대광원의 상하부 휘도차가 불쾌글레어 평가에 미치는 영향

Effect of Luminance Difference on Discomfort Glare from a Large Glare Source with Non-uniform Luminance

김 원 우* 김 정 태**
Kim, Wonwoo Kim, Jeong Tai

Abstract

Discomfort glare from windows is an important issue in window and daylighting design. This study aims to investigate the effect of luminance difference between the lower and the upper part of a large glare source. Experiments were conducted using a luminous body divided into two parts, the upper part and the lower part. The degree of discomfort glare from the luminous body was examined. The result shows that the part with lower luminance is perceived as a glare source when the part has higher luminance then the background luminance. The degree of discomfort glare was estimated for the experimental conditions, and compared to the observations. The estimation was made using two methods: one summed the glare sensation for each section, and the other used the average luminance of the whole luminous body. The result of the comparison shows that the method using the average luminance has approximate values to the observations. Consequently, the use of the average luminance was proposed for evaluation of discomfort glare from non-uniform large glare sources.

키워드: 불쾌글레어, 평균 휘도, 불균일 휘도, 글레어 광원
Keywords: Discomfort glare, Average luminance, Non-uiform luminance, Glare source

1. 서 론

일반적으로 채광창의 휘도분포는 불균일하다. 채광창을 통해서 보이는 천공과 지물의 휘도가 다르고 천공자체의 휘도분포도 감각적으로 불균일하다[1].

채광창으로부터 발생하는 불쾌글레어를 평가하기 위한 기존의 DGI평가법[2], PGSV평가법[3] 등은 균일휘도의 대광원을 사용하여 얻은 실험데이터를 근거로 만들어졌다. 따라서 이들 평가법을 불균일한 휘도분포를 갖는 대광원에 그대로 적용할 수 있는지는 명확하지 않다.

기존의 평가법을 무리하게 응용하여 채광창의 불쾌글레어를 평가하고자 할 때에도 문제점이 발생한다. 우선적으로 글레어 광원을 한정할 방법이 없다. 예를 들어, 채광창을 통해서 보이는 지물의 휘도가 천공의 휘도에 비하여 현저히 낮을 경우, 지물을 단지 채광창 안에서 보인다는 이유만으로 글레어광원이라 할 수는 없다. 또한 지물의 휘도가 천공의 휘도보다 높은 경우도 있으므로 천공만을 글레어광원이라 할 수도 없다 (DGI평가법에서는 천공만을 글레어광원으로 취급한다).

채광창으로부터의 불쾌글레어를 평가할 때, 기존 평가법들은 글레어광원을 한정할 수 있는 방법이 없기 때문에, 같은 조건의 채광창이라도 평가자에 따라 평가값이 다를 우려가 있다. 이러한 우려를 없애기 위해서는 채광창에서 글레어광원을 한정 지을 수 있는 방법을 명확히 할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 불균일한 휘도분포를 갖는 대광원에서 글레어광원을 선별하는 방법을 제안하는 것이다. 선행연구[4]에서 불균일한 대광원의 좌우 휘도차가 불쾌글레어감에 미치는 영향을 검토하였다. 본 연구에서는 불균일한 대광원의 상하 휘도차가 불쾌글레어감에 미치는 영향을 실험을 통하여 검토하고, 대광원에서 글레어광원의 선별방법을 모색한다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

실험은 대광원의 상하 휘도차에 따른 불쾌글레어감의 변화를 측정하였다. 실험은 경희대학교 채광조명실험실의 인공천공돔 안에서 진행되었다. 인공천공돔은 직경6m, 높이 3.7m의 반구형의 형태를 지니고 있으며 자체 제작한 것이다.

