



Parametric Methodology of Multi-Staged Environmental Form-Finding  
**ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION IN ARCHITECTURAL DESIGN**

**ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION IN ARCHITECTURAL DESIGN**

Parametric Methodology of Multi-Staged Environmental Form-Finding

H Architecture

This research paper was written and edited by Dongil Kim, Jake Jaekyung Han,  
John Hanghyun Cho and Seojoo Lee at H Architecture, 2021.

All rights reserved. No part of this paper may be reproduced or transmitted in any form or  
by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording or any information  
storage and retrieval system, without prior permission in writing from the author.

H Architecture

Parametric Methodology of Multi-Staged Environmental Form-Finding

**ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION IN ARCHITECTURAL DESIGN**

CONTENTS

INTRODUCTION	6
BACKGROUND	8
RESEARCH METHODS	14
CASE STUDY	19
01. Building volume optimization	
02. Exterior Louver Optimization	
03. Interior screen optimization	
RESULT & CONCLUSION	102
APPENDIX _ CODE INDEX	104
REFERENCE	112

목차

연구개요	7
배경 및 목적	9
연구의 범위와 방법	15
사례 연구	21
01. 건축물 규모 조정을 통한 환경 최적화	
02. 외부 입면 루버를 통한 열 및 빛 환경 최적화	
03. 실내 입면 장치을 통한 환경 최적화	
결론 및 향후 전망	103
부록	105
참고자료	113



Left: A massing study for a mixed-use development use the solar envelope theory , Ralph Knowles  
Right: A case study of solar envelop theory for the mixed-use development, Ralph Knowles

# Introduction



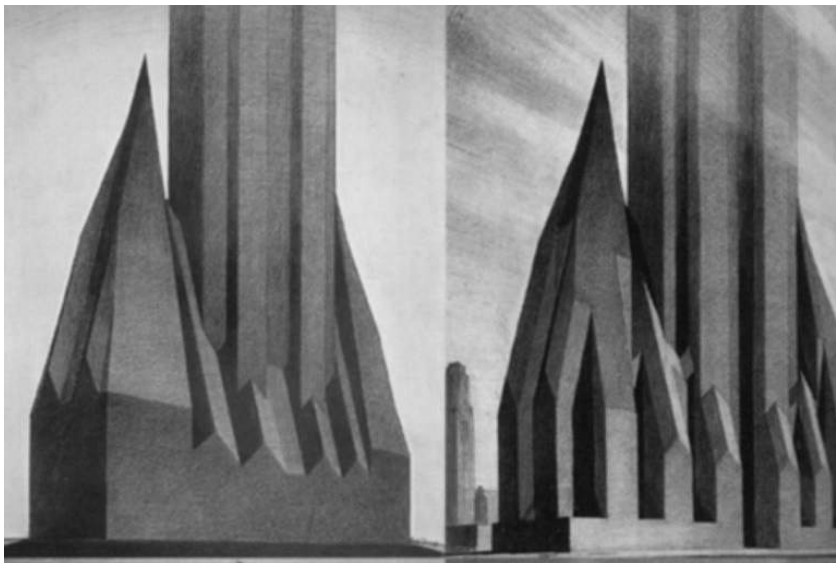
Environmental factors such as light, heat, and airflow are some examples of the most significant contexts affecting the overall architectural and urban environment. With the recent development in computation, environmental data, which can conveniently be converted into numerical values, has begun to gain attention in the architectural field. The exclusive technology and specialized knowledge to utilize environmental data are distributed through open sources. As a result, the process of optimizing environmental data is evolving in various forms in academia and professional practices. This research examines the potential applications of methodologies utilizing quantifiable environmental data such as light, heat, and air environment in architectural practices through multi-staged optimization processes and their uses as a crucial decision-making tool in the design processes. In this research, the quantitatively measurable environmental data such as light, heat, air, and viewing angles are examined in two or more stages of evaluation. The winning design proposal for the New Government Complex in Gangseo-gu (2021) was selected as a case study with a focus on optimizing the workspace, the most affected space by the environment. This research examines the applications of evolutionary computation to analyze building performances and their processes. The size and shape of the building considering the thermal performance and natural light; form, and density of external shading systems for radiant heat mitigation; and privacy control according to the composition and illuminance of the spaces facing the atrium are applied on the case building in professional architectural practice. This research expects to contribute to educators and practitioners in applications of environmental data at various scales in architecture and urban design.

# 연구개요

빛, 열, 그리고 공기 환경과 같은 환경 데이터는 건축 및 도시환경 전반에 영향을 주는 가장 중요한 컨텍스트 중 하나이다. 최근 컴퓨테이션의 발전과 더불어 쉽게 수치로 변환 가능한 환경 데이터는 건축 영역에서 활용에 주목받기 시작했고, 독점적이고 전문화된 지식과 기술은 오픈소스를 통해 유통되며, 학계는 물론 실무에서도 환경 데이터의 최적화 과정은 다양한 형태로 진화되고 있다. 이 논문은 빛, 열, 공기 환경 등과 같은 수치화 가능한 환경 데이터를 다층 평가 최적화 (Multi-Staged Optimization) 과정을 통해 건축 실무에 적용하여, 디자인 과정에서 중요한 의사결정의 도구로 사용할 수 있도록 하는 방법론들을 연구하는 데 목적이 있다. 본 연구에서는 2단계 이상의 단계로 시뮬레이션, 분석 및 평가한 다양한 빛, 열, 공기, 그리고 시야각과 같은 환경 데이터를 통한 최적화 시스템을 디자인 단계에서 적용하는 방안에 대해 탐구하는 것이다. 2021년 강서구 통합신청사 현상설계 당선작을 사례연구로 설정하였고, 그중 환경적 영향을 많이 받는 업무공간에 진화론적 컴퓨테이션을 적용하여 성능을 측정하고 디자인 진행에 반영된 내용을 바탕으로 고찰하고자 한다. 업무시설의 배치에 따른 열 성능과 자연채광을 고려한 건축물의 크기와 형상, 복사열 조절을 위한 외부 차양 시스템의 형상 및 밀도, 그리고 중정에 면한 실의 구성과 조도에 따른 차폐조절 방법론을 건축 실무에서 적용했던 사례를 바탕으로 고찰하고자 한다. 논문을 통해 교육자 및 실무자들이 건축과 도시환경 구축 과정에서 환경 데이터를 다양하게 활용 및 응용하는데 기여할 것으로 기대된다.

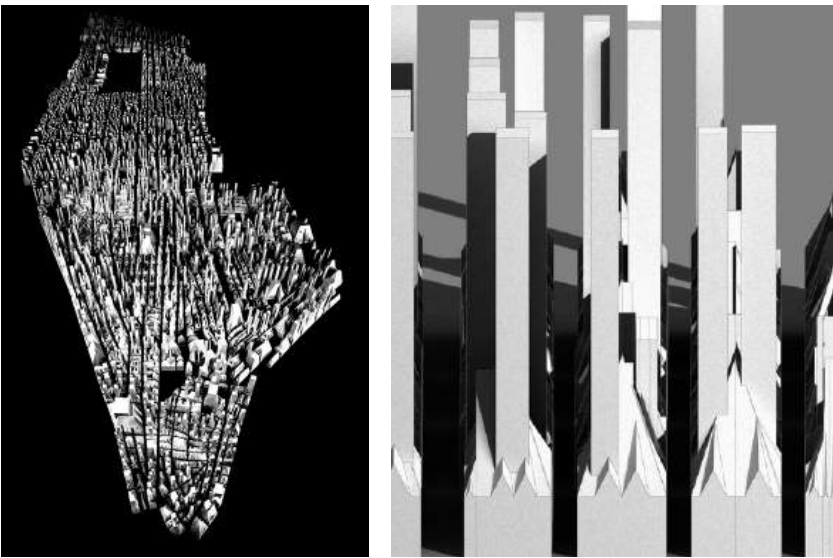
Left: Evolution of a City Building Under the Zoning Law, NY times, 3/19/1922, Hugh Ferriss  
Right: Zoning exercise along the lines of Knowles's research, The Office for Urbanization at Harvard GSD  
Unbuilt Manhattan, 2016, Charles Waldheim

## Background



Sustainable design has been systematized by institutions such as South Korea's G-SEED or U.S. LEED. However, both the academics and practitioners recognized the significance of environmental factors in buildings as a crucial factor for the future environment. Researches such as Ralph Knowles' Energy & Form and Solar Envelope, conducted since the 1950s, are important theoretical indicators showing whether urban planning with equivalent solar radiation and ventilation conditions is possible in a dense urban context based on the analysis of solar radiation angle and prevailing wind direction. Furthermore, the "Sky Exposure Plane," New York's urban planning ordinance enacted in 1916 and amended in 1995, is a regulation that gradually retreats the front of the building according to the height of the building, and in the case of a building with a height exceeding a certain height, "Tower Coverage," a system that lowers the building area to lot coverage ratio to a certain percentage, was enacted as a minimum device for insolation and ventilation conditions. These regulations continue to have a major impact on the New York City skyline and the pedestrian environment. The study on urban planning conducted at The Office for Urbanization in the Harvard University of Architecture in 2016 redefines zoning in Manhattan, New York by adding computing technology to the theory of Ralph Knowles and displays the attention to the environmental impact in the city and architecture field. Similarly, the right to sunlight in Korea's semi-residential areas, is a system to secure appropriate insolation and ventilation conditions in a dense urban environment.

## 배경 및 목적



건축 및 도시 환경에서 환경적인 영향은 한국의 친환경 인증제도, 해외의 LEED 등과 같이 법규나 제도적 장치를 넘어 미래를 대비하는 하나의 중요한 지표로 여러 학계는 물론 실무에서도 주목해왔다. 1950년대부터 진행된 Ralph Knowles의 Energy & Form이나 Solar Envelope과 같은 연구는 태양 복사각과 주 풍향의 분석을 바탕으로 밀도 높은 도시환경에서 동등한 태양복사 에너지 및 환기 조건을 반영한 도시계획이 가능한지 보여주는 중요한 이론적 지표이다. 또한 1916년에 제정되고 1995년에 개정된 뉴욕의 도시계획조례인 "Sky Exposure Plane" 의 경우도 건물의 높이에 따라 점진적으로 건물의 전면을 후퇴시키는 규정과 일정 이상이 높이를 가진 건물의 경우 타워의 건폐율을 일정 비율로 낮추는 제도인 "Tower Coverage"를 통해 일사 환경 및 환기 조건을 위한 최소한의 장치로서 법으로 제정되고, 이는 현재 뉴욕 도시 스카이라인 및 도로에 면한 보행환경에 큰 영향을 주고 있다. 2016년 Harvard 건축대학 내 The Office for Urbanization에서 수행한 도시계획에 대한 연구는 앞선 Ralph Knowles의 이론에 컴퓨팅 기술을 더해 뉴욕 맨해튼 조닝을 재정 의하는 것으로 도시와 건축 분야에서 환경적 영향에 주목하고 있다는 점을 보여준다. 한국의 준 주거 지역의 일조권 사선 제한의 경우도 위와 유사하게 제도적으로 밀도 높은 도시환경의 일사 권리 및 환기 조건을 확보한다는 취지로 도시 계획상의 제제를 보여준다.

