



## 주광 시뮬레이션 분석을 활용한 리모델링 프로젝트의 파사드 디자인 최적화 프로세스

### Facade Design Optimization Process for Adaptive Reuse Projects using Daylight Performance Simulation

김유겸\* · 김홍민\*\*

Yu-Gyeom Kim\* · Hong-Min Kim\*\*

\* Graduate Student, Dept. of Architecture, KongJu National Univ., South Korea (tmeqyg@gmail.com)

\*\* Corresponding author, Professor, Dept. of Architecture, KongJu National Univ., South Korea (hmk@kongju.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Design methodologies have changed as technologies evolving in the architectural design field. It is possible to identify and apply performance criteria in the pre-construction stage of a building through simulation in fields such as daylight, thermal environment, structure, etc. Sustainable development, considering the comfortable indoor environment and eco-friendly aspects for the occupant, and through this, it will be possible to propose various types of passive design. **Method:** In this study, parametric design was implemented using Rhino and Grasshopper, and daylight environment analysis was conducted using ClimateStudio, an building performance simulation program. Furthermore, through a comparative analysis of prior research, the types of exterior shading devices for buildings were classified, and their design characteristics were systematically analyzed. Based on this, a simulation was performed using the implemented shading device and the results are compared and analyzed. **Result:** As a result of the simulation, high-performance shading devices were selected from the louver type or panel type according to design type, and the differences and characteristics of each type were compared and analyzed. Additionally, the values from each shading device were compared with values according to LEED standards. This comparison was visualized through ClimateStudio to achieve intuitive results, and LEED credit evaluation was also possible concurrently. When this optimization design process is applied to the actual design stage, it will be possible to propose a high-performing passive shading device design according to the use and conditions of each building.

#### KEYWORD

파라메트릭 디자인  
친환경 파사드  
루버 시스템  
패시브 디자인  
주광 시뮬레이션

Parametric Design  
Eco-Friendly Facade  
Louver System  
Passive Design  
Daylight Simulation

#### ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 6, 2024  
Final revision received Aug. 29, 2024  
Accepted Sep. 4, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경과 목적

건축물을 디자인하는 과정은 역사적으로 다양한 접근 방식과 양식들을 통해 탐구되고 구성되어 왔다. 건물의 장식적인 요소를 절제하고 기계적인 미학의 구현을 추구한 모더니즘과 잇거는 역사적 요소들을 되살려 건축물에 반영하는 포스트모더니즘을 비롯하여 다양한 이념들이 건축계의 발전과 함께해왔다. 이러한 건축에서의 이념과 접근 방식은 다양하나, 공통으로 형태를 만들어낸다는 측면에서 건축가의 직관적인 결정으로 디자인되어 왔다. 건축물의 배치와 형태, 평면과 입면, 인테리어와 창호 그리고 외피에 이르기까지 전반적인 요소를 결정하는 데에는 건축가의 오랜 경험과 역사에서 비롯된 접근 방식이 반영되고 있다[1].

시대가 변하여 기술이 발전함에 따라 그동안 다양한 분야에서 사용되어 온 아날로그적인 수단들이 디지털화되어 사용되고 있다[2]. 건설 산업 또한 시대의 흐름에 발맞추어 새로운 디자인 도구와 시공 방식, 신소재에 이르는 발전이 이루어졌다. 특히, BIM(Building Information Modeling)으로 통칭하는 3D 모델링과 다양한 분석 도구들이 등장함에 따라 과거 모더니즘적 디자인 형태의 파괴가 일어

난 비정형적 디자인의 시도가 가속화되고 있다[3]. 최근 AI가 등장함에 따라 건축 분야에서의 활용에 관한 연구 또한 계속되고 있다[4, 5]. 이렇게 세계적으로 기술과 디자인 접근 방법의 다양화가 가속되고 있는 가운데, 환경문제와 더불어 지속 가능한 개발에 대한 중요성 또한 강조되고 있다. 이에 앞서 등장한 디자인 도구들을 사용하여 설계 과정 중 시뮬레이션을 통해 과거 건축가의 경험과 직관으로 결정되어 온 친환경 요소의 성능 예측이 가능하게 되었다. 또한, 성능의 예측에 그치지 않고, 다양한 디자인 대안을 생성하고 분석하여 고성능 디자인을 구현하는 방식의 디자인 방법론 또한 적용되고 있다[6]. 이와 관련하여 건축물의 외부 차양장치의 형태와 작동방식에 따른 유형과 디자인 변수에 대한 친환경 시뮬레이션 연구가 계속되고 있으며, 이를 적용한 건축 사례들이 등장하고 있다.

건축물의 입면에서 발견되는 외부 차양장치는 일광을 조절하고 활용하여 건물 에너지 사용량을 저감하는 기능적 목적을 가진다. 특히, 루버의 경우 남향에서는 수평으로, 동-서향에서는 수직으로 설치하였을 때 직사광선 차단에 유리하다는 점이 널리 알려져 있다. 그러나 건축물의 입면 디자인은 기능적인 역할 외에도 시각적 촉각성을 활용한 심미적인 디자인 요소의 역할을 하며, 건물의 이미지 형성에 이바지하거나 때로는 지역의 랜드마크로서의 상징성을 가지기도 한다. 물론, 디자인 요소로서의 외피에만 치우친 건축물은 친환경적이거나 에너지 사용량의 저감에는 한계를 가질 수 있다. 본 연구는 이러한 배경을 바탕으로, 지속 가능한 개발이라는 관점에서 성능과

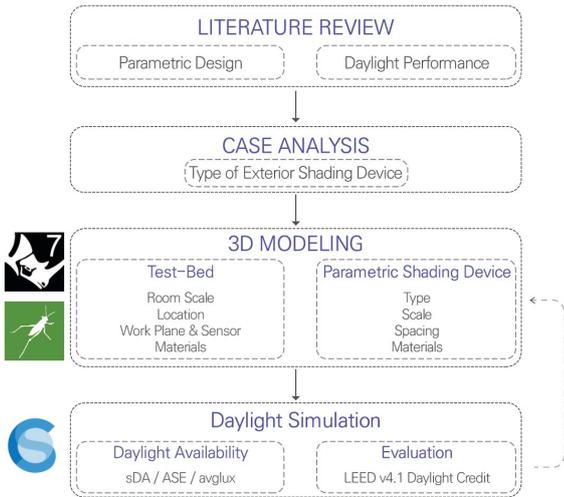


Fig. 1. Process of research

Table 1. Plan and section diagram of testbed

Type	Type_A	Type_B
Plan		
Section		

디자인 다양성을 동시에 추구할 수 있는 외피 디자인 대안이 더 다양하게 존재할 가능성에 관한 질문에서 출발하였다.

본 연구의 목적은 실제 건축물 사례에서 사용된 디자인 어휘를 기반으로 한 디자인 구현과 주광 시뮬레이션을 결합하여, 지속 가능한 건축을 위한 파라메트릭 설계 방법론을 제안하는 것이다. 이를 위해 선행연구에서 적용된 실험 변수를 대상 모델에 적용하여, 그로 인해 발생하는 요인을 분석하고, 사례 기반으로 디자인된 파라메트릭 차양장치를 적용하여 실내 빛 환경에 어떤 영향이 발생하는지 시뮬레이션을 통해 확인하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 Rhino와 Grasshopper를 통해 파라메트릭 디자인을 구현하고, 친환경 분석 시뮬레이션 프로그램인 ClimateStudio를 통해 실내 빛 환경 분석을 진행하였다. 이를 위해 다음과 같은 구체적인 방법을 설정하였으며, Fig. 1.은 해당 연구의 전반적인 흐름을 보여준다.

첫째, 파라메트릭 디자인 시스템과 주광 제어 성능 디자인에 대한 이론적 고찰을 진행한다.

둘째, 선행연구를 통해 시뮬레이션에 사용된 변수들과 조건들을 분석한다. 또한, 실제 외부 차양장치의 유형과 건축 사례에 적용된 디자인을 분석하며, 사례에 사용된 디자인 어휘를 분류한다. 또한, 시뮬레이션에 사용할 친환경 분석 프로그램의 특징을 알아본다.

셋째, 사례를 바탕으로 Grasshopper를 통해 파라메트릭 차양장치 유형을 디자인하여 주광 시뮬레이션을 진행한다.

넷째, 시뮬레이션에 사용할 변수 및 물리적인 조건을 설정하여 실내 빛 환경 시뮬레이션을 진행한다. 시뮬레이션에는 ClimateStudio를 사용하여 결과의 시각화 및 친환경 인증 평가를 함께 진행한다.

마지막으로 시뮬레이션의 결과를 분석하여 건축물 외장 차양장치의 성능을 비교한다.

