



오피스빌딩 창 유형에 따른 자연채광 성능과 에너지 소요량 관계

The Relationship Between Daylighting Performance and Energy Consumption Based on Window Types in Office Buildings

고예은* · 오준걸**

YeEun Ko* · JoonGul Oh**

* Graduate Student, School of Architecture, Seoul National Univ. of Science and Technology, South Korea (kyeun1013@seoultech.ac.kr)

** Corresponding author, Professor, School of Architecture, Seoul National Univ. of Science and Technology, South Korea (jgoh@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study is to identify the optimal window types by comprehensively considering the relationship between daylighting performance and energy consumption to improve the indoor light environment of office buildings and reduce building energy consumption. **Method:** A prototype was established using the average model of the south-facing floors of 82 buildings along Teheran-ro. The Climate Studio simulation program was used to compare and analyze the daylighting performance of each window type using Daylight Factor, Spatial Daylight Autonomy, Annual Sunlight Exposure, and the total energy consumption for cooling, heating, and lighting. **Result:** The Vertical Right side window was identified as the optimal window type in the Window to Wall Ratio 30%, and the Horizontal Mixing 7 separation window and the Vertical Right side window were identified as the optimal window type in the Window to Wall Ratio 60%. It was found that window types meeting the daylighting performance criteria may result in slightly higher energy consumption. Therefore, it is not advantageous to determine window types solely based on daylighting performance without considering the energy aspect, highlighting the need to analyze both daylighting performance and energy consumption together.

KEYWORD

오피스빌딩
창 유형
자연채광 성능
에너지 소요량

Office Building
Window Type
Daylight Performance
Energy Consumption

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 22, 2024

Final revision received Aug. 14, 2024

Accepted Aug. 21, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 국내외로 건물 에너지를 줄이기 위한 여러 방안이 제시되고 있음에도 불구하고, 오피스빌딩의 커튼월 사용이 증가하고 있다. 커튼월의 사용은 건물의 미적 측면에서는 유리하지만, 과도한 자연채광으로 인해 에너지 사용이 증가하고, 주광의 실내 유입 증가로 사용자의 시각적 불편함을 일으킨다. 이처럼 창은 건물 구성에서 핵심적인 요소 중 하나로 외부에 직접적인 영향을 줄 뿐만 아니라 내부에도 영향을 준다. 실내 빛 환경과 관련한 인증도 실행되고 있으며, 비중이 점차 증가하는 추세이다. 국외의 대표적인 친환경 인증제도인 LEED의 경우 전체 평가 항목에서 14.5%로 두 번째로 높은 비중을 차지하며, 영국의 친환경 인증제도인 BREEAM의 경우 15%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다[1]. 국내 친환경 인증제도 G-SEED의 경우 전체 항목 중 두 번째로 배점이 높다[2]. 이처럼 국외뿐만 아니라 국내에서도 실내 환경에 대한 중요도가 올라가고 있는 상황으로, 외부 환경뿐만 아니라 내부 환경에 대한 고려가 동시에 진행되어야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 오피스빌딩의 실내 빛 환경을 개선하고, 건물 에너지 소비를 줄이기 위해 자연채광 성능과 에너지의 관계를 종합적으로 고려한 적정 창 유형을 알아보고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 방법 및 범위는 테헤란로에 위치한 오피스빌딩 중 남향 82개 건물 평균 연면적 20,000m²의 기준층 면적 1,100m²를 분석 모델로 설정하여 입면에서 창의 위치와 연속성에 따른 창 유형을 통해 자연채광 성능과 에너지 소요량 관계를 분석하였다. 에너지 시뮬레이션 프로그램인 Climate Studio v1.9를 이용하여 창 유형별 자연채광 성능 평가 방식인 평균 DF, sDA, ASE와 냉방, 난방, 조명, 총에너지 소요량을 비교, 분석하였다.

2. 용어정의 및 기존연구 분석

2.1. 자연채광 성능 용어정의

자연채광 성능 용어 정의는 LEED v2.2와 LEED v4를 참고하였다. 현재 LEED v5 (2024)가 가장 최신 버전이나, 본 연구의 시뮬레이션 도구의 경우 LEED v4.1을 이용하여 분석이 이루어져 시뮬레이션 결과는 분석 도구의 최신 버전인 LEED v4.1을 기준으로 한다.

주광률(Daylight Factor, 이하 DF)은 LEED v2.2의 EQ Credit 8.1 Daylight and Views에 따르면 중요한 시각 작업에 사용되는 전체 공간의 75%에서 최소 2%를 만족해야 하며[3], 적정 요구사항은 일반적으로 2%에서 5%로 나타난다[4].

공간일광자율(Spatial Daylight Autonomy, 이하 sDA)은 2001년 Reinhart & Walkenhorst의 일광자율(Daylight Autonomy, 이하

DA) 값을 따르고 있으며, 조도 수준과 시간의 비율은 아래첨자로 포함되어 sDA_{300,50%}와 같이 표시된다. sDA는 연간 운영시간 동안 건물의 특정 분석 영역에 대한 최소 자연광 조도 수준(300lux)을 충족하는 비율로 정의되며, 최소 300lux를 만족하는 분석 영역은 50% 이상의 비율을 가진다[5].

연간광노출(Annual Sunlight Exposure, 이하 ASE)은 LEED v4 EQ Credit Daylight에서 실내 작업에서 시각적 불편 가능성을 설명하는 지표로, 적정 직사광선 수준을 초과하는 영역에 대한 비율을 의미한다. 블라인드나 커튼을 고려하지 않은 상태에서 ASE_{1000,250}는 분석 영역 내의 센서 중 최대 2피트 간격의 센서를 사용하여 연간 250시간 이상 직사광 조명이 1,000lux를 초과하는 것을 기준으로 백분율을 나타낸다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 ASE_{1000,250}가 10%를 초과할 시 눈부심 방지를 위한 대책이 필요하다[5].

