KIEAE Journal, Vol. 26, No. 5, Oct. 2026, pp.53-61.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

141

저 SHGC 창호 조건에서 가시광선 투과율과 창면적비에 따른 한국 사무공간의 연간 현휘 발생 특성

Annual Glare Characteristics in Korean Office Spaces with Low-SHGC Glazing: Effects of Visible Light Transmittance and Window-to-Wall Ratio

이준영* · 윤 경** · 김동수*** · 윤종호****

Junyoung Lee* · Gyeong Yun* · Dongsu Kim*** · Jongho Yoon****

* *Main author, Graduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (john1598@naver.com)*

** *Coauthor, Research Fellow, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (poprin@hanbat.ac.kr)*

*** *Coauthor, Associate professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (dongsu.kim@hanbat.ac.kr)*

**** *Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (jhyoon@hanbat.ac.kr)*

ABSTRACT

Purpose: This study quantifies the effects of visible light transmittance (VLT) and window-to-wall ratio (WWR) on annual glare occurrence in Korean office spaces. Although low-SHGC window conditions with relatively high VLT can support daylight availability while limiting solar heat gain, increased VLT may also increase glare risk. **Method:** Annual glare simulations were performed using ClimateStudio for 200 cases consisting of five window conditions selected from the ClimateStudio Window Library, five WWR levels, two orientations, and four Korean cities. The selected window conditions had low SHGC values and VLT levels of approximately 30%~70%. Annual glare hours were calculated for 08:00~19:00, with 0.40≤DGP<0.45 defined as disturbing glare and DGP≥0.45 as intolerable glare. An additional analysis compared hourly DGP at different viewpoint distances on representative seasonal days. **Result:** Annual glare hours increased with both VLT and WWR. South- and west-facing offices showed similar annual totals but different temporal patterns, with glare concentrated around 12:00 in south-facing offices and around 16:00 in west-facing offices. Increasing viewpoint distance generally reduced DGP on representative seasonal days, although high glare levels persisted during winter noon hours for the south-facing case and during late-afternoon hours for the west-facing case. The proposed VLT×WWR decision chart can support early-stage window design by identifying glare risk levels for different design combinations.

KEYWORD

주광눈부심확률
가시광선 투과율
광-태양열 취득비
사무공간
창면적비

Daylight Glare Probability (DGP)
Visible Light Transmittance
Light to Solar Gain Ratio (LSG)
Office Space
Window-to-Wall Ratio (WWR)

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 22, 2026
Final revision received Sep. 9, 2026
Accepted Sep. 15, 2026

ⓒ 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

자연채광은 재실자의 시각적 쾌적성과 업무 수행 환경, 조명에너지 절감 가능성을 동시에 결정하는 중요한 설계 요소이다[1]. 외피에서 창은 실내로 유입되는 주광의 양과 분포를 조절하는 주요 구성요소이며, 창면적비(Window-to-Wall Ratio, WWR)와 창호의 가시광선 투과율(Visible Light Transmittance, VLT)은 초기 설계 단계에서 주광 성능과 현휘 발생 가능성을 검토하기 위한 핵심 외피 설계변수이다[2,3]. 따라서 사무공간의 창호 설계에서는 충분한 자연채광을 확보하면서도 과도한 휘도 대비와 직사광 유입으로 인한 현휘를 억제하는 균형 있는 접근이 요구된다.

최근 사무용 건물에서는 냉방부하와 조명부하를 동시에 저감하기 위해, 태양열 취득률(Solar Heat Gain Coefficient, SHGC)은 낮고 가시광선 투과율은 높은 고 LSG (Light to Solar Gain ratio) 창호가 활용되고 있다. LSG는 SHGC 대비 VLT의 비율을 나타내는 지표로, 태양열 취득은 줄이면서 가시광선 투과를 확보할 수 있는 창호일수록 높은 값을 가진다. 따라서 고 LSG 창호는 냉방부하 저감과 자연채광 확보 측면에서 유리하게 평가될 수 있다. 그러나 LSG는 창호의 열 및 광학 성능 간의 비율을 나타내는 지표일 뿐, 시야 내 휘도 분포나 직사광 유입에 따른 현휘 발생 가능성을 직접적으로 설명하지는 않는다. 특히 SHGC가 유사하게 제한된 저 SHGC 창호에서는 LSG 차이가 주로 VLT 차이에 의해 나타난다. 이때 높은 VLT는 실내 주광 유입량을 증가시키는 동시에 창면 휘도와 관찰자 눈 위치의 수직면 조도를 증가시켜 현휘 발생 가능성을 높일 수 있다. 이러한 현휘는 사용자에게 시각적 불쾌감을 유발함으로써 채광 및 에너지 절감에서 우수한 성능을 발휘하는 고 LSG 창호의 장점을 약화시킬 수 있다. 예를 들어 고 VLT 창호와 큰 WWR을 갖는 사무공간에는 방위에 따라 특정 시간대에 고휘도 영역이 형성된다. 이때 재실자는 시각적 불쾌감을 방지하기 위해 블라인드 등의 차양 장치를 사용하게 되는데 이는 고 VLT 창호가 갖는 자연채광 확보 효과와 조명에너지 절감 성능을 일부 상쇄시킨다. 따라서 고 LSG 창호의 적용 가능성은 에너지 성능뿐 아니라 재실자의 시각적 쾌적성, 특히 현휘 발생 특성과 함께 검토될 필요가 있다.

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2026.26.5.053

한국과 같은 중위도 지역은 계절에 따라 태양고도와 방위각이 크게 변화하며, 남향과 서향 사무공간에서는 각각 정오 전후와 오후 시간대에 현휘 발생 가능성이 높아질 수 있다[4]. 또한 동일한 창호 조건이라도 WWR이 증가하면 시야 내 고휘도 창면의 면적이 확대되어 현휘 발생 시간이 증가할 수 있다. 따라서 초기 설계 단계에서는 저 SHGC 창호 조건 에서 VLT와 WWR 조합이 연간 현휘 발생 시간에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고, 그 영향이 도시 및 방위 조건에 따라 어떻게 달라지는지 검토할 필요가 있다.

본 연구는 ClimateStudio Window Library[5,6]에 제공되는 저 SHGC 창호 조합을 대상으로, 한국 4개 도시의 남향 및 서향 사무공간에서 VLT와 WWR 변화가 연간 현휘 발생 시간 및 시간대별 발생 특성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 한다. 본 연구에서는 국내에서 유통되는 태양열 차단형 복층 로이유리의 제품 성능 범위를 참고하여, 분석대상인 저 SHGC 창호를 SHGC≤0.30 범위로 한정하였다[7,8]. 해당 범위 내에서 VLT 수준별 비교가 가능한 SHGC 0.22–0.29의 5개 창호를 선정하였다. 이 기준은 법적 적합성을 판정하기 위한 절대기준이 아니라, 유사한 저 SHGC 범위에서 VLT 변화의 영향을 비교하기 위한 본 연구의 분석범위를 의미한다. 다만 창호별 SHGC가 완전히 동일하지 않으므로, 본 연구는 SHGC를 엄격히 통제한 실험이라기보다 저 SHGC 범위에서 VLT 수준에 따른 현휘 응답을 비교한 분석으로 해석할 필요가 있다. 이에 따라 선정된 창호 간 LSG 차이는 주로 VLT 차이에 기인한다. 따라서 본 연구는 고 LSG 여부를 절대적으로 분류하거나 열적 성능을 평가하기보다, 저 SHGC 범위 내 VLT 및 LSG 변화에 따른 현휘 응답의 상대적 비교에 중점을 둔다. 이를 통해 초기 창호 설계 단계에서 저 SHGC 창호 적용 시 발생할 수 있는 현휘 위험을 사전에 검토하고, VLT와 WWR 조합에 따른 현휘 위험 수준을 판단하기 위한 기초 설계자료를 제시하고자 한다.