인공천공돔 내부에 글레어 광원으로써 모형창을 설치하였다. 모형창은 120cm×120cm의 사각형 형태를 지니고 있

* 경희대학교 박사후 연구원
** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 교수 (jtkim@khu.ac.kr)

고 내부에는 100W 백열전구 196개가 설치되어 있다. 그림 1은 실험에 사용한 모형창을 보여주고 있다. 내부 면에는 반사율 98%의 반사재가 부착되어 있고 전면은 5m 투명유리가 부착되어 있다. 모형창의 위쪽과 아래쪽에는 각각 5개의 환기팬이 장착되어 있고 오른쪽에는 모형창의 휘도를 조절할 수 있는 14개의 디머가 장착되어있다. 그림 2는 인공천공돔 안에서 실험하고 있는 광경을 보여주고 있다.

창면에 불균일한 휘도분포를 만들기 위하여 창면을 상하로 2분할하고 서로 다른 휘도를 설정하였다. 창면의 휘도조절은 창 전면에 한지와 모조지를 씌우고 그 매수를 조정함으로써 이루었다.

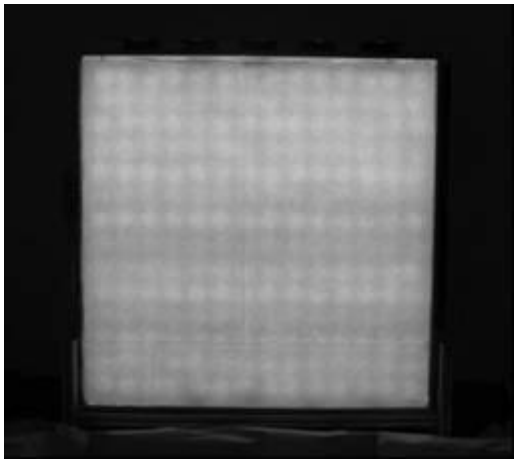


그림 1. 모형창

그림 2. 실험모습

2.2 실험조건

관찰자에게 제시된 실험조건은 모형창의 분할조건, 휘도조건, 크기조건을 합하여 총 42조건이었다. 창면의 분할조건은 2가지로 설정하였다. 즉, 창면을 상부면적과 하부면적이 1:1이 되도록 대칭 분할한 경우(천공이 창면의 1/2을 점유하고 있음을 가정)와, 1:2가 되도록 비대칭 분할한 경우(천공이 창면의 1/3를 점유하고 있음을 가정)를 설정하였다. 그림 3에 모형창의 분할상태를 나타낸다. 여기서 기준면은 고휘도 부분이고 비교면은 저휘도 부분이다.

모형창의 기준면과 비교면의 휘도를 조절하여 36가지의 휘도조건(대칭 분할의 경우 18조건과 비대칭 분할의 경우 18조건)을 만들었다. 표 1에 불균일 창면을 만들기 위해 설정한 휘도조건을 나타낸다. 관찰지점은 모형창 으로부터 1.5m 거리에 설정하였다. 표에서 휘도비는 비교면휘도/기준면휘도 이고, 수직면 조도는 관찰자의 눈의 위치에서 측정한 값이다.

균일한 휘도를 갖는 모형창의 휘도변화와 크기변화에 따른 불쾌글레어감을 측정하였다. 모형창 전체의 휘도가 4050 cd/㎡, 8290 cd/㎡, 17200 cd/㎡로 균일한 경우(모형창의 상하부 휘도가 같을 경우), 각각에 대하여 모형창으로부터 1m, 1.5m, 3m 거리에서 불쾌글레어감을 측정하였다. 표 2에 균일한 휘도를 갖는 모형창의 휘도조건과 크기조건을 나타낸다. 표 2의 9조건 중 관측거리 1.5m의 3조건은 표 1과 중복된다.