2.2. 기존연구 분석

I. Acosta et al. (2015)에서 DF는 외부 주광이 적을 때 흐린 하늘 조건인 최악의 상황에서 방 내부의 잠재적인 조도를 표현하기 때문에 창에서 허용되는 주광을 정량화하는 가장 간단하고 일반적인 척도로, 주광 평가에 가장 널리 사용되는 측정 기준이라고 설명한다. 이러한 DF를 이용해 창의 모양, 크기, 위치에 따른 다양한 모델의 채광 계수를 양적으로 측정하고 에너지 절감 효과를 분석하였다. 그 결과 창 면적이 클수록 비례적으로 더 높은 DF를 보였으며, 수직창보다 수평창의 DF가 더 높게 나온 것을 알 수 있고, 상부에 위치한 창은 중앙에 위치한 창보다 DF 값이 큰 것을 알 수 있다. 에너지 분석에서 상부에 위치한 창과 중앙에 위치한 창은 비슷한 값을 가지는 것을 알 수 있으며, DF와 더불어 다른 방법을 이용한 주광 평가도 중요하다고 설명하였다[6]. O. Asfour (2020)의 연구는 사우디아라비아의 더운 기후에 적용 가능한 창 면적비(Window to Wall Ratio, 이하 WWR)를 고려하여 안뜰 및 아트리움의 자연채광 및 에너지 성능을 비교한 연구로, DF를 이용한 실내 주광 가용성 평가, 기후 데이터 기반 동적 방법인 sDA, ASE의 분석을 진행하였다. 결과를 통해 차양 장치의 사용으로 DF가 감소한 것을 알 수 있으며, 과도한 직사광선으로 눈부심 우려가 있는 경우에도 주광 가용성을 보여주는 것을

확인할 수 있다. WWR을 높이는 것이 주광 제공과 조명에너지 감소에 효과적인 것을 알 수 있었고, ASE에서 대부분 10%를 벗어나 눈부심 대책을 통한 완화를 고려하여, 적정 주광을 제공하는 것을 우선 순위로 두고 분석을 진행하였다[7]. M. Mahdavinejad et al. (2024)의 연구에서 기본 모델에 대한 종합적인 연구를 위해 남쪽벽의 기울기, WWR, 창 유형, 유리 재료 4가지 변수에 따른 실내유용조도(Useful Daylight Illuminance, 이하 UDI), sDA, ASE와 냉방, 난방, 조명 부하의 연간 단위면적당 에너지사용량(Energy Use Intensity, 이하 EUI) 및 시야 품질을 분석하였다. 그 결과 벽 기울기와 WWR이 EUI와 ASE에 중요하다는 것을 증명하였다[8]. 국내의 논문을 살펴보면 sDA와 ASE를 이용한 분석이 증가하고 있다. 박경빈 외 4인 (2022)의 연구에서 도서관을 모델로 PEO, 채광, 에너지, 환기를 각각 분석하여 이에 따른 리모델링 접근법을 제시하였다. 채광분석은 sDA, ASE를 이용하였으며, 자연채광 성능과 에너지의 관계 비교와 다르게 기존 도서관과 리모델링 대안을 통해 각각 분석 항목별로 효과적인 방안을 도출하였다[9]. 김호정, 최우석, 진하운(2023)의 논문에서 sDA와 ASE를 이용하여 연중 냉난방 부하 및 빛 환경에 합리적인 차양 설계 방법에 대한 연구를 진행하였다. 분석 결과 커튼월 건물의 경우 연중 냉난방 부하, ASE, sDA 순서로 고려하는 것이 합리적인 것으로 나타나며, 기후환경에 맞는 적정 ASE에 대한 연구가 필요하다고 밝혔다[10].

기존 연구분석을 종합해보면 국외의 경우 DF, sDA, ASE, UDI의 여러 조합을 통한 자연채광 성능과 에너지를 비교한 다양한 연구가 진행되었다. 하지만 국내에서는 동적 시뮬레이션 sDA, ASE를 이용한 연구가 증가하는 추세이나, 에너지와의 관계를 분석하는 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 기존 오피스빌딩의 WWR과 차양 설치를 변수로 하는 에너지 분석에서 벗어나, 설계자의 입면 디자인 다양성을 위해 창 위치와 연속성에 따른 창 유형을 변수로 주광에 대해 일반적으로 평가할 수 있는 DF와 더 정확한 평가를 위해 동적 평가 방식인 sDA, ASE를 종합적으로 분석하여, 에너지와의 관계를 밝히고자 한다.

3. 오피스빌딩 시뮬레이션 설정조건 및 창 유형

3.1. 오피스빌딩 설정조건

Climate Studio는 모델의 자연채광 성능과 에너지 분석을 위한 도구로 사용되는 Rhinoceros 3D용 플러그인이다. Solemma가 개발한 고급 일광, 전기 조명 및 개념적 열 시뮬레이션 소프트웨어로, 검증된 시뮬레이션 엔진인 EnergyPlus 및 Radiance를 기반으로 구축되어 빠르고 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 에너지 효율성, 일광 접근성, 전기 조명 성능, 시각 및 열적 편안함에 대한 일련의 환경 분석 워크플로우를 지원한다[11]. 창의 디자인 중 수직창 전체에 대한 채광학적인 영향을 보기 위해 작업면 대신 바닥면으로 분석면을 설정하였다. Table 2.와 같이 반사율은 바닥, 벽, 천장을 각각 30%, 55%, 80%로 설정하였으며, 기상 데이터는 Climate Studio에서 제공하는 서울 기상 데이터를 사용하였다. 본 연구의 분석 대상 모델은 강남역에서 삼성교까지 구간 내 오피스빌딩 중 남향 82개 건물의 평균으로 연면

Table 1. Literature review on daylighting and energy

Author (s) (Years)	Analysis	Analysis item/Variable				
		DF	sDA	ASE	UDI	E
I. Acosta et al. (2015)	Window	●				●
O. Asfour (2020)	Courtyard, Atrium	●	●	●		●
M. Mahdavinejad et al. (2024)	High-performance design		●	●	●	●
K.B. Park et al. (2022)	Remodeling, Library		●	●		●
H.J. Kim et al. (2023)	External shade		●	●		●

적 20,000m², 18층 규모 모델의 기준층을 대상 모델로 설정하였다. 시뮬레이션 모델은 자연채광 성능 평가용 모델, 에너지 모델 두 가지로 구성되며, 평면 및 단면은 Fig. 1.과 같다. 기준층 면적 1,100m²인 가로 33.33m, 세로 33.33m로 가장 기본적인 형태인 1:1의 장 단면비를 가진다. 본 연구는 창 유형만을 변수로 보기 위해 다른 영향을 최소화하고자, 동, 서, 남, 북 4면의 WWR을 동일하게 하고, 코어는 중심에 위치하며, 코어비는 25%로 설정하였다. 창 위치에 따른 변화를 확인하기 위해 일반적인 업무용 건물 천정고 범위 2.7~3.0m 중

최대 높이 3.0m로 설정하였으며[12], WWR의 증가에 따른 변화를 분석하고자 WWR은 최소 30%, 최대 60%로 설정하였다. 창 구성요소 설정에서 유리의 경우 Climate Studio에서 제공하는 IGDB (International Glazing Database)의 유리 종류를 사용하였다. 창의 U-Value와 VT는 제로에너지 건축물 인증 기술요소 참고서의 비주거 가이드라인 중부 2지역으로 제시된 성능에 가까운 각각 0.87W/(m²·K), 51.2%로 설정하였으며, SHGC는 로이삼중유리 및 0.3 미만의 유리 기준에 맞춘 0.22의 성능을 가지고, 조명밀도는 비주거 냉난방공간 평균 조명밀도 5~6W/m²이하의 기준에 따라 6W/m²로 설정하였다[1]. 조명제어는 Continuous Type을 사용하고, 그 외 설비 스케줄은 ASHRAE 90.1-2019 Z4의 Medium Office 제공 세팅을 적용하였다.