시뮬레이션을 적용할 Testbed는 충청남도 천안시에 위치한 교육 및 업무시설로 설정하였다. 해당 건축물은 하루 중 일광의 영향을 가장 많이 받게 되는 정남향의 건축물로, 일부 처마와 같은 형태를 가진 공간을 제외하면 이중 외피와 같은 건축물의 차양장치가 존재하지 않는 건축물이다. 또한, 외피가 가지는 일광 조절 성능만을 파악하기 위해 주변 지형지물의 간섭이 적은 평지에 위치하며, 식생의 영향 또한 적은 지상 3층의 공간이다. Testbed는 기존 건축물의 특성을 살려 처마의 유무에 따라 영향을 비교하고자 2가지 유형을 대상으로 설정하였다. 이에 따른 Testbed의 규모는 일반형(A타입) 4.1m\*7.4m\*3m와 처마형(B타입) 4.1m\*5.2m\*3m이며, Table 1.은 해당 Testbed의 평면과 단면에 대한 다이어그램이다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. 주광 제어 고성능 디자인

2022년 기준으로 국내 전기 사용량 중 29.09%는 건물에서 사용되었고, 그중 아파트 20.2%, 병원 11.4%, 학교 10.5, 상용 8.5%와 같은 비율로 사용되었다.<sup>1)</sup> 또한, 2021년 비주거용 건물의 건물 에너지 사용량(TOE, Ton of Oil Equivalent)의 73%는 전기 에너지가 차지하였다<sup>2)</sup>. Mark DeKAY는 그의 저서에서 비주거용 건물에서 에너지 소비를 가장 효율적으로 줄이는 방법으로 인공조명에 사용되는 에너지 일부를 주광으로 대체하여 사용하는 것이라고 언급한다[7]. 다만, 이는 기후의 변화에 영향을 받기에 무분별한 일사 에너지의 사용은 오히려 여름철 건물의 냉방 에너지 사용량을 늘리게 되기에 주광의 조절을 위한 차양장치의 사용을 권장하고 있다.

주광(daylight)은 건축 설계에 있어 건물의 형태, 프로그램의 배치, 그리고 창문을 비롯한 외피를 결정하는 데 중요한 고려 대상이다. 적절한 일조량은 심미적 요인을 끼칠 뿐 아니라 실내 빛 환경과 열환경, 즉 건축물의 유지에 필요한 전기 에너지 사용량에 이르기까지 영향을 끼친다. 이에 건축물의 차양 시스템은 과도한 직사광선과 열을 차단하거나 간접광을 실내 깊은 공간으로 끌어들이는 등의 기능을 가지며[8], 이는 건축 역사적으로 각 지역의 기후적 특징에 따라 다양한 형태로 발전해 왔다. 차양장치들의 형태와 명칭은 세계적으로 다양하지만, 기능의 효율성에 따라 유사한 형상을 지니고 있

다. 이러한 건축물의 차양장치들은 건축 프로그램의 성격과 지역 기후 조건에 따라 최적화되어 일정한 형태로 고정된 경우도 존재하지만, 기상 상황과 사용자의 필요성에 따라 조도를 조정하는 등의 동적인(kinetic) 형태로도 존재한다[9, 10].

### 2.2. 파라메트릭 디자인

지난 수십 년 동안 컴퓨터 계산 기반 디자인 접근 방식이 등장하며 건축가를 비롯한 디자이너들에게 사용되고 있다. 컴퓨터이셔널 디자인 방법론의 종류로 파라메트릭 디자인(Parametric Design)을 비롯하여 생성형 디자인(Generative Design), 알고리즘 기반 디자인(Algorithmic Design) 등이 있다. 그 중에서 파라메트릭 디자인은 매개변수 또는 매개변수와 관련되거나 표현된 것을 기반으로 한 디자인 방법론이다.

선행연구 분석을 바탕으로 파라메트릭 디자인을 정의하자면 “매개변수와 규칙을 사용하여 제한하는 알고리즘적인 사고를 기반으로 하는 설계 프로세스”로 종합할 수 있겠다[11~13]. 또한, 파라메트릭 디자인은 서로 다른 설계 요소 간의 종속성을 설정하는 연관 기하학 및 토폴로지 관계개념을 사용한다[14, 15]. 즉, 문헌 고찰을 통해 파라메트릭 디자인은 컴퓨터이셔널 디자인 방법론으로 매개변수의 사용을 기반으로 디자인을 상징적으로 설명하는 접근 방식으로 정의할 수 있겠다[16].

## 3. 선행연구고찰

### 3.1. 외부 차양장치의 유형과 사례

차양의 기능으로써 루버는 여름철 건물의 냉방부하를 줄이고, 겨울철에는 필요한 주광을 실내로 끌어들이어 사용하기에 유리한 요소로 평가되고 있다. 특히, 외부에 설치된 루버는 내부에 비해 복사열의 측면에서 유리하다[6]. 외부 차양장치는 그 형태와 재료, 건축물의 주변 환경 조건과 실의 용도에 따라 다양한 형태로 나타나고 있다. 이는 기하학적인 형태나 작동 방식에 따른 분류가 가능하며, 각 형태에 따라 종속되는 변수 조건 또한 확인할 수 있다[9, 10].

본 연구에서는 유형별 차양장치의 주요 특징과 실제 실내 빛 환경에 어떤 영향을 주는지 차이점을 비교하고자 한다. Table 2,와 Table 3.은 다양한 건축 차양장치 사례들을 해당 기준에 따라 분류한 내용이다. 사례의 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 건축물의 측면에 설치된 차양장치여야 한다. 둘째, 창호와 분리된 이중 외피 구조여야 한다. 마지막으로 정형뿐만 아니라 비정형의 사례도 포함하여 선정하였다. 이렇게 선정된 사례들은 주로 북반구에 위치한 외피 디자인 사례로서, 건축에 사용된 재료와 입면이 바라보는 방향, 디자인의 형태적 어휘와 작동 방식에 따라 분류하였다. 이를 통해 Twisting, Rotating, 그리고 Folding과 같은 형태와 관련된 디자인 어휘로 구분되며, 특정 알고리즘에 의해 디자인된 타공 패널(Perforated Panel)이 독립적 또는 혼합적으로 사용되고 있음을 알 수 있었다. 직사광선의 영향을 받는 남향을 중심으로 동, 서향과 일부 북향까지 적용됨을 통해 일사량 조절의 목적 외에도 프로그램에 따른 건축물 내

Table 2. Case of exterior louver design(1)

Project (Year)	Liverpool Altabrira (2012)	San Mames Stadium (2014)	Amorepacific Headquarters (2017)	Tooker House (2017)	Luanda Multisports Pavilion (2013)	Hongzhu Housing Sales Center (2012)	Claude Debussy Conservatory (2013)
Image	 © Jaime Navarro	 © Airtor Ortiz	 © Yugyeom Kim	 © Bill Timmerman	 © Fernando Guerra	 © Chic-Ming Wu	 © Sergio Grazia
Architects	Inaki Echeverria	IDOM	David Chipperfield	Solomon Cordwell Vuenz	Berger Arquitectos	Lab Modus	Basalt Architecture
Location	Villahermosa, Mexico	Bilbao, Spain	Seoul, Korea	Tempe, US	Luanda, Angola	Taiwan	Paris, France
Program	Commercial	Stadium	Office	Dormitory	Stadium	Commercial	Education
Material	FRC	ETFE	Aluminium	Metal	Metal	Metal	Metal
Type	Twist - Vertical	Twist - Vertical	Fins - Vertical	Fins - Vertical	Fold - Vertical	Fold - Vertical	Fold - Perforated
Kinetic Methods	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Tilt
Main Function	Aesthetics	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading
Facing Direction	E, W, N	NE, NW, SE, SW	NE, NW, SE, SW	S, SE	E, W, N, S	S	SW

Table 3. Case of exterior louver design(2)

