

각종 Glare 규정에 따른 실내조명상황의 비교분석

(Comparison of the Interior Lighting Environment Considering Glare Calculations)

허남돈* · 한종성 · 김훈

(Nam-Don Hur · Jong-Sung Han · Hoon Kim)

요 약

실내의 조명상황에서 Glare의 문제성을 지적하고, 실제로 공간내 조명기구로부터의 Glare를 평가하였다. 정해진 위치에서 공간을 바라봤을 때, 시야에 들어오는 광원들에 의한 직접 Glare를 각종 Glare 규정에 따라 평가를 하였으며, 상호 비교분석도 하였다. 특히, KS에서 조명기구에 대한 최대 휘도를 제한하는 G분류의 적합성을 상호 분석함으로써 그 결과를 살펴보고자 하였으며, 현 KS의 G분류의 개선점이나 보완점을 지적하고자 한다.

1. 서 론

Glare는 시야 내의 휘도가 높은 광원 또는 반사물체의 빛이 눈에 들어와 대상을 어렵거나 눈부심으로 불편감을 느끼는 상태를 말하며, 휘도가 높은 물체가 직접 시야에 들어올 때 발생하는 직접글레어와 광택이 있는 표면에 비친 고휘도체의 상에 의해 발생하는 간접글레어가 있다. 사무공간에서는 광택이 있는 종이에 쓰여진 문자나 인쇄물 또는 VDT화면에 비친 조명기구의 휘도가 VDT화면의 휘도보다 큰 경우에 시작업 능력이 떨어지는 반사Glare도 문제가 되고 있다.

직접Glare는 불능Glare 및 불쾌Glare로 나눌 수 있는데, 보통 실내에서 문제가 되며, 먼저 지각이 일어나는 것은 불쾌Glare이다. 따라서, 이에 대한 등급과 불쾌 정도, 그리고 대책 등을 따로 마련해 두지 않으면 안된다.

Glare를 방지하기 위해서는 관측자 방향의 휘도를 낮추거나 시야 전체의 휘도를 높여 그 물체와의 휘도차를 작게 한다. 또한 광막반사를 일으킬 가능성이 있는 반사광이 눈에 들어오지 않게 하기 위해서는 조명기구를 작업면의 뒤쪽이나 측면에 배치한다. 사무실의 경우에는 적어도 매입 하면개방형기구를 채택하고, 보다 Glare 제한을 잘 하기 위해서는 유백색커버, 금속루버, 프리즘커버가 있는 조명기구를 사용하는 것이 좋다.

Glare 규정에 대해서는 KS의 G분류가 있기는 하나, 그 적합성 내지는 합리성이 확인되지 못하였다.

더욱이 국내 실정을 고려한 보다 명백한 데이터나 이론적 배경이 부족한 상태이다. 따라서 국외의 각종 Glare 규정을 자세히 살펴보고, KS의 G분류와 비교함으로써 개선점이나 나아갈 방향을 찾고자 한다.

2. Discomfort Glare의 평가법

일반적으로 불편글레어(Discomfort Glare)는 각각의 독립된 광원들로부터 일어나며, 이와 관계하여 다음과 같은 4개의 주요 변수들을 갖는다 :

L_s - 관찰자의 시야에서의 광원 휘도

ω - 광원의 관찰자 눈에 대한 입체각

θ - 관찰자의 시선으로부터 광원의 위치(angular) 변수

L_f - 관찰자의 순응레벨을 조정하는 전체 시야 휘도

불쾌글레어는 관찰자의 주관적인 지각이므로 상대적인 값으로서 표현되며, 따라서 위의 변수들을 일반적인 관계식으로 다시 표현하면 다음과 같다 :

$$G = \frac{L_s^a \cdot \omega^b}{L_f^c \cdot f(\theta)} \quad (1)$$

G는 글레어 경계점에서 주관적인 지각을 나타내는 글레어 상수이며, 범위는 숫자로서 표시된다. a, b 및 c는 적당한 값으로 표시되며, $f(\theta)$ 는 수직각 및 방위각의 구성으로 각각의 광원의 위치를 나타낸다.[1]