Table 2. Simulation and model condition

Classification	Condition			
Location	Seoul WS 471080			
Latitude	37.5714N			
Longitude	126.9658E			
Sensor Spacing	609.6			
Sensor Inset	Target	457.2	Min	304.8
Workplace Offset	Floor Surface			
Reflectance	Floor: 30%, Wall: 55%, Ceiling: 80%			
Weather Data	Seoul			
Building Type	Office building			
Building Orientation	South			
Total Floor Area	20,000m ²			
Height (Number of Floors)	75.60m (18)			
Base Floor Area	1,100m ²			
Model Size (L×L)	33.33m × 33.33m (1:1)			
Ratio	Office	75%	Core	25%
Ceiling Height (C)	3.0m			
WWR	30%, 60%			
Window Construction	U-Value	0.87W/(m ² ·K)		
	VT	51.2%		
	SHGC	0.22		
Lighting	Power Density	6W/m ²		
	Dimming Type	Continuous		

3.2. 오피스빌딩 창 유형

본 연구에서 창 유형은 창의 위치와 연속성의 관점에서 나누어 이들을 조합하는 형태로 구성한 것이다. 시뮬레이션 창 유형 분류는 Fig. 2.와 같이 WWR 30%와 WWR 60% 각각 16가지 유형, 총 32개의 유형을 도출하였다.

입면에서 창 위치에 따른 분류는 정인영 외 3인(2006)을 참고하였다. 이 연구에서 일반적인 사무소 건물의 채광 방식은 채광과 조망의 역할을 동시에 수행하는 형상을 가지며, 이와 같은 채광 방식을 일반형으로 설정하였다[13]. 따라서 본 연구에서는 상부에 위치한 창을 수평채광(HL), 중앙에 위치한 창을 수평조망(HV)이라고 하였으며, 상부와 중앙위치에 모두 포함되는 형태를 수평혼합(HM)이라 하였고, 일반적으로 알고 있는 수직위치는 수직(V)으로 1차 분류하였다. 1차 분류를 기준으로 창의 연속성에 따른 연속(S0), 3분할(S3), 7분할(S7), 우측(R)으로 2차 분류하였다. 위치와 연속성, 창면적비의 조합을 통해 32개 창 유형을 도출하였다. 2차 분류에서 입면의 연속성 항목 중 좌측(L)과 우측(R)은 각각 입면에서 좌측과 우측의 연속성을 살펴보기 위한 것으로, 자연채광 성능과 에너지 시뮬레이션 결과 차이가 약 1%로 미비한 차이를 보여, 본 연구에서는 우측(R)을 기준으로 분석하였다.

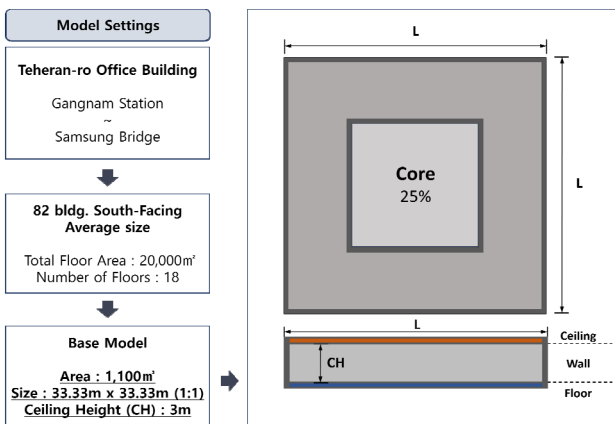


Fig. 1. Model plan and section

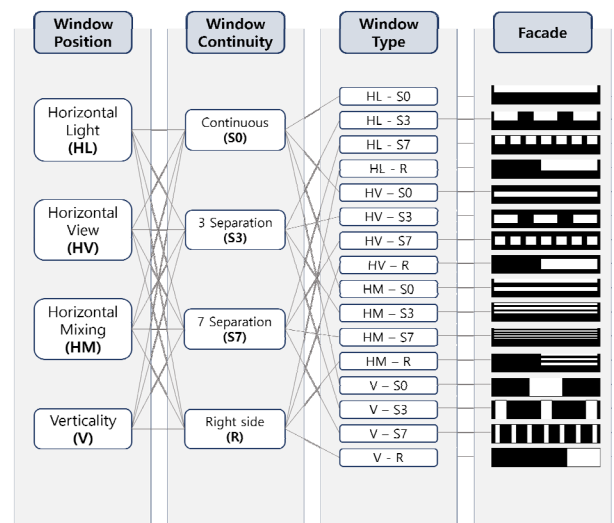


Fig. 2. Window type diagram

4. 창 유형별 자연채광 성능과 에너지 소요량 분석

4.1. 자연채광 성능 분석

창 유형별 DF 시뮬레이션 결과는 Table 3.과 같다. 평균 DF와 각 위치별 평균을 나타낸 것이며, 변화율(Rate of Change, 이하 ROC)의 경우 DF의 적정 범위 2~5% 중 최대 5%와의 차이를 나타낸다. WWR ROC는 WWR 60%에서 WWR 30%로 변화한 경우의 ROC를 나타낸 것이다. Fig. 3.과 같이 WWR 30%에서 대부분의 창 유형의 경우 적정 범위를 만족하나, HM-S3과 HM-S7의 경우 적정 범위에 만족하지 못한다. HM의 경우 평균 1.82%로 가장 낮으며, HV의 경우 3.01%로 가장 높다. V를 제외한 모든 위치에서 R이 최대값이며, ROC의 경우 대부분 R이 최소값이다. 창이 HV에 위치할수록 많은 자연채광의 유입으로 평균 조도가 높으며, HL과 HV에서 S3일 경우 조도가 높다. HM과 V에서 창의 분할 개수가 증가할수록 조도가 낮아지는 것을 알 수 있다. Fig. 4.와 같이 WWR 60%에서 HM-S3, S7을 제외한 모든 유형들이 적정 범위에서 벗어난다. HM은 평균 4.69%로 가장 낮으며, HL은 평균 6.20%로 가장 높다. HL