Left: EPW Meta Data map via Open Street Map, <https://www.ladybug.tools/epwmap>



The most used environmental data is the EnergyPlus Weather Data File (epw) created by the U.S. Department of Energy’s architects, engineers, and researchers based on EnergyPlus™, an integrated energy measurement program for cooling, heating, ventilation, and illuminance. It is a file measuring the climatic conditions of major locations around the world and is used in various industries for being easily accessible and periodically updated. Various environmental information of META data included in the EPW file can be converted into numerical values, which can be used in architectural design to evaluate environmental performances, and has been used in various researches in the field of architecture and engineering.

In the 2000s, in the architecture field, many studies using environmental data were conducted not only in academia but also in practices, but many of them were still limited to specialized knowledge and software. As a result, most of the knowledge has been concentrated on skilled experts and has been used as a one-way communication tool to analyze design results in many parts of architecture grafting and collaboration methods.

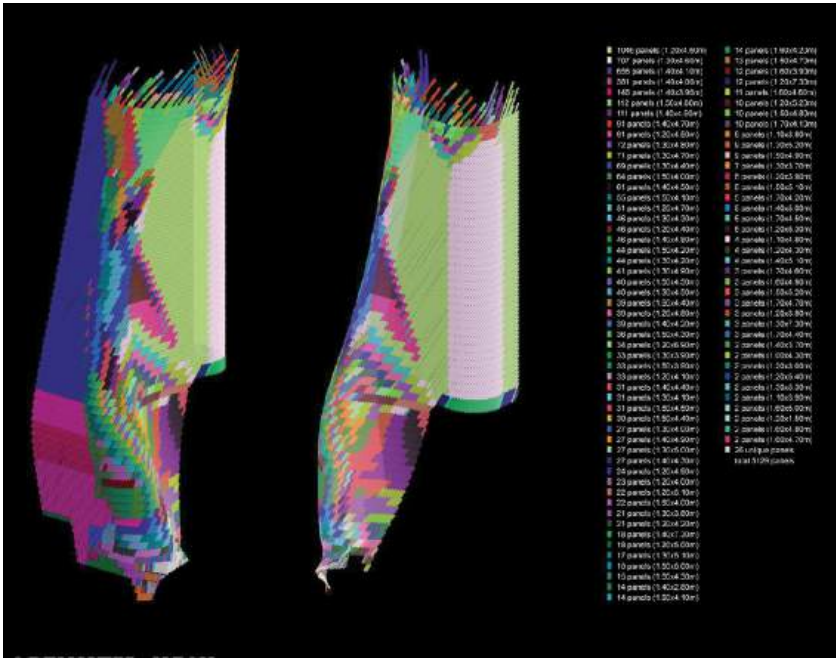
Environmental simulation tools such as “Ladybug & Honeybee”, which are equipped with expertise in environmental data, are designed and distributed in the form of an interface for designers to easily use professional analysis software such as Radiance, Openstudio, and TERM. These simulation tools facilitated the distribution of visualization and design methodologies based on specific climate data analysis in academia and architectural practice. Furthermore, these environmental data analysis tools are used in various design methodologies that combine computation and environmental data as an important indicator to determine the design directions from the initial design stage.

가장 많이 사용되는 환경 데이터는 U.S. Department of Energy의 건축가, 엔지니어, 그리고 연구원들이 냉방, 난방, 환기, 조도 등의 통합 에너지 측정 프로그램인 에너지플러스(EnergyPlus™)를 기반으로 자체 제작한 EPW(EnergyPlus Weather Date) 파일을 기반으로 하며, 전세계 주요 거점의 기후 조건을 측정한 파일이다. 위의 환경데이터는 쉽게 접근할 수 있고, 주기적으로 업데이트가 된다는 측면에서 다양한 산업에서 사용되고 있다. 특히 건축에서 위의 EPW파일에 포함된 메타 데이터(META data)의 다양한 환경 정보는 정량적 수치로 변환 가능하며, 이는 환경성능 분석을 통한 건축디자인의 지표로서 사용 가능해지면서 건축환경 및 공학 분야의 연구에 다방면으로 활용되었다.

2000년대 건축에서도 환경 데이터를 활용한 연구는 학계는 물론 실무에서도 많이 이루어졌지만, 여전히 많은 부분이 전문적인 지식과 소프트웨어로 한정되었다. 그에 따라 능통한 전문가들에게 대부분의 지식이 집중되어 많은 부분 건축과의 접목 및 협업 방식에 있어 디자인 결과를 분석하는 일방향적 의사전달 도구로 사용되어왔다.

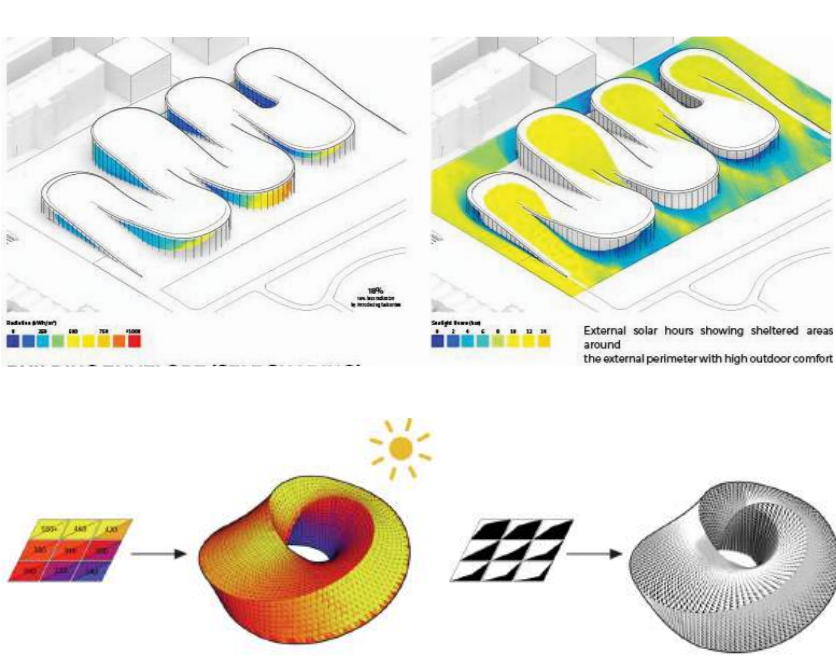
최근 건축에서도 컴퓨테이션을 활용한 환경 데이터와 관련된 전문지식을 탑재한 “레이디버그(Ladybug) & 허니비(Honeybee)”와 같은 환경 시뮬레이션 툴들은 래디언스(Radiance), 오픈스튜디오(Openstudio), 그리고 TERM 등과 같은 전문 분석 소프트웨어들을 디자이너가 쉽게 사용 할 수 있도록 통합 디자인된 인터페이스의 형태로 배포되면서, 구체적인 기후 데이터 분석을 바탕으로 한 시각화 및 디자인 방법론들이 학계와 건축 실무에서의 유통을 용이하게 했다. 이러한 환경 데이터 분석 도구는 디자인 초기 단계에서부터 디자인 방향을 결정하는 중요한 지표로서 컴퓨테이션과 환경 데이터를 결합한 다양한 디자인 방법론으로 구축되고 사용되기 시작했다.

Left: Faade Module visualization of Phare Tower, Morphosis  
Top right: Thermal simulation model and Facade system of Astana National Library, BIG  
Bottom Right: Building envelop (Self shading) & External Solar Hours of Adelaide Contemporary Gallery, BIG



In addition to the visual analysis methodology based on environmental data, many studies applied Evolutionary Computing as a design methodology to extract optimized data by interpreting data that exceeds the range of human perception through repeated simulations using A.I. Large international design firms such as Morphosis Architects, Norman Foster & Partners, BIG, 3XN and Henn Architecture are also presenting various integrated studies and projects based on individual computational design and performance-based analysis.

In particular, in “Parametric Practice,” an industry-academia collaboration doctoral thesis conducted at Tore Banke’s Center for Information and Architecture and 3XN, quantitative variables based on performance such as radiant heat, illuminance, and view are set and optimized. It shows the possibilities of building morphology methodologies from the initial design decision direction. The application of the above-mentioned methodologies appears in various practical projects such as Astana National Library and Adelaide Contemporary Art Gallery projects recently announced by BIG.



환경 데이터를 바탕으로 한 시각 분석방법론에 더해 인간의 인식 범위를 넘어서는 양의 데이터를 AI를 사용하여 반복적인 시뮬레이션을 통해 해석함으로써 최적화된 자료를 추출하는 에볼루셔너리 컴퓨팅 (Evolutionary Computing)을 디자인 방법론으로 적용한 연구들도 많이 나타나고 있다. Morphosis Architects, Norman Foster & Partners, BIG, 3XN 그리고 Henn Architecture와 같은 국제 규모의 대형 설계사무소들의 경우도 개별 컴퓨테이셔널 디자인과 성능 기반 분석을 통합한 다양한 연구와 그것을 바탕으로 한 프로젝트를 선보이고 있다.

특히 Tore Banke의 Center for Information and Architecture와 3XN에서 수행했던 산학협력 박사과정 논문인 “ Parametric Practice”에서는 복사열, 조도, 뷰 등과 같은 성능을 바탕으로 한 정량적 변수를 설정하고 최적화 과정을 거침으로써 초기 디자인 결정 방향부터 건물의 형태 생성 방법론들에 대한 가능성을 보여주고 있다. BIG에서 최근 발표한 Astana National Library 나 Adelaide Contemporary Art Gallery 프로젝트들의 경우도 앞선 방법론들을 바탕으로 한 다양한 실무단계에서의 프로젝트이다.

## Research Methods

In this research, by performing the optimization process in a multi-staged method, design parameters derived from environmental data were used to create and determine procedures through the following priorities for practical work in an office building with an atrium. First, the optimal values for each environmental data of radiant heat, indoor illuminance, indoor ventilation, and glare are established. Second, a multi-staged optimization method was applied to the architectural design process. At this stage, variables such as the size and shape of the atrium, the location of the opening, the depth and spacing of the external awning, the illuminance of spaces facing the atrium, and the visual interference at the atrium are analyzed in multiple stages and reflected in the design decision process.