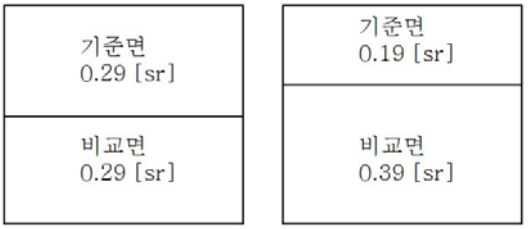


그림3. 창면의 분할조건

표1. 불균일한 창면의 분할조건 및 휘도조건 (36조건)

분할 조건	기준면 휘도 [cd/m²]	비교면 휘도 [cd/m²]	휘도비 [-]	배경휘도 [cd/m²]	주직면 조도 [lx]
대칭분할 (상하 1:1)	4,080	4,080	1.00	149	1,645
		3,300	0.81	130	1,438
		2,370	0.58	117	1,237
		1,720	0.42	109	1,143
		840	0.21	98	966
		110	0.03	88	885
	8,290	8,290	1.00	191	3,792
		6,100	0.74	172	2,725
		4,560	0.55	148	2,395
		3,140	0.38	129	2,180
		1,520	0.18	127	1,815
		130	0.02	109	1,317
	17,200	17,200	1.00	420	6,407
		12,230	0.71	417	5,395
		8,240	0.48	362	4,640
		6,130	0.36	344	4,165
		4,570	0.27	330	3,570
		250	0.01	280	3,215
비대칭 분할 (상하 1:2)	4,080	4,080	1.00	149	1,645
		3,300	0.81	130	1,311
		2,370	0.58	117	1,104
		1,720	0.42	109	927
		840	0.21	98	755
		110	0.03	88	620
	8,290	8,290	1.00	191	3,792
		6,100	0.74	166	2,425
		4,560	0.55	140	1,926

		3,140	0.38	137	1,656
		1,520	0.18	125	1,244
		130	0.02	115	963
	17,200	17,200	1.00	390	6,407
		12,230	0.71	383	5,425
		8,240	0.48	334	4,405
		6,130	0.36	308	3,645
		4,570	0.27	281	2,630
		250	0.01	262	1,925

표 2. 균일한 창면의 휘도조건과 크기조건

창면휘도 [cd/m^2]	관찰거리 [m]	크기 [sr]	배경휘도 [cd/m^2]	수직면조도 [lx]
4,080	1.0	1.18	149	2,455
	1.5	0.58	149	1,645
	3.0	0.16	149	819
8,290	1.0	1.18	191	7,420
	1.5	0.58	191	3,792
	3.0	0.16	191	2,895
17,200	1.0	1.18	390	9,570
	1.5	0.58	390	6,407
	3.0	0.16	390	3,105

2.3 평가척도

불쾌글레어의 평가에 사용한 척도를 표 3에 나타낸다. 제시된 실험조건에서 발생하는 불쾌글레어의 정도가 척도의 어느 단계에 해당하는가를 판단하도록 했다. 표 3의 주관평가들은 Hopkinson이 사용한 복수척도(multiple criterion scale)[2)]를 번역한 것이다.

표 3. 불쾌글레어의 평가척도

불쾌글레어 등급	주관평가
4	참기 어려운 (just intolerable)
3	불편한 (just uncomfortable)
2	수용 가능한 (just acceptable)
1	지각 가능한 (just perceptible)

2.4 관찰자의 특징

실험에 참가한 관찰자는 경희대학교 채광조명연구실의 대학원생과 건축공학과 학생들이었다. 남자 15명, 여자16명으로 총 31명이었다. 관찰자의 연령은 20~27세이며, 평균연령은 23.9세였다. 안경을 착용한 관찰자는 벗은 상태에서, 콘택트렌즈는 착용한 관찰자는 착용한 상태로 실험에 임하였다.

2.5 실험순서

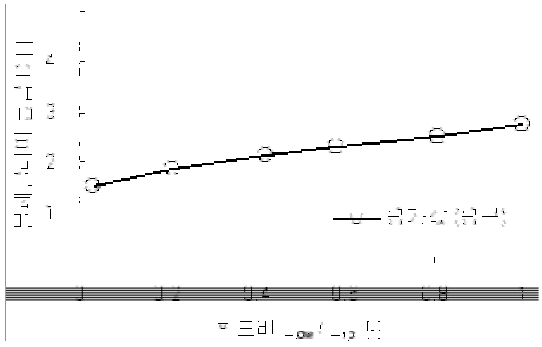
평가에 앞서 관찰자는 인공천공돔의 내부휘도에 눈을 순응시키기 위하여 지정된 책상에서1분간 잡지를 베껴 쓰는 작업을 한다. 작업이 끝나면, 모형창 전면에서 1.5m 거리에 위치한 의자에 착석한다. 실험자는 표 1의 각 실험조건에 해당하는 휘도를 모형창에 설정하고 점등한다. 점등된 상태에서 관찰자는 모형창의 중앙을 보면서 5초 이내에 불쾌글레어의 정도를 평가한다. 또한 1m와 3m의 관찰위치에서 균일한 휘도의 모형창에 대하여 불쾌글레어의 정도를 평가한다.