Table 3. Avg. DF results by window type at WWR [%]

Window Type	WWR 30%		WWR 60%		WWR ROC	
	Avg.* DF	Avg.	Avg. DF	Avg.		
HL	S0	2.71 (-45.80)	2.91 (-41.75)	6.13 (22.60)	6.20 (23.90)	-55.79
	S3	2.95 (-41.00)		6.12 (22.40)		-51.80
	S7	2.85 (-43.00)		6.17 (23.40)		-53.81
	R	<u>3.14</u> (-37.20)		<u>6.36</u> (27.20)		-50.63
HV	S0	2.88 (-42.40)	3.01 (-39.75)	6.14 (22.80)	6.16 (23.20)	-53.09
	S3	3.04 (-39.20)		6.16 (23.20)		-50.65
	S7	2.93 (-41.40)		6.19 (23.80)		-52.67
	R	3.20 (-36.00)		6.15 (23.00)		<u>-47.97</u>
HM	S0	2.22 (-55.60)	<u>1.82</u> (-63.55)	5.50 (10.00)	<u>4.69</u> (-6.20)	-59.64
	S3	1.76 (-64.80)		4.89 (-2.20)		-64.01
	S7	<u>0.83</u> (-83.40)		<u>3.15</u> (-37.00)		<u>-73.65</u>
	R	2.48 (-50.40)		5.22 (4.40)		-52.49
V	S0	3.01 (-39.80)	2.82 (-43.70)	5.99 (19.80)	5.75 (15.00)	-49.75
	S3	2.82 (-43.60)		5.67 (13.40)		-50.26
	S7	2.59 (-48.20)		5.55 (11.00)		-53.33
	R	2.84 (-43.20)		5.79 (15.80)		-50.95

*Straight Underline: Maximum, Waves Underline: Minimum

과 HV에서 S7일 경우 조도가 높으며, HM과 V에서 분할 개수가 증가할수록 조도가 낮아지는 것으로 분석된다. WWR 30%의 경우 HV가 최대값을 가지며, WWR 60%의 경우 HL이 최대값을 가지고, WWR에 관계없이 HM이 최소값을 가진다. 평균 DF 평균의 경우 WWR 30%에서 $HM < V < HL < HV$ 의 형태이며, WWR 60%에서 $HM < V < HV < HL$ 이다. WWR이 증가할 경우 더 많은 자연채광의 유입으로 평균 DF가 높아지게 된다. HM은 WWR이 증가할 경우, 적정 범위에 만족하며, 다른 유형과 반비례 관계이다.

Table 4.와 Table 5.는 창 유형별 sDA와 ASE의 시뮬레이션 결과로, WWR에 따라 분류해 놓은 것이다. sDA의 경우 LEED v4.1에서 ASE 10%이하를 만족하는 것을 전제로 55% 이상일 경우 1점, 75% 이상일 경우 2점, 90%이상일 경우 3점을 획득할 수 있다[11]. sDA ROC는 최고점을 받을 수 있는 90%를 기준으로 하며, ASE ROC의 경우 10%를 기준으로 하였다. sDA는 창 유형에 따른 변화가 거의 없으며, Fig. 5.와 같이 WWR 30%에서 HM-S7의 61.79%와 V-R의 72.00%, V-S0의 77.08%를 제외하고 모든 유형이 LEED 인증 최대 기준 90% 이상이다. 비교적 낮은 값인 HM-S7, V-R, V-S0 또한 최소 기준 55% 이상을 만족한다. WWR 30%에서 $V < HM < HV < HL$ 순으로 높으며, HL이 가장 유리한 것을 알 수 있다. ASE는 HM이 평균 9.50%로 가장 낮으며, HV가 평균 29.61%로 가장 높다. HV에 위치할 경우 상대적으로 과도한 자연채광 유입으로 인한 눈부심 발생으로 사용자가 시각적으로 불편함을 느낄 수 있다. HM-S3과 HM-S7의 경우 ASE가 10% 이하의 조건에 만족하며, 다른 유형 대비 눈부심에 유리한 반면 너무 낮은 ASE 수치로 다소 어둡게 느껴질 가능성이 있다. Fig. 6.과 같이 WWR 60%에서 sDA는 V-S0을 제외한 모든 유형이 100%의 수치로 최대기준을 만족하고, 높은 조도를 보이며, V-S0도 최대기준 이상을 만족한다. ASE는 모든 유형들이 10% 이하의 적정 범위를 벗어나며, V가 평균 45.59%로

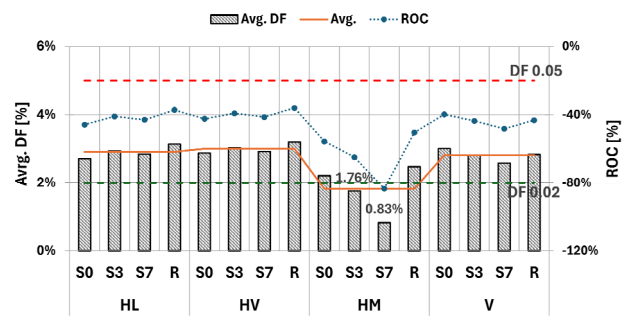


Fig. 3. Avg. DF results and ROC by window type at WWR 30%

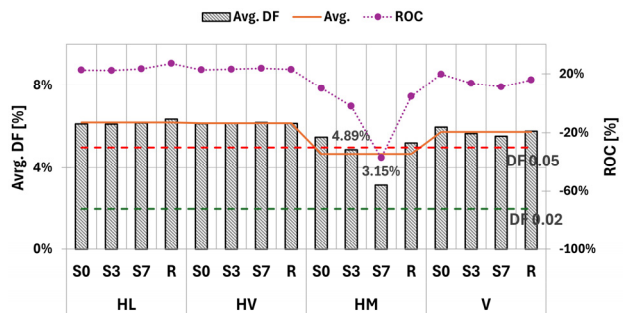


Fig. 4. Avg. DF results and ROC by window type at WWR 60%

Table 4. sDA, ASE results by window type at WWR 30% [%]