Project (Year)	Al Bahar Towers (2013)	Nebuta Museum (2011)	UCSF Medical Center Parking Structure (2012)	Cloaked in Bricks (2015)	Fobury Place (2016)	Kia 360 (2017)	Yeosu Expo Thematic Pavilion (2012)
Image	 © Aedas	 © Iwan Baan	 © Tim Griffith	 © Mostafa Karbasi	 © Edmund Sumner	 © Yugyeom Kim	 © Yugyeom Kim
Architects	Aedas Architects	Molo Design	WRNS Studio	Admun Design & Construction Studio	Aukett Swanke	CA Plan	SOMA Lima
Location	Abudabi	Aomori, Japan	San Francisco, US	Tehran, Iran	Reading, UK	Seoul, Korea	Yeosu, Korea
Program	Office	Museum	Parking	Apartments	Institution	Exhibition	Exhibition
Material	PTFE	Metal	Aluminium	Brick	Metal	Aluminium	GFRP
Type	Fold	Twist	Fins - Vertical	Rotate - Vertical	Twist - Vertical	Rotate - Vertical	Twist - Vertical
Kinetic Methods	Origami	Fixed	Rotate	Fixed	Fixed	Fixed	Twist, Compress
Main Function	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading	Aesthetics
Facing Direction	E, W, S	NE, NW, SE, SW	E, W, N, S	S	E, W	E, S, W	W
Project (Year)	Hospital de Navarra Biomedical Research Center(2011)	Bygom AB Office(2014)	De Young Museum (2005)	Bukit Pantai Residence (2015)	S2OSB Headquarters Conference Hall (2016)	The Street Ratchada (2017)	J. G. Jabra Library (2020)
Image	 © Rubén P. Bescós	 © Markus Linderoth	 © Johannes Marburg	 © Lin Ho	 © Thomas Mayer	 © Luke Yeung	 © Bahaa Ghousainy
Architects	Vailo & Irigaray	Johan Sundberg + Blasberg Andreasson	Herzog & de Meuron	OOZN	BINAA	Architectkidd	Atelier Pagnamenta Torriani
Location	Pamplona, Spain	Lund, Sweden	San Fransisco, US	Kuala Lumpur, Malaysia	Hendek, Türkiye	Bangkok, Thailand	Blat, Lebanon
Program	Institution	Office	Museum	Residence	Office	Commercial	Library
Material	Aluminium	Aluminium	Corten Steel	Aluminium	Metal	Aluminium	Metal Mesh
Type	Fold - Perforated	Fold - Perforated	Perforated	Perforated	Fold - Perforated	Fold - Perforated	Fold - Perforated
Kinetic Methods	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
Main Function	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading	Shading
Facing Direction	NE, SW	NE, NW, SE, SW	NE, NW, SE	SW, NW	NE, NW, SE, SW	SE	E, S, W

Table 4. Summary of literature review

No.	Author	Year	Modeling	Optimization	Simulation	Space Program	Independent Variable
1	J.W. Park, D.S. Lee [19]	2023	RH, GH	GP	LB	-	AR
2	J.S. Kim, M.K. Kim [20]	2023	RH, GH		LB	OF	TF
3	K.R. Kim, K.S. Lee, H.S. Cho [21]	2023	RH, GH		CS	CR	WH, TF, PL
4	Z. Luo et al. [22]	2022	RH, GH		DV	OF	AR
5	S.J. Choe, S.H. Han [23]	2022	RH, GH		LB, HB	OF	TF, AR
6	D.I. Kim, J.K. Han [24]	2022	RH, GH	GP	LB, HB	OF	TF
7	R.P. Khidmat et al. [25]	2021	RH, GH		LB, HB	CR, OF	PL, DG, AR, OH
8	J.Y. Kim, S.W. Kim, Y.C. Jeon [26]	2021	RH, GH		DV	-	OR, PL, TF
9	S.Y. Jung, G.W. Kim, D.J. Kim [27]	2021	RH, GH	GP	LB	-	TF
10	D.H. Baek, S.J. Chang [8]	2021	RH, GH		LB, HB, OS	RF	TF
11	S.H. Ko [17]	2020	RH, GH		LB, HB	OF, RD	PL, SP
12	D.J. Jang, S.A. Kim [28]	2020	RH, GH		LB, HB	OF	IC
13	S.N. Hosseini, S.M. Hosseini, M. HeiraniPour [29]	2020	RH, GH		DV	DW	TF, PL, ST
14	K.J. Lee, R. Ryu, Y.S. Kim [30]	2020	MK		PV	-	FA
15	W.H. Lee [31]	2020	RH, GH	GP	LB	-	TF
16	J.H. Kim, J.H. Kim [32]	2020	RH, GH		LB	-	TF
17	J.Y. Yu, W.H. Lee, M.Y. Lee [33]	2019	RH, GH	GP	LB	-	TF
18	J.P. Choi et al. [6]	2014	RH, GH		ET	OF	AR, SP, PL, IC
19	C.J. Brennan [34]	2012	SK		OS	DW	FM, SP, PL, DG
20	J.H. Lim, J.J. Jung, J.Y. Lee [10]	2008	AC		RD	CR	TF, PL, AR, FM

Modeling: RH: Rhino, GH: Grasshopper, RV: Revit, AC: AutoCAD, SK: SketchUp, MK: Mock-Up

Optimization: GP: Galapagos

Simulation: LB: Ladybug, HB: Honeybee CS: ClimateStudio, DV: Diva, OS: OpenStudio, RD: Radiance2.0 ET: Ecotect, PV: PV Panel

Space Program: RF: Research Facilities, CR: Classroom, RD: Residence, OF: Office

Variables: AR: Angle of Rotation, FA: Folded Angle of Panel SP: Spacing, PL: Projection Length, IC: Inclination, TF: Type of Facade Design, FM: Finishing Material, DG: Distance from Glazing, ST: Solar Term, OH: Overhang, OR: Opening Ratio, WH: Window Height

외부의 시선 조절 및 디자인 어휘의 통일 등 공간적, 심미적인 요소로도 사용되고 있음을 시사한다.

또한, 사례에서 도출된 디자인 어휘인 Twisting, Rotating, Folding, 그리고 Perforated Panel의 패턴은 매개변수에 의한 파라메트릭 디자인의 요소로 사용될 수 있으며, 차양장치 모듈의 크기, 간격, 회전 각도와 같은 매개변수를 설정하여 시뮬레이션 모델을 구현할 수 있을 것이다.

### 3.2. 주광 시뮬레이션

건축에서 빛 환경은 광원에 따라 자연채광과 인공조명으로 나눌 수 있다. 특히, 주광(daylight)은 건축 설계에서 건물의 형태, 프로그램의 배치, 그리고 창문을 비롯한 외피를 결정하는 데 중요한 고려 대상이다[17]. 적절한 일조량은 심미적 요인에 영향을 미칠 뿐만 아니라 실내 빛 환경과 열 환경, 즉 건축물의 유지에 필요한 에너지 사용량에도 영향을 주고 있다[18].

국내외에서 패시브 디자인의 구현을 위해 건축 계획 단계에서 컴퓨터 프로그램을 통한 시뮬레이션 기법을 적용하여 실내 빛 환경을 예측하는 연구가 이어지고 있다. 이에 사용되는 시뮬레이션 프로그램으로는 주로 Ladybug, EnergyPlus, Diva(ClimatStudio) 등이 있다. 일조 분석 시뮬레이션을 구동하기 위해서는 물리적 환경의 모델링이 필요하다. 시뮬레이션 대상지의 기후 데이터를 설정함으로써 직

사광선의 입사각을 절기에 따른 적용이 가능하다. 실내 공간의 규모, 창호의 크기, 실내의 마감재와 차양장치의 마감재까지 일조 환경에 영향을 끼치는 요소의 굴절률, 빛 투과율과 같은 수치의 입력이 필요하다. 또한, 차양장치의 성능 비교를 위해 장치의 폭, 두께, 깊이와 각도까지도 변수로 설정이 가능하다. Table 4.는 선행연구에서 적용된 시뮬레이션 프로그램과 건물의 용도, 고정변수와 독립변수를 기반으로 건축에 적용된 친환경 시뮬레이션에 관한 연구를 최근 연도 순서로 간략하게 나타낸 것이다.

## 4. 시뮬레이션

### 4.1. ClimateStudio

실내 빛 환경을 평가하기 위한 기법은 다양하고 평가 기준과 계산 방식 또한 인증제도마다 상이하다. 본 연구에서는 실험 모델의 파라미터 제어와 빛 환경 분석을 함께 진행할 수 있도록 Rhino의 파라메트릭 모델링을 위한 플러그인인 Grasshopper와 Rhino와 Grasshopper의 환경에서 추가적인 플러그인 형태로 작동하는 ClimateStudio를 활용하여 실시간 대화형으로 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

Rhino는 건축 등의 분야에서 널리 사용되는 3D모델링 프로그램으로, 실시간 대화형 파라메트릭 편집기인 Grasshopper가 플러그인 형태로 제공되고 있다. 이와 호환되는 빛 환경 및 에너지 성능 분

적 소프트웨어로는 Ladybug와 Honeybee, ClimateStudio 등이 있다. 그중 ClimateStudio는 Solemma사에서 Diva에 이어서 제공하고 있는 시뮬레이션 프로그램으로, 건축 및 건설 부문에서 에너지 효율, 자연채광, 인공조명의 성능, 빛 환경과 열 환경의 시각화 분석을 위한 프로그램이다. 에너지플러스 기후 데이터(EPW)와 빛의 휘도 추적 기술을 기반으로 정확하고 빠른 결과를 제공한다는 것이 장점이다. 또한, LEED와 BREEAM과 같은 친환경 인증제도의 기준이 자체적으로 입력되어 시뮬레이션에 따른 해당 기준의 충족 여부를 점수화하여 제공된다는 특징이 있다.