관찰위치와 창면의 휘도조건은 실험자가 무작위로 제시했다. 평가 중 관찰자는 6-8회의 평가 후 정기적으로 휴식시간을 가졌다. 관찰자 한 사람당 평가에 소요된 시간은 휴식시간을 포함하여 약 30분이었다.

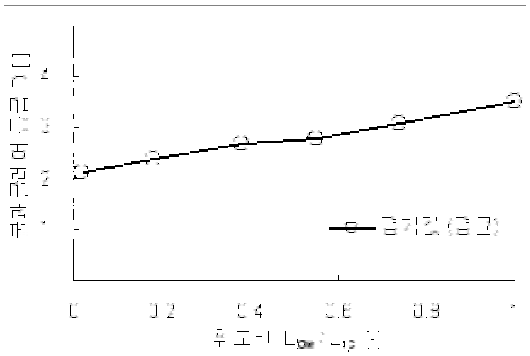
3. 실험결과 및 분석

창면을 대칭 분할한 조건에서의 불쾌글레어 평가값을 그림 4(a), (b), (c)에 나타낸다. 또한 비대칭 분할한 조건에서의 평가값을 그림 4(d), (e), (f)에 나타낸다. 그림 중의 실선은 비교면의 휘도변화에 따라 평가값 변화하는 것을 나타낸다. 여기서 평가값은 31명의 평균값이다.

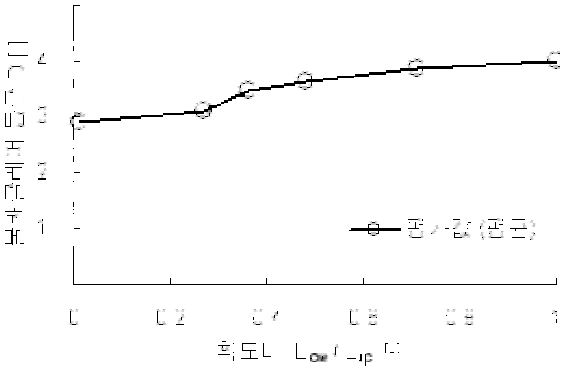
창면을 대칭 분할한 조건과 비대칭 분할한 조건에서, 유사하게 휘도비가 감소함에 따라 불쾌글레어 평가값이 전반적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 창면의 하부휘도가 배경휘도에 근접할 때까지 계속 되었다.