1.2. 선행연구 고찰 및 차별성

기존 자연채광 및 현휘 연구에서는 창면적비와 차양장치 등의 설계변수가 실내 조도와 현휘에 미치는 영향을 분석해 왔다[9,10]. 기후기반 연간 자연채광 성능은 DA 계열의 동적 지표[11]와 sDA·ASE[12]를 이용하여 평가되어 왔다. 또한 Radiance 기반 동적 시뮬레이션을 활용한 연구에서는 관찰 위치와 시선 방향에 따른 DGP 변화를 분석하였고[13], 연간 자연채광·현휘 결과를 설계자가 해석 가능한 형태로 시각화하는 설계지원 방식도 제안되었다[14]. 그러나 기존 연구는 다음과 같은 측면에서 한계가 있다. 첫째, 저 SHGC 창호 조합에서 VLT 또는 LSG 변화가 연간 현휘 발생에 미치는 영향을 체계적으로 비교한 연구는 제한적이다. ClimateStudio Window Library와 같은 시뮬레이션 기반 창호 물성 라이브러리에는 다양한 VLT, SHGC, LSG 조합을 갖는 창호 조합이 포함되어 있으나, 유사한 저 SHGC 범위에서 VLT 차이에 따른 현휘 응답을 비교한 연구는 충분하지 않다. 고 LSG 창호 조합 적용에 따른 현휘 위험을 검토하기 위해서는 VLT 변화가 현휘 발생에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 필요가 있다. 둘째, 기존 현휘 연구는 연간 현휘 발생 시간의 총량 또는 공간별 현휘 발생 가능성을 중심으로 결과를 제시하는 경우가 많다. 그러나 동일한 연간 현휘 발생 시간이라도 남향과 서향은 현휘가 집중되는 시간대와 강도가 다를 수 있으며, 이는 실제 사무공간의 재실자 쾌적성 및 차양 사용 가능성에 서로 다른 영향을 미칠 수 있다. 따라서 연간 총량뿐 아니라 방위별 시간대별 발생 특성을 함께 분석할 필요가 있다.

Table 1. Glare rating of DGP

Glare rating	Range
Imperceptible	DGP<0.35
Perceptible	0.35≤DGP<0.40
Disturbing	0.40≤DGP<0.45
Intolerable	DGP≥0.45

2. 분석 지표 및 시뮬레이션 방법

2.1. 평가 지표: Daylight Glare Probability (DGP)

DGP는 자연채광 환경에서 재실자가 불쾌현휘를 경험할 확률을 정량적으로 평가하기 위해 제안된 지표이다[15]. DGP는 시야 내 고휘도 광원의 휘도, 입체각, 위치지수와 함께 관찰자 눈 위치에서의 수직면 조도를 고려한다. DGP는 Eq. 1에 의해 계산되며, 눈부심 판단 범위는 Table 1.에 제시된다.

$$DGP = 5.87\times10^{-5}E_v + 9.18\times10^{-2}\log\left(1+\sum_i \frac{L_{s,i}^2\,\omega_{s,i}}{E_v^{1.87}P_i^2}\right)+0.16 \quad \text{(Eq. 1)}$$

여기서, E_v는 관찰자 눈 위치에서의 수직면 조도[lx], $L_{s,i}$는 시야 내 현휘 광원 i의 휘도[cd/m^2], $\omega_{s,i}$는 해당 광원의 입체각[sr], P_i는 Guth 위치지수를 의미한다.

2.2. 대표 창호 조건 선정 및 광학 특성

본 연구에서는 저 SHGC 창호 조건에서 VLT 변화가 현휘 발생에 미치는 영향을 검토하기 위해, ClimateStudio Window Library에 제공되는 창호 조건 중 대표 창호 조건을 선정하였다. 선정 과정에서는 VLT 변화의 영향을 비교할 수 있도록 목표 VLT 수준을 약 30%, 40%, 50%, 60%, 70%로 설정하였으며, 각 목표값에 대해 ±1% 이내의 VLT를 갖는 조건을 우선적으로 검토하였다. 이후 해당 조건들 중 SHGC가 낮고 비교적 유사한 범위에 속하는 5개 조건을 최종 대표 조건으로 선정하였다. 선정된 창호조합과 특성은 Table 2와 같다. VLT 목표값을 우선적으로 고려하여 선정하였기 때문에 SHGC가 완전히 동일하지는 않으나, 전체적으로 낮은 SHGC 범위 내에서 차이를 제한함으로써 선정된 창호에서는 VLT 증가에 따라 LSG도 함께 증가하므로, 본 연구에서는 현휘에 직접적으로 관련되는 VLT 수준을 주요 분석변수로 해석하였다. 이에 따라 LSG는 1.35에서 2.41까지 증가하는 경향을 보였으며, 본 연구의 창호 조건은 저 SHGC 조건에서 VLT 증가와 이에 따른 LSG 변화가 연간 현휘 발생 특성에 미치는 영향을 검토하기 위한 비교 조건으로 설정되었다. 선

Table 2. Optical and thermal properties of the five representative windows selected from the climatestudio window library

Case	Product	VLT [%]	SHGC [-]	LSG [-]
W1	Pacifica - Solarban 60 (3)	30	0.22	1.35
W2	Atlantica - Solarban 67 (3) (Krypton)	40	0.27	1.49
W3	Solarban 70 (2) on Atlantica - Clear	50	0.24	2.07
W4	DGU LOW-IRON COOL-LITE XTREME 61-29 II	61	0.26	2.33
W5	DGU LOW-IRON COOL-LITE XTREME 70-33 II	70	0.29	2.41

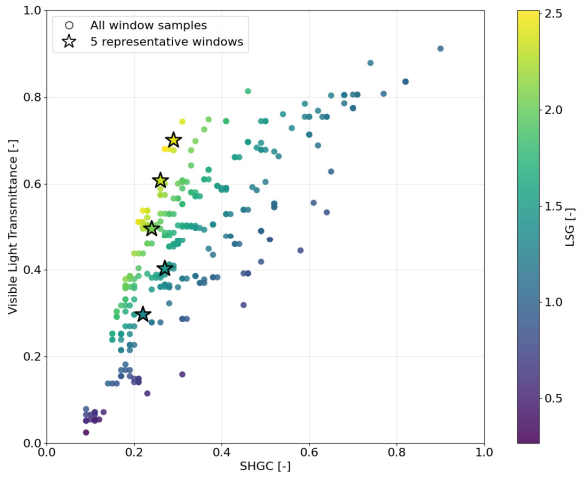


Fig. 1. SHGC-VLT distribution of window samples and selected representative windows

정된 창호는 모두 태양열 차단 코팅을 적용한 복층유리 조건으로, 국내 상업·업무시설에 적용되는 복층 로이유리와 기본적인 구성방식이 유사하다. 국내 제품자료에서도 VLT 약 30%~70%와 SHGC 약 0.20~0.30 범위에 속하는 복층 로이유리가 확인되어, 선정된 창호와 유사한 성능 범위를 형성한다[7,8]. 반면 W4와 W5는 VLT가 60% 이상이고 LSG가 2.3 이상으로, 본 연구에서 인용한 국내 제품 자료의 성능 범위를 넘어서는 비교 조건이다. 따라서 본 연구의 창호는 국내 제품과 동일한 제품을 의미하기보다, 복층 태양열 차단 로이유리의 구성과 주요 광학성능 범위에서 유사한 비교조건으로 해석하였다.