이를 바탕으로, 영국에서는 불편글레어 분류를 위해 Glare Index System으로 알려진 CIBSE(The Chartered Institution of Building Service Engineers) system을

제공해 오고 있다. CIE에서는 이를 약간 변형한 형태로서 UGR System를 추천하고 있으며, 한편으로는 UGR과는 다른, CIE Glare Index를 소개하고 있기도 하다. 또한 IESNA에서는 광원에 의한 불쾌글레어를 양적으로 보다 쉽게 계산해 내기 위해 관찰자들 중 몇 %정도가 주어진 시야환경에서 'Visual comfort'를 경험하는가의 개념으로 접근하고 있다. 한편, KS에서도 G분류로서 조명기구의 눈부심을 제한하고 있다.

2.1 CIBSE의 Glare Index, GI

Glare Index System에서 광원으로부터의 Glare는 다음과 같이 나타낸다. :

$$\text{Discomfort Glare, } G = \frac{L_s^{1.6} \times \omega^{0.8}}{L_B \times p^{1.6}} \times 0.478 \quad (2)$$

L_s : 광원의 휘도

L_B : 배경의 평균휘도

ω : 광원의 각(angular) 크기

p : 글레어를 발생시키는 광원의 위치를 나타내는 Position Index

Position Index는 공간내 각 광원의 글레어를 보다 쉽게 계산하기 위해 도입한 것인데, 다음의 식에서 바로 구할 수 있다 :

$$\ln p = \left(-\frac{317}{9} - \frac{287}{900} \tau - \frac{11}{9} \epsilon^{-2\tau/9} \right) 10^{-3} \sigma + \left(21 + \frac{4}{15} \tau - \frac{2}{675} \tau^2 \right) 10^{-5} \sigma^3$$

$$\tau = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{H} \right) \quad \sigma = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{H^2 + Y^2}}{X} \right) \quad (4)$$

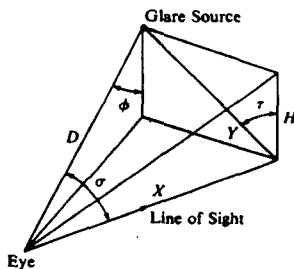


그림 1. Position Index를 계산하기 위한 배치도

여기서는 다음과 같은 기준과 가정을 두고 계산한다 :

1. 광원에 의한 전체 Glare는 각 광원의 Glare를 합산함으로써 구해진다. 따라서 ω 에 따른 각 광원의 휘도의 합은 L_s 로서 표현될 수 있다.
2. 시선의 방향은 공간내 수평을 유지하며, 바닥에서 1.2m 위에 위치한다.
3. 공간은 직사각형의 형태를 가지며, 조명기구는 규칙적으로 나열되어 있다.[2]

여기서 공간내 설치되어 있는 모든 조명기구들에 대한 Glare Index는 다음과 같이 구해진다 :

$$\text{Glare Index, } GI = 10 \log_{10} \left[\frac{0.239}{L_b} \sum \frac{L_s^{1.6} \omega^{0.8}}{p^{1.6}} \right] \quad (5)$$

\sum 은 관찰자의 시야내에 들어오는 모든 조명기구에 대해 행한다.[3]

2.2 CIE의 Unified Glare Rating, UGR

식(3)을 약간 변형한 형태로서, CIE에서는 다음의 식을 추천하고 있다 :

$$\text{Unified Glare Rating, UGR} = 8 \log \frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \quad (6)$$

L_b : 조명기구의 휘도를 포함하지 않은 시야휘도

식(3)과 달리, 공간내의 ω 가 서로 같기 때문에 설치된 조명기구의 개수와는 상관없이 Glare를 계산할 수 있다.