Window Type		WWR 30%			
		sDA	Avg.	ASE	Avg.
HL	S0	99.54 (10.60)	98.59 (9.54)	16.46 (64.60)	23.16 (131.58)
	S3	99.24 (10.27)		25.56 (155.60)	
	S7	99.39 (10.43)		20.12 (101.20)	
	R	96.19 (6.88)		30.49 (204.90)	
HV	S0	99.64 (10.71)	98.07 (8.96)	31.45 (214.50)	29.61 (196.10)
	S3	98.68 (9.64)		29.88 (198.80)	
	S7	98.73 (9.70)		27.79 (177.90)	
	R	95.22 (5.80)		29.32 (193.20)	
HM	S0	98.93 (9.92)	87.98 (-2.24)	9.30 (-7.00)	9.50 (-4.98)
	S3	97.76 (8.62)		3.71 (-62.90)	
	S7	61.79 (-31.34)		0.00 (-100.00)	
	R	93.45 (3.83)		25.00 (150.00)	
V	S0	77.08 (-14.36)	85.14 (-5.41)	23.53 (135.30)	20.85 (108.50)
	S3	93.09 (3.43)		19.16 (91.60)	
	S7	98.37 (9.30)		20.38 (103.80)	
	R	72.00 (-20.00)		20.33 (103.30)	

*Dark Shade: Appropriate Standards

Table 5. sDA, ASE results by window type at WWR 60% [%]

Window Type		WWR 60%			
		sDA	Avg.	ASE	Avg.
HL	S0	100.00 (11.11)	100.00 (11.11)	62.91 (529.1)	60.76 (507.63)
	S3	100.00 (11.11)		62.91 (529.1)	
	S7	100.00 (11.11)		62.91 (529.1)	
	R	100.00 (11.11)		54.32 (443.2)	
HV	S0	100.00 (11.11)	100.00 (11.11)	54.22 (442.2)	53.17 (431.65)
	S3	100.00 (11.11)		54.22 (442.2)	
	S7	100.00 (11.11)		54.22 (442.2)	
	R	100.00 (11.11)		50.00 (400.0)	
HM	S0	100.00 (11.11)	100.00 (11.11)	58.03 (480.3)	47.16 (371.55)
	S3	100.00 (11.11)		56.30 (463.0)	
	S7	100.00 (11.11)		25.61 (156.1)	
	R	100.00 (11.11)		48.68 (386.8)	
V	S0	99.44 (10.49)	99.86 (10.96)	46.19 (361.9)	45.59 (355.93)
	S3	100.00 (11.11)		44.00 (340.0)	
	S7	100.00 (11.11)		48.73 (387.3)	
	R	100.00 (11.11)		43.45 (334.5)	

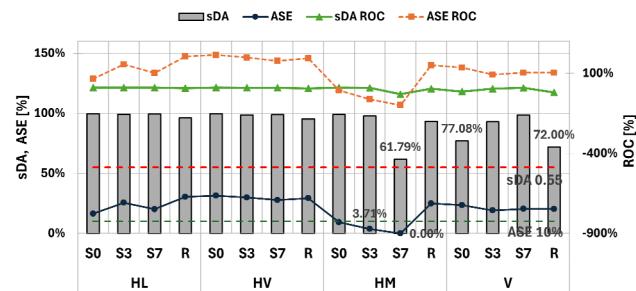


Fig. 5. sDA, ASE results and ROC by window type at WWR 30%

낮고, HL이 평균 60.76%로 높다. WWR 증가로 HL와 HV에서 S3, S7이 S0의 형태와 비슷해지며 각각 동일한 수치를 보인다. 정리해 보면 sDA는 모든 유형이 적정 범위에 만족하나, ASE는 HM의 일부 항목을 제외하고 10%를 벗어난다. 이는 과도한 자연채광의 유입으로 인한 눈부심 발생으로 사용자의 시각적 불편함을 일으킬 수 있어 눈부심 방지를 위한 대책이 필요하다. WWR에 관계 없이 HM과 V가 비교적 sDA, ASE의 적절한 균형을 이룬다.

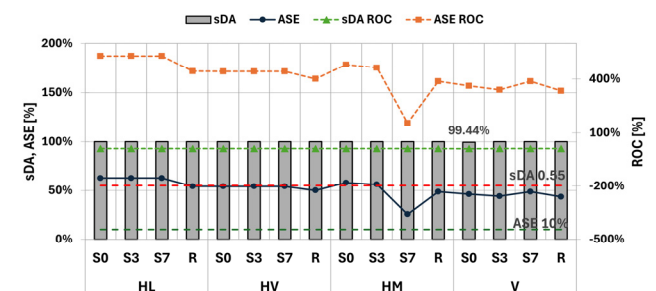


Fig. 6. sDA, ASE results and ROC by window type at WWR 60%

4.2. 창 유형에 따른 에너지 소요량 분석

Table 6.은 WWR별 에너지 소요량과 WWR 30%에서 WWR 60%로의 ROC를 나타낸 것이며, Table 7.은 창 유형별 에너지 평균과 WWR 30% 평균에서 WWR 60% 평균으로의 변화를 정리한 것이다. 각 에너지별 상위, 하위 20%의 결과에 음영을 넣어 강조하였다. WWR 30%의 경우 냉방에너지 소요량은 각 위치별 평균에서 HM이 29.00kWh/m²로 가장 낮으며, V가 29.63kWh/m²로 가장

Table 6. Energy consumption and typological rate of change [energy: kWh/m², ROC: %]