2.3. 기준 사무공간 모델

본 연구는 Rhinoceros 8-Grasshopper를 통해 분석 공간을 모델링하고, ClimateStudio (Solemma LLC)[16]를 활용하여 연간 현휘 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 기준 사무공간은 한국 사무공간의 perimeter zone을 단순화한 4m×6m×2.7m의 직사각형 단실로 설정하였다. 실내 표면 반사율은 IES LM-83[12]의 기본값을 참고하여 천장 0.7, 벽 0.5, 바닥 0.2로 설정하였다. 창은 4m 폭 외벽에 중앙 정렬로 설치하였으며, sill height 0.3m로 창 높이를

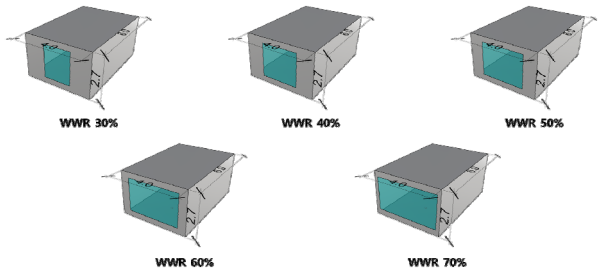


Fig. 2. Variation of WWR configurations of the office

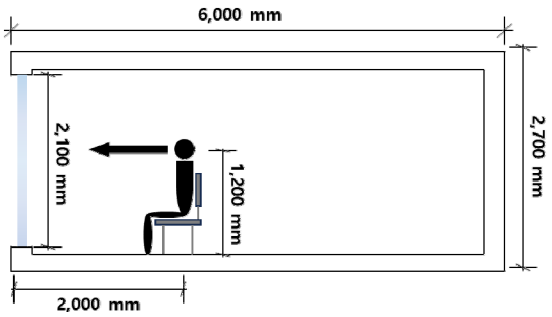


Fig. 3. Section of the reference office model

2.1m로 고정하고 창 폭을 1.54m (WWR 30%)에서 3.60m (WWR 70%)까지 조정함으로써 WWR 변화를 구현하였다. 본 연구에서는 창호 사양과 창면적비 변화에 따른 현휘 응답을 독립적으로 검토하기 위해, 차양 장치는 시뮬레이션 전 기간 100% 개방 상태로 고정하였다. DGP 평가 지점은 Fig. 3.과 같이 창에서 2m 떨어진 책상 위치, 눈높이 1.2m, 시선 방향은 창을 정면으로 향하도록 설정하였다.

2.4. 분석 조건 및 방법

연간 현휘 시뮬레이션은 Rhinoceros 8 환경에서 ClimateStudio v2.2 (Solemma LLC)[16]의 Annual Glare 워크플로를 활용하여 수행하였다. 본 워크플로는 Radiance 기반의 progressive path-tracing 방식을 사용하며[16,17], 기상데이터의 시간별 직달 및 확산 일사량으로부터 생성된 하늘 조건을 적용하여 연간 8,760시간의 시간별 DGP를 산출한다. 시간별 DGP는 관찰자 눈 위치의 수직면 조도와 시야 내 고휘도 광원에 의한 휘도 대비를 바탕으로 산정된다[15]. 광선추적 품질 파라미터는 ClimateStudio v2.2 Annual Glare 워크플로의 기본 설정을 별도로 변경하지 않고 적용하였다. 산출된 결과 중 평가시간인 08:00~19:00에 해당하는 연간 4,380시간을 추출하였으며, DGP≥0.40인 시점을 현휘 발생 시간으로 산정하였다. 본 연구의 기준 사무공간, 기상조건, 설계변수, 평가시간 및 현휘 판정기준은 Table 3.에 정리하였다. 대전 지역, VLT 50%, WWR 50%를 기준 조건으로 설정하고, 남향과 서향의 연간 현휘 발생량과 시간대별 발생 특성을 분석하였다. 이어서 기준 조건에서 관찰점 거리만 변화시키는 단일변수 민감도 분석을 수행하였으며, 나머지 조건은 Table 3.의 기준값으로 고정하였다. 관찰점 거리의 영향은 0.5m~3.0m 범위에서 춘분·하지·추분·동지 대표일의 시간별 DGP를 비교하여 분석하였다.

ⓒ 2026. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

Table 3. Simulation conditions and analysis parameters

Category	Characteristics	Value
Simulation tool	Engine	ClimateStudio
Reference room	Dimensions (W×D×H)	4.0m×6.0m×2.7m
	Surface reflectance (ceiling/wall/floor)	0.7/0.5/0.2
	Window sill height	0.3m
	Shading	None (fully open)
	Viewpoint	2.0m from window, eye height 1.2m, facing the window
Climate	Cities (latitude)	Jeju (33.50°N), Busan (35.18°N), Daejeon (36.35°N), Chuncheon (37.90°N)
	Weather data	TMYx.epw
Design variables	Orientation	South, West
	VLT	30%~70% (10% step)
	WWR	30%~70% (10% step)
Analysis period	Time	08:00~19:00, daily (annual, 4,380h)
Glare criteria	Disturbing glare	0.40≤DGP<0.45
	Intolerable glare	DGP≥0.45
Sensitivity analysis (reference condition)	Viewpoint distance	0.5m~3.0m (0.5m step)

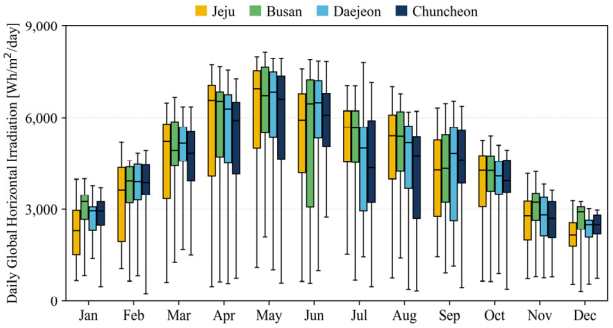


Fig. 4. Monthly distribution of daily global horizontal irradiation for the four cities

다음으로 VLT와 WWR의 영향을 검토하기 위해 도시를 대전으로 고정하고, 5개 VLT 조건(30%, 40%, 50%, 60%, 70%)과 5개 WWR 조건(30%, 40%, 50%, 60%, 70%)을 조합한 25개 케이스를 남향과 서향에 각각 적용하였다. 지역에 따른 차이는 창호 조건을 VLT 50%, WWR 50%로 고정한 후 제주·부산·대전·춘천의 기상데이터를 적용하여 비교하였다. 마지막으로 4개 도시, 2개 방위, 5개 VLT 및 5개 WWR을 조합한 총 200개 케이스를 분석하고, VLT와 WWR 조합에 따른 연간 현휘 발생 비율을 등급화하여 설계 의사결정 차트를 작성하였다.

