	50 42 34 29 23 19 15 13 10 06
7.0	70 58 45 38 30 27 21 18 14 08 64 53 41 35 28 24 19 16 12 07	64 53 41 35 28 24 19 16 12 07	58 48 38 32 26 22 17 14 11 06	54 43 35 30 24 20 15 12 09 05	49 41 32 27 21 18 14 11 08 06
8.0	68 55 42 35 27 23 18 15 12 06 62 50 38 32 25 21 17 14 11 05	62 50 38 32 25 21 17 14 11 05	57 46 35 29 23 19 15 13 10 05	53 42 33 28 22 18 14 11 08 04	49 40 30 25 19 16 12 10 07 03
9.0	66 52 38 31 25 21 16 14 11 05 61 49 36 30 23 19 15 13 10 04	61 49 36 30 23 19 15 13 10 04	56 45 33 27 21 18 14 12 09 04	52 40 31 26 20 16 12 10 07 03	48 39 29 24 18 15 11 09 07 03
10.0	65 51 36 29 22 19 15 11 09 04 59 46 33 27 21 18 14 11 08 03	59 46 33 27 21 18 14 11 08 03	55 43 31 25 19 16 12 10 08 03	51 39 29 24 18 15 11 09 07 02	47 37 27 22 17 14 10 08 06 02

표 1. 유효공간반사율 (계속)

바닥 또는 천장 반사율	40	30	20	10	0
벽반사율	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0	90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
공간비율					
0.2	40 40 39 39 38 38 37 36 36	31 31 30 30 29 29 28 28 27	21 20 20 20 20 19 19 19 17	11 11 11 10 10 10 10 09 09	02 02 02 01 01 01 01 00 00 0
0.4	41 40 39 39 38 37 36 35 34 34	31 31 30 30 29 28 28 27 26 25	22 21 20 20 20 19 19 18 16	12 11 11 11 10 10 09 09 08	04 03 03 02 02 02 01 01 00 0
0.6	41 40 39 38 37 36 34 33 32 31	32 31 30 29 28 27 26 25 23 23	23 21 21 20 19 19 18 17 15	13 13 12 11 11 10 10 09 08	05 05 04 03 03 02 02 01 0 0
0.8	41 40 38 37 36 35 33 32 31 29	32 31 30 29 28 26 25 23 22 21	20 19 19 18 17 16 14	15 14 13 12 11 10 10 09 08	07 07 06 05 04 04 03 02 02 01 0
1.0	42 40 38 37 35 33 32 31 29 27	33 32 30 29 27 25 24 23 22 20	25 23 22 20 19 18 17 16 15 13	16 14 13 12 12 11 10 09 08	07 08 07 06 05 04 03 02 02 01 0
1.2	42 40 38 36 34 32 30 29 27 25	33 32 30 28 27 25 23 22 21 19	25 23 22 20 19 17 17 16 14 12	17 15 14 13 12 11 10 09 07	06 10 08 07 06 05 04 03 02 01 0
1.4	42 39 37 35 33 31 29 27 25 23	34 32 30 28 26 24 22 21 19 18	26 24 22 20 18 17 16 15 13 12	18 16 14 13 12 11 10 09 07	06 11 09 08 07 06 04 03 02 01 0
1.6	42 39 37 35 32 30 27 25 23 22	34 33 29 27 25 23 22 20 18 17	26 24 22 20 18 17 16 15 13 11	19 17 15 14 12 11 09 08	07 06 12 10 09 07 06 05 03 02 01 0
1.8	42 39 36 34 31 29 26 24 22 21	35 33 29 27 25 23 21 19 17 16	27 25 23 20 18 17 15 14 12 10	19 17 15 14 13 11 09 08	06 05 13 11 09 08 07 05 04 03 01 0
2.0	42 39 36 34 31 28 25 23 21 19	35 33 29 26 24 22 20 18 16 14	28 25 23 20 18 16 15 13 11 09	20 18 16 14 13 11 09 08	06 05 14 12 10 09 07 05 04 03 01 0
2.2	42 39 36 33 30 27 24 22 19 18	36 32 29 26 24 22 19 17 15 13	28 25 23 20 18 16 14 12 10 09	21 19 16 14 13 11 09 07	06 05 15 13 11 09 07 06 04 03 01 0
2.4	43 39 35 33 29 27 24 21 18 17	36 32 29 26 24 22 19 16 14 12	29 26 23 20 18 16 14 12 10 08	22 19 17 15 13 11 09 07	06 05 16 13 11 09 08 06 04 03 01 0
2.6	43 39 35 32 29 26 23 20 17 15	36 32 29 25 23 21 18 16 14 12	29 26 23 20 18 16 14 11 09 08	23 20 17 15 13 11 09 07	06 04 17 14 12 10 08 06 05 03 02 0
2.8	43 39 35 32 28 25 22 19 16 14	39 33 29 25 23 21 17 15 13 11	30 27 23 20 18 15 13 11 09 07	23 20 18 16 13 11 09 07	05 03 17 15 13 10 08 07 05 03 02 0
3.0	43 39 35 31 27 24 21 18 16 13	37 33 29 25 22 20 17 15 12 10	30 27 23 20 17 15 13 11 09 07	24 21 18 16 13 11 09 07	05 03 18 16 13 11 09 07 05 03 02 0
3.2	43 39 35 31 27 23 20 71 15 15	37 33 29 25 22 19 16 14 12 10	31 27 23 20 17 15 12 11 09 06	25 21 18 16 13 11 09 07	05 03 19 16 14 11 09 07 05 03 02 0
3.4	43 39 34 30 26 23 20 17 14 12	37 33 29 25 22 19 16 14 11 09	31 27 23 20 17 15 12 10 08 06	26 22 18 16 13 11 09 07	05 03 20 17 14 12 09 07 05 03 02 0
3.6	44 39 34 30 26 22 19 16 14 11	38 33 29 24 21 18 15 13 10 09	32 27 23 20 17 15 12 10 08 05	26 22 19 16 13 11 09 06	04 03 20 17 15 12 10 08 05 04 02 0
3.8	44 38 33 29 25 22 18 16 13 10	38 33 28 24 21 18 15 13 10 08	32 28 23 20 17 15 12 10 07 05	27 23 19 17 14 11 09 06	04 02 21 18 15 12 10 08 05 04 02 0
4.0	44 38 33 29 25 21 18 15 12 10	38 33 28 24 21 18 14 12 09 07	33 28 23 20 17 14 11 09 07 05	27 23 20 17 14 11 09 06	04 02 22 18 15 13 10 08 05 04 02 0
4.2	44 38 33 29 24 21 17 15 12 10	38 33 28 24 20 17 14 12 09 07	33 28 23 20 17 14 11 09 07 04	28 24 20 17 14 11 09 06	04 02 22 19 16 13 10 08 06 04 02 0
4.4	44 38 33 28 24 20 17 14 11 09	39 33 28 24 20 17 14 11 09 06	34 28 24 20 17 14 11 09 07 04	28 24 20 17 14 11 08 06	04 02 23 19 16 13 10 08 06 04 02 0
4.6	44 38 32 28 23 19 16 14 11 08	39 33 28 24 20 17 13 10 08 06	34 29 24 20 17 14 11 09 07 04	29 25 20 17 14 11 08 06	04 02 23 20 17 13 11 08 06 04 02 0
4.8	44 38 32 27 22 19 16 13 10 08	39 33 28 24 20 17 13 10 08 05	35 29 24 20 17 13 10 08 06 04	29 25 20 17 14 11 08 06	04 02 24 20 17 14 11 08 06 04 02 0
5.0	45 38 31 27 22 19 15 13 10 07	39 33 28 24 19 16 13 10 08 05	35 29 24 20 16 13 10 08 06 04	30 25 20 17 14 11 08 06	04 02 25 21 17 14 11 08 06 04 02 0
6.0	44 37 30 25 20 17 13 11 08 05	39 33 27 23 18 15 11 09 06 04	36 30 24 20 16 13 10 08 05 02	31 26 21 18 14 11 08 06	03 01 27 23 18 15 12 09 06 04 02 0
7.0	44 36 29 24 19 16 12 10 07 04	40 33 26 22 17 14 10 08 05 03	36 30 24 20 15 12 09 07 04 02	32 27 21 17 13 11 08 06	03 01 28 24 19 15 12 09 06 04 02 0
8.0	44 35 28 23 18 15 11 09 06 03	40 33 26 21 16 13 09 07 04 02	37 30 23 19 15 12 08 06 03 01	33 27 21 17 13 10 07 05	03 01 30 25 20 15 12 09 06 04 02 0
9.0	44 35 26 21 16 13 10 08 05 02	40 33 25 20 15 12 09 07 04 02	37 29 23 19 14 11 08 06 03 01	34 28 21 17 13 10 07 05	02 01 31 25 20 15 12 09 06 04 02 0
10.0	43 34 25 20 15 12 08 07 05 02	40 32 24 19 14 11 08 06 03 01	37 29 22 18 13 10 07 05 03 01	34 28 21 17 12 10 07 05	02 01 31 25 20 15 12 09 06 04 02 0