Window Type	WWR 30%				WWR 60%				WWR ROC				
	Cool*	Heat*	Light*	Total	Cool*	Heat*	Light*	Total	Cool*	Heat*	Light*	Total	
HL	S0	29.40	66.64	12.42	156.42	31.07	62.97	7.44	149.43	5.68	-5.51	-40.12	-4.47
	S3	29.49	66.40	12.05	155.89	31.04	63.04	7.45	149.48	5.28	-5.07	-38.20	-4.11
	S7	29.48	66.43	12.17	156.03	30.88	63.33	7.53	149.69	4.74	-4.66	-38.10	-4.07
	R	29.58	66.16	11.91	155.61	31.17	62.67	7.39	149.19	5.37	-5.27	-37.97	-4.12
HV	S0	29.41	66.63	12.41	156.40	31.08	62.95	7.43	149.42	5.68	-5.51	-40.14	-4.47
	S3	29.55	66.26	12.00	155.76	31.07	62.96	7.43	149.42	5.16	-4.98	-38.06	-4.07
	S7	29.53	66.31	12.12	155.91	31.07	62.96	7.43	149.42	5.24	-5.05	-38.69	-4.16
	R	29.61	66.11	11.90	155.58	31.19	62.64	7.39	149.17	5.34	-5.25	-37.94	-4.12
HM	S0	29.12	67.60	13.40	158.07	30.65	64.07	7.81	150.49	5.25	-5.21	-41.71	-4.80
	S3	28.90	68.86	14.05	159.76	30.30	65.10	8.26	151.62	4.85	-5.46	-41.18	-5.10
	S7	28.55	72.04	15.69	164.24	29.60	33.67	11.46	158.67	3.67	-53.26	-26.96	-3.39
	R	29.41	66.91	12.52	156.79	30.55	64.38	7.91	150.79	3.86	-3.78	-36.77	-3.83
V	S0	29.76	65.82	11.62	155.15	31.56	62.01	7.25	148.77	6.05	-5.80	-37.56	-4.11
	S3	29.62	66.20	11.54	155.31	31.29	62.54	7.30	149.09	5.66	-5.52	-36.75	-4.01
	S7	29.38	66.83	12.23	156.39	30.91	63.47	7.45	149.79	5.19	-5.02	-39.05	-4.22
	R	29.77	65.78	11.62	155.12	31.57	61.98	7.25	148.76	6.04	-5.78	-37.56	-4.10

* - ing: ex) Cooling, Heating, Lighting

**Red (Dark) Shade: Top 20% Value, Blue (Bright) Shade: Bottom 20% Value

***Slope Value: Maximum and Minimum Values

Table 7. Average energy by window type and average rate of change of WWR [energy: kWh/m², ROC: %]

Position	WWR 30%				WWR 60%				WWR Avg. ROC			
	Cool*	Heat*	Light*	Total	Cool*	Heat*	Light*	Total	Cool*	Heat*	Light*	Total
HL	29.49	66.41	12.14	155.99	31.04	63.00	7.45	149.45	5.00	-5.40	-62.90	-4.38
HV	29.52	66.33	12.11	155.91	31.10	62.88	7.42	149.36	5.08	-5.48	-63.19	-4.39
HM	29.00	68.85	13.91	159.72	30.28	56.81	8.86	152.89	4.22	-21.21	-57.01	-4.46
V	29.63	66.16	11.75	155.50	31.33	62.50	7.31	149.10	5.42	-5.85	-60.64	-4.29

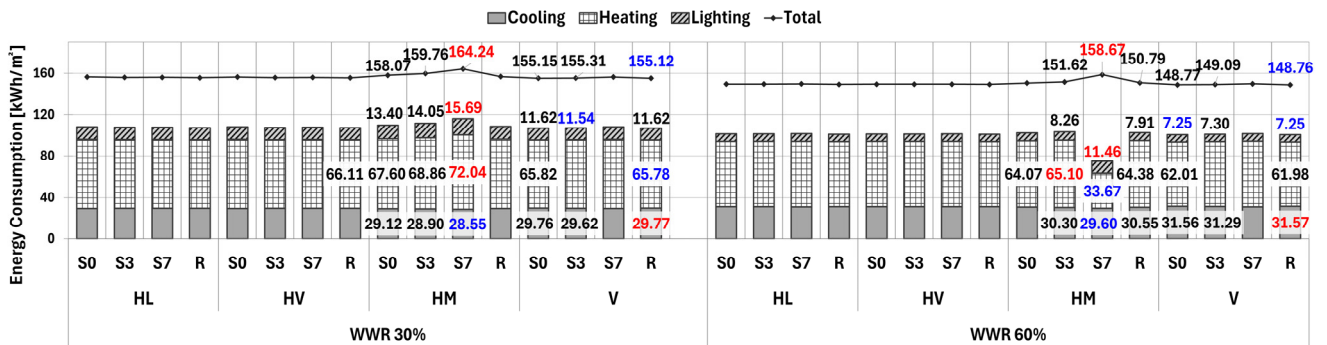


Fig. 7. Energy consumption results by window type

높다. 난방에너지 소요량의 경우 V가 66.16kWh/m²로 가장 낮으며, HM이 68.85kWh/m²로 가장 높다. 조명에너지 소요량의 경우 V가 11.75kWh/m²로 최소값을 가지며, HM이 13.91kWh/m²로 최대값을 가진다. V-R의 경우 자연채광의 증가로 난방에너지 소요량이 증가하였으나, 난방, 조명에너지 소요량이 상대적으로 감소하여 총에너지 소요량이 감소함에 최소값을 가진다. Fig. 7.과 같이 WWR 30%에서 에너지 소요량 최대, 최소값이 HM과 V에 분포한 것을 알 수 있고, 동일하게 WWR 60%의 경우 HM과 V에서 최대값

과 최소값이 분포한다. WWR 30%와 WWR 60% 모두 HM의 에너지 소요량이 대부분 높은 범위에 분포하며, V가 주로 낮은 범위에 분포한다. WWR 30%에서 난방에너지 소요량은 HM-S7, 난방에너지 소요량은 V-R, 조명에너지 소요량의 경우 V-S3, 총에너지 소요량의 경우 V-R이 최소값을 가진다. WWR 60%에서 난방에너지 소요량은 HM-S7, 난방에너지 소요량은 HM-S7, 조명에너지 소요량의 경우 V-S0, V-R, 총에너지 소요량의 경우 V-R이 최소값을 가진다. WWR 30%와 WWR 60%에서 V가 난방을 제외한 에너지 값

이 낮아 유리한 것을 알 수 있으며, WWR이 증가할수록 자연채광의 유입이 증가하여 난방에너지 소요량은 감소하고 냉방에너지 소요량은 증가한다. 조명에너지 소요량의 경우 전체적으로 WWR 30% 보다 감소한다. WWR이 커지며 실내 자연채광 유입량이 증가하여 조명에너지 소요량은 감소한다. HM의 경우 WWR 30%와 WWR 60% 모두 에너지 소요량이 불리하다. 본 연구의 평균 에너지 소요량의 경우 냉방에너지 19%, 난방에너지 44%, 조명에너지 33%의 소비비율이며, 난방에너지 소요량과 냉방에너지 소요량의 차이는 평균 33.94kWh/m²이다. DesignBuilder를 이용한 윤지영 외 6인(2023)의 연구에서 조명제어를 적용한 에너지 소비량의 경우 냉방에너지 21%, 난방에너지 43%, 조명에너지 26%로 본 연구와 유사한 에너지 소비비율을 보였다. 난방에너지 소비량과 냉방에너지 소비량의 차이가 20.76kWh/m²이며, WWR이 증가할수록 그 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다[14].