연간 분석과 대표일 분석의 평가 시간대는 08:00~19:00로 설정하였다. 연간 분석에서는 하루 12시간, 총 4,380시간을 평가하였으며, DGP≥0.40인 시점을 현휘 발생 시간으로 산정하였다. 현휘 강도는 0.40≤DGP<0.45인 경우를 불쾌현휘, DGP≥0.45인 경우를 수용 불가능 현휘로 구분하였다. 기상데이터는 제주·부산·대전·춘천의 TMYx EPW 파일을 활용하였다. 각 도시의 일별 수평면 총일사량의 월별 분포는 Fig. 4.에 제시된다. 다만 수평면 총일사량은 도시별 기후 특성을 개괄적으로 비교하기 위한 자료이며, 남향과 서향 창면의 직달일사 차이나 도시별 현휘 발생 원인을 직접 설명하는 지표로 활용되지는 않는다.

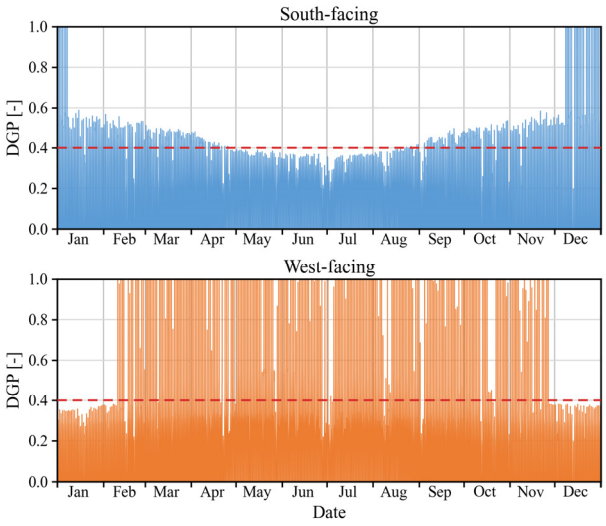


Fig. 5. Annual hourly DGP profiles for the reference condition with monthly divisions on the date axis

3. 결과 및 분석

3.1. 기준 조건 시뮬레이션 결과

1) 연간 시간별 DGP 분포

대전, VLT 50%, WWR 50%로 설정한 기준 조건에서 남향과 서향의 연간 시간별 DGP 분포는 Fig. 5.와 같다. 남향에서는 동절기를 중심으로 DGP가 높게 나타났으며, 하절기를 제외한 기간에 불쾌현휘 기준(DGP≥0.40)을 초과하는 시점이 주로 분포하였다. 이는 동절기의 낮은 태양고도로 인해 남향 창을 통한 직사광의 실내 유입 깊이가 증가하기 때문으로 해석된다. 반면 하절기에는 태양고도가 높아 남향 수직 창면에 입사하는 직달일사가 감소하고, 직사광의 실내 유입 깊이도 상대적으로 짧아져 DGP가 낮게 형성되었다. 서향에서는 중간기와 하절기의 오후 시간대를 중심으로 높은 DGP가 나타났으며, 일부 시점에서는 DGP가 1.0에 근접하였다. 이는 오후 후반의 저고도 태양이 서향 창을 통해 관찰자의 시야에 직접 포함되는 조건이 빈번하게 형성되기 때문으로 판단된다. 이에 따라 서향에서는 남향보다 현휘 발생 시간이 특정 시간대에 집중되고, 수용 불가능 현휘(DGP≥0.45)의 비중도 높게 나타났다. 다만 동절기에는 일몰 시각이 빨라짐에 따라 분석 시간대 내 서향 일사 노출시간이 감소하여 DGP가 상대적으로 낮게 나타났다. 종합하면 동일한 창호 및 창면적비 조건에서도 방위에 따라 현휘가 집중되는 계절과 시간대가 다르게 나타났다. 남향에서는 동절기 정오 전후에, 서향에서는 중간기와 하절기의 오후 후반에 현휘가 집중되었다. 이러한 방위별·계절별 특성은 다음 절의 시간대별 현휘 발생 분포를 통해 구체적으로 분석하였다.

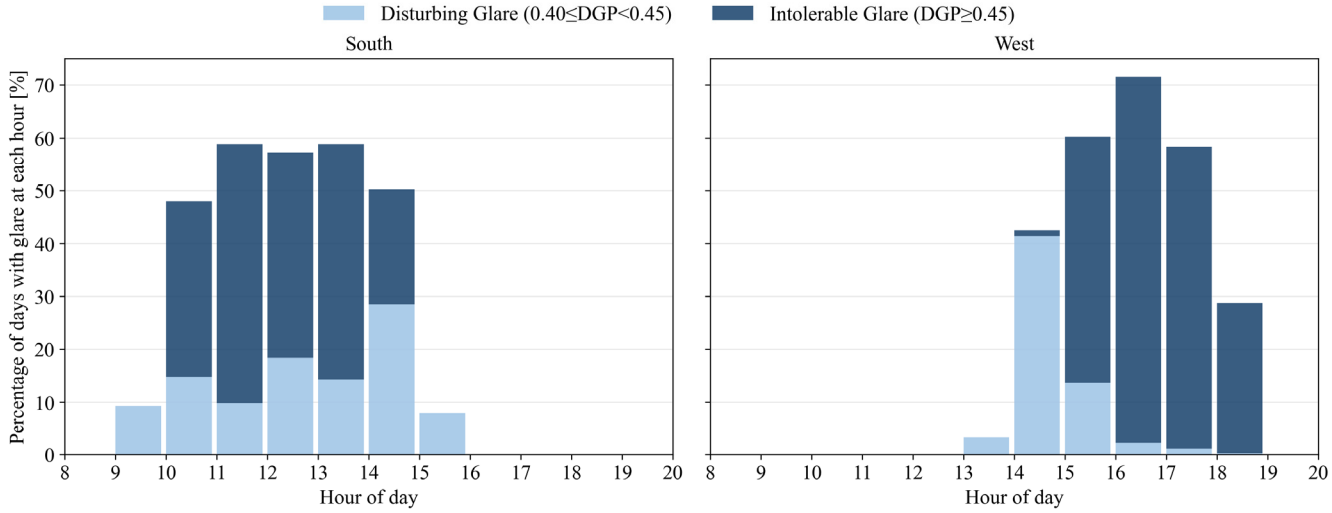


Fig. 6. Percentage of days with disturbing (0.40 ≤DGP<0.45) and intolerable (DGP ≥0.45) glare by hour of day