5.4 조명기구의 이용률

표 2는 몇 가지 대표적인 조명기구들에 대한 구역공간법에서 사용하는 이용률을 계산한 것이다. 이 값들은 유효바닥공간반사율이 20%일 때의 것으로서, ρ_{FC} 의 값이 0.2가 아닌 경우에는 표 3의 값을 곱하여주면 된다.

표 2. 몇 가지 조명기구의 이용률

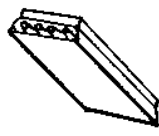
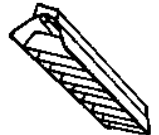
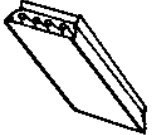
배광분포	ρ_{FC}		80			70			50			30			10			0
	ρ_{FC}	ρ_{FC}	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	유자 등급	SC	RCR ↓															
	V	1.4/1.3	$\rho_{FC}=20\%$ 일 때의 이용률															
	0		.78	.78	.78	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.66
	1		.71	.68	.66	.69	.67	.65	.66	.65	.63	.64	.63	.61	.62	.61	.60	.58
	2		.63	.60	.57	.62	.59	.56	.60	.57	.55	.58	.56	.54	.56	.54	.52	.51
	3		.57	.52	.49	.56	.52	.48	.54	.51	.48	.52	.49	.47	.51	.48	.46	.45
	4		.51	.46	.43	.50	.46	.42	.49	.45	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.39
	5		.46	.41	.37	.46	.41	.37	.44	.40	.37	.43	.39	.36	.42	.39	.36	.35
	6		.42	.37	.33	.41	.37	.33	.40	.36	.33	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.31
	7		.38	.33	.29	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.28
	8		.35	.30	.26	.35	.30	.26	.34	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.25
	9		.32	.27	.24	.32	.27	.24	.31	.27	.24	.31	.27	.24	.30	.26	.24	.22
10		.30	.25	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.24	.22	.28	.24	.21	.20	
	IV	NA.	$\rho_{FC}=20\%$ 일 때의 이용률															
	0		.71	.71	.71	.70	.70	.70	.66	.66	.66	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.60
	1		.64	.62	.60	.63	.61	.60	.60	.59	.58	.58	.57	.56	.56	.55	.54	.53
	2		.57	.54	.51	.56	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.48	.51	.49	.47	.46
	3		.51	.47	.44	.50	.46	.43	.49	.45	.43	.47	.44	.42	.46	.43	.41	.40
	4		.46	.41	.38	.45	.41	.37	.44	.40	.37	.42	.39	.36	.41	.38	.36	.35
	5		.41	.36	.33	.40	.36	.32	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.37	.34	.31	.30
	6		.37	.32	.28	.36	.32	.28	.35	.31	.28	.34	.31	.28	.34	.30	.28	.27
	7		.33	.29	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.24	.23
	8		.30	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.28	.24	.22	.21
	9		.28	.23	.20	.27	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.19	.18
10		.25	.21	.18	.25	.21	.18	.25	.20	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.18	.17	
	V	NA.	$\rho_{FC}=20\%$ 일 때의 이용률															
	0		.57	.57	.57	.56	.56	.56	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.49	.49	.49	.48
	1		.50	.48	.46	.49	.47	.45	.47	.45	.44	.45	.43	.42	.43	.42	.41	.40
	2		.43	.40	.37	.42	.39	.36	.40	.38	.35	.39	.37	.35	.37	.36	.34	.33
	3		.37	.33	.30	.37	.33	.30	.35	.32	.29	.34	.31	.29	.33	.30	.28	.27
	4		.33	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.24	.30	.27	.24	.29	.26	.24	.23
	5		.29	.24	.21	.28	.24	.21	.27	.24	.21	.26	.23	.20	.25	.23	.20	.19
	6		.26	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.21	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.17	.16
	7		.23	.19	.16	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.18	.15	.21	.17	.15	.14
	8		.21	.17	.14	.21	.16	.14	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.19	.16	.13	.12
	9		.19	.15	.12	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.18	.14	.12	.17	.14	.12	.11
10		.17	.13	.11	.17	.13	.11	.17	.13	.11	.16	.13	.11	.16	.13	.10	.10	