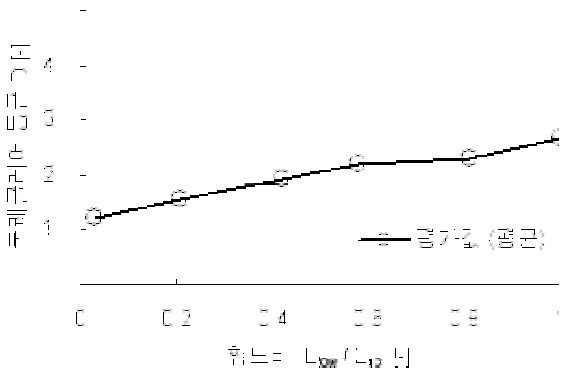
(a) L_{up} : 4,080 cd/m^2



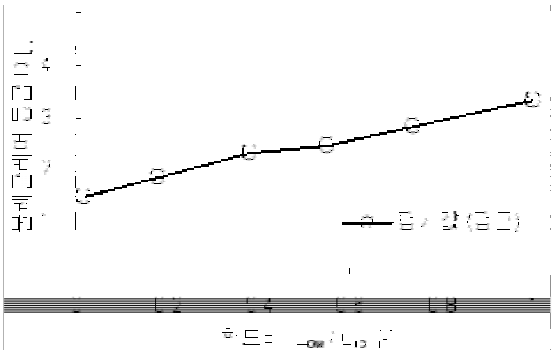
(b) L_{up} : 8,290 cd/m^2



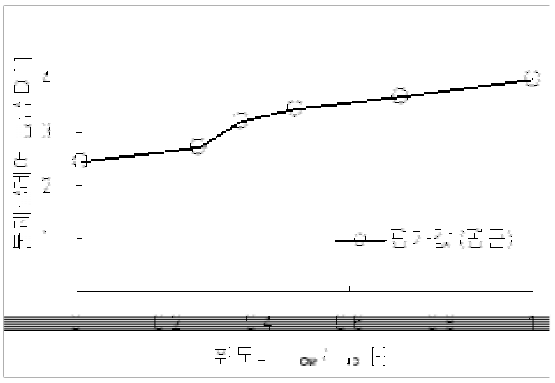
(c) L_{up} : 17,200 cd/m^2



(d) L_{up} : 4,080 cd/m^2



(e) L_{up} : 8,290 cd/m^2



(f) L_{up} : 17,200 cd/m^2

그림 4. 분할면의 휘도비와 평가값의 관계; (a)-(c): 대칭 분할조건, (d)-(f): 비대칭 분할인 조건, L_{low}: 비교면의 휘도, L_{up}: 기준면의 휘도

균일한 휘도분포를 갖는 창면(글레어광원)의 휘도와 크기조건(표 2)에 대응하는 관찰자의 평가값 (31명의 평균)을 그림 5와 그림 6에 각각 나타낸다. 그림 중의 실선은 평가값의 회귀선이다. 글레어광원 크기의 대수값과 관찰자의 평가값은 선형비례관계를 나타내고 있다.

그림 5에서 글레어광원의 크기별로 표시된 회귀선의 평균기울기는 2.13이다. 즉, 글레어광원의 휘도가 대수값 1 줄어들 때, 불쾌글레어는 2.13등급 줄어든다. 또한 그림 6에서 글레어광원의 휘도별로 표시된 회귀선의 평균기울기는 1.06이다. 즉, 글레어광원의 크기가 대수값 1 줄어들 때, 불쾌글레어는 1.06등급 줄어든다.