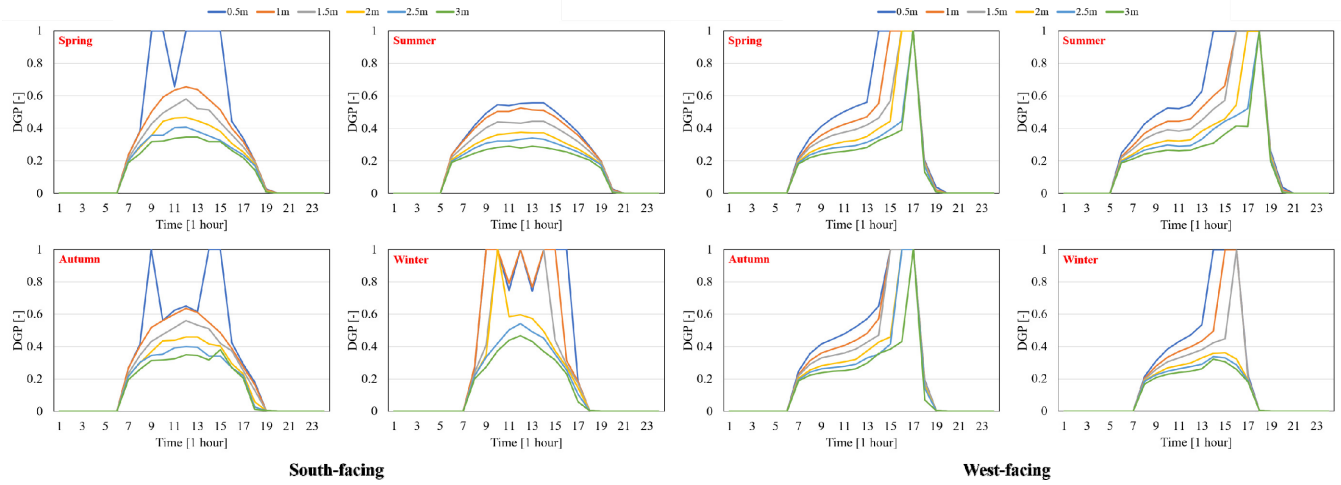


Fig. 7. Hourly DGP by viewpoint distance (0.5~3.0m) on representative days of each season

2) 방위별 시간대별 현휘 발생 분포

기준 조건의 시간대별 현휘 발생 분포는 Fig. 6.과 같다. 시간대별 현휘 발생 비율은 각 시각의 연간 365개 자료 중 DGP≥0.40이 발생한 날짜의 비율로 산정하였다. 따라서 Fig. 6.의 비율은 전체 4,380시간에 대한 비율이 아니라, 해당 시각에 현휘가 발생한 날짜가 연간 일수에서 차지하는 비율을 의미한다. 불쾌현휘와 수용 불가능 현휘의 발생 비율은 누적하여 표시하였다.

남향에서는 현휘가 10~14시에 걸쳐 비교적 고르게 분포하였으며, 해당 시간대의 발생 비율은 약 48%~59%로 나타났다. 특히 11시와 13시에는 발생 비율이 최대 약 58.9%에 도달하였다. 반면 09시 이전과 16시 이후에는 현휘가 거의 발생하지 않아, 남향의 현휘가 정오 전후에 집중되는 특성을 보였다.

서향에서는 13시까지 현휘가 거의 발생하지 않았으나, 14시부터 발생 비율이 급격히 증가하여 16시에 약 71.5%로 가장 높게 나타났다. 이후에도 18시까지 비교적 높은 발생 비율이 유지되었다. 따라서 서향의 현휘는 남향보다 늦은 오후 시간대에 집중되며, 피크 시간대의 발생 비율도 더 높은 것으로 나타났다.

현휘 강도에서도 방위에 따른 차이가 확인되었다. 전체 현휘 발생 시간 중 수용 불가능 현휘가 차지하는 비율은 남향에서 약 65%, 서향에서 약 77%로 나타났다. 특히 서향의 피크 시간대인 16시에는 연간 전체 일수의 약 69.3%에서 수용 불가능 현휘가 발생하였다. 이는 16시의 전체 현휘 발생 비율인 71.5%의 대부분을 차지하는 수준으로, 서향에서는 해당 시간대에 높은 강도의 현휘가 빈번하게 발생함을 보여준다. 이러한 결과는 오후의 저고도 태양이 서향 창을 통해 관찰자의 시야에 직접 포함되는 조건과 관련된 것으로 판단되며, 앞 절에서 확인한 연간 DGP 분포 특성과도 일치한다.

3.2. 관찰점 거리에 따른 현휘 분포 결과

관찰점 거리가 현휘 발생에 미치는 영향을 계절별로 검토하기 위해, 춘분·하지·추분·동지의 대표일을 대상으로 거리별(0.5m~3.0m) 시간별 DGP를 산출하였다(Fig. 7.).

남향에서는 전반적으로 오전부터 DGP가 증가하여 정오 전후에 가장 높게 나타난 후 오후에 감소하는 분포를 보였으며, 관찰점이 창에서 멀어질수록 DGP가 낮아지는 경향이 확인되었다. 계절별로는

ⓒ 2026. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

태양고도가 낮은 동지에 DGP가 가장 높게 나타났다. 특히 창에서 0.5m 떨어진 관찰점에서는 정오 전후의 DGP가 1.0에 도달하였으며, 관찰점을 3.0m까지 이격한 경우에도 일부 시간대에서 불쾌현휘 기준(DGP≥0.40)을 초과하였다. 이는 동절기의 낮은 태양고도로 인해 남향 창을 통한 직사광이 실내 깊숙이 유입되면서 관찰점 이격에 따른 현휘 완화 효과가 제한된 것으로 판단된다.

춘분과 추분에도 정오 전후를 중심으로 DGP가 높아졌으나, 관찰점 거리가 증가함에 따라 DGP가 대체로 감소하였다. 하지에는 다른 계절보다 DGP가 전반적으로 낮게 나타났지만, 창과 가까운 관찰점에서는 일부 시간대에 불쾌현휘 기준을 초과하였다. 따라서 높은 태양고도로 인해 남향 창을 통한 직사광 유입이 감소하더라도, 창과 가까운 위치에서는 현휘가 발생할 수 있는 것으로 나타났다.

서향에서는 오전보다 오후 시간대의 DGP가 높게 나타났으며, 일몰에 가까워질수록 DGP가 대체로 증가한 후 급격히 감소하는 공통적인 분포를 보였다. 피크 발생 시각은 계절에 따라 달라져 동지에는 약 16시, 춘분과 추분에는 약 17시, 하지에는 약 18시~19시에 나타났다. 춘분·하지·추분의 피크 시간대에는 관찰점 거리와 관계없이 DGP가 급격히 증가하였으며, 일부 조건에서는 3.0m 거리에서도 높은 DGP가 나타났다. 이는 오후의 저고도 태양이 관찰자의 시야에 직접 포함되는 조건에서는 관찰점 이격만으로 현휘를 충분히 완화하기 어려울 수 있음을 보여준다. 반면 동지에는 관찰점 거리가 증가함에 따라 피크 DGP가 뚜렷하게 감소하였으며, 일몰 시각이 빨라 현휘 발생 시점과 지속시간도 다른 계절보다 앞당겨지고 짧게 나타났다.

종합하면 관찰점 거리 증가는 대부분의 시간대에서 DGP를 낮추는 데 효과적이었으나, 남향의 동절기 정오 전후와 서향의 중간기·하절기 일몰 전후에는 그 효과가 제한적으로 나타났다. 따라서 이러한 조건에서는 재실자 위치 조정과 함께 외부차양 또는 블라인드 등 직사광을 차단할 수 있는 추가적인 현휘 제어 방안을 고려할 필요가 있다.