ClimateStudio를 구동하기 위해 우선 해당 건물의 위치, 즉 지역 기후 데이터를 설정해야 한다. 또한, 건물 환경의 구성요소를 재질 별 고유 반사 값을 적용할 수 있도록 레이어의 구분이 되어있어야 하며, 외부 채광이 들어오는 창에 대한 블라인드값 설정, 바닥 면에 빛이 점유하게 되는 영역에 대한 설정이 기본 적용되어야 한다. 이후 ClimateStudio에서 실행이 가능한 시뮬레이션에는 Site Analysis, Daylight Availability, Annual Glare, Thermal Analysis 등이 있다. 본 연구에서는 실내조도 평가 결과를 얻기 위해 Daylight Availability(주광 가용성 평가)를 사용하였다. 시뮬레이션 결과에 대한 친환경 인증제도 평가 모델로는 LEED v4.1으로 설정하였다. 이를 통해 얻을 수 있는 결과로는 LEED 평가 기준의 Credit, sDA(Spatial Daylight Autonomy), ASE(Annual Sunlight Exposure), avg lux(Mean Illuminance), Blinds Open 등이 있다[35].

1) sDA (Spatial Daylight Autonomy)

sDA는 시뮬레이션에 적용된 바닥 면적 중, 연간 일과시간인 오전 8시부터 오후 6시까지의 최소 조도 기준을 넘어가는 바닥의 면적 비율을 나타낸다[37]. LEED에서는 최소 조도 기준으로 300 lux를 제시하고 있다. sDA 계산은 연중 기상 데이터의 수천 가지 천공 조건에 대한 연간 기후 기반 시뮬레이션을 기반으로 한다. Fig. 2.는 ClimateStudio를 통해 측정된 sDA값의 시각화 이미지이다.

2) ASE (Annual Sunlight Exposure)

ASE는 연중 태양으로부터의 직사광선에 노출된 조도값이 기준치 이상의 과도한 바닥의 면적 비율을 의미한다. LEED에서는 최소 1,000lux의 조도가 연간 최소 250시간 이상 노출되는 바닥 면적의 비율로 기준을 제시하고 있다. sDA에서는 사람이 생활하는데 필요한 최소한의 조도를 제시하고 있다면, 반대로 과도한 조도는 현휘의 발생으로 생활에 불편함을 초래할 수 있다. 또한, 과도한 직사광선은 열에너지를 포함하고 있기에 실내 냉방 에너지 부하가 높아지기 때문에 제어할 필요가 있다. LEED v4.1의 평가 기준에서는 sDA값을 기준으로 점수가 적용될 뿐만 아니라, ASE 비율이 10%를 초과하는 경우에는 현휘를 해결할 수 있는 디자인이 고려되었는지 여부 또한 확인하고 있다. Fig. 3.은 ClimateStudio를 통해 측정된 ASE 데이터의 Rhino 인터페이스에서 시각화된 이미지이다.

3) LEED v4.1 Daylight Credit

LEED의 Daylight 부분에서 친환경 건축 인증 자격을 부여하는 포인트 수이다. 포인트는 해당 시뮬레이션에 적용된 모든 공간에서의 일광 자율성(sDA)을 기반으로 평가되며, 각 평가 기준은 Table

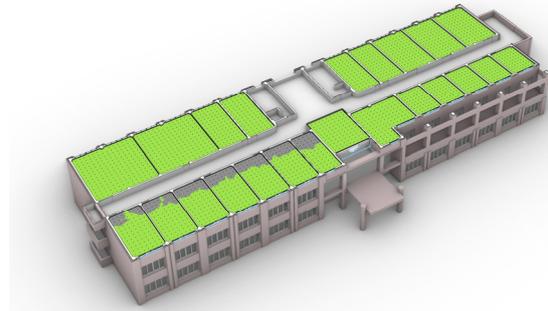


Fig. 2. Visualization of sDA results

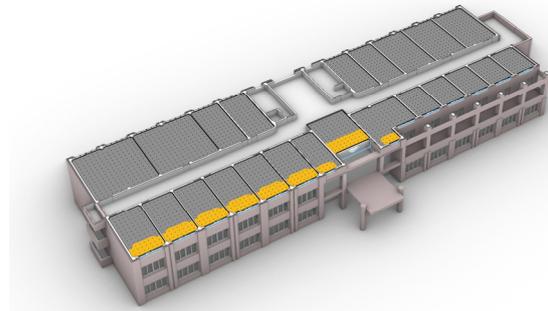


Fig. 3. Visualization of ASE results

Table 5. Points for spatial daylight autonomy, LEED

	LEED v4.0	LEED v4.1
sDA ≥ 40%	-	1 Points
sDA ≥ 55%	2 Points	2 Points
sDA ≥ 75%	3 Points	3 Points

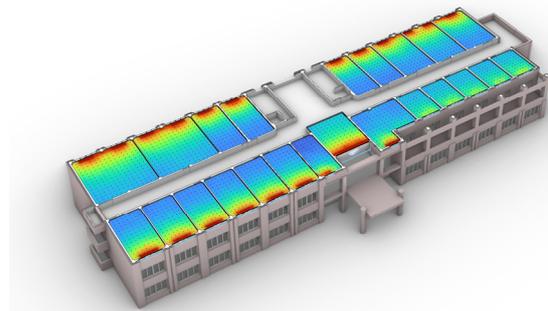


Fig. 4. Visualization of avg lux results



Fig. 5. Visualization of blinds open results

5.와 같다[36].

4) 평균 조도, avg lux (Mean Illuminance)

avg lux값은 연중 모든 시간 동안 시뮬레이션에 적용된 바닥 면적에 대한 평균 조도값을 의미한다. 조도는 밝기를 의미하며, 바닥뿐만 아니라 벽 등 대상 면의 단위 면적당 도달하는 빛의 양을 측정한다. Fig. 4.는 Rhino 인터페이스에서 시각화된 연간 평균 조도 측정 결과 이미지이다.

5) Blinds Open

Blinds Open 값은 태양의 영향을 받는 시간 동안 블라인드에 의해 음영 처리되지 않은 창 영역의 백분율이다. 즉, 해당 수치는 외부에 대한 시야와 연관이 있으며, 수치가 낮을수록 블라인드가 사용된 면적의 비율이 더 높으며 외부에 대한 시야가 줄어든 것을 의미한다. 이는 ASE와 마찬가지로 건물의 향, 고정형 차양장치, 벽면에 대한 개구부 크기 비율과 같은 요소에 의해 변화가 생길 수 있으며, 이는 Fig 5.와 같이 Rhino 모델링 중 창문 등 개구부 부분에서 실시간으로 확인할 수 있다. 본 연구에서는 고정형 차양장치 디자인 대안을 통해서만 변화되는 값을 확인하기 위하여 블라인드에 대한 변수를 고려하지 않았다.

4.2. 시뮬레이션 세팅

ClimateStudio를 통해 빛 환경 시뮬레이션을 진행하기 위해서는 몇 가지 조건을 설정하여 입력할 필요가 있다. 이는 시뮬레이션을 통해 밝히고자 하는 내용에 따라 다소 차이가 존재한다. 본 연구의 목적은 건축물 외부 차양장치 사례에서 나타나는 어휘와 이에 따른 차양장치 디자인의 유형이 실내 빛 환경에 끼치는 영향을 알아보고, 이를 통해 외부 차양장치의 설계 단계에서 고려 및 응용하기 위함이다. 이를 위해 선행연구에서 도출된 요소들을 바탕으로 다음과 같은 시뮬레이션 세팅을 진행하였다.

1) Testbed Modeling

Testbed의 크기와 주변 환경 등 물리적인 요소를 설정이 필요하다. 본 시뮬레이션에서 사용된 Testbed는 충청남도 천안시에 위치한 교육 및 연구시설로, 정남향의 조건과 주변 환경의 간섭이 적은 위치에 있어 차양장치의 종류에 의한 결과의 비교에 유리하다. 해당 건축물 지상 3층의 업무공간 중, 처마의 유무라는 형태적 특성을 가진 두 공간을 Testbed로 적용하였다.

이후 실내 공간을 이루고 있는 요소 및 외부 차양장치의 마감재를 설정이 필요하다. 벽, 바닥, 천장과 같은 요소는 실내로 유입되는 빛을 흡수 혹은 반사하게 되고, 이는 마감재의 종류 및 색상에 따라 반사에 변화가 존재한다. ClimateStudio에서는 대표적인 재질에 대한 정보를 제공하고 있으며, 그중 실제 사용된 마감재와 비슷한 재질로 Table 6.과 같이 설정하였다. 차양장치의 경우 사례에 따라 재질이 다른 부분이 있었으나, 디자인 어휘와 형태에 따른 변수를 중심으로 확인하기 위해 동일한 재질로 설정하였다.