표 3. 유효바닥공간 반사율이 20%가 아닐 때 이용률에 곱하는 계수

유효천장 공간반사율	80				70				50			30			10		
벽반사율	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
유효바닥공간 반사율 30%																	
방공간비율																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.056	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
유효바닥공간 반사율 10%																	
방공간비율																	
1	.923	.929	.935	.940	.933	.939	.943	.948	.956	.960	.963	.973	.976	.979	.989	.991	.993
2	.931	.942	.950	.958	.940	.949	.957	.963	.962	.968	.974	.976	.980	.985	.988	.991	.995
3	.939	.951	.961	.969	.945	.957	.966	.973	.967	.975	.981	.978	.983	.988	.988	.992	.996
4	.944	.958	.969	.978	.950	.963	.973	.980	.972	.980	.986	.980	.986	.991	.987	.992	.996
5	.949	.964	.976	.983	.954	.968	.978	.985	.975	.983	.989	.981	.988	.993	.987	.992	.997
6	.953	.969	.980	.986	.958	.972	.982	.989	.977	.985	.992	.982	.989	.995	.987	.993	.997
7	.957	.973	.983	.991	.961	.975	.985	.991	.979	.987	.994	.983	.990	.996	.987	.993	.998
8	.960	.976	.986	.993	.963	.977	.987	.993	.981	.988	.995	.984	.991	.997	.987	.994	.998
9	.963	.978	.987	.994	.965	.979	.989	.994	.983	.990	.996	.985	.992	.998	.988	.994	.999
10	.965	.980	.989	.995	.967	.981	.990	.995	.984	.991	.997	.986	.993	.998	.988	.994	.999
유효바닥공간 반사율 0%																	
방공간비율																	
1	.859	.870	.879	.886	.873	.884	.893	.901	.916	.923	.929	.948	.954	.960	.979	.983	.987
2	.871	.887	.903	.919	.886	.902	.916	.928	.926	.938	.949	.954	.963	.971	.978	.983	.991
3	.882	.904	.915	.942	.898	.918	.934	.947	.936	.950	.946	.958	.969	.979	.976	.984	.993
4	.893	.919	.941	.958	.908	.930	.948	.961	.945	.951	.974	.961	.974	.984	.975	.985	.994
5	.903	.931	.953	.969	.914	.939	.958	.970	.951	.967	.980	.964	.977	.988	.975	.985	.995
6	.911	.940	.961	.976	.920	.945	.965	.977	.955	.972	.985	.966	.979	.991	.975	.986	.996
7	.917	.947	.967	.981	.924	.950	.970	.982	.959	.975	.988	.968	.981	.993	.975	.987	.997
8	.922	.953	.971	.985	.929	.955	.975	.986	.963	.978	.991	.970	.983	.995	.976	.988	.998
9	.928	.958	.975	.988	.933	.959	.980	.989	.966	.980	.993	.971	.985	.996	.976	.988	.998
10	.933	.962	.979	.991	.937	.963	.983	.992	.969	.982	.995	.973	.987	.997	.977	.989	.999

5.5 광손실률

광손실률 (Light Loss Factor, LLF)은 조도 계산 결과를 실제 현장 상황에 맞도록 보정하는 역할을 한다. 즉 램프의 광출력, 조명기구의 광출력, 표면 반사율 등이 실제 현장에서는 이상적인 상황에서의 측정치보다 일반적으로 작은 값을 가지므로 이에 대하여 교정을 행하는 것이다.

광손실률은 회복 가능 요인과 회복 불가능 요인의 두 가지로 구분할 수 있다(표 4). 회복 가능 요인은 정기적인 보수, 즉 청소, 램프 교체, 도색 등에 의하여 회복될 수 있는 요인을 말한다. 회복 불가능 요인은 장치나 설치 장소에 기인한 요인들로서 일반적인 보수에 의해 변화하지 않는 요인들이다.

광손실률의 각 요인들은 상호 독립적이며, 각 요인들에 의해 산출된 계수들을 모두 곱하여 최종적인 광손실률이 구해진다. 어떤 요인들도 영향이 없다는 것이 입증되기 이전에는 무시하면 안 되며, 모든 요인들을 전부 검토한 위에 조명 계산을 수행하여야 한다.

표 4. 광손실률

회복 불가능 요인	조명기구 주위온도 요인 (Luminair ambient temperature factor) 열방출 열적 요인 (Heat extraction thermal factor) 공급전압 요인 (Voltage-to-luminair factor) 안정기 요인 (Ballast factor) 안정기-램프 광학적 요인 (Ballast-lamp photometric factor) 장치 작동 요인 (Equipment operating factor) 램프 기울임 요인 (Lamp position (tilt) factor) 조명기구 표면열화 요인 (Luminair surface depreciation factor)
회복 가능 요인	램프 광출력 감소 요인 (Lamp lumen depreciation factor, LLD) 조명기구 먼지열화 요인 (Luminair dirt depreciation factor, LDD) 실내면 먼지열화 요인 (Room surface dirt depreciation factor, RSDD) 램프 수명 요인 (Lamp burnout factor, LBO)

5.5.1 회복 불가능 요인

회복 불가능 요인들은 정규적인 보수나 수선에 의해 개선되지 않는다. 어떤 요인은 조명 시공의 초기에서부터 존재하며 사용 기간 내내 존재하지만, 그 영향이 매우 작아서 무시하거나 또는 개선하는 비용이 너무 많이 들기 때문에 그대로 사용하는 경우들이다. 이들 요소는 모두 계획된 조명 시스템의 광출력을 감소시키므로 미리 고려하여야 한다.