In the case of radiation optimization, due to the characteristics of the project location and program, the heat load of the building was minimized based on the summer solstice to reduce the cooling load in the summer. In the case of illuminance optimization, the optimal illuminance standard for each program was adjusted based on socio-cultural factors, and an option that meets the standard was selected. In addition, the glare optimization aims to the official Daylight Glare Probability (DGP) of less than 0.35, which is imperceptible. In the case of visual environment analysis, an option that effectively blocks the view from the outside and at the same time minimizes the required amount of material is selected.

Based on the above mentioned quantitatively measurable environmental data input and performance results, Rhinoceros, a program that is generalized in architecture, and Galapagos (David Rutten, Developer at Robert McNeel & Associates) and Octopus (Robert Vierlinger, Structural Engineer at Bollinger+Grohmann), which are representative optimization engines in Grasshopper, are utilized for numerical optimization, generative algorithms, and problems through Evolutionary Computing. The scope of research topics such as solutions continues to expand. Therefore, this study examines multi-staged optimization processes to simultaneously satisfy measurable variables such as environmental data or structural data and non-measurable variables such as institutional or individual preferences in the decision-making process. At the same time, it analyzes and organizes limitations and potential improvements.

## 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 위의 다층적인 최적화 방법을 중정 형태의 업무시설에 적용하였다. 환경 데이터에서 기인한 디자인 변수를 활용하여 시뮬레이션을 하였고, 그에 상응하는 결과를 분석한 데이터를 기반으로 최적의 대안을 결정하였다. 첫째 환경 데이터로 분류되는 복사열, 실내 조도, 실내 환기, 눈부심 그리고, 뷰로 나타나는 변수들의 조건별 최적값을 정립하였다. 둘째 다층적인 최적화 방법론을 건축디자인 과정에 적용하였다. 이 단계에서 중정의 크기와 형상 그리고 오프닝의 위치, 외부 차양의 깊이와 간격 그리고 내부 중정에 면한 실내 조도 및 중정에서의 시야 간섭에 대한 과정 등의 요소를 다층적으로 분석하여 디자인 결정 과정에 반영하였다.

복사 환경 최적화의 경우, 프로젝트의 장소 및 오피스 프로그램의 특성에 기인하여, 하절기 냉방 부하를 하지 기준으로 설정하여 건물의 에너지 사용을 최소화될 수 있도록 진행되었으며, 실내 조도 최적화의 경우, 각 프로그램별 적정 조도 기준을 문화적, 사회적 교정을 통해 지정하고, 해당 기준에 부합하는 대안을 선택하는 방식으로 최적화했다. 또한 휘도 최적화는 DGP(Daylight Glare Probability) 공식 기준인 실내에서 재실자가 눈부심을 인지하지 못하는 0.35 이하의 값을 목표로 했으며, 시각 환경 분석의 경우, 외부로의 시야 차단에 효과적인 장치를 모색하는 동시에 건축물의 시공 물량 대비를 최소화하는 대안을 찾는 방식으로 최적화하였다.

위의 정량적으로 측정 가능한 환경 데이터 인풋과 성능 결과를 바탕으로 건축에서 범용화되어있는 프로그램인 라이노(Rhinoceros)와 그래스호퍼(Grasshopper) 내의 최적화 과정의 대표적인 엔진인 갈라파고스(Galapagos)와 로버트 비어링거(Robert Vierlinger, David Rutten, Developer for Robert McNeel & Associates의 개발프로그램), 옥토퍼스(Octopus, Structural Engineer at Bollinger+Grohmann Engineers의 개발 프로그램)의 에볼루셔너리 컴퓨팅(Evolutionary Computing)을 사용한 수치 최적화, 생성적 알고리즘, 그리고 문제해결 등의 연구주제로 범위가 확대되고 있다. 이에 본 연구는 의사결정 과정에서 환경 데이터나 구조 데이터처럼 측정 가능한 변수와 제도적 혹은 개별의 기호와 같이 측정가능하지 않은 변수를 동시에 만족시킬 수 있도록 단계별 최적화 과정의 방법론을 통하여 잠재적인 확대 및 활용 가능성을 알아보는 동시에 현시점에서의 한계와 개선방안을 분석하고 정리한다.



CASE STUDY

- 01. Building volume optimization
- 02. Exterior Louver optimization
- 03. Interior screen optimization

사례연구

- 01. 건축물 규모 조정을 통한 환경 최적화
- 02. 외부 입면 루버를 통한 열 및 빛 환경 최적화
- 03. 실내 입면 장치를 통한 환경 최적화

## Data Type and method for Case Study



The research examines multi-staged optimization methodologies applied to the design project for the new Government Complex in Gangseo-gu, which H Architecture, New York, and Haeahn Architecture won in 2021, and conducts complex design optimization processes based on several design variables and environmental data. The types and application standards of specific environmental data used in each methodology are as follows.

**Shadowing Analysis:** it is used for interior planting and creating an appropriate light environment for the public and office spaces. For the north elevation facing the atrium, the overall dimensions are optimized by adjusting the width, depth, office width, and floor height based on the minimum shaded area for less than 2 hours per day.

**Illuminance analysis:** Based on the standard illuminance of N 12464 Light and lighting, the appropriate illuminance is measured according to the program of the space. In the case of the atrium, 3000-4500 lux, which is the proper illuminance of the outdoor space, is used as the standard, and the office space aimed to achieve maximum area with 300-450 Lux, which is the appropriate illuminance of the space based on the diffusion of natural light.

**Daylight Analysis:** Numerical environmental data mentioned above are used as design variables and as judgment criteria for the multi-staged optimization process and are

## 데이터의 종류 및 방법론



연구는 2021년 해안 건축과 뉴욕의 H Architecture에서 당선된 강서구 통합 신청사 현상설계 프로젝트의 일부인 중정형 청사동 디자인 결정 과정에 다수의 디자인 변수와 환경 데이터에 기반한 다층적 최적화 방법론을 적용한 내용을 바탕으로 한다. 각 방법론에 사용된 구체적인 환경 데이터의 종류와 적용 기준은 각각 다음과 같다.

**음영 분석:** 건물 내부 식재 계획 및 공용 및 사무공간의 적절한 빛 환경 조성을 위해 사용하였다. 중정을 면하고 있는 북쪽 입면을 대상으로, 일일 2시간 이하 음영 부분이 최소화되는 것을 기준으로 폭, 깊이, 오피스 너비, 층고의 볼륨을 조정하여 전체 규모를 최적화하였다.

**조도 분석:** N 12464 Light and lighting의 기준 조도를 기반으로 해당 공간의 프로그램에 준하는 적정 조도를 측정하였다. 아트리움의 경우, 야외공간의 적정 조도 수준에 달하는 3000-4500 lux를 기준으로 하였고, 사무공간은 자연광 확산을 기준으로 해당 공간 적정 조도인 300-450 Lux 영역의 최대화를 목적으로 하였다.

**휘도 분석:** 공간 내 일반적인 뷰를 설정하였고, 해당 시야각 내에서의 조도 차이를 측정하여, 편안한 빛 환경을 조성하는 데에 사용하였다. 휘도 분석에 사용된 프로그램은 레디언스(Radiance)와 연동된 허니비(Honeybee)이며, 사용된 기준은 DGP(Daylight Glare Probability) 기반 0.35 이하를 최적화된 휘도로 설정하여 사용하였다.

**시야각 분석:** 프라이버시 보호 혹은 개방감 확보를 통해 해당 공간의 적절한 시각 환경 조성을 위해 사용하였다. 분석에 사용된 프로그램은 레이디 버그(Ladybug)이며, 사용된 기준은 Cone of Vision 60

applied to various ranges and scales, from macro-elements of the project such as building volume to micro-elements such as interior elevation modules.

Glare analysis: It is used to measure the difference in illuminance within an established viewing angle, and create a comfortable light environment. The program used for glare analysis is Honeybee linked with Radiance, and the standard used is Daylight Glare Probability (DGP)-based 0.35 or less as the optimized glare setting.

Viewing angle analysis: Used to create an appropriate visual environment for the space by protecting privacy or achieving a sense of openness. The program used for the analysis is Ladybug, and the standard used is as follows. Privacy is considered to be protected when the view range is less than 20% in the Cone of Vision 60-degree method, and visual openness is considered to be achieved when the view range is more than 60%.

Thermal performance analysis: It is used to measure the cooling load in summer and heating load in winter according to the radiant heat controlling strategy of a building. The program used for the analysis is Ladybug, and the aim for optimization is to have the smallest load in kWh/m2 units considering that the summer cooling load is the main focus due to the nature of the office program.

Fluid dynamics analysis: Used to analyze the ventilation performance of indoor space with pre-defined openings. The program used for the analysis is BlueCFD/Butterfly, and the average pressure of the fluid flow within the condition is converted to psi, and the higher the value, the better the ventilation performance.

degree 방식에서 20% 이하로 개방될 경우, 프라이버시가 보호되는 것으로, 60% 이상이 개방될 경우, 시각적 개방성이 확보되는 것으로 설정하였다.

열 성능 분석: 건축물의 복사열 취급 방식에 따른 여름철 냉방 부하 및 겨울철 난방 부하를 측정하기 위해 사용하였다. 분석에 사용된 프로그램은 레이디버그(Ladybug)이며, 사용된 기준은 오피스 프로그램 특성상 여름철 냉방 부하가 주안점인 것을 고려하여 kWh/ m2 단위로 가장 적은 부하를 가지도록 최적화하였다.

유체 역학 분석: 특정 오프닝이 설정된 실내 공간의 환기 성능을 분석하기 위해 사용하였다. 분석에 사용된 프로그램은 버터플라이(Butterfly) 플러그인에 연동된 블루씨에프디(Blue CFD)이며, 조건 내 유체 흐름의 평균 압력을 psi(제곱인치당 파운드) 단위로 환산하여, 수치가 높을수록 환기 성능이 최적화되는 것으로 설정하여 사용되었다.

위의 내용을 바탕으로 수치화된 환경데이터는 디자인 변수로 다층적 최적화 프로세스의 판단기준으로 사용되었으며, 건축물 볼륨과 같은 프로젝트의 거시적 요소부터 내부 입면 모듈과 같은 미시적 요소까지 다양한 범위와 스케일에 적용되었다.