3.3. 변수 민감도 분석

1) VLT 및 WWR에 따른 연간 현휘 발생 특성

대전을 대상으로 VLT와 WWR만 변화시키고, 나머지 분석조건은 기준 조건과 동일하게 유지하여 산정한 연간 현휘 발생 시간은 Fig. 8.과 같다. 두 방위 모두 VLT와 WWR이 증가할수록 연간 현휘 발생 시간이 증가하였다. 이는 VLT 증가에 따라 창을 통해 유입되는 가시광선량과 창면 휘도가 증가하고, WWR 증가에 따라 시야에서 고휘도 창면이 차지하는 면적과 입체각이 확대되기 때문으로 판단된다. WWR을 50%로 고정하고 VLT를 30%에서 70%로 증가시켰을 때, 연간 현휘 발생 시간은 남향에서 233시간에서 2,054시간으로 약 8.8배 증가하였고, 서향에서는 467시간에서 1,518시간으로 약 3.3배 증가하였다. 반면 VLT를 50%로 고정하고 WWR을 30%에서 70%로 증가시킨 경우에는 남향에서 459시간에서 1,806시간으로 약 3.9배, 서향에서 682시간에서 1,715시간으로 약 2.5배 증가하였다. 절대 증가량을 기준으로 보면 VLT 변화에 따른 현휘 발생 시간은 남향에서 1,821시간, 서향에서 1,051시간 증가하였으며, WWR 변화에 따른 증가량은 남향에서 1,347시간, 서향에서 1,033시간이었다. 따라서 본 연구에서 설정한 변수 범위에서는 남향의 경우 VLT 변화에 따른 증가량이 WWR 변화보다 크게 나타난 반면, 서향에서는 두 변수의 증가량이 유사하게 나타났다. 이러한 차이는 방위별 태양 입사조건에 따라 VLT와 WWR이 수직면 조도, 현휘광원의 휘도 및 입체각에 미치는 영향이 다르기 때문으로 판단된다. 다만 본 연구에서는 DGP 구성요소별 영향을 분리하여 분석하지 않았으므로, 두 변수의 상대적 영향에 대한 해석은 본 연구의 분석조건과 변수 범위로 한정할 필요가 있다. 선정된 창호 중 LSG가 가장 높은 VLT 70% 조건은 모든 WWR에서 가장 긴 현휘 발생 시간을 보였다. 이는 선정된 창호 중 LSG가 높은 조건이 자연채광 확보에 유리할 가능성이 있는 반면, 현휘 위험을 증가시킬 수 있음을 보여준다. 다만 본 연구에서는 조명에너지와 냉방부하를 직접 분석하지 않았으므로, 고 LSG 창호의 에너지 편익과 현휘 위험 간 상충관계를 정량적으로 확인한 것으로 해석해서는 안 된다. 또한 서향에서는 WWR이 60%에서 70%로 증가하는 구간에서 현휘 발생 시간의 증가 폭이 대체로 커지는 경향이 나타났다. 따라서 서향에 대면적 창을 적용할 경우에는 WWR 조정뿐 아니라 외부차양이나 블라인드 등 저고도 직사광을 제어할 수 있는 방안을 함께 검토할 필요가 있다.

2) 지역별 연간 현휘 발생 특성

창호 조건을 기준 조건인 VLT 50%, WWR 50%로 고정하고, 제주·부산·대전·춘천의 기상데이터를 각각 적용하여 산정한 방위별 연간 현휘 발생 시간은 Fig. 9.와 같다. Fig. 9.는 각 도시의 불쾌현휘와 수용 불가능 현휘 발생 시간을 누적하여 나타낸 것이다.

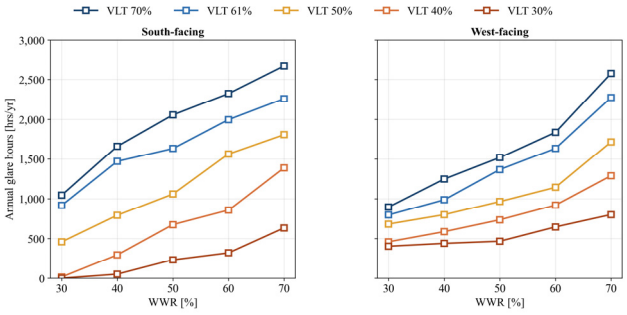


Fig. 8. Annual glare hours by VLT and WWR combinations

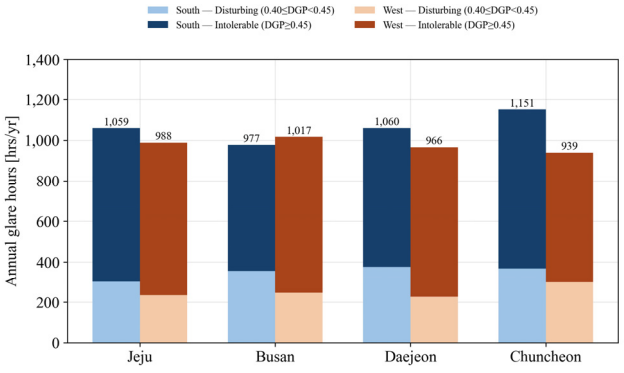


Fig. 9. Annual disturbing and intolerable glare hours by city and orientation under the reference condition

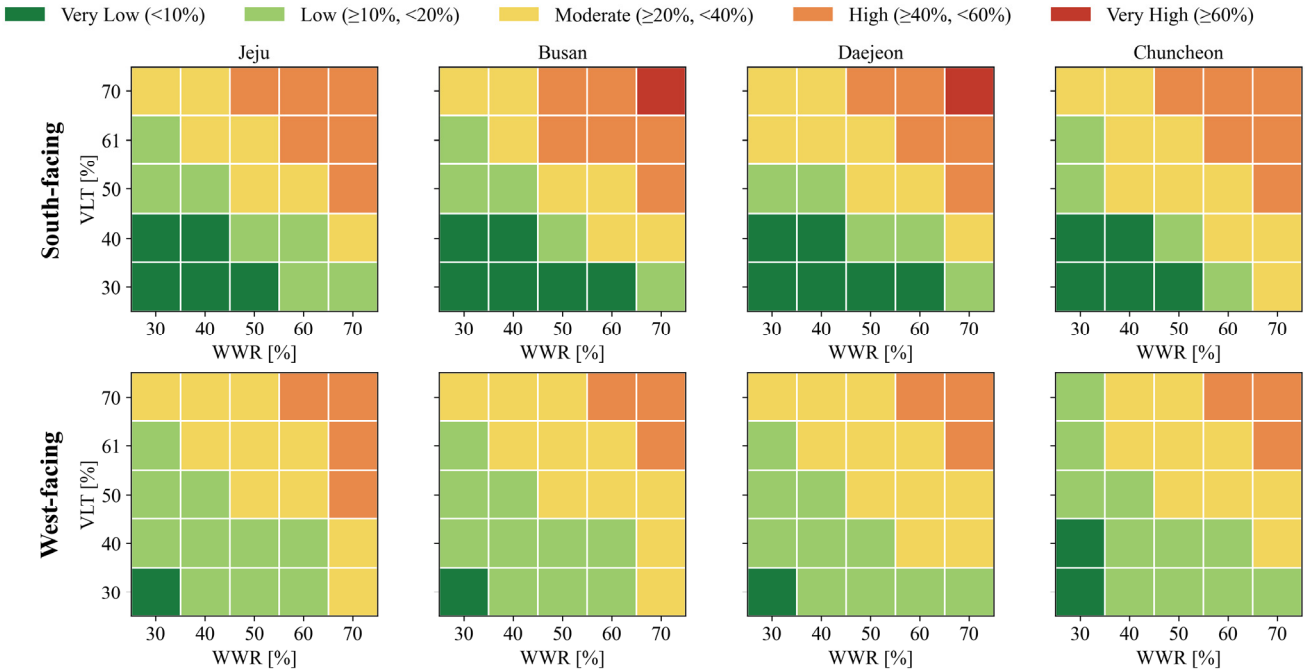


Fig. 10. City-wise design decision chart for VLT×WWR annual glare grading (DGP ≥0.40)