<조명기구 주위온도 요인>

몇몇 조명기구에서는 주위 온도가 광출력에 미치는 영향이 매우 크다. 실내에서 흔히 일어나는 정도의 온도 변화는 백열전구나 HID램프에는 영향을 주지 않으나 형광램프의 광출력에는 상당한 영향을 준다. 조명기구 주위 온도는 조명기구의 광학적 특성을 측정할 때의 온도와 이를 설치할 때의 온도 차이에 의한 광출력을 비교한 것이다. 이 요인은 조명기구의 설치 수단이나 설치된 상태, 조명기구 주변의 온도 변화, 조명기구와 함께 사용되는 단열 재료 등을 고려하여야 한다.

일반적으로, 이 요인에 대해 고정된 데이터는 없으나 다음에 근거하여 평가할 수 있다. 조명기구의 측광은 주위 온도 25℃의 공기유동 없는 상태에서 수행된다. 주위 온도가 이 값에서 1℃ 증가할 때마다 형광등의 최냉점 온도는 0.6℃ 정도 상승한다. 램프 온도 상승의 영향은 제조자가 제공하는 문헌에서 확인할 수 있으며, 통상 조명기구 내에서는 적정 온도보다 높은 온도에서 작동된다는 것을 명심해야 한다. 개방형과 밀폐형 조명기구는 온도 차이가 있으며, 공기의 유동, 폐입형 기구에서의 내부 온도 등을 고려하여야 한다.

<열방출 열적 요인>

공조 기능을 겸비한 조명기구는 냉난방 시스템과 조합하여 공기를 방출하거나 흡입한다. 이 동작은 램프의 온도를 변화시키며 결과적으로 램프의 광출력도 변한다. 이 요인은 공기의 흐름에 의한 광출력의 감소, 또는 상승의 비율이다. 일반적으로 제조자는 공기의 흐름에 의한 광출력 변화의 비율을 시험하여 자료로서 제공하여야 한다.

보통 조명기구의 램프가 있는 부분에서 공기의 흐름이 0.25~0.5 [m³/min]정도이면 이 요인의 값은 일정하다.

<공급 전압 요인>

공급전압의 변동은 예측하기 어려우나, 전압이 정격보다 높거나 낮으면 대부분 조명기구의 광출력이 변한다. 백열전구를 사용하는 기구의 경우, 전압 1%의 변동에 의해 광출력은 3% 정도 변한다. 고 리액턴스 안정기를 사용하는 수은등 기구에서는 일차측 전압이 1% 변화하면 광출력은 3% 정도 변화한다. 정전력 안정기를 사용할 때에는 설계 범위 내에서의 일차측 전압 변동에 광출력은 변화하지 않는다. 일반적인 자기식 안정기를 사용한 형광등 기구의 광출력은 1차 전압 2.5% 변동에 대하여 1% 정도 변화한다. 전자식 안정기의 경우에는 설계 조건에 따라 광출력 변화도 달라진다.

<안정기 요인>

형광램프의 광출력은 사용 안정기에 따라 달라진다. 즉 형광램프를 상용 안정기로 점등하면, 그 램프의 정격 광출력을 결정하는 데 사용한 표준 안정기와는 일반적으로 다른 광출력을 낸다. 따라서 정격 광출력을 실제 조명기구에서 동작시킨 경우의 광출력으로 보정하기 위하여 안정기 요인을 고려한다. 안정기 요인은 실제 사용한 안정기로 점등한 형광램프의 광출력을 표준 안정기로 점등한 때의 정격 광출력으로 나눈 값이다. 안정기 요인은 한국 공업규격(KS)에 규정된 형광램프용 안정기의 측정 방법과 일치하는 순서로 결정되어야 한다. 제조자는 이 값을 제공하여야 한다.

안정기 요인은 안정기 자체 뿐 아니라 램프에 따라서도 달라지며, 따라서 같은 안정기를 사용하더라도 표준 램프에 대한 값을 에너지 절감형 램프에 적용할 수 없다. 실온 상태의 안정기를 대상으로 안정기 요인을 측정한 경우, 조명기구 내에서 동작하는 안정기는 온도 상승이 크므로 이를 감안하여야 한다. 대략 1.5% 정도의 광속 감소가 있으나, 심한 경우 2.5~3.5% 정도까지 광속이 감소되는 경우도 있다.

<안정기-램프 광학적 요인>

조명기구의 배광측정시에 사용한 형광램프 및 안정기와는 다른 조합의 형광램프와 안정기를 사용할 경우, 램프의 광속이 달라지지만 배광분포의 공간적 형태는 변화하지 않는다. 따라서 모든 광학적인 데이터는 사용하는 램프와 안정기에 따른 적절한 계수를 곱하여 줌으로서 보정할 수 있다. 이 계수를 안정기-램프 광학적 요인이라 하며, 배광측정시에 사용할 안정기-램프 조합과 실제 사용하는 조합의 광출력을 비교하여 결정할 수 있다.

<장치 작동 요인>

고광도 방전 램프 (HID Lamp)의 광출력은 안정기, 램프의 점등 자세, 기구에서 반사되어 램프로 입사되는 에너지에 따라 달라진다. 이 영향을 모두 합하여 장치 작동 요인으로 하며, 작동시의 램프-안정기-기구 조합에서의 광속과, 정격 시험시의 램프-표준 안정기-기구 조합에서의 광속의 비로 정의된다.

<램프 기울임 요인>

HID램프에 있어서 램프 기울임 요인은 주어진 점등 자세에서의 광속과 정격 광속의 비로 정의된다. 이 요인은 일정한 램프 전력을 유지한 상태에서 측정되며 장치 작동 요인의 구성 요소로 볼 수 있다. 고압 수은등의 경우 이 값은 거의 균일하다. 메탈헬라이드 램프에서는 이 값은 램프에 따라 다르며, 각 램프의 점등 이력에 의존한다. 실제로는 한 램프에 있어서도 이 값을 일정하게 보기 어렵다. 그림 2는 램프의 기울기에 따른 전형적인 광출력 감소를 보인 것이다.