## METHODOLOGY.01

Building Volume Optimization

## 방법론.01

건축물 규모 조정을 통한 환경 최적화



Building Volume Optimization

First, establish the multi-layered optimization methodology to define the architectural elements related to the volume and interior space of a building and a series of procedures to which the methodology is applied.

The interior space is configured as a courtyard typology, and the environmental optimization method when the courtyard is converted into an indoor space was examined. The size and shape of the courtyard were optimized based on minimizing the shade for less than 2 hours per day in the main office space located in the north and south through shading analysis. It was used to derive the minimum shaded area compared to the entire exposed surface under the given conditions.

To create an appropriate light environment for the indoor courtyard made based on the building size determined in the previous stage, the same level of illuminance as the exterior of the Korean solar environment standard, even though it is an indoor courtyard, was set as standard. Considering the sociocultural factors of the reference area, the appropriate illuminance level was adjusted to a comfortable outdoor space illuminance level (3000-4500 lux) and the spacing and depth values of the ceiling shading structure were optimized to achieve the appropriate illuminance level.

As a tertiary optimization process, in the case of the inner courtyard air circulation environment, the average pressure within a specific area is converted to psi, and the higher the reference value, better the ventilation performance. Based on the location and size of the opening at each floor, the ventilation efficiency was comparatively analyzed, and the internal ventilation efficiency of the indoor courtyard was evaluated and reflected in the design.

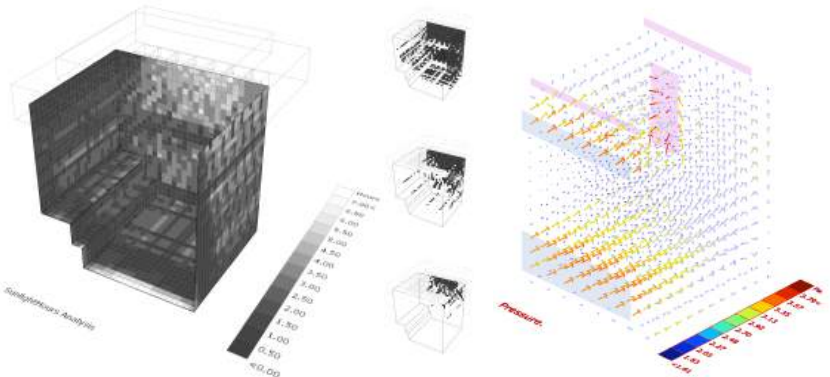


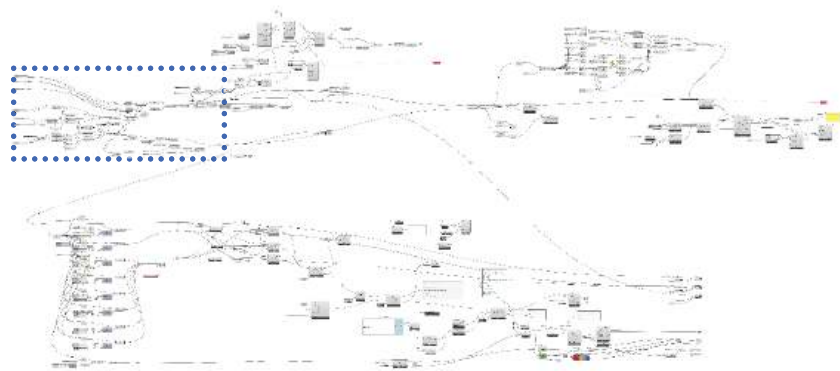
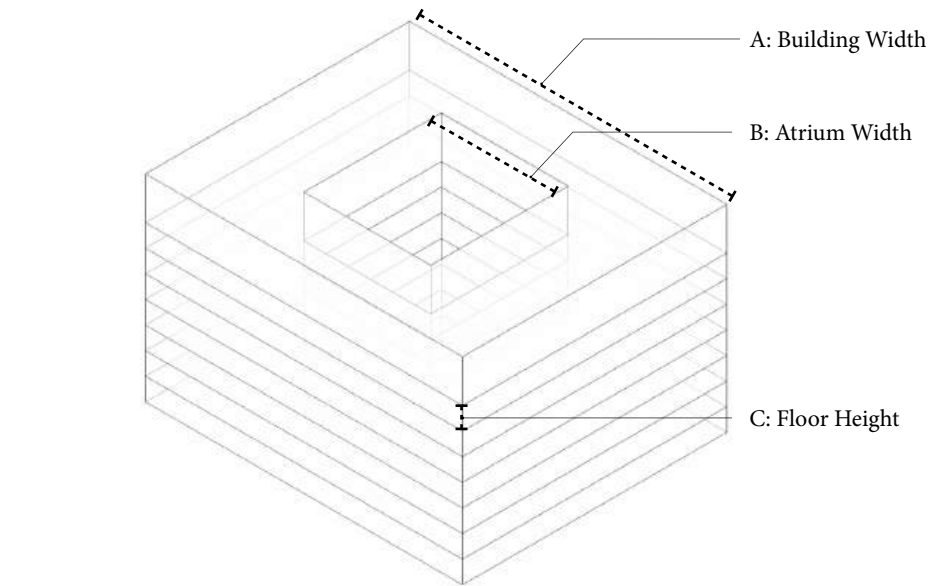
건축물 규모 조정을 통한 환경 최적화

첫 번째, 건축물의 볼륨 및 내부 대 공간에 관련된 건축요소들을 규정하기 위해서 사용된 다층적 최적화 방법론과 해당 방법론이 적용된 일련의 프로세스를 사용하였다. 내부 공간 조직의 특성상, 중정 형상을 기본으로 하는 구성이며, 해당 중정을 실내화하였을 때의 환경적 최적화 방법 살펴보았다. 건축물의 중정의 크기와 형상은 음영 분석을 통하여, 남북에 위치한 주 사무 공간에 일일 2시간 이하 음영 부분이 최소화되는 것을 기준으로 최적화되었으며, 중정의 폭, 깊이, 사무공간의 너비, 층고를 조절하여 주어진 조건에서 전체 노출면 대비 최소의 음영 면적을 도출하는 데 사용되었다.

앞선 1차 자료를 바탕으로 결정된 빌딩 규모를 기반으로 만들어진 실내 중정의 빛 환경 조성을 위해서, 실내 중정임에도 불구하고, 쾌적한 외부 공간 조도가 가능하도록 하였다. 한국 일사 환경기준 외부와 동일한 수준의 조도 기준을 기준 지역의 사회적/문화적 요소를 고려하여 설정한 후, 편안한 야외 공간 조도 수준(3000-4500 lux)에 도달하도록, 천장 차양 구조체의 간격 및 깊이 값을 최적화하였다.

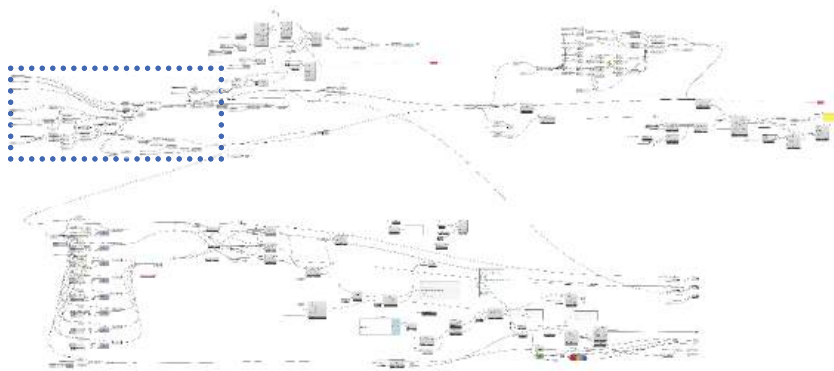
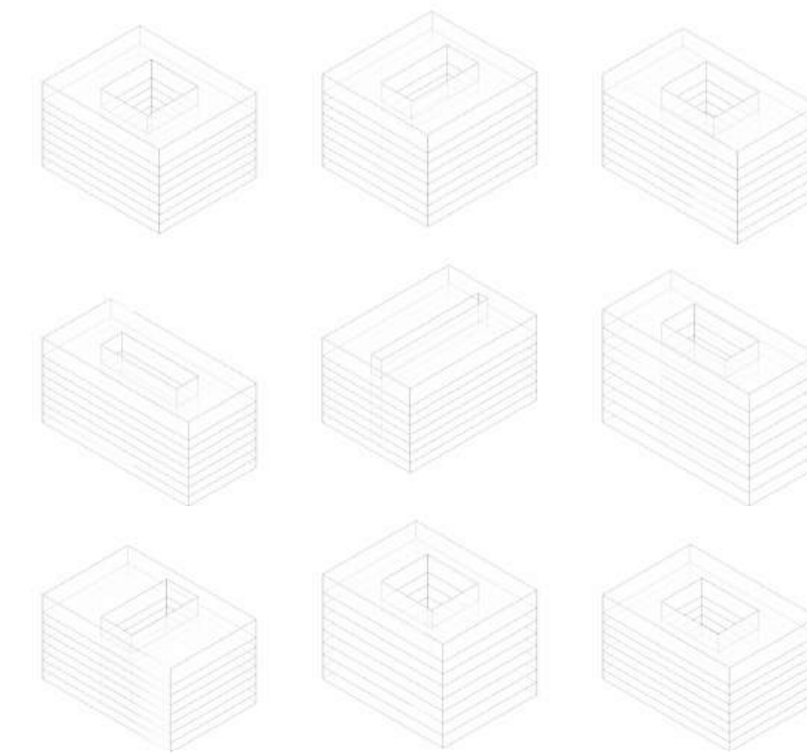
3차 최적화 과정으로 중정을 외기와 차단된 아트리움으로 구성하고 내부 공기 순환 환경의 경우, 특정 해당 지역 내 평균 압력을 psi단위로 환산하여, 해당 기준 수치가 높을수록 환기 성능이 높은것으로 설정하고, 대상지의 주 풍향과 풍속을 바탕으로 중정의 층별 개구부 위치와 크기를 바탕으로 환기 효율을 비교 분석하여, 실내 중정의 내부 환기 효율을 확인하고 디자인에 반영하는 방식으로 연구가 진행되었다.