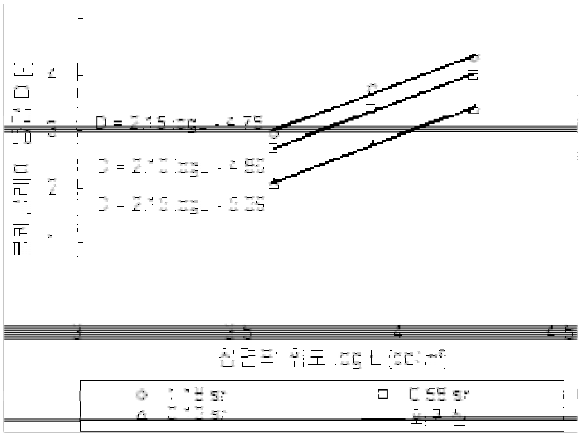


그림5. 균일한 창면의 휘도변화에 따른 불쾌글레어의 등급변화

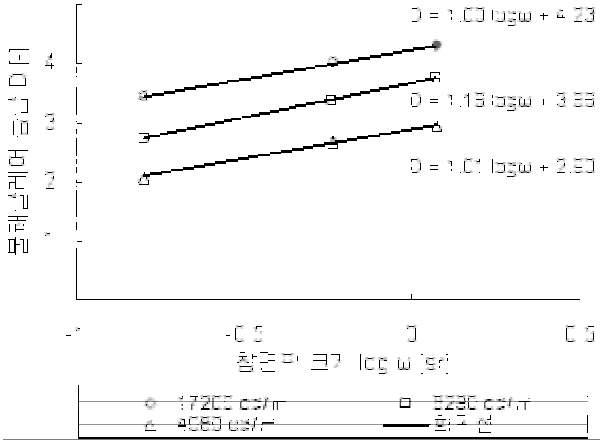


그림 6. 균일한 창면의 크기변화에 따른 불쾌글레어의 등급변화

4. 고 찰

4.1 창의 하부면 휘도가 불쾌글레어 평가에 미치는 영향

그림4와 5에서 휘도비가 1일 경우는 창면 전체가 글레어광원이고, 휘도비가 최저일 경우는 상부면만이 글레어광원이라고 할 수 있다. 전반적으로, 창면의 하부 휘도가 낮아짐에 따라 (휘도비가 낮아지면), 창면 전체에 대한 불쾌글레어 등급이 낮아졌다. 이러한 현상은 창의 하부면 휘도가 배경휘도에 근접할 때까지 계속 되었다. 따라서 창의 하부면 휘도와 불쾌글레어감은 비례한다고 할 수 있다.

불쾌글레어감은 글레어광원의 휘도에 비례하고 배경휘도에 반비례한다는 것을 고려해 볼 때[5) 6)], 창의 하부면이 배경휘도 이상의 휘도를 가질 경우, 하부면은 글레어광원으로서 불쾌글레어 평가에 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다.

Hopkinson은 1972년 실제 창에서 DGI 평가법을 사용하여 불쾌글레어를 평가했다. 이때, 글레어광원은 창을 통해서 보이는 천공부분만으로 한정했고, 글레어광원의 휘도를 천공의 휘도로 채택하였다[2)]. 그러나 본 실험의 결과 (그림 4) 에서 알 수 있듯이 창의 하부면이 배경휘도 이

상의 휘도를 가질 경우 글레어광원으로서 불쾌글레어 평가에 영향을 미치므로, 하부면 (실제창을 통해서 보이는 지물들)을 항상 글레어광원에서 배제시킬 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 창면에서 배경휘도 이상의 휘도를 갖는 부분은 모두 글레어광원으로 채택할 것을 제안한다.

4.2 불균일한 휘도분포를 갖는 창면의 불쾌글레어 예측방법

창면의 불쾌글레어를 예측하는 방법으로서 두 가지를 검토한다. 첫째는, 창면의 상부를 차지하는 천공과 하부를 차지하는 지물을 각각 다른 글레어광원으로 보고 각각으로부터의 불쾌글레어의 정도를 합하는 방법이다. 둘째는, 창면 전체를 하나의 글레어광원으로 보고 창면의 평균휘도를 사용하여 불쾌글레어를 예측하는 방법이다.

1) 불쾌글레어 정도를 합하는 방법에 의한 예측값 D_b

그림 5의 회귀선의 평균기울기는 2.13이고, 그림 6의 회귀선의 평균기울기는 1.06이다. 이러한 실험결과를 바탕으로, 불쾌글레어의 등급과 글레어광원의 휘도와 크기의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D_b \propto \log \sum L^{2.13} \omega^{1.06} \quad \text{----------} \quad (1)$$

여기서, Db : 불쾌글레어의 등급 [-]
L : 글레어광원의 휘도 [cd/㎡]
Ω : 글레어광원의 크기 [sr]

2) 평균휘도를 사용하는 방법에 의한 예측값 D_a

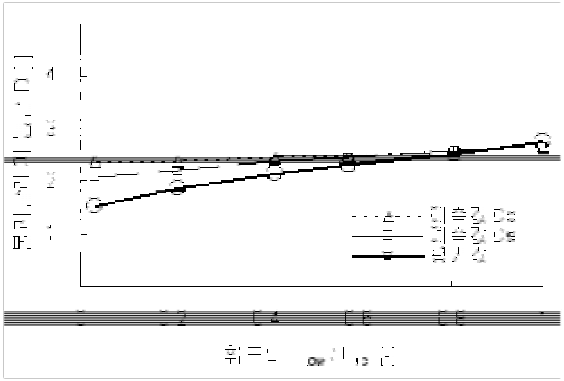
글레어광원의 평균휘도를 글레어광원의 휘도로 할 때, 불쾌글레어의 등급과 글레어광원의 휘도와 크기의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D_a \propto \log L_{ave}^{2.13} \omega^{1.06} \quad \text{----------} \quad (2)$$