$0.0003 \leq \omega \leq 0.4$ 에 해당하는 공간내에서만 위 식을 적용시킬 수 있으며, UGR의 값은 5~30까지의 범위를 갖는데, 값이 높을수록 불쾌글레어가 커지는 것을 의미한다.

CIBSE 및 IESNA에서도 UGR를 적용시킬 것으로 보인다.[4]

2.3 IESNA의 Visual Comfort Provability, VCP

여기에서 사용되는 변수들 역시, 크게 다르지 않는데, 불쾌글레어를 만들어내어, 시각적으로 불편함을 느끼도록 관여하는 주요 5가지 변수들은 시야휘도(F), 각 글레어 광원의 Position Index(P), 시각적 크기(ω) 및 휘도(L), 그리고 글레어 광원의 개수이다.

시야휘도(Field Luminance)는 다음과 같이 구할 수 있다 :

$$F = \frac{L_w \omega_w + L_f \omega_f + L_c \omega_c + \sum L_s \omega_s}{5}$$

ω , f , 눈 각각 벽, 바닥, 천장을 나타내기 위해 사용되었으며, 분모의 5는 전체시야를 $5sr$ (약 78°)으로 잡았기 때문이다.

다른 Glare Index들과 마찬가지로, 하나의 광원에 대한 Glare 지각으로부터 식을 전개해 나간다 :

$$M = \frac{0.5LQ}{PF^{0.44}} \quad (8)$$

Q 를 정의함으로써 공간내 조명기구 위치에 대한 Glare 효과를 계산해 낸다 :

$$Q = 20.4\omega + 1.52\omega^{0.2} - 0.075 \quad (9)$$

각각의 광원에 대한 Glare 지각 M 의 합으로부터 전체 불쾌글레어 등급을 정의한다 :

$$DGR = (M_i)^a \quad (10)$$

a 는 Glare 광원의 개수와 의 함수임을 나타낸다. M 과 DGR 의 값들이 커지면, 불쾌함이 더 커지는 것을 의미한다. 여기서, VCP 를 DGR 과의 상관관계 속에서 구할 수 있다.[5] :

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^K \epsilon^{-k^2/2} dk \quad (11)$$

$$K = 6.374 - 1.3227 \ln DGR \quad (12)$$

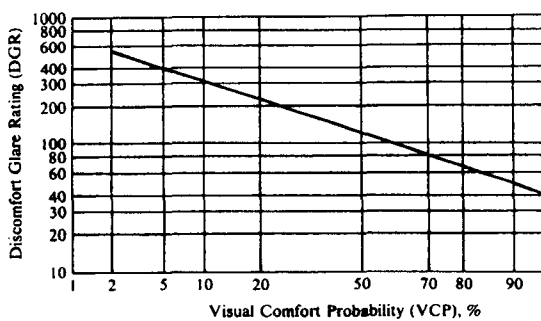


그림 2 VCP와 DGR의 관계

아래의 표는 주어진 DGR 과 VCP 값에 대한 Glare 지각정도를 나타낸 표이다.

표 1. DGR과 VCP 값의 의미

Glare description	DGR	VCP
Unnoticeable	35	95
Perceptible	50	87
Acceptable	65	75
Distracting	90	64
BCD	120	50
Barely uncomfortable	160	34
Perceptibly uncomfortable	220	20
Uncomfortable	300	11
Intolerable	400	5

2.4 CIE의 Glare System

CIE의 Glare System에서는 공간내 추천조도에 따른 등급(A-E)과 함께 휘도 제한곡선을 제공하는데, 조명기구의 발광면과 방향에 따라 두 가지의 휘도 Diagram을 제시하고 있다.

이 Glare System의 적용은 다음절의 Glare 평가 항목에서 살펴보기로 한다.