그림 2. HID램프의 점등 자세에 따른 광출력

<조명기구 표면열화 요인>

이 요인은 금속, 페인트, 플라스틱 부품의 변화에 따른 광출력의 감소에 따른 것이다. 유리, 자기, 가공 알루미늄의 표면은 거의 열화가 없으며, 초기의 반사율을 유지하도록 복구할 수 있다(세척). 소성나멜이나 기타 페인트를 칠한 표면은 모든 페인트가 어느 정도는 기공을 갖고 있으므로 영구적으로 열화가 된다. 플라스틱 중에서 아크릴은 변화하기 쉬우나, 어떤 대기 상태에서는 15~20년에 걸쳐 사용함에 따라 그 투과율이 서서히 감소한다. 같은 상황에서도 폴리스티렌은 아크릴보다 투과율이 낮고 빨리 열화 한다.

여러 종류의 재질을 사용한 조명기구에서는 배광조절 요소들의 상호관계가 매우 복잡하고, 재질의 열화에 의한 광손실을 예측하기가 어렵다. 또한 한가지 재질로 이루어진 조명기구도 설치 환경에 따라 광손실이 달라진다. 현재 이 요인에 대한 값은 제공하지 않는다.

5.5.2 회복 가능 요인

다음에 언급하는 회복 가능 요인들은 광손실률 산정에 있어 반드시 고려해야 한다. 각 요인의 값은 사용 램프, 조명기구, 물리적 환경과 함께 유지보수 절차에 따라 달라진다.

<램프 광출력 감소 요인>

램프의 광출력은 점등 조건을 일정하게 유지하여도 수명 전체 기간에 걸쳐 지속적으로 변화하며, 그 대부분의 경우 광출력은 감소한다. 광출력 감소 요인(LLD)은 램프의 수명중 특정 시기 광속의, 초기 광속에 대한 비이다. 램프 사용 시간에 따른 LLD에 대한 정보는, 그 램프의 수명과 광출력 감소에 대하여 제조자가 제공하는 도표에서 얻을 수 있다. 1회 점등시에 사용하는 예상 시간에 따라 정격 평균수명이 결정되며, 언제 램프의 수명이 다 될지 짐작할 수 있다. 이 값에 따라 램프의 집단 교체 시기가 결정되고, 교체 시의 LLD값을 산출할 수 있다. 집단, 또는 부분 교체 시기는 램프의 정격 평균수명의 70%로 되는 때가 바람직하다. 전자식 안정기를 사용할 경우, 램프 사용 시간에 따른 광출력 변화의 정도가 달라지는 경우가 있음을 유의하여야 한다.

<조명기구 먼지열화 요인>

조명기구가 먼지 등으로 오염되면 광출력이 감소하며, 작업 면의 조도도 낮아진다. 이 손실을 조명기구 먼지 열화(LDD)라 하고, 다음 방식으로 계산된다.

1. 표 5를 이용하여 조명기구의 유지 등급을 결정한다.

표 5. 조명기구 유지등급의 결정 순서

LDD값의 결정을 위하여 조명기구는 여섯 등급으로 분류된다(I ~ VI). 분류를 위해서, 조명기구에 들어 있는 램프의 광학적 중심에 수평선을 긋고, 조명기구를 상부 케이스와 하부 케이스 부분으로 나눈다. 조명기구의 특성을 가장 잘 설명하는 케이스의 특성을 선정한다.

상하부 케이스 특성 중 한 가지만을 이용하여 조명기구의 등급을 결정한다. 상향 광속의 백분율은 조명기구 전체 광속을 100%로 볼 때의 비이다. 상하부 케이스의 특성을 모두 만족하는 유지등급을 선정한다. 한 조명기구가 두 개 이상의 등급을 만족할 경우 작은 숫자의 등급으로 한다.

유지 등급	상부 케이스	하부 케이스
I	1. 상부 케이스 없음	1. 하부 케이스 없음
II	1. 상부 케이스 없음 2. 15% 이상의 광속이 투명/반투명/불투명 상부 케이스의 구멍을 통해 방사됨	1. 하부 케이스 없음 2. 루버 또는 차폐장치 (배플)
III	1. 15% 이하의 광속이 투명/반투명/불투명 상부 케이스의 구멍을 통해 방사됨	1. 하부 케이스 없음 2. 루버 또는 차폐장치
IV	1. 투명/반투명/불투명 상부 케이스 (구멍 없음)	1. 하부 케이스 없음 2. 루버
V	1. 투명/반투명/불투명 상부 케이스 (구멍 없음)	1. 투명/반투명 하부 케이스(구멍 없음)
VI	1. 상부 케이스 없음 2. 투명/반투명/불투명 상부 케이스 (구멍 없음)	1. 투명/반투명/불투명 하부 케이스 (구멍 없음)

2. 조명기구를 사용하는 대기환경 등급(먼지 조건에 따른 다섯 단계)은 다음과 같이 결정된다.

대기 중의 먼지는 인접지역의 대기에서 전달되거나, 조명기구의 근처에서 작업을 하는 경우에 발생된다. 먼지는 부착성, 유인성, 불활성으로 분류되며, 그 발생원은 간헐적이거나 지속적이다. 부착성 먼지는 점착성이 있어 조명기구에 들어 붙는것을 말하며, 유인성 먼지는 정전기에 의해 조명기구에 들어 붙는다. 불활성 먼지는 수직면에 거의 부착되지 않는 반면, 수평면에는 중력이나 공기 유동에 의해 제거되지 않는 한 쌓이므로, 그 퇴적 정도가 면에 따라 다르다. 부착성 먼지로는 음식을 만들 때 발생하는 유지, 기계작동시의 윤활유 증기 입자, 세탁소 등에서의 수증기 입자, 야금 공정이나 도금 탱크에서 발생하는 연무 등을 예로 들 수 있다. 유인성 먼지로는 머리카락, 섬유, 기계작동시 정전기를 띠게된 건조 입자 등이 있다. 불활성 먼지로는 건조 밀가루, 톱밥, 미세한 재 등과 같이 점착성이 없고 전하를 띠지 않는 물질이 있다. 대기 조건을 평가하는데 표 6을 이용한다.