이렇게 설정된 실내 공간 내로 직·간접적으로 유입되는 빛의 양을 측정하기 위한 평면을 설정하여야 한다. 이는 재실자의 작업 환경과

Table 6. Layers and materials

Layer	Name	Rvis	Tvis	
Interior	Floor	Terazzo Tile	82.4%	0.0%
	Wall	White Painted Walls	83.99%	0.0%
	Ceiling	Acoustic Ceiling Tiles	87.9%	0.0%
	Door	Door	7.87%	0.0%
Exterior	Wall	Red Brick	13.79%	0.0%
	Shade Device	Curved Exterior Louvers	54.1%	0.0%
Window	Frame	Light Grey Window Frame	71.85%	0.0%
	Glass	Clear - Clear	-	77.4%
		Glass(5.8)-Air(127)-Glass(5.8)		

Table 7. Summary of EPW data

Climate Zone	
Koepfen Climate Zone <sup>3)</sup> :	Continental, Dry Winter, Hot Summer (Dwa)
ASHRAE climate zone <sup>4)</sup> :	Mixed (4)
Average annual temperature:	11°C
Annual total solar radiation:	1,816 kWh/m <sup>2</sup>
Heating Design Conditions	
Coldest month:	January
Coldest week:	12/22 - 12/28
Typical winter week:	1/13 - 1/19
Annual HDD for 18°C is:	2,783
Design temperature 0.04%:	-10°C
Cooling Design Conditions	
Hottest month:	July
Hottest week:	8/ 3 - 8/ 9
Typical summer week:	8/17 - 8/23
Annual CDD for 10°C is:	2,151
Design temperature 99.6%:	31.7°C

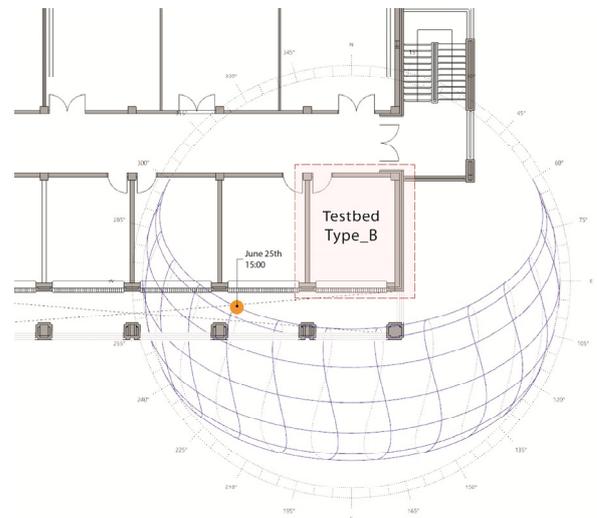


Fig. 6. Sky dome of EPW data and testbed Type\_B

연관되어 있으며, 책상의 높이와 유사하게 약 762mm가량 이격된 높이로 설정하였다. 또한, 조도 측정 평면 상부로 빛을 감지하는 센서 그리드의 간격 설정이 가능하다. LEED의 Daylight Credit의 경우 센서의 간격이 2피트를 넘지 말아야 한다는 기준이 있으며, 이에 본 시뮬레이션에서는 그 최대 거리인 609.6mm의 간격을 기준으로 사용하였다.

### 2) EPW (EnergyPlus Weather Format)

ClimateStudio에서 실내 빛 환경 시뮬레이션에 사용할 기후 데이터의 설정이 필요하다. ClimateStudio에서는 EnergyPlus의 기후 데이터 파일인 EPW(EnergyPlus Weather Format)을 연결하여 제공하고 있으며, Testbed가 위치한 충청남도 천안시의 기후 실측 데이터인 KOR\_HN\_Cheonan.471450\_TMYx.2004-2018을 적용하였다. 해당 데이터에 대한 상세 내용은 Table 7.과 같으며, Fig. 6.은 Grasshopper에서 ClimateStudio를 통해 해당 지역의 기후 데이터를 적용하였을 때 Rhino 화면에 시각화된 Sky Dome의 형태와 6월 25일 15시 태양의 위치에 대한 이미지이다.

### 3) Shading Device Modeling

시뮬레이션에 사용할 차양장치의 유형은 사례에서 사용된 형태와 같이 크게 루버형과 패널형으로 나누어 적용하였으며, 이는 시뮬레이션 결과 비교를 위해 세부적으로 구분하였다. 루버형의 경우 비교분석을 위한 기본 형태로 단면의 형태에 따라 직사각형과 타원으로 나누었으며, 이를 다시 회전 각도에 따라서 0°와 남향의 조건에서 건물의 에너지 사용량에 최적화된 값인 31°로 나누어 적용하였다 [6]. 변형된 형태로는 각각 Rotate와 Twist형으로 제작하였으며, 이 두 유형의 회전 각도는 0°~31°를 가지도록 동일한 곡률로 제작되었다. 사용된 루버는 깊이 320mm, 두께 20mm로 적용하였으며, 루버 블레이드 간의 간격은 사각형과 타원형에서는 400mm를 적용하였다. Rotate와 Twist형에서는 31° 회전을 적용한 루버의 x-z평면상 개방률과 비슷한 60%대를 유지할 수 있도록 200mm 간격으로 축소하여 적용하였다.

패널형의 경우 접히는 축의 속성에 따라 Fold형과 Origami형으로 구분하였으며, Origami형은 다시 타공의 여부에 따라 구분하였다. Fold형의 기본 모듈은 Table 2.의 Luanda Multisports Pavilion (2013), Origami형의 차양장치는 Table 3.의 Hospital de Navarra Biomedical Research Center(2011) 사례의 형태를 참고하였다. Fold형의 기본 패널 모듈은 폭 420의 패널이 건물 높이에 따라 수직으로 연결되어 있으며, Grasshopper의 Curve 프로파일에 따라 0°~37°의 회전을 통해 Fold된 형태를 가지고 있다. Origami형의 기본 모듈은 밑변 350mm, 높이 1,500mm의 삼각형 패널 4개가 x-y 평면상 45°, 90°, 45° 각도로 접혀 이어졌으며, x-y 평면을 기준으로 반사된 형태를 가진다. 추가로 타공된 평면형 타입은 Origami된 각도의 영향을 비교하고자 x-z 평면에 수평 투영된 타공을 유지하며 평면형의 패널을 추가로 제작하였다. 타공은 한 층을 기준으로 중심부에서 가장 자리로 갈수록 작아지는 형태로 제작하였으며, 가장 큰 타공은 12mm, 가장 작은 타공은 4mm의 지름을 가진다.

차양장치와 창문 유리 표면까지의 거리는 Louver Type의 경우

회전축, 즉 블레이드 단면의 무게중심까지의 거리가 1m를 유지하도록 이격하여 설치하였고, Panel 타입의 경우 유리와의 가장 가까운 지점의 거리가 1m를 유지하도록 적용하였으며, Testbed Type B의 경우 처마 끝에서부터의 1m를 이격하여 설치하는 방식으로 적용하였다. Table 8.은 건축물의 외부에서 바라본 차양장치의 이미지이다.

### 4.3. 시뮬레이션 결과 비교분석

설정된 조건을 바탕으로 시뮬레이션을 실행한 결과는 Table 9.와 Table 10.과 같이 나타났다. 전반적으로 LEED v4.1에서 제시하는 Credit 3point의 sDA 조건을 충족하였으나, 일부 유형에서는 10% 이상의 ASE값이 도출되었기에 현황의 해결을 위한 디자인 요소의 검토가 필요한 것을 알 수 있었다. 본 시뮬레이션의 결과에 대한 세부적인 비교군은 다음과 같이 적용하였다.

#### 1) 루버형 차양장치 내에서의 비교

루버형 차양장치 중 각도의 변화가 없는 기본 형태에서는 ASE값이 사각형 15.48%, 타원형 17.86%로 10%가 초과하는 값이 도출되었다. 31°의 각을 가진 루버의 경우 4.76%, 5.95%로 LEED v4.1에서 요구하는 Credit 3Points에 적합한 결과가 나왔으며, Rotate, Twist형에서도 동일하게 1.19%로 기본 루버 형태보다 더 낮은 값이 도출됨을 확인할 수 있었다.

#### 2) 패널형 차양장치 내에서의 비교

패널형 차양장치에서도 전반적으로 100%에 가까운 sDA값이 도출되었다. ASE값의 경우 Fold형에서 16.67%로 가장 높게 측정되었으며, 이는 동-서향으로 열려있는 개방률이 다르기에 연평균의 결과가 아닌 시간대에 따른 결과로 비교하였을 경우 다른 결과가 도출될 수 있을 것이다. 또한, 정남향의 조건이 아닌 동향 혹은 서향의 조건에서 보다 유리한 결과를 얻을 수 있을 것이다. Origami형 또한 마찬가지로 11.90%의 ASE값이 측정되었고, 타공이 적용된 디자인 유형에 비해 Solid한 개체로 이루어졌기에 시야와 관련해서도 불리한 조건을 가질 것으로 판단된다.

타공이 적용된 차양장치는 x-z평면에 투영하였을 때 동일한 타공률을 가지고 있으며, 이를 평면형(Flat)과 입체형(Origami)으로 구분함은 패널의 각도에 따른 실내 조도 차이를 위함이었다. 이 두 디자인의 경우 그 차이가 다소 극적이진 않았으나, A-Type을 기준으로 입체형이 평면형에 비해 sDA값은 97.62%로 2.38% 낮고, ASE값은 2.38%로 1.19% 높게 측정되었으며, 연평균 조도의 값은 1,115lx로 평면형의 1,130lx보다 낮게 측정되었다. 이러한 현상을 미루어 보아 입체형의 연중 조도값에 대한 편차가 평면형에 비해 적게 나타났을 것이라 해석할 수 있었다.