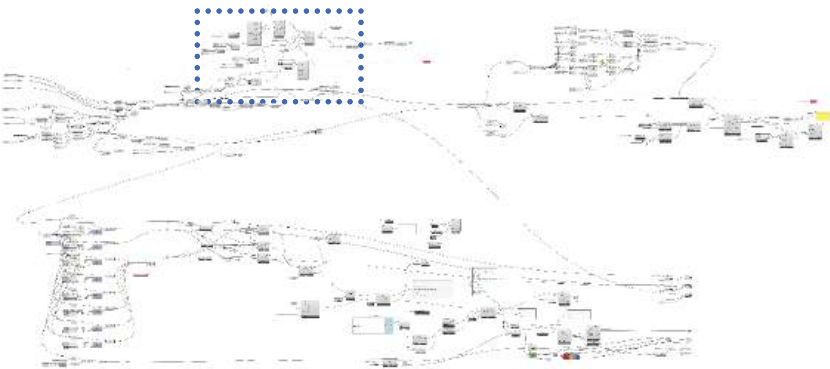
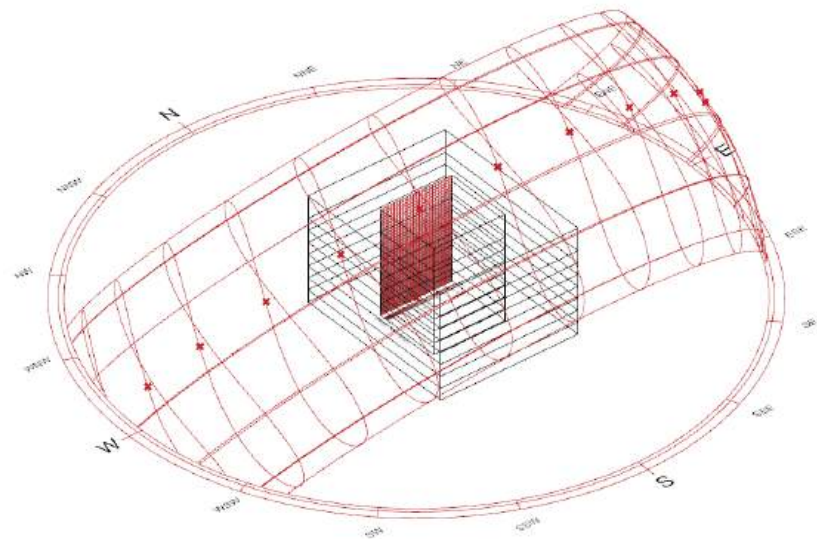
### Defining overall volume:

To meet the overall required project area, the sum of X and Y variables is 110, and the height is configured so that the base floor height is adjusted from at least 4.2 to 6 meters. The office is located in the north and south of the atrium, and the variables are set so that the size of the atrium is readjusted according to the depth of the office.

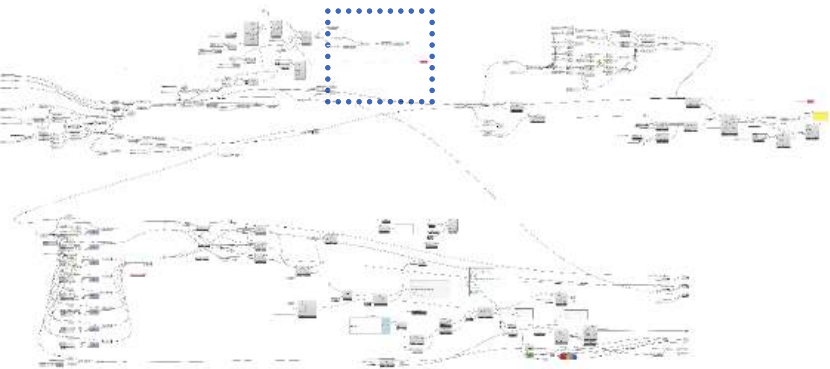
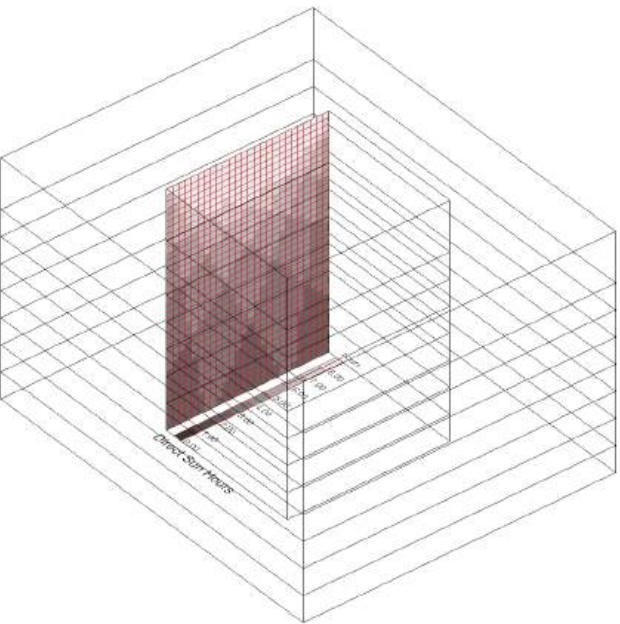


### 건축물 볼륨 조정:

전체 프로젝트 기준면적을 충족시키기 위해, X 변수와 Y 변수의 합이 110이 되도록 하고, 높이는 기준층 층고가 최소 4.2m 에서 6m까지 조정되도록 구성하였다. 오피스는 각각 아트리움의 북쪽과 남쪽에 위치하게 되며, 오피스의 깊이에 따라서 아트리움 규모가 재조정되도록 변수를 설정하였다.



Finding optimal building and atrium dimensions:  
 optimal building volume and atrium composition, Ladybug's shading analysis is used.  
 Through the simulation, the amount of direct sunlight transmitted through the north office through the atrium was measured, and then an algorithm was created to configure each option in the Galapagos.



최적화된 건물 볼륨과 아트리움 규모:  
 가장 적합한 건물 볼륨과 아트리움의 구성을 파악하기 위해, 레이디버그(Ladybug)의 음영 분석을 사용하였다. 해당 시뮬레이션을 통해, 아트리움 내부를 통한 북측 오피스의 직달 일사 전달량을 측정 후, 갈라파고스에 각 대안을 구성하는 알고리즘을 생성하였다.

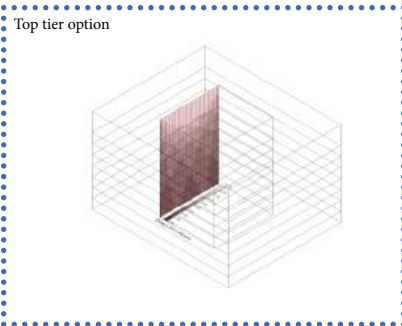


Left: Top tier group from Shadow analysis for selection process  
Right: Graph of sun exposure hours from Galapagos interface

A: Building Width

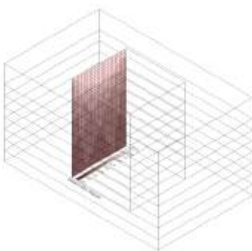
B: Atrium Width

C: Floor Height



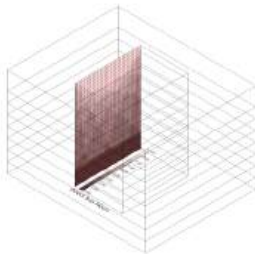
dimension: A-60m/ B-18m/ C-4.2m

area less than 2 hrs sun: 16.1%



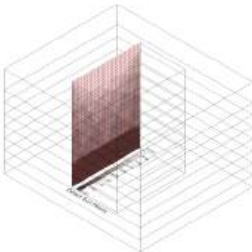
dimension: A-68m/ B-21m/ C-4.2m

area less than 2 hrs sun: 20.1%



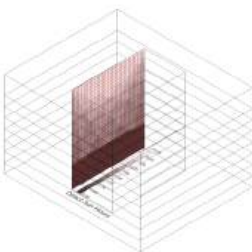
dimension: A-61m/ B-20m/ C-4.5m

area less than 2 hrs sun: 23.1%



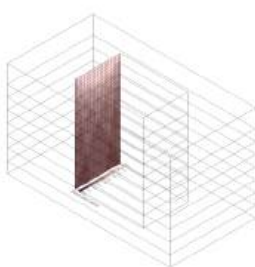
dimension: A-60m/ B-18m/ C-4.2m

area less than 2 hrs sun: 27.9%



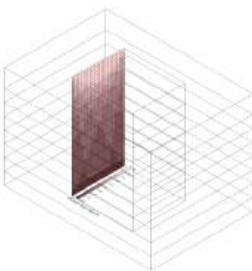
dimension: A-60m/ B-21m/ C-4.3m

area less than 2 hrs sun: 32%



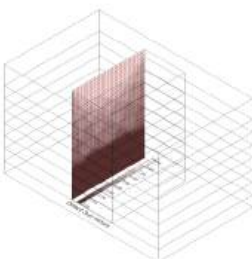
dimension: A-72m/ B-21m/ C-4.9m

area less than 2 hrs sun: 36.1%



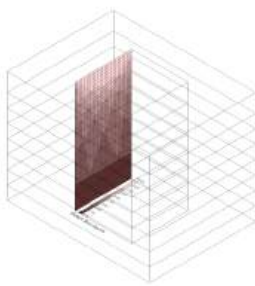
dimension: A-65m/ B-19m/ C-5.3m

area less than 2 hrs sun: 40%



dimension: A-68m/ B-25m/ C-4.8m

area less than 2 hrs sun: 44.3%

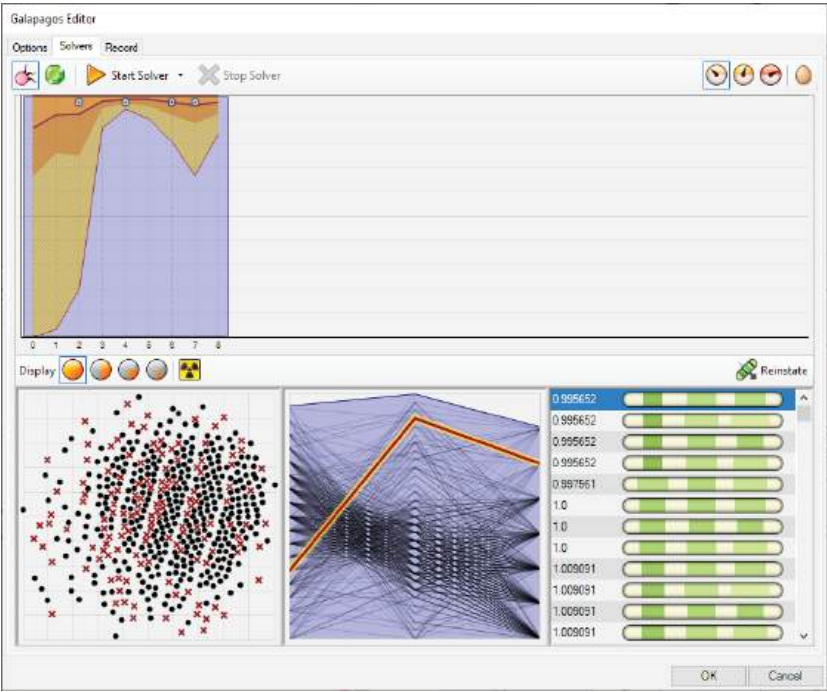


dimension: A-63m/ B-19m/ C-5.9m

area less than 2 hrs sun: 48%

Selecting optimal option:

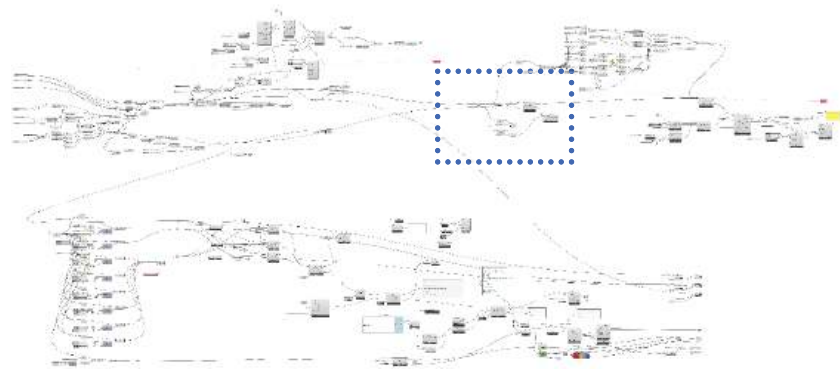
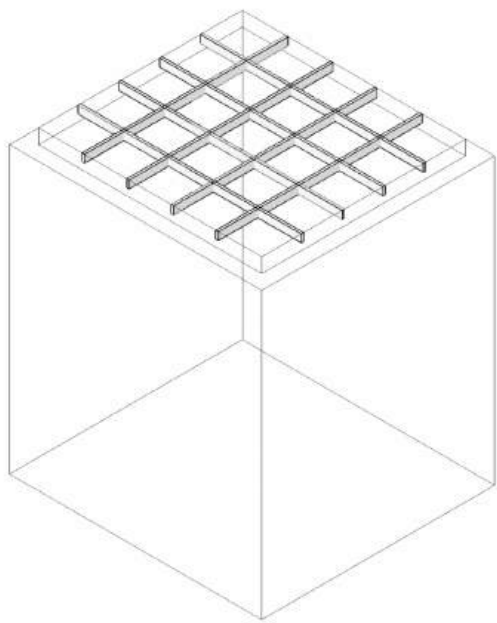
As a result of extracting the data of the area with direct sunlight 2 hours or less based on the south side of the north office for each option, the building volume of 60m north-south and 50m east-west, a floor height of 4.2, and the atrium floor dimensions of 18 x 12m area is analyzed as the option with the smallest area of direct solar radiation for less than 2 hours (161.73 m2)



최적 대안 선택:

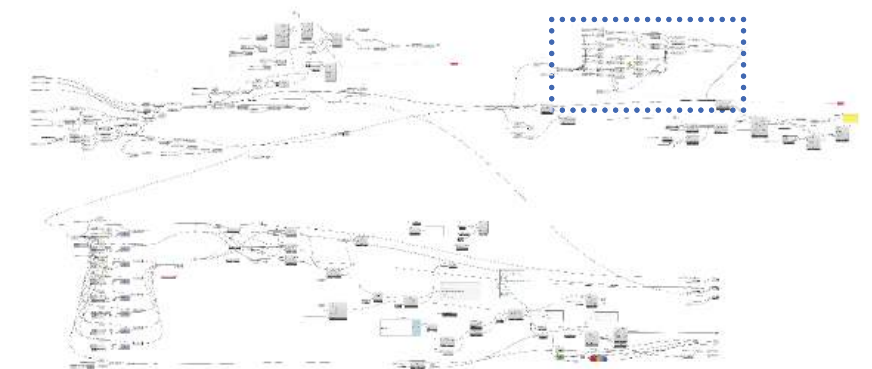
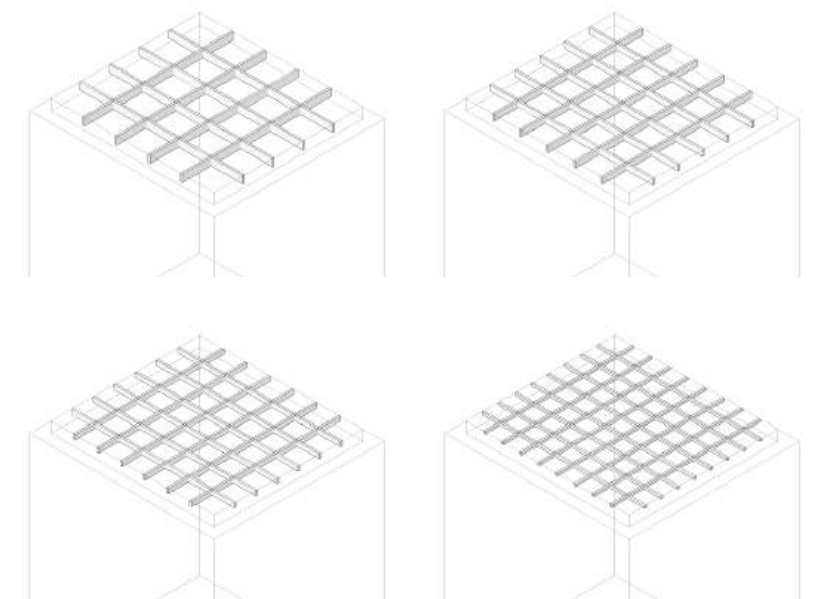
북쪽 오피스 남쪽 면 기준, 최소 2시간 이하의 직달 일사를 가진 영역의 면적의 데이터를 대안별로 추출한 결과, 남북 60m, 동서 50m의 빌딩 볼륨에, 층고 4.2m, 그리고 18m x 12m의 바닥 면적을 가진 아트리움 구성이 가장 적은 2시간 이하 직달 일사의 면적 비율, 16.1%를 보유한 대안으로 분석되었다.





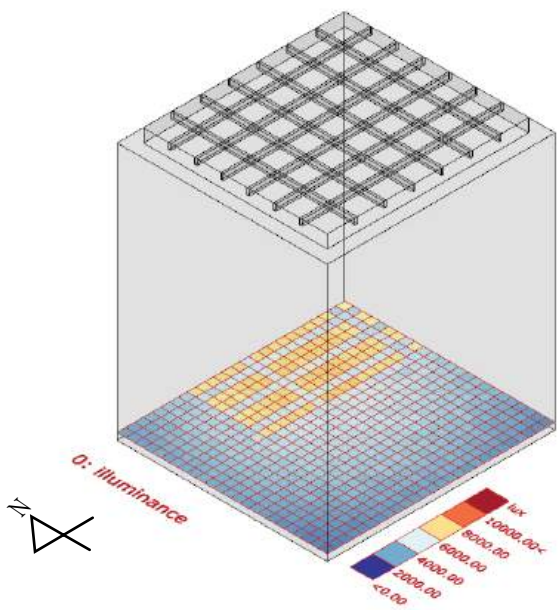
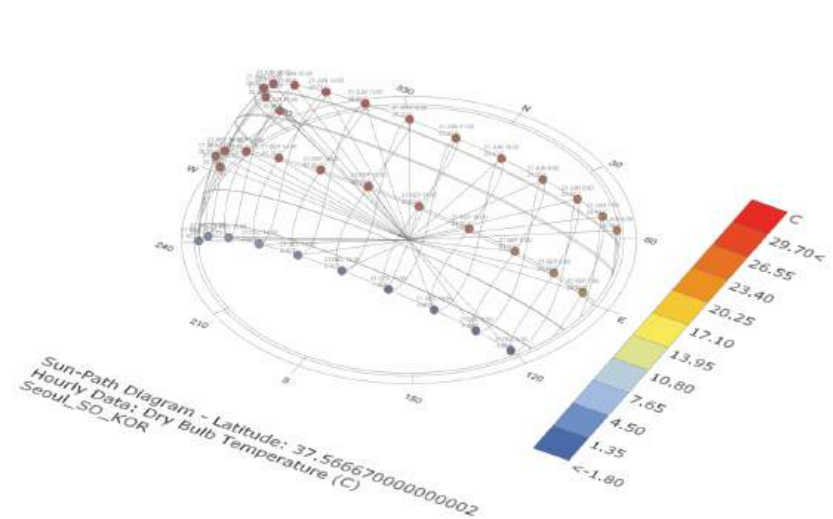
#### Defining shading structure:

Based on the optimization options of the atrium and building volume analyzed previously, the effect of the skylight structure of the atrium and the shading/illumination adjustment of the structure is analyzed. Variable parameters consist of the division interval of the structure (5-10 separations), and depth (0.1-1 meter), and illuminance analysis through Honeybee based on Radiance have used the optimal structure for the shading. The illuminance standard used for analysis is EN 12464 Light and lighting, and Galapagos, a single optimization tool, is used to analyze each option.



#### 차양 구조 구성:

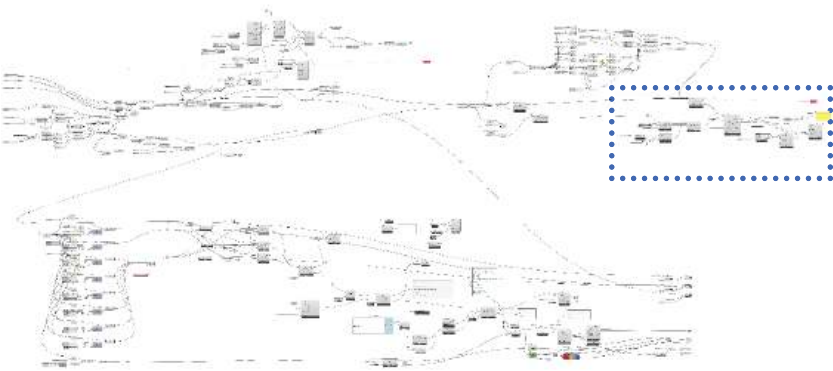
앞서 분석된 아트트리움과 건물 볼륨의 최적화 대안을 기반으로, 아트트리움의 천창 구조 및 해당 구조의 차양/조도 조절의 효과를 분석하였다. 변수는 구조체의 분할 간격과 (5-10개 분리), 깊이(0.1-1m)로 구성되었다. 차양에 최적화된 구조를 분석하기 위하여, 레이언스(Radiance) 기반으로 한 허니비(Honeybee)를 통해 조도 분석이 이루어졌으며, 대안별 아트트리움 실내 조도를 비교 분석하여 목표 기준 이상의 대안을 파악할 수 있었다. 비교에 사용된 조도 기준인 EN 12464 Light and lighting을 바탕으로, 대안 별 분석을 위해 단일 최적화 도구인 갈라파고스(Galapagos)를 사용하였다.