표 6. 대기 환경의 5등급

	매우 청결	청 결	중 간	불 결	매우 불결
작업지역에서 발생된 먼지	없다.	매우 적다.	있으나 심하지 않다.	빨리 쌓인다.	계속 퇴적된다.
인접지역 먼지	없거나 작업지역에 들어오지 않는다.	약간 있거나 작업지역에 거의 들어오지 않는다.	작업지역에 약간 들어온다.	많은 양이 작업지역에 들어온다.	대부분이 작업지역에 들어온다.
제거 또는 필터	매우 좋다.	평균이상	평균이하	환기 팬만을 사용한다.	제거장치 없다.
부 착	없다.	약간 있다.	수개월 후 관찰할 수 있다.	유분, 습기, 정전기 등에 의한 퇴적 가능성이 크다.	매우 많다.
예	생산 공장에서 떨어진 고급 사무실, 실험실, 클린룸	오래된 건물, 생산공장 근처의 사무실, 조립, 검사장	공장 사무실, 종이 가공, 경공업	열발전장소, 고속 인쇄, 고무 가공	불결 장소와 같으나 조명기구에의 오염이 심한 곳

3. 대기환경 등급과 조명기구 유지등급, 조명기구 청소 계획 주기(개월 단위)에 따라 다음 식에서 LDD값을 계산한다

$$LDD = e^{-At^B} \quad (3)$$

이 식에서 A, B의 값은 표 7에서 조명기구 유지등급과 대기환경 등급에 따라 찾아낼 수 있다. t는 청소 주기를 햇수로 표시한 것으로 20개월의 경우 t=1.67(년)로 된다.

표 7. 조명기구 유지등급과 대기환경 등급에 따라 LDD를 계산하기 위한 상수

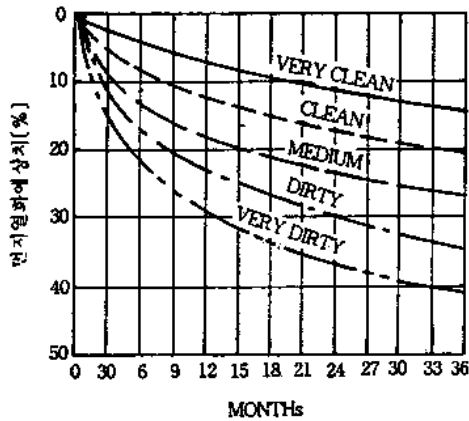
조명기구 유지등급	B	A				
		매우 청결	청 결	중 간	불 결	매우 불결
I	0.69	0.038	0.071	0.111	0.162	0.301
II	0.62	0.033	0.068	0.102	0.147	0.188
III	0.70	0.079	0.106	0.143	0.184	0.236
IV	0.72	0.070	0.131	0.216	0.314	0.452
V	0.53	0.078	0.128	0.190	0.249	0.321
VI	0.88	0.076	0.145	0.218	0.284	0.396

<실내 먼지 열화 요인>

실내면에 먼지가 퇴적하면 반사 광속 및 작업면으로의 상호 반사가 줄어든다. 이를 고려하기 위하여, 표 8을 이용해서 실내면 먼지열화 요인(RSD) 값을 결정한다. 이 값은 다음 순서로 결정된다.

1. 앞서 결정된 대기환경 등급 및 청소 주기에 따라 표 8의 곡선에서 먼지열화 예상치를 찾아낸다. 예를 들어 대기환경 등급이 불결, 청소 주기가 24개월이라면 먼지열화 예상치는 30%로 된다.
2. 먼지열화 예상치, 조명기구의 종류, 방공간비율(RCR)값에 따라 표 8에서 RSD 값을 찾아낸다. 예를 들어 먼지열화 예상치 30%, 직접 조명기구, RCR=4라면 RSD는 0.92로 된다.

표 8. RSD값



RSD값

MONTHs	조명기구형태																			
	직 접				반직접				직접-간접				반간접				간 접			
먼지열화예상치[%]	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
방공간비율																				
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

<램프 수명 요인>

한 제조 공장에서 동일한 방법으로 제조된 램프도 각각 수명이 다르다. 조명 설비에 사용된 램프중 일부가 빨리 수명이 다 되고, 바로 교체되지 않는다면 조도는 그 만큼 낮아진다. 램프 수명 요인(LBO)은 최대 몇 개의 램프가 들어오지 않는 상태를 허용할 지를 결정하였을 때, 전체 램프 갯수에 대한 작동되는 램프 갯수의 비로 정의된다. 즉

$$LBO = \frac{\text{전체 램프 갯수} - \text{작동되지 않는 갯수}}{\text{전체 램프 갯수}} \quad (4)$$

이다.

집단 교체를 실시할 경우에는 교체 시기까지 사용 램프 중에서 얼마만큼이 작동되지 않을지 알기 위해서 제조자의 수명 통계를 참조하여야 한다. 실질적으로, LBO의 값은 조명 서비스 프로그램의 질을 반영한다.

5.5.3 광손실률

광손실률(LLF)의 최종 값은 앞서 계산한 모든 요인들의 값을 곱한 것으로 된다. 만약 어떤 요인의 값을 알 수 없을 때에는 그 값을 1로 한다. 그러나 너무 많은 요인들을 고려하지 않는다면 실질적인 조명의 조도가 너무 낮아질 우려가 있으므로 가능한 한 많은 요인들을 산정하는 노력이 필요하다. 회복 가능 요인의 경우에는 가능한 한 그 값을 선정하여야 한다. 최종적인 LLF값이 너무 작은 경우에는 조명기구를 다른 것으로 바꿀 필요가 있다.

5.6 예제

왕복 6차선의 도로변에 사무실용 고층건물을 건축하려한다. 대표적인 사무실의 크기는 10[m]×12[m]이고 천장높이는 3[m]로서 공조 설비가 되어있다. 사무실에서는 VDT를 이용한 작업을 많이 수행할 예정이므로 글레어를 차단할 필요가 있으며, 반사율은 천장 80%, 벽 60%, 바닥 25%이다. 조명설계를 실시하라.

(1) 설계조도의 선정

KS A3011(조도기준)에 따라 일반 사무실의 조도는 400[lx](300~600[lx])로 추천되고 있다. 주어진 조도범위에서 사무실 거주자의 연령, 작업의 종류, 실내반사율 등을 고려하여 설계조도를 선정한다. 거주자의 연령이 낮을수록, 시각인식의 속도와 정확도가 낮아도 되는 작업일수록, 실내면의 반사율이 높을수록(70%이상) 설계조도는 낮아도 된다. 이 예제에서는 설계조도를 400[lx]로 한다.