#### 3) A-Type과 B-Type의 비교

본 시뮬레이션에 사용된 건축물은 기존 외장형 차양장치가 없이 설계된 건축물이었다. 해당 건축물의 입면 중 상층부의 매스가 처마와 같은 역할을 하는 공간이 있다는 특징이 있었고, 이를 구분하여 기본 A-Type에 처마형 B-Type으로 적용하여 시뮬레이션을 적용하였다. 그 결과 B-Type에서 sDA값은 100%로, ASE값은 0%로 모든 유형에

Table 8. Images of test model

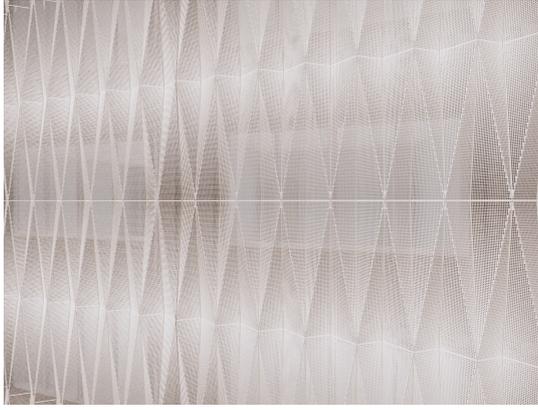
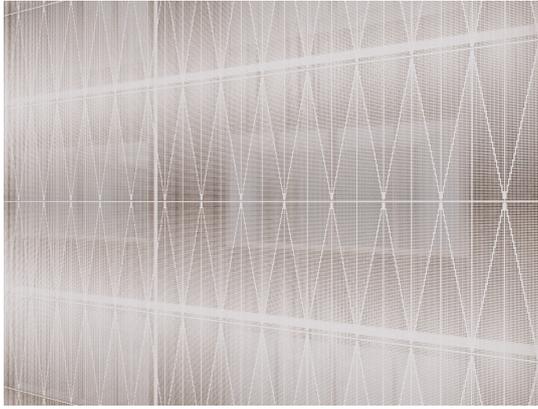
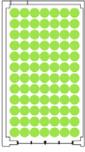
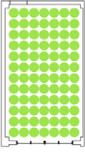
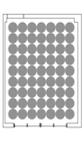
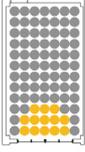
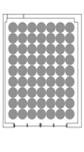
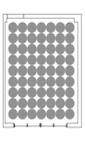
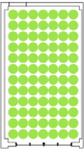
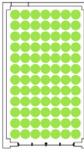
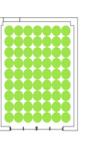
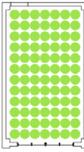
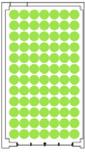
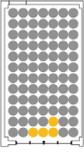
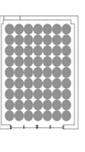
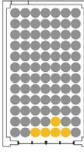
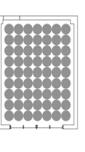
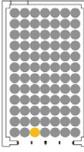
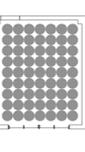
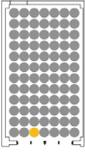
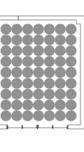
Louver Type			Panel Type	
Type	Section	Exterior View	Type	Exterior View
Rectangle - Normal			Fold	
Rectangle - Angled			Origami - Perforated	
Rotate			Flat - Perforated	

Table 9. ClimateStudio daylight availability simulation result by louver types

Type	No Shading Device		Rectangle - Normal		Ellipse - Normal			
	A	B	A	B	A	B		
Exterior View								
Open Ratio	100%		95.18%		95.18%			
sDA								
	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%		
ASE								
	27.38%	0.00%	15.48%	0.00%	17.86%	0.00%		
Credit	3*	3	3*	3	3*	3		
avg lux	4,086	1,292	2,444	1,229	2,601	1,235		
Type	Rectangle - Angled		Ellipse - Angled		Rotate		Twist	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Exterior View								
Open Ratio	65.49%		69.93%		60.84%		61.64%	
sDA								
	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ASE								
	4.76%	0.00%	5.95%	0.00%	1.19%	0.00%	1.19%	0.00%
Credit	3	3	3	3	3	3	3	3
avg lux	1,769	1,000	1,834	1,026	1,695	1,295	1,695	1,264

\*ASE>10%, The case needs to be analyzed to determine how the space is designed to address glare issues.

Table 10. ClimateStudio daylight availability simulation result by panel types

Type	Fold		Origami		Flat - Perforated		Origami - Perforated	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Shading Device Image								
Open Ratio	54.15%		45.25%		32.09%		32.09%	
sDA								
	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.62%	100%	100%	100%
ASE								
	16.67%	0.00%	11.90%	0.00%	2.38%	0.00%	1.19%	0.00%
Credit	3*	3	3*	3	3	3	3	3
avg lux	2910	1050	2051	810	1115	708	1130	711

\*ASE>10%. The case needs to be analyzed to determine how the space is designed to address glare issues.

서 동일한 값이 측정되었고, 연평균 조도의 측면에서도 A-Type에 비해 400lx (Louver-Rotate)부터 1,366lx (Louver-Ellipse-Normal) 까지 차이가 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 차양장치가 없는 때에도 이미 ASE값은 0%를 유지하며 연평균 조도 값에 2,794lx만큼 차이가 존재하고 있었다. 이를 통해 적용하고자 하는 외장형 차양장치 외에 기존 건축물에 차양의 역할을 해주는 처마 혹은 입면의 형태나 향의 조건이 존재한다면 외장형 차양장치의 밀도, 즉 개방률을 보다 넓히는 방식으로 변수를 주어, 다양한 입면 디자인의 계획이 가능할 것임을 확인할 수 있었다.

#### 4) 전체 유형 내에서의 비교

본 시뮬레이션에 적용된 모든 차양장치 디자인 중 sDA와 ASE, 개폐율을 바탕으로 판단된 최적의 결과는 sDA 100%, ASE1.19%가 측정된 Panel-Origami-Perforated와 Louver-Twist 유형이 있었다. 루버형에서 연평균 조도가 1,695lx로 측정됨과 달리 패널형에서는 1,130lx가 측정되었다. 이는 두 유형에서 모두 최소 300lx를 충족하지만, 루버형에서 만족하는 최소 조도가 패널형보다 높게 측정되었다는 것으로 해석할 수 있었다.

루버형의 경우 x-z 평면상 개방률을 60%대로 맞추어 제작하였지만, 패널형의 경우 그보다 낮은 개방률을 가지고 있었다. 특히 타

공을 적용한 패널형 모델의 경우 32.09%를 유지하며 3 Points의 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 활용하여 건축가는 설계 과정 중 건축물과 실의 용도나 건축물 인근의 물리적인 조건에 따라 실내 공간을 가리는 비율을 조절하여 디자인에 적용할 수 있을 것이다. 즉, sDA와 ASE의 유효 범위를 맞추며, 이에 따라 개구부의 개방 비율과 연평균 조도값을 조절하는 자유로운 적용이 가능하다. Fig. 7. 은 건축물 외부에서 바라본 대표적인 두가지 유형의 차양장치의 렌더링 이미지이다.