3. 각종 규정에 따른 Glare 평가

각 규정에 따른 Glare 평가를 하기에 앞서, 먼저 조명기구의 선정이 필요하다. 이에 KS의 G분류에 따른 G1, G2 및 G3를 선택하도록 한다 :

- G1 : 투광성 커버, 루버 등에 의해 눈부심을 제한한 기구
- G2 : 수평 방향에서 램프를 볼 수 없도록 눈부심을 제한한 기구
- G3 : 눈부심을 제한하지 않는 기구

3.1 표준 실내공간 선정

공간내 조명기구 Glare 평가를 하기 위해선, 먼저 실내공간을 표준화해야 할 필요가 있는데, 우선 공간적 치수는 사무공간의 치수유형 중에 하나인 6~8명이 근무할 수 있는 $9 \times 12 \times 2.7$ [m]로 한다.

작업면의 평균조도 및 조도균제도를 고려해서 조명기구의 배열을 해야하므로, 사무공간의 경우, 평균조도 300 [lx]이상, 조도균제도 0.6이상을 달성하도록 하며, 공간을 구성하는 천장, 벽, 바닥면의 반사율은 각각 0.8, 0.5, 0.2로 설정한다. 이에 따른 설치 간격비는 1.42이다.

조명기구는 사무실에서 가장 많이 사용하고 있는 2등용 T8 형광등기구로 한다.

다음은 위의 조건에 따라 Lumen Micro로 공간을 simulation 한 결과이다. 수평면 조도는 작업면의 높이

인 0.85 [m]에서 측정하였으며, 시점의 위치는 4.5×1.2×1.2 [m]이다. 이는 GI 및 VCP에서 공간내 Glare 측정을 위해 제시된 위치이다.

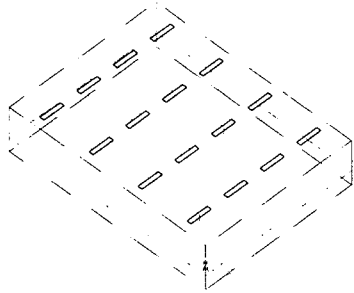


그림 3. Lumen Micro를 이용한 표준실내공간의 계산 예

표 2. 표준실내공간에서의 조명상황 계산 결과

		G1	G2	G3
평균 조도 [lx]		325.9	722.7	2190
관제도(E _v /E _a)		0.66	0.64	0.63
천장 조도		76.28	170.9	502.4
바닥면 조도		284.9	628.5	1906
벽면 조도	정면	179.2	375	1136
	왼쪽	153.3	361.1	1010
	오른쪽	155.7	379	1028.2

3.2 공통변수 계산

각각의 규정들을 살펴보면, 공통의 변수들이 있는데, L_s(광원의 휘도), ω(입체각), L_B(배경휘도) 또는 F(시야휘도), p(Position Index) 등이다. 이를 먼저 계산하도록 한다.

아래 그림은 p를 계산하기 위해 각 조명기구의 공간내 좌표를 표시한 것이다. 맨 왼쪽 아래의 조명기구가 Position 1이 되며, 맨 오른쪽 위의 조명기구가 Position

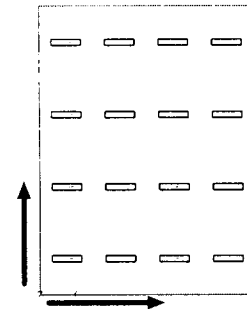


그림 4. 조명기구 배치도

식 (3)에 의해 p를 계산한 결과는 다음과 같다.

표 3. P값의 계산결과

P1	21.780	P10	1.587
P2	38.590	P11	1.587
P3	38.590	P12	1.948
P4	21.780	P13	1.533
P5	3.597	P14	1.353
P6	2.532	P15	1.353
P7	2.532	P16	1.533
P8	3.597		
P9	1.948		

다음은 각 조명기구에 대한 겉보기 면적 및 ω을 구한 것이다. G1 및 G2는 매입형으로서, 취부면적이 0.25×1.25 [m]이며, G3는 노출형으로서, 취부면적 0.16에 cos45°를 곱해 준다.