Activity	Illuminance (lx, lumen/m <sup>2</sup> )
Public areas with dark surroundings	20 - 50
Simple orientation for short visits	50 - 100
Areas with traffic and corridors - stairways, escalators and travelators - lifts - storage spaces	100
Working areas where visual tasks are only occasionally performed	100 - 150
Warehouses, homes, theaters, archives, loading bays	150
Coffee break room, technical facilities, ball-mill areas, pulp plants, waiting rooms,	200
Easy office work	250
Class rooms	300
Normal office work, PC work, study library, groceries, show rooms, laboratories, check-out areas, kitchens, auditoriums	500
Supermarkets, mechanical workshops, office landscapes	750
Normal drawing work, detailed mechanical workshops, operation theaters	1000
Detailed drawing work, very detailed mechanical works, electronic workshops, testing and adjustments	1500 - 2000
Performance of visual tasks of low contrast and very small size for prolonged periods of time	2000 - 5000
Performance of very prolonged and exacting visual tasks	5000 - 10000
Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size	10000 - 20000

Finding optimal shading structure:

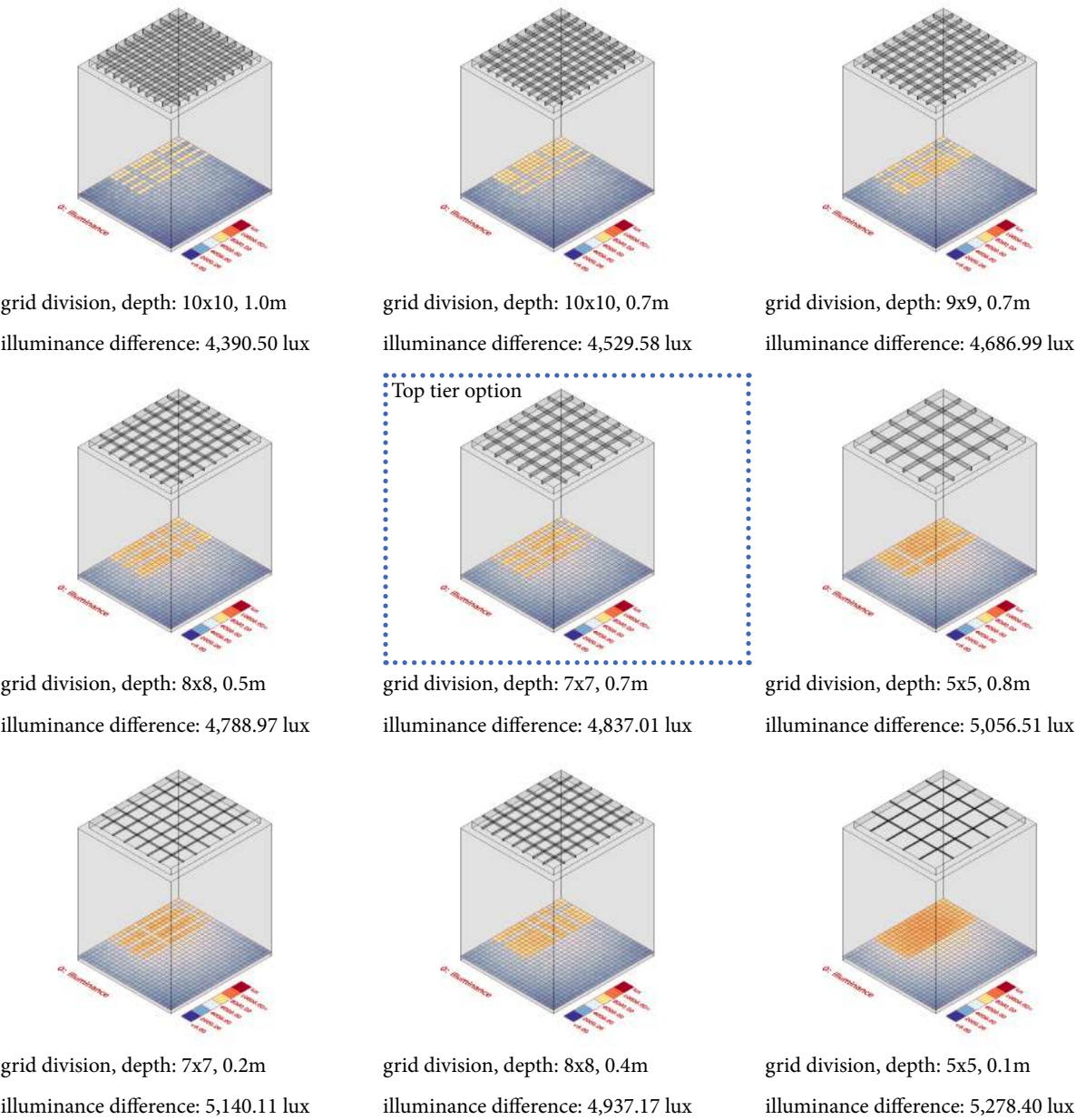
Based on the optimization options of the atrium and building volume analyzed previously, the effect of the skylight structure of the atrium and the shading/illumination adjustment of the structure is analyzed. The illuminance standard used for analysis is EN 12464 Light and lighting, and Galapagos, a single optimization tool, is used to analyze each option.



최적 차양 구조:

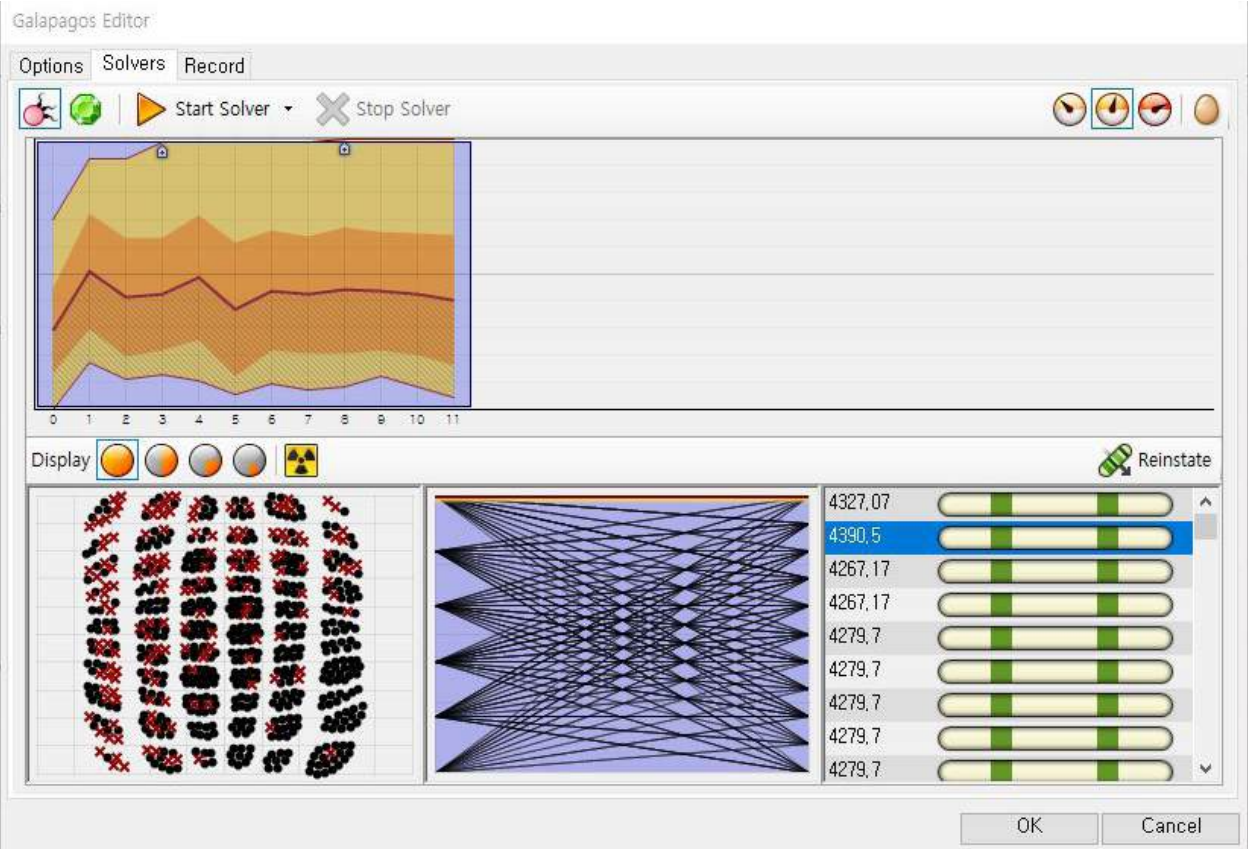
차양에 최적화된 구조를 분석하기 위하여, 레이언스(Radiance) 기반으로 한 허니비(Honeybee)를 통해 조도 분석이 이루어졌으며, 대안별 아트리움 실내 조도를 비교 분석하여 목표 기준 이상의 대안을 파악할 수 있었다. 비교에 사용된 조도 기준인 EN 12464 Light and lighting을 바탕으로, 대안 별 분석을 위해 단일 최적화 도구인 갈라파고스(Galapagos)를 사용하였다.

Left: Top tier group of Daylight simulation for selecting process  
Right: Graph of illuminance displayed at Galapagos interface



Selecting optimal option:

To select the optimal option, the smallest difference between the highest and lowest illuminance of the atrium is used as a standard, and at the same time, the average value of the illuminance that meets the previously set standard of 3000-4500 lux is used as a standard. The shading structure with a depth of 0.7 meters in 7 subdivisions is analyzed to be the optimal option according to the previous conditions.