(2) 조명기구의 선정

글레어 차단을 위하여 파라볼릭 루버가 있는 펜던트식 2등용 형광등기구(직접-간접식)를 사용하기로 한다. 펜던트식 기구를 사용하는 것은 조명계산의 실례를 보여주기 위한 것으로, 국내에서는 주로 매입형 기구를 사용하고 있으므로 이 때는 천장공간비율을 0으로 하면 된다. 기구의 형태와 배광분포, 이용률은 그림 3과 같고, 천장에서 기구까지의 거리는 0.45[m]이다.

(3) 광원의 선정

에너지 절감을 위하여 새로 개발된 관경 26[mm], 32[W] 백색형광등을 사용하며, 이 형광등의 광속은 2900[lm], 연색평가수는 85이다. 안정기는 2등용 전자식 안정기로서, 소비전력 3[W], 안정기 요인(BF)은 0.95이다. 따라서 기구 전체의 소비전력은 67[W]가 된다.

RCR	$\rho_{\text{ceiling}}=20$							
	$\rho_{\text{ceiling}}=80$			70			50	
	$\rho_{\text{wall}}=70$	50	30	70	50	30	50	30
0	75	75	75	73	73	73	70	70
1	71	69	68	70	68	66	65	64
2	67	64	61	66	63	61	61	59
3	64	59	56	62	58	55	57	54
4	60	55	51	59	54	51	53	50
5	56	50	46	55	50	46	49	45
6	53	47	43	52	46	42	45	42
7	50	43	39	49	43	39	42	38
8	46	39	35	45	39	35	38	35
9	43	36	32	42	36	32	35	31
10	40	33	29	39	33	29	32	28

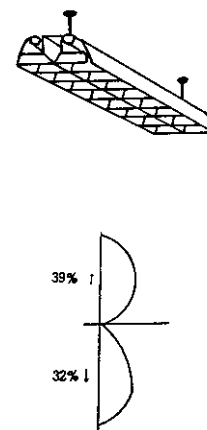


그림 3. 선정된 펜던트식 형광등 기구와 배광분포, 이용률

(4) 공간비율의 계산

천장공간의 높이는 0.45[m]이고, 작업면의 높이가 0.75[m]라면 이 높이가 바닥공간의 높이가 된다. 방공간의 높이는 천장 높이에서 천장공간과 바닥공간의 높이를 뺀 것으로 1.8[m]이다. 따라서

$$\text{방공간비율 } RCR = \frac{5 \times 1.8 \times (10 + 12)}{10 \times 12} = 1.65$$

$$\text{천장공간비율 } CCR = \frac{5 \times 0.45 \times (10 + 12)}{10 \times 12} = 0.41$$

$$\text{바닥공간비율 } FCR = \frac{5 \times 0.75 \times (10 + 12)}{10 \times 12} = 0.69$$

이다.

(5) 유효 천장, 바닥공간 반사율의 산정

ρ_{CC} : 기저반사율(ρ_B)은 천장반사율인 0.8, 벽반사율 0.6, $CCR=0.41$ 이므로 표 1에서 $\rho_{CC}=0.75$ 로 된다.

ρ_{FC} : 기저반사율은 바닥반사율인 0.25, 벽 반사율 0.6, $FCR=0.69$ 이며 표 1에서는 이 ρ_B 와 FCR 값에 해당하는 값이 없으므로 기저반사율 0.3, 0.2, FCR 이 0.6, 0.8일때의 값을 읽어 내고 보간을 행한다. 이 경우 ρ_B 와 FCR 의 값에 대하여 보간을 행하여야 하며 ρ_B 에 대한 보간을 먼저 행한다. 소수점아래 세째 자리에서 반올림하여 $\rho_{FC} = 0.25$ 로 한다.

(6) 이용률의 산정

선정한 조명기구의 이용률 표에서 해당 ρ_{CC} , ρ_W , RCR 에 따른 이용률 값을 찾아낸다. 이 예제에서 $\rho_{CC}=0.75$, $\rho_W =0.60$, $RCR=1.65$ 이나, 이용률 표에서는 이에 해당하는 정확한 값을 갖고 있지 않으므로, 그 부근의 값을 읽고 ρ_W, ρ_{CC} , RCR 의 순으로 보간을 행하면 CU 는 0.67로 된다.

이 이용률표는 $\rho_{FC}=0.2$ 인 경우의 값들이고, 이 예제에서 $\rho_{FC}=0.25$ 이므로 보정을 행해 주어야 한다. 표 3에는 ρ_{FC} , ρ_W , RCR 값에 따라 CU 값에 곱해주는 보정계수가 나와 있다. $\rho_{FC}=0.25$ 일때의 보정계수는 나와있지 않으므로 $\rho_{FC}=0.3$ 일때의 보정계수를 읽고 ρ_W 와 RCR 에 대한 보간을 행하면 보정계수의 값은 1.073이다. $\rho_{FC}=0.2$ 일때의 보정계수는 1이고(즉 보정할 필요가 없다), $\rho_{FC}=0.3$ 일때의 보정계수는 1.073이므로, 중간값을 취하여 보정계수 1.037로 한다. 이 값을 앞서 구한 CU 값에 곱하여 최종 CU 값을 얻는다. 즉

$$CU = 0.67 \times 1.037 = 0.69$$

로 된다.

(7) 광손실률의 산정

회복 불가능 요인 중 안정기요인(BF)은 안정기 제조자가 제공한 값에 따라 0.95로 하고, 다른 요인의 값들은 모두 1로 한다.

회복가능한 요인의 산정은 다음과 같이 한다. 램프 광출력감소(LLD) 요인의 값으로 북미 조명 학회(IESNA)에서는 관경 38[mm], 40[W] 예열시동형 형광등에 대해서 0.82, 20[W] 형광등에 대해서 0.85를 추천하고 있다(한번 켜서 3시간 점등하는 경우). 26[mm], 32[W] 형광등의 경우는 그 개발역사가 짧으므로 추천치가 없으나 10시간 점등의 경우 LLD=0.88을 사용하여 계산하고 있다. 이 값은 형광등 제조기술, 전극구조, 사용안정기의 종류 등에 따라 달라지므로 선정이 어려우며, 국내개발 제품에 대한 장기적 시험이 필요하다. 이 예제에서는 LLD=0.88을 취한다.