4.3. 자연채광 성능 및 에너지 소요량 종합분석

Table 8.은 자연채광 성능 및 에너지 소요량을 종합적으로 분석한 것으로 최적 창 유형을 도출하기 위해, 분석 시 사용한 적정기준을 중심으로 각각 세 범위로 나누어 점수를 부여하고, 최고점을 받은 적정 창 유형을 도출하였다. 평균 DF는 적정 범위 2%~5%일 경우 3점, 5% 초과일 경우 2점, 2% 미만일 경우 1점으로 하였다. 차양 설치 시 평균 DF가 감소할 가능성을 고려하여 5% 초과가 2% 미만보다 더 높은 점수이다. sDA는 최대기준 90% 초과일 경우 3점, 55%~90%일 경우 2점, 55% 미만일 경우 1점으로 하였다. ASE는 10% 이하의 경우 3점, 10%~30%의 경우 2점, 30% 초과일 경우 1점으로 하였다. 에너지 소요량 평가 기준은 최소값 3점, 2순위 2점, 3순위 1점으로 하였다. 자연채광 성능 점수와 에너지 소요량 점수를

종합적으로 계산하여, 가장 높게 점수를 받은 유형을 최적 안으로 선정하였다. 그 결과 WWR 30%의 경우 HV의 모든 유형에서 비교적 높은 조도를 보이지만, 적정 평균 DF값과 sDA를 만족한다. ASE의 경우 다소 높은 수치를 보여 눈부심에 대한 대책이 필요해 보인다. HM을 제외한 유형 대부분 자연채광 성능에서 8점을 받았으나, HL, HV의 경우 에너지 소요량에서 점수를 얻지 못하였고, 그 중 HV-R이 난방에너지 소요량에서 유일하게 점수를 얻었다. HM의 경우 평균 DF가 감소하며 적정 범위에 못 미칠 때 ASE가 10% 이하 적정 범위이다. 자연채광 성능에서 평균 7점을 얻었으나, 에너지 소요량에서 냉방에너지 소요량을 제외한 에너지 소요량이 높아 점수를 얻지 못하였다. V에서 평균 DF 범위가 낮을 때 sDA와 ASE도 비교적 낮다. 냉방에너지 소요량이 높게 나왔으나, 난방, 조명에너지 소요량에서 낮아지며 점수를 얻었다. V-R의 경우 자연채광 성능에서 7점을 얻었으며, 에너지 소요량에서 8점을 얻으며 총 합 15점으로 가장 높다. WWR 60%에서 HL과 HV의 경우 과도한 자연채광의 유입으로 자연채광 성능 점수가 낮아졌으며, 대부분 에너지 소요량에서 점수를 받지 못해 낮은 점수이다. HM의 경우 일부 창 유형에서 평균 DF값이 적정 범위에 만족하며 점수를 얻었으나, 조명에너지 소요량과 총 에너지 소요량이 높아 V보다 점수를 얻지 못하였다. V의 경우 자연채광이 증가하여 평균 DF가 적정 범위를 벗어나며, 냉방에너지 소요량이 증가하였으나, 난방에너지 소요량과 조명에너지 소요량, 총 에너지 소요량이 낮아지며 높은 점수를 얻었다. 따라서 본 연구에서 자연채광 성능과 에너지 소요량의 관계를 고려한 적정 창 유형은 WWR 30%의 경우 최고점을 받은 V-R(수직-우측)이며, WWR 60%의 경우 HM-S7(수평혼합-7분할)과 V-R(수직-우측)이다.

Table 8. Comprehensive analysis of daylighting performance and energy consumption

Window type	WWR 30%								Opt.*	WWR 60%								Opt.*
	Avg. DF	sDA	ASE	Cool	Heat	Light	Total	Avg. DF		sDA	ASE	Cool	Heat	Light	Total			
HL	S0	●	●	◎					8	◎	●	○					6	
	S3	●	●	◎					8	◎	●	○					6	
	S7	●	●	◎					8	◎	●	○					6	
	R	●	●	○					7	◎	●	○					6	
HV	S0	●	●	○					7	◎	●	○					6	
	S3	●	●	◎					8	◎	●	○					6	
	S7	●	●	◎					8	◎	●	○					6	
	R	●	●	◎		○			9	◎	●	○					6	
HM	S0	●	●	●	○				10	◎	●	○					6	
	S3	○	●	●	◎				9	●	●	○	◎				9	
	S7	○	◎	●	●				9	●	●	◎	●	●			14	
	R	●	●	◎					8	◎	●	○	○				7	
V	S0	●	◎	◎		◎	◎		13	◎	●	○		○	●	◎	12	
	S3	●	●	◎			●	○	12	◎	●	○			◎	○	9	
	S7	●	●	◎					8	◎	●	○					6	
	R	●	◎	◎		●	◎	●	15	◎	●	○		◎	●	●	14	

*Opt.: Optimize

**●: 3점 ◎: 2점 ○: 1점

5. 결론

본 연구는 자연채광 성능과 에너지 소요량의 관계를 알아보고자 오피스빌딩의 창 위치와 연속성의 관점에서 분류한 창 유형에 따른 자연채광 성능 평균 DF, sDA, ASE와 냉방, 난방, 조명, 총에너지 소요량을 분석하였다. 자연채광 성능의 경우 분석의 도구로 사용한 시뮬레이션 프로그램에서 LEED v4.1을 기반으로 설정하고 결과를 도출하여, LEED v4.1 인증기준을 활용하였다. 이에 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 평균 DF가 적정 기준에 만족한 경우 높은 ASE로 눈부심에 의한 불편 가능성이 있는 것을 알 수 있고, sDA의 경우 모든 창 유형에서 최소 기준 55% 이상을 만족하며, 대부분 최대기준 90%의 결과까지 만족한다. ASE에서 HM-S3과 HM-S7을 제외한 모든 유형이 WWR이 증가할수록 적정 기준을 벗어나며, 눈부심 방지 대책이 중요하게 요구되는 것을 알 수 있다. 따라서 창 유형별 분석에서 자연채광 성능 평가의 경우 sDA보다 ASE를 우선순위로 두고 고려해야 하는 것을 알 수 있다.