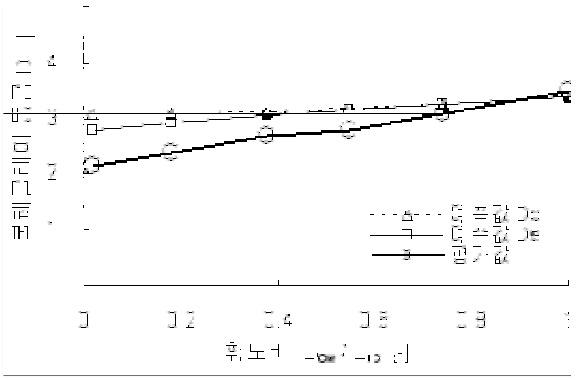
여기서, Da : 불쾌글레어의 등급 [-]
Lave : 글레어광원의 평균휘도 [cd/㎡]
Ω : 글레어광원의 크기 [sr]

그림 7에 두 방법으로 산출한 예측값을 나타낸다. 예측값의 계산은 글레어광원의 휘도 와 크기 변화에 따른 불쾌글레어의 차이만을 고려하였다.

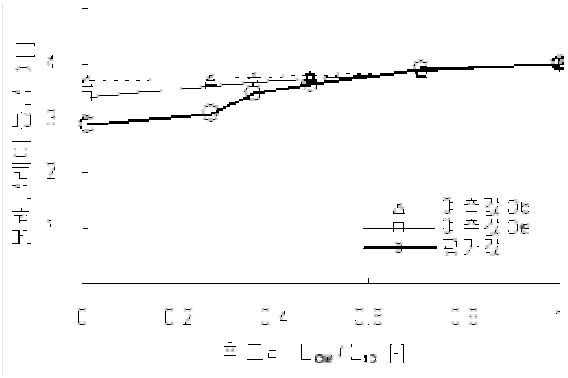
실험에 의한 평가값과 예측값 D_b, D_a를 비교한 결과, 불쾌글레어의 정도를 합하는 방법 보다 평균휘도를 사용하는 방법이 평가값에 보다 근접한 예측값을 산출하였다. 이러한 결과를 바탕으로, 본 연구에서는 불쾌글레어 평가시 창면의 평균휘도를 사용할 것을 제안한다.