## 5. 결론

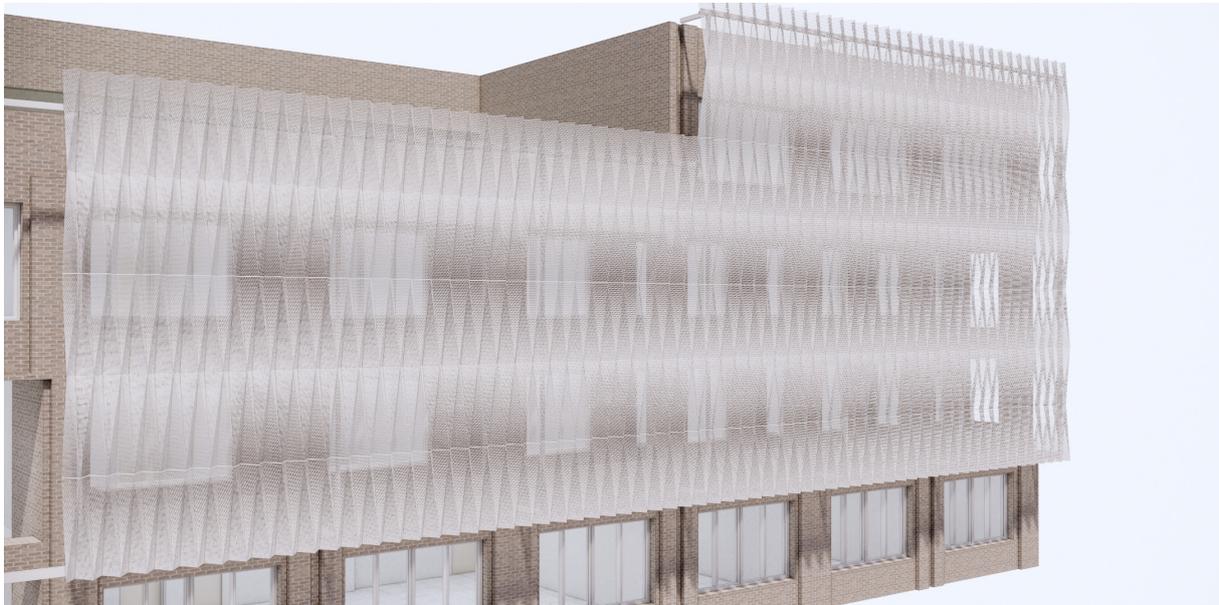
### 5.1. 결론 및 시사점

본 연구는 지속 가능한 건축을 위한 방법으로 건물 외부 차양장치 디자인의 다양화와 이로 인한 실내 빛 환경의 상관관계를 알아보고자 하였다. 이를 위해 사례분석을 통해 건물 외부 차양장치의 디자인 어휘 유형을 조사하였으며, Rotate, Twist, Fold, Perforated와 같은 디자인 어휘를 추출하였다. 추출된 어휘를 바탕으로 Rhino Grasshopper를 활용하여 파라메트릭 디자인 모델을 구현하였다.

각 디자인 어휘에 따른 결과를 비교하기 위해 기본 형태의 루버와



a) Louver-Twist



b) Panel-Origami-Perforated

Fig. 7. Selected high performance design of exterior shading device

패널형 외피도 함께 구현하였다.

해당 실험 모델의 빛 환경 시뮬레이션을 위해 ClimateStudio를 사용하였으며, sDA, ASE 수치를 중심으로 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 기상 데이터는 Testbed의 위치와 같이 충청남도 천안시의 기상 데이터를 활용하였다. Testbed의 물리적 조건으로는 정남향의 소규모 업무, 연구 및 교육시설을 대상으로 하였으며, 처마의 유무에 따른 두 가지 모델을 사용하여 차양장치 밀도의 차이를 활용한 디자인 변형의 가능성을 비교하고자 하였다. 이렇게 측정된 시뮬레이션 결과는 ClimateStudio를 통해 시각화되었으며, 친환경 인증제도의 기준에 따른 결과와 함께 비교할 수 있었다.

본 연구에서 사용된 Solemma사의 ClimateStudio는 Rhino와 Grasshopper 두 환경에서 모두 사용이 가능한 플러그인 소프트웨

어다. ClimateStudio는 시뮬레이션 결과를 즉각적으로 시각화되어 제공하며, 보고서 형태로 출력이 가능하고 세부 데이터 결과의 추출도 가능하여 관련 전문가와 디자이너에게 유용한 친환경 분석 도구이다. 또한, EnergyPlus에서 제공하는 EPW 파일로의 즉각적인 접근이 용이하며, 시뮬레이션 설정 과정 중 재질에 대한 라이브러리도 갖추고 있어 건축가가 기초적인 친환경 분석에 쉽게 접근할 수 있다.

이와 같은 디자인 과정을 통해 건축가는 Rhino와 파라메트릭 모델링 프로그램인 grasshopper의 환경 내에서 ClimateStudio를 사용하여 주광 시뮬레이션 분석의 결과를 실시간으로 시각화할 수 있다. Grasshopper의 매개변수 조정 내용이 실시간으로 반영되어 차양 성능을 고려한 파사드 디자인이 가능하며, 시각화된 자료를 통해 디자이너뿐만 아니라 클라이언트와 프로젝트 참여자들의 직관적인 이

해도를 높일 수 있을 것이다.

## 5.2. 연구의 한계점 및 향후 연구 방향

본 시뮬레이션은 사례를 기반으로 추출된 차양장치 디자인 어휘를 토대로 외장형 차양장치를 모델링하고 실내 빛 환경에 미치는 영향을 비교하였다. 이번 시뮬레이션은 정남향의 조건을 가진 기존 건축물을 대상으로 진행되었으나, 동향 및 서향, 동남향, 서남향, 혹은 비정형 건축물과 같이 연속적인 각도의 변화를 가지는 건축물로 대상을 변경하여 시뮬레이션을 진행할 수 있을 것이다. 동일한 프로세스와 스크립트를 적용하여 친환경 분석 결과를 도출하고 시각화할 수 있을 것이다. 또한, 본 시뮬레이션에서는 차양장치의 재질을 동일하게 설정하여 진행하였으므로, 재질의 설정에 따른 차양장치의 성능 비교 실험도 가능할 것이다.

빛 환경 분석에 사용된 차양장치의 세부 치수는 Grasshopper에서 파라미터를 사용하여 몇 가지 치수를 대표적으로 적용하였다. 이러한 디자인 과정에서 기존의 설정 방법 외에도 Galapagos나 Octopus와 같은 최적화 및 자동화 생성형 프로그램을 적용하여 디자인 유형을 도출하는 것이 가능할 것이다. 나아가, 본 연구의 시뮬레이션에 사용된 차양장치 모델은 모두 고정형의 차양장치로 한정하였으나, 후속 연구에서는 동적인 외피(Kinetic Facade)로 디자인을 발전시킬 수 있을 것이다. 또한, 시뮬레이션에 사용된 차양장치 모델은 모두 고정형이었으나, 해당 디자인 어휘는 동적인 외피, 즉 Kinetic Facade로 변형이 가능할 것이다.

## Acknowledgement

이 논문은 2024년도 교육부의 재원으로 중점연구소지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2019R1A6A1A03032988)

## References

- [1] 박정대, 디지털 미디어에 의한 건축 디자인 프로세스의 변화에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제22권 제1호, 2006.01, pp.121-130. // (J.D. Park, A study on the paradigm shift in digitally-driven architectural design process, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 22(1), 2006.01, pp.121-130.)
- [2] 박종진, 전한중, 파라미터 기반 상호관계 디자인 방법론을 통한 디자인 지식의 표현에 관한 기초 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제26권 제6호, 2010.06, pp.23-30. // (J.J. Park, H.J. Jun, A study on the representation of design knowledge using parameter-based associative design methodology, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 26(6), 2010.06, pp.23-30.)
- [3] 최철호 외 4인, 성균관대학교 학술 정보관 사례에서 본 비정형 건축물의 BIM적용 현황과 발전 방향, 건축, 제52권 제4호, 2008.04, pp.66-68. // (C.H. Choi et al., BIM case study: Sung Kwun Kwan Unvi. digital library project, Review of Architecture and Building Science, 52(4), 2008.04, pp.66-68.)
- [4] 창찌위안, 한정원, AI 기반 프롬프트 디자인 방법 도입에 따른 건축디자인 프로세스 및 디자이너의 역할 고찰, 대한건축학회논문집, 제40권 제5호, 2024.05, pp.41-52. // (Z.Y. Chang, J.W. Han, Exploring the impact of AI-based prompt design method on architectural design process and designers' role, Journal of the Architectural Institute of Korea, 40(5), 2024.05, pp.41-52.)
- [5] 신동윤, AI의 역할과 활용: 건축 디자인에서 ChatGPT와 DALLE의 통합적 접근, 대한건축학회논문집, 제40권 제2호, 2024.02, pp.67-76. // (D.Y. Shin, The role and utilization of AI: An integrated approach with ChatGPT and DALLE in architectural design, Journal of the Architectural Institute of Korea, 40(2), 2024.02, pp.67-76.)
- [6] J.P. Choi et al., Parametric louver design system based on direct solar radiation control performance, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 13(1), 2013, pp.57-62.
- [7] 마크 드케이, G.Z. 브라운, 친환경 건축 통합설계 디자인전략, (박지영, 이경선, 오준걸 역), 한국: 도서출판 대가, 2021, pp.118-136. // (M. DeKay, G.Z. Brown, Sun, wind & light architectural design strategies, (Joint Translation by J.Y. Park, K.S. Lee, J.K. Oh), Korea: Daega Books, 2021, pp.118-136.)
- [8] 백대화, 장성주, 가변형 차양장치의 적용실태에 관한 탐색 -해외 건축물의 사례분석을 중심으로-, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제41권 제1호, 2021.04, pp.673-676. // (D.H. Baek, S.J. Chang, Exploration on the application of kinetic solar shading devices -Focused on case analysis of overseas buildings-, Conference Journal of Architecture Institute of Korea, 41(1), 2021.04, pp.673-676.)
- [9] 지석환, 황윤하, 이병연, 리스편시브 키네틱 파사드의 차양형태와 작동방식의 유형 개발에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제34권 제1호, 2014.04, pp.15-16. // (S.H. Ji, Y.H. Hwang, B.Y. Lee, A study on shading shape elements and kinetic methods for developing typology of responsive kinetic facade, Conference Journal of Architecture Institute of Korea, 34(1), 2014.04, pp.15-16.)
- [10] 임재한, 정진주, 이지영, 학교 건물에서 외부 차양 장치 유형에 따른 일반교실 내 빛환경 특성에 관한 연구, 한국교육시설학회지, 제15권 제2호, 2008.03, pp.4-15. // (J.H. Lim, J.J. Jung, J.Y. Lee, A study on the characteristics of daylighting environment in classroom of a school building due to the external shading devices, Journal of the Korean Institute of Educational Facilities, 15(2), 2008.03, pp.4-15.)
- [11] W. Jabi, Parametric design for architecture, London, UK: Laurence King Publishing, 2013.
- [12] W. Jabi et al, Enhancing parametric design through non-manifold topology, Design Studies, 52, 2017.09, pp.96-114.
- [13] 성우제, 파라메트릭 디자인: 파라메트릭 디자인의 이해 및 적용, 한국: 도서출판 대가, 2018, pp.8-13. // (W.J. Sung, Parametric design: Introduction to parametric design & application, Korea: Daega Books, 2018, pp.8-13.)
- [14] D.J. Gerber, E. Pantazis, A multi-agent system for facade design: A design methodology for design exploration, analysis and simulated robotic fabrication, Proceedings of the 36th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, 2016, pp. 12-23.
- [15] R. Oxman, Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking, Design Studies, 52, 2017.09, pp.4-39.
- [16] I. Caetano, L. Santos, A. Leitão, Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design, Frontiers of Architectural Research, 9(2), 2020.06, pp.287-300.
- [17] 고성학, 파라메트릭 디자인 툴을 이용한 루버 디자인과 파라미터 고찰, 한국생태환경건축학회지, 제20권 제2호, 2020.04, pp.93-101. // (S.H. Ko, A louver design method using parametric design tool and consideration for parameters, KIEAE Journal, 20(2), 2020.04, pp.93-101.)
- [18] 윤연주, 김수영, 백용규, 천공 모델링조건 변화에 대한 소규모 사무실의 주광조도 예측, 한국문화공간건축학회논문집, 제67호, 2019.08, pp.277-286. // (Y.J. Yoon, S.Y. Kim, Y.K. Baik, The prediction indoor daylight illuminance in a small office for the modelings of sky conditions, Journal of the Korean Institute of Culture Architecture, 67, 2019.08, pp.277-286.)
- [19] 박종욱, 이대송, 컴퓨터이전 방법론을 활용한 태양광 패널 설치 위치에 따른 최적의 연간 일사량 분석에 관한 가이드라인 제시, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 43(1), 2023.04, pp.171-174. // (J.W. Park, D.S. Lee, Guideline for the analysis of optimal annual solar radiation considering the location of solar panel installation using computational methodology, Spring Annual Conference of AIK, 43(1), 2023.04, pp.171-174.)
- [20] 김정석, 김민경, 바이오필릭 구현을 위한 오피스 건축의 외피연구, 대한건축학회논문집, 제39권 제3호, 2023.03, pp.3-12. // (J.S. Kim, M.K. Kim, A study on the envelopes of office architecture for the realization of biophilic design, Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(3), 2023.03, pp.3-12.)