조명기구 및 실내면 먼지열화(LDD, RSDD) 요인을 산정하기 위해서는 조명기구의 유지등급 및 사용대기환경의 등급을 먼저 평가하여야 한다. 조명기구는 상향광속이 23.5%로서 15%이상이고, 하부에 루버를 사용하므로 유지등급 II에 속한다. 주변 지역은 대로변으로 먼지가 많이 발생하나 공조장치를 이용하여 제거되고, 작업지역에서의 먼지 발생은 매우 적으므로 대기환경 등급은 청결로 한다. 또한 매년 대청소시에 조명기구도 청소하는 것으로 하여, 청소주기를 12개월(1년)으로 하면 식 (3)에 따라 LDD=0.93이 된다. 표 8에서 먼지열화 예상치는 12%이고, 직접-반직접 조명 기구에 대한 RSDD는 보간을 행하여 0.96으로 한다.

램프교체 방식은 개별 교체로 하면 램프 수명(LBO) 요인은 1로 된다.

광손실률은 이상 산정된 값들을 모두 곱하여 구한다. 즉

$$\begin{aligned} LFF &= BF \times LLD \times RSDD \times LBO \\ &= 0.95 \times 0.88 \times 0.93 \times 0.96 \times 1.0 = 0.75 \end{aligned}$$

이다. LLF의 값이 너무 낮으면 조명기구를 다른 것으로 선정한다.

(8) 조도 계산

위의 사무실에 400[lx]의 조도를 제공하기 위하여 필요한 조명기구의 갯수는

$$\begin{aligned} \text{조명기구 갯수} &= \frac{(\text{설계조도}) \times (\text{방의 면적})}{(\text{기구당 총광속}) \times (\text{CU}) \times (\text{LLF})} \\ &= \frac{400 \times 120}{5800 \times 0.69 \times 0.75} \\ &\approx 16 \text{ [개]} \end{aligned}$$

산출된 조명기구 갯수가 실내에 적절히 배치하기 어려운 숫자일 경우에는 조명기구 간격기준, 방의 높이, 크기 등을 고려하여 적당한 갯수로 바꾸고 이 갯수에 의한 평균조도를 새로 계산한다.

이 예제의 계산 순서 및 결과를 도표로 정리한 것은 다음과 같다. 평균조도 계산표는 특정 형태의 방에 대한 조명설계를 실시할 때에 빈 칸에 필요한 정보를 차례로 집어 넣으면서 순서대로 조명 계산을 실시할 수 있도록 작성된 것이다.

평균조도 계산표

일반적인 정보

프로젝트명 : 가나다 빌딩. 사무실 유형A (10m×12m, 일반사무실)

(건물명, 방번호를 쓸것)

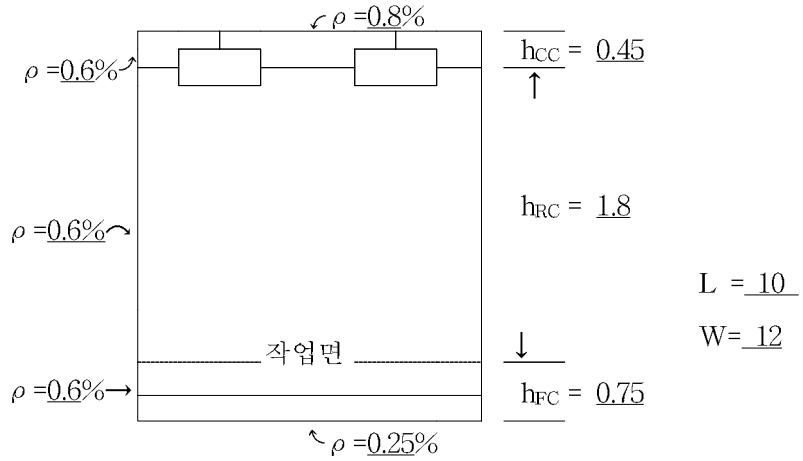
설계 조도 : 400 lux

조명기구 데이터
 제 조 자 : 조명사
 규격번호 : PP40-2
 소비전력 : 67 W

램프데이터
 규격 및 광색 : F32T8W
 기구당 램프수 : 2 개
 기구당 총광속 : 5,800 lm

이용율 선정

순서 1 : 오른쪽 그림의 빈칸을 채운다.



순서 2 : 공간비율을 계산한다.

$$\text{방공간비율, RCR} = \underline{1.65} \left(\frac{5h_{CC}(L+W)}{L \times W} \right)$$

$$\text{천장공간비율, CCR} = \underline{0.14} \left(\frac{5h_{CC}(L+W)}{L \times W} \right)$$

$$\text{바닥공간비율, FCR} = \underline{0.69} \left(\frac{5h_{FC}(L+W)}{L+W} \right)$$

순서 3 : 유효 천장공간 반사율(ρ_{CC})를 계산 한다. $\rho_{CC} = \underline{0.75}$

순서 4 : 유효 바닥공간 반사율(ρ_{FC})를 계산한다. $\rho_{FC} = \underline{0.25}$

순서 5 : 이용률 이용률 표에서 찾아낸다. $CU = \underline{0.69}$

광손실률의 산정

회복 불가능 요인	회복가능 요인
조명기구 주위온도 요인 <u>1.0</u>	실내면 먼지열화 요인(RSDD) <u>0.96</u>
공급전압 요인 <u>1.0</u>	램프 광출력감소 요인(LLD) <u>0.88</u>
안정기 요인 <u>0.95</u>	램프 수명 요인(LBO) <u>1.0</u>
	조명기구 먼지열화 요인(LDD) <u>0.93</u>

광손실률(LLF, 위 요인의 값들을 곱한 값) = 0.75

평균 조도계산

$$\begin{aligned} \text{조명기구갯수} &= \frac{(\text{설계조도}) \times (\text{방의면적})}{(\text{기구당 총 광속}) \times (CU) \times (LLF)} \\ &= \frac{(400) \times (120)}{(5800) \times (0.69) \times (0.75)} = (16) \text{ 개} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{평균조도} &= \frac{(\text{조명기구 갯수}) \times (\text{기구당 총 광속}) \times (CU) \times (LLF)}{(\text{방의 면적})} \\ &= \frac{(16) \times (5800) \times (0.69) \times (0.75)}{(120)} = (400) \text{ lx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{단위면적당소비전력} &= \frac{(\text{조명기구 갯수}) \times (\text{조명기구 소비전력})}{(\text{방의 면적})} \\ &= \frac{(16) \times (67)}{(120)} = (8.93) \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

설계자: 홍길동 설계일: 1996 년 1 월 일