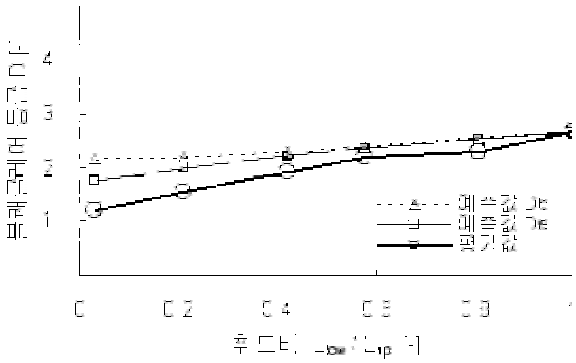
(a) L_{up}: 4,080 cd/m^2



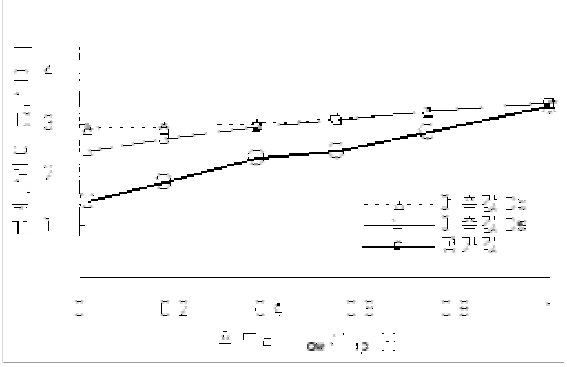
(b) L_{up}: 8,290 cd/m^2



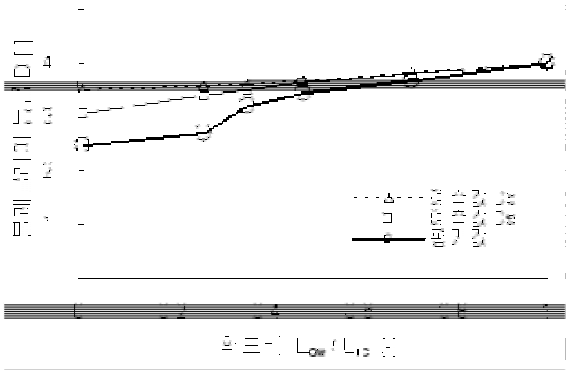
(c) L_{up}: 17,200 cd/m^2



(d) L_{up}: 4,080 cd/m^2



(e) L_{up}: 8,290 cd/m^2



(f) L_{up}: 17,200 cd/m^2

그림 7. 평가값과 예측값의 비교; (a)-(c): 대칭 분할 조건, (d)-(f): 비대칭 분할인 조건, L_{low}: 비교면의 휘도, L_{up}: 기준면의 휘도

5. 결 론

불균일한 휘도분포를 갖는 채광창의 불쾌글레어를 평가할 때, 글레어광원을 한정 지을 수 있는 방법을 명확히 할 필요가 있다. 본 연구에서는 불균일한 대광원의 상하 휘도차가 불쾌글레어감에 미치는 영향을 검토하고 글레어 광원의 선별방법을 모색했다. 실험에서는 모형창의 상하부 휘도차에 따른 불쾌글레어감의 변화를 측정하였다. 실험결과로부터 다음 두 가지를 알게 되었다.

1) 창의 하부면이 배경휘도 이상의 휘도를 가질 경우, 하부면을 글레어광원에서 배제시킬 수 없다.

2) 창면의 불쾌글레어를 예측시, 휘도가 다른 각 부분으로부터의 불쾌글레어 정도를 합하는 방법 보다 창면 전체의 평균휘도를 사용하는 방법이 관찰자의 평가값에 보다 근사한 예측값을 산출한다.

이러한 지견들을 바탕으로, 창면에서 배경휘도 이상의 휘도를 갖는 부분은 모두 글레어광원으로 채택할 것을 제안한다. 또한, 글레어광원의 휘도로서 창면의 평균휘도를 사용할 것을 제안한다.

본 연구에서는 글레어 광원이 배경휘도에 영향을 미침에 따라 발생할 수 있는 불쾌글레어감의 변화에 대해서는 검토하지 않았다. 이것을 차후의 과제로써 연구할 생각이다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-10712-0).

참고문헌

1. Kim, W., Koga, Y. and Masayasu Hara (2007) A method for evaluating discomfort glare from windows. J. Illum. Engng. Inst. Jpn., 91(2), pp.69-77 (written in Japanese)
2. Hopkinson, R.G. Glare from daylighting in buildings. Appl. Ergon., 1972, 3, pp.206-215
3. Tokura, M., Iwata, T., and Shukuya, M. (1996) Experimental study on discomfort glare caused by windows, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, 489, pp.17-25
4. 김원우, 신인중 (2007) 불균일한 휘도분포를 갖는 대광원으로부터의 불쾌글레어 평가, 한국생활환경학회지, 14(1), pp.66-72
5. Luckiesh, M. and Holladay, L.L. (1925) Glare and visibility, Transactions of the illuminating engineering society, 20, pp.221-252
6. Kim, W., Koga, Y., Shin, I.(2007) Evaluation of discomfort glare from daylight, Proceedings of 26th session of the CIE, pp.D3-170-173