둘째, 창 유형에 따른 자연채광 성능과 에너지 소요량 사이에 영향이 있는 것을 알 수 있다. HM의 경우 평균 DF, sDA, ASE가 낮은 값으로 나타나며, 냉방에너지 소요량이 감소하고, 난방에너지 소요량, 조명에너지 소요량이 증가하여 총에너지 소요량이 증가하였다. V의 경우 평균 DF가 적정 범위를 만족하고, sDA, ASE가 비교적 낮으며, 적정 범위에 만족하였다. 낮고 완화된 조도 분포로 냉방에너지 소요량이 비교적 높은 반면, 난방에너지 소요량, 조명에너지 소요량이 낮으며, 총에너지 소요량이 감소하였다. 본 연구의 변수는 WWR과 동일한 면적에서 창 디자인의 변화로 냉난방에너지와의 관계에서는 창면적이 중요한 영향을 미치고, 조명에너지의 경우는 창디자인과 창면적의 영향을 받는다.

셋째, 오피스빌딩 평균 규모에서 자연채광 성능과 에너지 소요량을 고려한 창 유형의 경우 V-R이 WWR 30%에서 적정 창 유형이며, HM-S7과 V-R유형이 WWR 60%에서 적정 창 유형이다.

넷째, 시뮬레이션 분석 결과 자연채광 성능 기준을 만족하는 유형이 에너지 소요량이 다소 높은 경우가 있다. 자연채광 성능만으로 결정한 창 유형이 에너지 측면에서도 유리한 것으로 볼 수 없으며, 따라서 자연채광 성능과 에너지를 함께 분석할 필요가 있다.

다만, 본 연구는 일반적인 오피스빌딩과 상이하게 난방에너지 소요량이 냉방에너지 소요량보다 높게 나왔다. 김효중 외 3인(2008)의 연구에서 SHGC값이 작을수록 난방에너지에 대한 요구는 증가하지만 냉방에너지는 감소하는 것으로 나타났으며[15], 윤용상 외 4인(2012)의 연구에서 난방에너지 비율은 소규모 건물에는 창면적비가 증가하면 감소하지만 중대규모(30x30~100x100)로 갈수록 증가추세로 역전되는 것을 알 수 있다[16]. 이를 통해 난방에너지가 냉방에너지보다 높게 나온 원인으로 중대규모의 바닥면적 사용, 낮은 SHGC에 크게 영향을 받은 것으로 분석되며, 따라서 바닥면적, SHGC, 방위, 차양 등 다양한 변수를 적용한 후속 연구가 요구된다.

Acknowledgement

본 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2022R1F1A1071029).

References

- [1] 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서 Ver.3, 2022. // (Korea Energy Agency, Zero energy building technology & component, 2022.)
- [2] 녹색건축인증, 녹색건축 인증기준 해설서_신축 비주거용 건축물, 2023. // (G-SEED, Interpretation of green building certification standards for new non-residential buildings, 2023.)
- [3] USGBC (U.S. Green Building Council), LEED for new construction & major renovations version 2.2, 2005.
- [4] Climate Studio User Guide, Daylight Factor, <https://climatestudiodocs.com/>, 2024.03.05.
- [5] USGBC (U.S. Green Building Council), LEED reference guide for building design and construction v4, 2013.
- [6] I. Acosta et al., Analysis of daylight factors and energy saving allowed by windows under overcast sky conditions, *Renewable Energy*, 77, 2015.05, pp.194-207.
- [7] O.S. Asfour, A comparison between the daylighting and energy performance of courtyard and atrium buildings considering the hot climate of Saudi Arabia, *Journal of Building Engineering*, 30, 2020.07, 101299.
- [8] M. Mahdavejad et al., The impact of facade geometry on visual comfort and energy consumption in an office building in different climates, *Energy Reports*, 11, 2024.06, pp.1-17.
- [9] 박경빈 외 4인, 도서관 환경성능 개선 그린 리모델링 - 사용자 요구에 알맞은 공간 및 친환경 리모델링, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제42권 제2호, 2022, pp.1133-1136. // (K.B. Park et al., An analysis of remodeling of environmental-quality-level improvement in library -Space and eco-friendly remodeling for user needs-, *Journal of the Architectural Institute of Korea Fall Conference*, 42(2), 2022, pp.1133-1136.)
- [10] 김호정, 최우석, 진하운, 연중 냉난방 부하와 빛환경을 고려한 커튼월 건축물 차양 설계 방법론 연구, 대한건축학회논문집, 제39권 제11호, 2023.11, pp.3-14. // (H.J. Kim, W.S. Choi, H.Y. Jin, A shading device design methodology for curtain-wall buildings: Balancing heating and cooling loads with light environment considerations, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 39(11), 2023.11, pp.3-14.)
- [11] SOLEMMMA, Climate Studio, <https://www.solemma.com/>, 2024.03.05.
- [12] 오승주 외 4인, 건축계획론, 한국: 광문각, 2018, p.604. // (S.J. Oh et al., *Architectural planning & design theory*, Korea: Kwangmoonkag, 2018, p.604.)
- [13] 정인영 외 3인, 채광시스템 유형별 실내공간의 시각적 쾌적성에 관한 평가, 한국생태환경건축학회지, 제6권 제1호, 2006.03, pp.17-24. // (I.Y. Jeong et al., Visual comfort evaluation of interior spaces by daylighting systems, *KIEAE Journal*, 6(1), 2006.03, pp.17-24.)
- [14] 윤지영 외 6인, 제로에너지건축물 설계를 위한 업무시설 창면적비 변화에 따른 전주기 에너지 소비량 및 탄소배출량 분석, 한국생태환경 건축학회지, 제23권 제4호, 2023.08, pp.43-50. // (J.Y. Yun et al., Analysis of energy consumption and carbon emissions over the entire lifecycle based on changes in window-to-wall ratio for zero-energy building design, *KIEAE Journal*, 23(4), 2023.08, pp.43-50.)
- [15] 김효중 외 3인, 이중 및 삼중 로이창호의 일사확득에 따른 사무건물의 냉난방에너지 성능분석, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2008.11, pp.90-95. // (H.J. Kim et al., Heating & cooling energy performance analysis of an office building according to SHGC level of the double & triple glazing with low-e coating, *Proceedings of the Korean Solar Energy Society Fall Conference*, 2008.11, pp.90-95.)
- [16] 윤용상 외 4인, 커튼월 건물에 있어 에너지 성능 지표로서의 창면적/바닥면적비 도입 타당성에 관한 기초연구 II, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제6권 제3호, 2012.09, pp.129-137. // (Y.S. Yoon et al., A fundamental study on the feasibility of the window to floor ratio as a building energy index in curtain wall buildings II, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 6(3), 2012.09, pp.129-137.)