겉보기 면적 및 ω을 구하기 위한 식은 다음과 같다 :

$$A_p = A \cos \phi = A \frac{H}{\sqrt{H^2 + X^2 + Y^2}} \quad (13)$$

$$\omega = \frac{A_p}{H^2 + X^2 + Y^2} \quad (14)$$

표 4. 걸보기 면적과 입체각의 계산 결과

	G1 및 G2	G3		G1 및 G2	G3
A1, ω_1	0.127, 0.01	0.092, 0.007	A9, ω_9	0.064, 0.001	0.047, 0.001
A2, ω_2	0.247, 0.07	0.179, 0.050	A10, ω_{10}	0.071, 0.002	0.052, 0.001
A3, ω_3	0.247, 0.07	0.179, 0.050	A11, ω_{11}	0.071, 0.002	0.052, 0.001
A4, ω_4	0.127, 0.01	0.092, 0.007	A12, ω_{12}	0.064, 0.001	0.047, 0.001
A5, ω_5	0.095, 0.004	0.068, 0.003	A13, ω_{13}	0.047, 0.0005	0.034, 0.0003
A6, ω_6	0.124, 0.009	0.089, 0.006	A14, ω_{14}	0.049, 0.0005	0.035, 0.0004
A7, ω_7	0.124, 0.009	0.089, 0.006	A15, ω_{15}	0.049, 0.0005	0.035, 0.0004
A8, ω_8	0.095, 0.004	0.068, 0.003	A16, ω_{16}	0.047, 0.0005	0.034, 0.0003

다음은 L_s 를 구한 것이다. 여기서, 각각에 위치한 조명기구에서 관찰자로의 광도를 구하기 위해, 연직각 및 방위각을 구해야 한다, 이를 통해, IES File 상의 광도값을 읽는다.

연직각 및 방위각을 구하는 식은 다음과 같다 :

$$\text{연직각} = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{H}\right) \quad (15)$$

$$\text{방위각} = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (16)$$

표 5. 광원휘도의 계산 결과

	G1	G2	G3		G1	G2	G3
Ls1	2717	5823	26087	Ls9	2344	7219	22021
Ls2	3379	5891	27961	Ls10	1655	6560	15788
Ls3	3379	5891	27961	Ls11	1655	6560	15788
Ls4	2717	5823	26087	Ls12	2344	7219	22021
Ls5	2537	6979	24868	Ls13	1734	4612	15853
Ls6	2325	7149	21096	Ls14	1602	6582	16086
Ls7	2325	7149	21096	Ls15	1602	6582	16086
Ls8	2537	6979	24868	Ls16	1734	4612	15853

다음은 배경휘도를 구한 것인데, 천장면, 바닥면 및 벽면의 평균조도를 측정된 것으로부터 구할 수 있다.

$$E = \frac{\pi \cdot L_B}{\beta_b} \quad (17)$$

식 (7)을 이용하여 구한다. 여기서, 각 면에 대한 입체각은 식 (13) 및 (14)를 통해서 각 면에 대해 똑같이 적용하여 구하면 된다.

표 6. 배경휘도 계산 결과

	G1	G2	G3
Lc	19.42	43.52	127.94
Lf	18.14	40.01	121.34
Lw	77.68	177.47	505.19
Lb	149.45	339.56	976.05

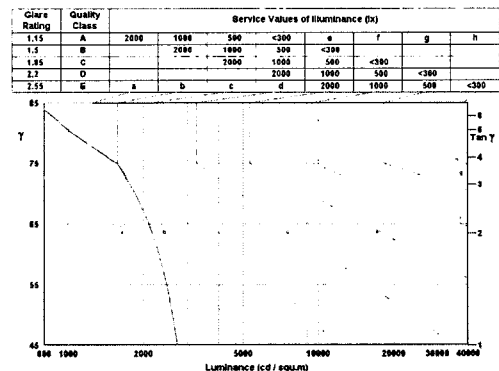
다음은 GI 를 구한 것이다. 식 (5)를 이용하여 된다.