- [21] 김기림, 이정선, 조혜성, 교육시설의 적절한 빛환경 조성을 위한 G-SEED 차양 기준 적정성에 관한 연구 -빛환경 시뮬레이션을 통한 비교검증-, 대한건축학회논문집, 제39권 제2호, 2023.02, pp.105-114. // (K.R. Kim, K.S. Lee, H.S. Cho, The appropriateness of G-SEED shade specification for a light environment in educational facilities -Comparative verification through a lighting simulation-, Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(2), 2023.02, pp.105-114.)
- [22] Z. Luo et al., Key control variables affecting interior visual comfort for automated louver control in open-plan office - A study using machine learning, Building and Environment, 207(Part B), 2022.01, 108565.
- [23] S.J. Choe, S.H. Han, Energy balance data-based optimization of louver installation angles for different regions in Korea, Energies, 15(23), 2022.12, 9214.
- [24] 김동일, 한재경, 환경성능의 진화연산을 적용한 건축계획방안에 관한 연구 -업무시설의 열, 빛 및 시각 환경을 중심으로-, 대한건축학회논문집, 제38권 제3호, 2022.03, pp.133-143. // (D.I. Kim, J.K. Han, Application on evolutionary computing of building performance in architectural design -Focusing on thermal, light and view of the office space-, Journal of the Architectural Institute of Korea, 38(3), 2022.03, pp.133-143.)
- [25] R.P. Khidmat et al, Designing louvers toward optimum daylight performance in Indonesia: A parametric study, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 907(1), 2021, 012012.
- [26] 김주용, 김성욱, 전유창, 폴딩기법을 활용한 건축외피 설계 최적화 연구, 한국문화공간건축학회논문집, 제73호, 2021.02, pp.263-272. // (J.Y. Kim, S.W. Kim, Y.C. Jeon, Design optimization of the architectural envelope utilizing folding technique, Journal of the Korean Institute of Culture Architecture, 73, 2021.02, pp.263-272.)
- [27] 정성엽, 김고원, 김동진, 고층건물의 디자인 생성 지원을 위한 알고리즘 구성 연구 -태양에너지와 비틀림 형태를 중심으로-, 한국생태환경건축학회지, 제21권 제2호, 2021.04, pp.25-31. // (S.Y. Jung, G.W. Kim, D.J. Kim, A study of algorithm composition for generative design -Focused on solar energy and twisted form-, KIEAE Journal, 21(2), 2021.04, pp.25-31.)
- [28] 장도진, 김성아, 키네틱 파사드의 조도 성능 확인을 위한 워크플로우 제안, 대한건축학회 2020년 춘계학술발표대회논문집, 40(1), 2020.04, pp.187-188. // (D.J. Jang, S.A. Kim, A workflow for checking illumination performance of kinetic facades, Conference Journal of Architecture Institute of Korea, 40(1), 2020.04, pp.187-188.)
- [29] S.N. Hosseini, S.M. Hosseini, M. HeiraniPour, The role of Orosi's Islamic geometric patterns in the building façade design for improving occupants' daylight performance, Journal of Daylighting, 7(2), 2020, pp.201-221.
- [30] 이광진, 류리, 김용성, 재실자 기반 건물 에너지 저감을 위한 키네틱 외피 개발, 한국생태환경건축학회지, 제20권 제1호, 2020.02, pp.103-111. // (K.J. Lee, R. Ryu, Y.S. Kim, Development of kinetic skin for energy saving of user-based buildings, KIEAE Journal, 20(1), 2020.02, pp.103-111.)
- [31] 이우형, 유전알고리즘 기반 최적화 건축설계 툴, 갈라파고스의 기능적 특성 연구, 한국공간디자인학회논문집, 제15권 제8호, 2020.12, pp.351-360. // (W.H. Lee, A study on the functional characteristics of genetic algorithm based architectural optimization design tool, Galapagos, Journal of the Korea Institute of Spatial Design, 15(8), 2020.12, pp.351-360.)
- [32] 김중현, 김진호, 파라메트릭 설계를 적용한 에너지 저감형 오피스 외피 최적 설계안, 한국공간디자인학회논문집, 제15권 제1호, 2020.02, pp.205-216. // (J.H. Kim, J.H. Kim, Design proposal of optimized office building facade using parametric design application, Journal of the Korea Institute of Spatial Design, 15(1), 2020.02, pp.205-216.)
- [33] 유재용, 이우형, 이문연, 유전 알고리즘을 활용한 최적 외피 도출 및 적용 설계안, 한국공간디자인학회논문집, 제14권 제3호, 2019.06, pp.59-73. // (J.Y. Yu, W.H. Lee, M.Y. Lee, Optimized building envelope by using genetic algorithm and application to building design, Journal of the Korea Institute of Spatial Design, 14(3), 2019.06, pp.59-73.)
- [34] C.J. Brennan, Analysis of passive louver shading systems and impact on interior environment, Master's thesis, Missouri University of Science and Technology, 2012, pp.50-59.
- [35] Solemma, ClimateStudio documentation, <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightLEEDOpt1.html>, 2024.07.01.
- [36] U.S. Green Building Council, LEED v4.1 daylight, <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-schools-new-construction-retail-new-construction-data-centers-new-9>, 2024.07.02.
- [37] H. Lisa et al., Approved method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Illumination Engineering Society, 2012.

- 1) 한국에너지공단\_에너지사용량 통계\_20221231
- 2) <https://www.greentoegether.go.kr/sta/stat-data.do>
- 3) Koeppen Climate Zone is based on the Koeppen climate classification, which divides the climate into five main groups, then into various subgroups based on temperature and seasonal patterns
- 4) ASHRAE climate zone is based on ASHRAE standard 169 which classifies climate data into nine climate zones, labeled 0 Extreme hot to 8 Extreme cold, based on annual heating and cooling degree days.