남향의 연간 현휘 발생 시간은 977시간~1,151시간으로 나타났으며, 춘천이 1,151시간으로 가장 길고 부산이 977시간으로 가장 짧았다. 서향은 939시간~1,017시간의 범위로, 부산이 1,017시간으로 가장 길고 춘천이 939시간으로 가장 짧았다. 도시 간 최대 차이는 남향에서 174시간, 서향에서 78시간으로 나타났다. 이는 앞서 분석한 VLT와 WWR 변화에 따른 현휘 발생 시간의 변동 폭보다 작은 수준이다. 따라서 본 연구에서 설정한 도시와 설계변수 범위에서는 지역에 따른 차이보다 VLT와 WWR 조합에 따른 차이가 상대적으로 크게 나타났다. 다만 도시와 설계변수의 분석 범위가 서로 다르므로, 이를 각 변수의 일반적인 영향력 차이로 확대하여 해석하는 데에는 주의가 필요하다.

현휘 강도별 구성을 살펴보면, 모든 도시와 방위에서 수용 불가능 현휘(DGP≥0.45)가 전체 현휘 발생 시간의 약 63%~77%를 차지하였다. 춘천의 남향은 수용 불가능 현휘 발생 시간이 783시간으로 가장 길었던 반면, 춘천의 서향은 640시간으로 가장 짧았다. 이러한 차이는 위도에 따른 태양경로와 계절별 일몰시각, 그리고 해당 TMYx 기상데이터의 시간대별 일사조건이 복합적으로 작용한 결과로 해석할 수 있다. 특히 춘천에서 남향 현휘시간이 가장 길게 나타난 결과는 상대적으로 높은 위도와 동절기의 낮은 태양고도 조건과 일치한다. 다만 방위별 창면 입사일사량을 별도로 분석하지 않았으므로 이를 직접적인 인과관계로 해석하는 데에는 한계가 있다.

부산은 네 도시 중 유일하게 서향의 연간 현휘 발생 시간(1,017시간)이 남향(977시간)을 상회하였다. 그러나 도시별 서향 현휘 발생 시간은 위도에 따라 일관되게 증가하거나 감소하는 경향을 보이지 않았으며, Fig. 4.의 수평면 총일사량만으로 부산의 방위별 차이를 설명하기도 어려웠다. 이러한 결과는 도시별 TMYx 자료의 시간대별 직달·확산일사 분포, 태양경로 및 계절별 일몰시각이 복합적으로 작용한 결과일 가능성이 있다. 다만 본 연구에서는 방위별 창면 입사일사량을 별도로 분석하지 않았으므로, 부산에서 서향 현휘시간이 남향보다 길게 나타난 구체적인 원인을 단정하지 않았다. 도시·방위·VLT·WWR 조합에 따른 상세 현휘 위험 수준은 다음 절의 설계 의사결정 차트에서 제시한다.

3.4. VLT·WWR 기반 현휘 의사결정

앞서 분석한 200개 케이스의 결과를 바탕으로, 초기 설계 단계에서 VLT와 WWR 조합에 따른 상대적인 현휘 위험 수준을 검토할 수 있는 설계 의사결정 차트를 Fig. 10.과 같이 제시하였다. 차트는 4개 도시와 2개 방위에 대응하는 총 8개 패널로 구성하였다. 각 패널은 WWR을 가로축, VLT를 세로축으로 설정하고, 각 조합의 연간 현휘 발생 비율을 등급별로 나타낸다. 연간 현휘 발생 비율은 본 연구에서 설정한 총 분석시간 4,380시간 중 DGP≥0.40인 시간의 비율로 산정하였으며, 각 패널의 25개 격자는 실제 시뮬레이션을 수행한 VLT×WWR 조합의 연간 현휘 발생 등급을 나타낸다.

현휘 위험 등급은 연간 현휘 발생 비율을 기준으로 Very Low (〈10%), Low (10% 이상 20% 미만), Moderate (20% 이상 40% 미만), High (40% 이상 60% 미만), Very High (60% 이상)의 5단계로 구분하였다. 이 등급은 도시·방위·설계변수 조합 간의 상대적 차이를 비교하기 위해 본 연구에서 설정한 분류이며, 재실자의 현휘 수용성이나 설계 적합성을 판정하는 공인 기준을 의미하지 않는다. 이러한 등급화는 절대적인 현휘 발생 시간만을 제시하는 방식보다 VLT와 WWR 조합에 따른 상대적인 현휘 발생 수준을 직관적으로 비교할 수 있다는 장점이 있다.

방위별 등급 분포를 비교하면, 남향에서는 낮은 VLT와 낮은 WWR의 조합에서 Low 이하의 등급이 주로 나타난 반면, VLT

ⓒ 2026. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

Table 4. Summary of orientation-specific VLT×WWR decision ranges

Orientation	VLT≤40%, WWR≤50%	VLT≥60%, WWR≥60%	Primary control strategy
South-facing	Very low–Low	High–Very high	VLT and WWR optimization
West-facing	Very low–Low	Moderate–high	VLT and WWR optimization with low-altitude solar control

60% 이상과 WWR 60% 이상이 결합된 영역에서는 High 이상의 등급이 나타났다. 또한 Very Low부터 Very High까지 모든 등급이 나타나, VLT와 WWR의 조합 조정이 연간 현휘 위험을 변화시키는 주요 설계수단으로 작용하였다. 반면 서향에서는 전체 100개 조합의 약 82%가 Low 또는 Moderate 등급에 해당하였고, Very High 등급은 나타나지 않았으며 Very Low 등급도 약 5%에 불과하였다. 최대 현휘 발생 비율은 남향 약 61%, 서향 약 59%로 유사하였으나, 저 VLT·저 WWR 조건에서 서향의 현휘 발생 비율은 남향만큼 낮아지지 않았다. 이는 서향에서는 VLT와 WWR의 조정만으로 현휘 위험을 충분히 낮추기 어려우며, 저고도 직사광을 제어할 수 있는 추가적인 현휘 제어수단이 필요함을 의미한다. 이상의 방위별 설계 특성을 Table 4.에 요약하였다.