표 7. 계산된 GI 값

	G1	G2	G3
GI	10.2	16.36	19.30

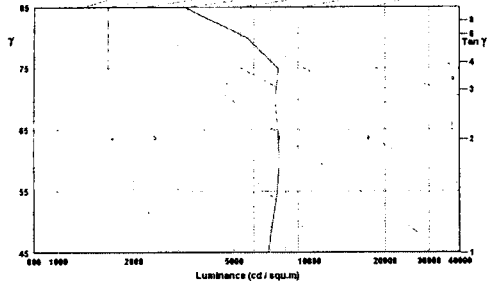
마지막으로 CIE의 Glare Diagram을 이용하여 각각의 결과를 살펴본 것이다.

표 8. (a) G1, (b) G2, (c) G3 조명기구의 Glare Diagram



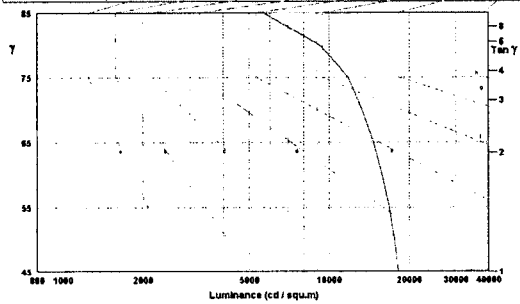
(a)

Glare Rating	Quality Class	Service Values of Illuminance (lx)							
		2000	1000	500	<300	a	f	g	h
1.15	A	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
1.3	B	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
1.85	C	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
2.2	D	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
2.55	E	a	b	c	d	2000	1000	500	<300



(b)

Glare Rating	Quality Class	Service Values of Illuminance (lx)							
		2000	1000	500	<300	a	f	g	h
1.15	A	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
1.3	B	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
1.85	C	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
2.2	D	2000	1000	500	<300	a	f	g	h
2.55	E	a	b	c	d	2000	1000	500	<300



(c)

4. 결론

각종 Glare 규정 중에 가장 기본이 되는 GI를 직접 계산하여 그 결과를 알아보았다. 그 결과로서, KS의 G1에 해당되는 경우에는 사무실 또는 도서관, G2에 해당되는 경우에는 사무나 학업을 위한 활동이 아닌 장소에, G3에 해당되는 경우에는 약간은 거친 작업을 하는 장소에 적합한 것으로 나왔다.

이렇게 KS의 G분류에 의해 조명기구를 세 type으로 각각 선정하여, 그 결과를 GI 및 CIE Glare System으로 비교해 보았다. GI는 확실한 이론적 배경과 경험으로 이와 같은 결과를 유도해 냈으며, CIE Glare System는 사용자 입장에서 쉽게 휘도 및 Glare의 개념을 이해하도록 하고 있다.

보다 쾌적한 실내 조명환경을 요구하는 사람들 입장에서, 위의 GI나 CIE Glare System 등으로 좀더 이해를 도모할 수 있을 것이다. 반면, KS의 G분류

는 조명기구와 해당 제한 휘도치만을 명시했을 뿐, 아무런 정보를 주고 있지 못하다. 따라서, 좀더 사용자 입장에서 보기에 이해가 쉽고, 많은 정보를 담고 있는 규정을 기대해 본다.

참고 문헌

- [1] David C Pritchard, "Lighting" Forth Edition
- [2] Josep B. Murdoch, "Illumination Engineering"
- [3] J. R. Coaton and A. M. Marsden, "Lamps and Lighting"
- [4] "Guide on Interior Lighting", Second Edition, Publication CIE No 29.2(1986)
- [5] "Discomfort Glare in the Interior Working Environment" Publication CIE No 55 (TC-3.4) 1983