도시별로는 동일한 VLT×WWR 조합에서도 일부 등급 경계에 차이가 나타났으나, 전반적인 등급 분포의 형태는 네 도시에서 유사하였다. 따라서 Fig. 10.과 Table 4.는 특정 도시와 방위에서 본 연구가 설정한 상대적 현휘 위험 수준에 해당하는 VLT와 WWR의 조합 범위를 초기 설계 단계에서 검토하는 데 활용할 수 있다. 다만 Fig. 10.과 Table 4.의 등급은 단일 관찰점, 창을 정면으로 바라보는 시선, 차양 완전 개방 및 연간 4,380시간의 평가조건을 기반으로 하므로, 실제 프로젝트에 적용할 때에는 재실조건과 차양 운영방식을 함께 고려해야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 ClimateStudio Window Library에서 선정한 저 SHGC 창호를 대상으로, VLT와 WWR 변화가 한국 사무공간의 연간 현휘 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 제주·부산·대전·춘천의 남향 및 서향 사무공간을 대상으로 연간 현휘 시뮬레이션을 수행하였으며, 관찰점 거리 변화에 따른 계절별 대표일의 시간별 DGP를 추가로 분석하였다.

분석 결과, VLT와 WWR이 증가할수록 연간 현휘 발생 시간이 전반적으로 증가하였으며, 그 영향은 방위에 따라 다르게 나타났다. 남향에서는 동절기 정오 전후에 현휘가 집중되었고 VLT 변화에 따른 현휘 발생 시간의 증가가 비교적 크게 나타난 반면, 서향에서는 중간기와 하절기의 오후 후반에 높은 강도의 현휘가 집중되었다. 특히 서향은 VLT와 WWR을 낮추더라도 현휘 발생 비율을 매우 낮은 수준까지 감소시킬 수 있는 조합이 제한적이었다. 이는 창호의 광학성능과 창면적비만으로 현휘를 제어하기보다, 방위별 태양 입사특성을 함께 고려해야 함을 보여준다. 관찰점 거리가 증가할수록 계절별 대표일의 DGP는 전반적으로 감소하였으나, 남향의 동절기 정오와 서향의 중간기·하절기 일몰 전후에는 관찰점을 이격하더라도 높은 DGP가 유지되는 경우가 나타났다. 따라서 재실자 위치 조정만으로 현휘를 제어하기 어려운 조건에서는 외부차양이나 블라인드 등 직사광 차단방안을 함께 검토할 필요가 있다. 도시별 연간 현휘 발생 시간에는 차이가 있었으나, 본 연구에서 설정한 분석 범위에서는 지역에 따른 차이보다 VLT와 WWR 조합에 따른 변동이 상대적으로 크게 나타났다. 이를 바탕으로 제시한 VLT×WWR 설계 의사결정 차트는 초기 설계 단계에서 도시와 방위별 현휘 발생 수준을 비교하고, 목표 수준에 해당하는 창호 성능과 창면적비의 조합을 검토하는 데 활용할 수 있다. 다만 차트의 위험 등급은 조합 간 상대적 비교를 위해 본 연구에서 설정한 분류이므로, 현휘 수용성이나 설계 적합성을 판정하는 절대적인 기준으로 해석하는 데에는 한계가 있다.

본 연구의 결과는 상대적으로 높은 LSG가 반드시 우수한 시각환경 성능을 의미하지는 않음을 보여준다. LSG는 가시광선 투과성능과 일사열 취득성능 간의 관계를 나타내는 지표로서, 시야 내 휘도 분포나 직사광 유입에 따른 현휘를 직접 설명하지 못한다. 따라서 고 LSG 창호를 적용할 때에는 VLT와 SHGC뿐 아니라 WWR, 방위, 재실자 위치 및 차양조건을 함께 검토해야 한다. 다만 본 연구에서는 냉·난방부하와 조명에너지를 직접 분석하지 않았으므로, 고 LSG 창호의 에너지 편익과 현휘 위험 간 상충관계를 정량적으로 규명한 것으로 해석하는 데에는 한계가 있다.

또한 본 연구는 단순화된 단일 사무공간, 창을 정면으로 바라보는 단일 관찰점 및 차양 완전 개방 조건을 기반으로 수행되었으며, 관찰점 거리에 대한 민감도 분석은 기준 조건의 계절별 대표일에 한정하였다. 따라서 제시된 수치와 현휘 등급은 해당 평가조건에서의 상대적인 경향으로 활용하는 것이 적절하다. 향후에는 다양한 재실자 위치와 시선 방향을 고려한 공간 단위 현휘 평가, 차양 제어조건과 추가 방위의 반영, 그리고 냉·난방 및 조명에너지와 현휘 성능을 연계한 통합평가가 필요하다.

Acknowledgement

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. RS-2022-NR069948).

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. RS-2023-00266248).

References

[1] J. Lee, M. Boubekri, J. Park, Daylight, human health, and design for sustainable green buildings: A systematic review, Journal of Green Building, 17(4), 2022, pp.151-178.

[2] C.E. Ochoa et al., Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort, Applied Energy, 95, 2012, pp.238-245.

[3] M. Amirkhani et al., An energy efficient lighting design strategy to enhance visual comfort in offices with windows, Energies, 10(8), 2017, 1126.

[4] X. Liu et al., The simulation of indoor daylight glare based on the

location, Journal of Engineering Research, 11(1B), 2023, pp.280-289.
[5] Solemma LLC, ClimateStudio documentation: Exterior glass with dynamic shade, https://climatestudiodocs.com/docs/materials_exteriorGlass.html, 2026. 05.31.
[6] Lawrence Berkeley National Laboratory, International Glazing Database (IGDB), https://windows.lbl.gov/software/igdb, 2026.05.31.
[7] LX글라스, Power Catalogue: 코팅유리 카다로그, 2026, pp.28-33. // (LX Glas Corp., Power Catalogue: Coated Glass Catalogue, 2026, pp.28-33.)
[8] KCC글라스, KCC글라스 고기능성 유리, 2025, pp.48-50. // (KCC GLASS Corporation, KCC Coated Glass Catalogue, 2025, pp.48-50.)
[9] 박정대, 이윤경, 김동욱, 친환경 파사드 설계지원도구를 통한 오피스의 자연채광 최적화, 대한건축학회논문집, 제31권 제9호, 2015, pp.21-28. // (J.D. Park, Y.K. Lee, D.W. Kim, A Parametric analysis for daylighting-driven design optimization of office buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea, 31(9), 2015, pp.21-28.)
[10] I. Konstantzos, A. Tzempelikos, Y.C. Chan, Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades, Building and Environment, 87, 2015, pp.244-254.
[11] C.F. Reinhart, J. Mardaljevic, Z. Rogers, Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design, LEUKOS, 3(1), 2006, pp.7-31.
[12] IES Daylight Metrics Committee, IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE), Illuminating Engineering Society of North America, IES LM-83-12, 2012.
[13] J.A. Jakubiec, C.F. Reinhart, The adaptive zone: A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces, Lighting Research & Technology, 44(2), 2012, pp.149-170.
[14] C.F. Reinhart, J. Wienold, The daylighting dashboard: A simulation-based design analysis for daylit spaces, Building and Environment, 46(2), 2011, pp.386-396.
[15] J. Wienold, J. Christoffersen, Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras, Energy and Buildings, 38(7), 2006, pp.743-757.
[16] Solemma LLC, ClimateStudio for rhinoceros, https://www.solemma.com/climatestudio, 2026.05.31.
[17] G.J. Ward, The RADIANCE lighting simulation and rendering system, USA: Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques: SIGGRAPH '94, 1994, pp.459-472.

ⓒ 2026. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.