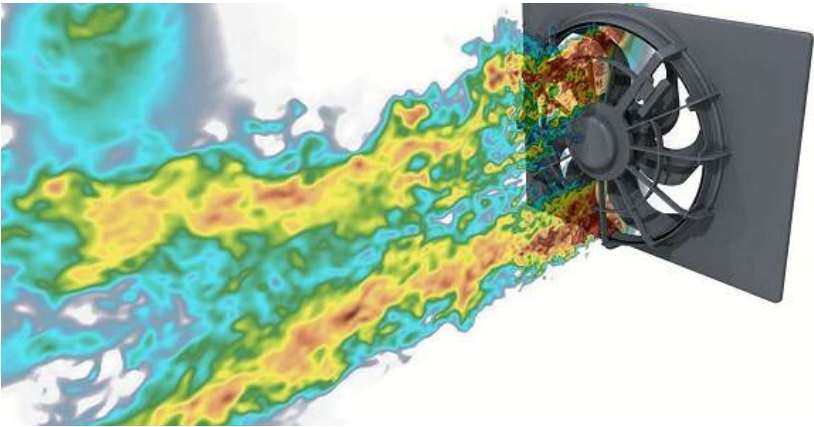
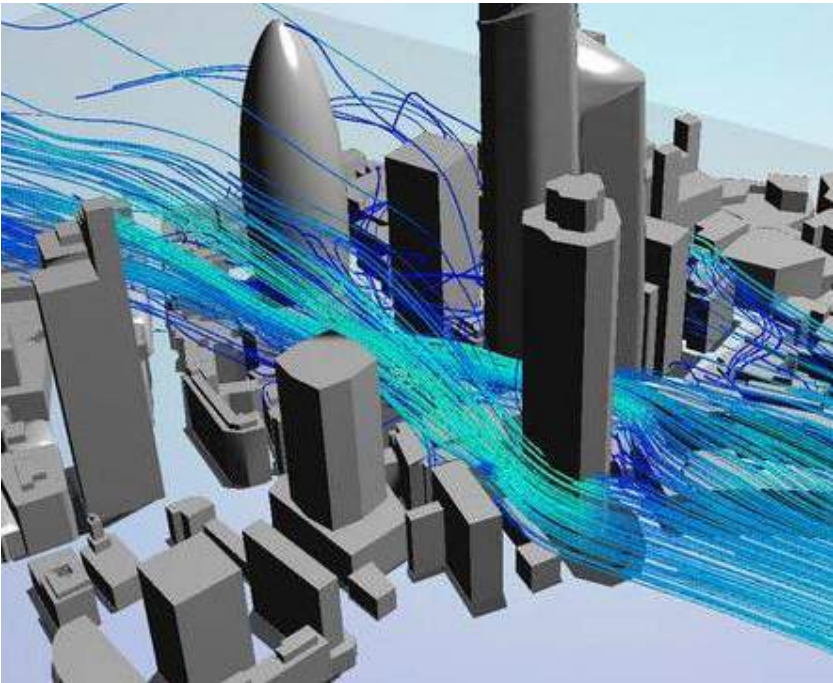


최적 대안 선택:

최적의 대안을 선택하기 위해, 아트리움 최고 및 최저 조도의 차이가 적은 것이 기준으로 사용되었으며, 또한 동시에, 조도의 평균치가 앞서 설정한 3000-4500 lux의 기준에 부합하는 것을 기준으로 사용하였다. 이의 조건이 따라 7개 분할에 0.7 미터 깊이를 가진 차양 구조가 최적화된 대안으로 분석되었다.

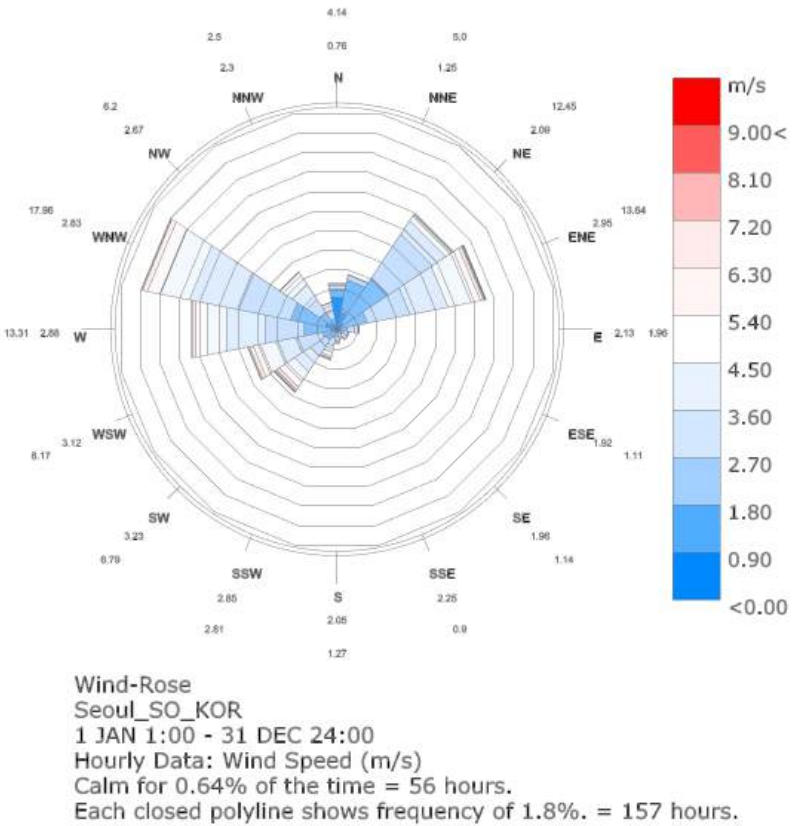


Left-Top: Wind tunnel simulation, Autodesk Flow Design  
Left-Bottom: Analyzing air flow of an industrial fan with Altair CFD™  
Right: Windrose diagram with EPW weather data using Ladybug in Grasshopper



Computational Fluid Dynamics:

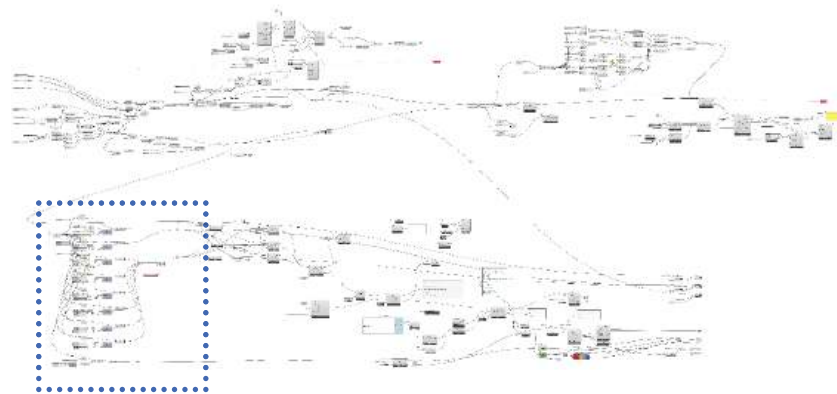
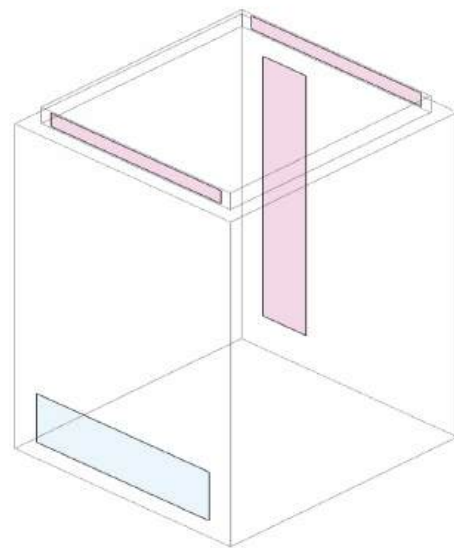
Fluid dynamics used in architecture are mostly used for analyzing the airflow, and in Grasshopper environment, the macro-environmental approach utilizes Ladybug based on the META data of the EPW file, and the micro-environmental approach utilizes the Butterfly (Butterfly) plug-in linked to Blue CFD. An atrium is a large indoor space and is greatly affected by airflow such as heat stagnation. Fluid dynamics analysis is used to reflect the previously mentioned factors in design.



유체 역학 시뮬레이션:

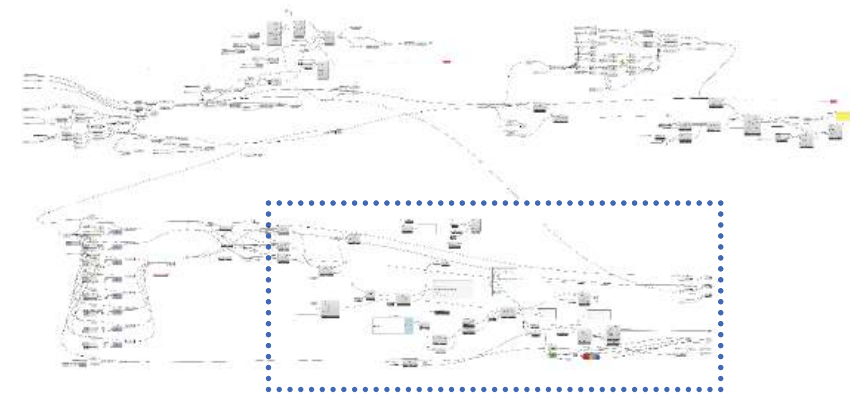
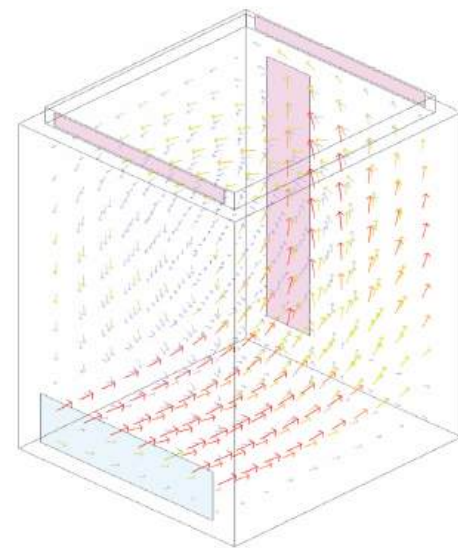
건축에서 사용되는 유체 역학은 대부분 공기의 흐름을 분석하는 용도로 사용되었고, 그래스호퍼 (Grasshopper) 환경에서 거시적 환경에 대한 접근은 EPW파일의 메타 데이터(META Data)를 바탕으로 한 레이디버그(Ladybug), 미시적 환경에 대한 접근은 블루씨에프디(Blue CFD)에 연동된 버터플라이(Butterfly) 플러그인을 사용하여 측정이 가능하였다. 아트리움은 거대한 실내공간으로, 열고임 현상과 같은 공기 흐름에 큰 영향을 받는 공간이었으며, 해당 유체 역학 분석을 통해 디자인 단계에서부터 위의 내용을 디자인에 반영하는 데 목적이 있었다.





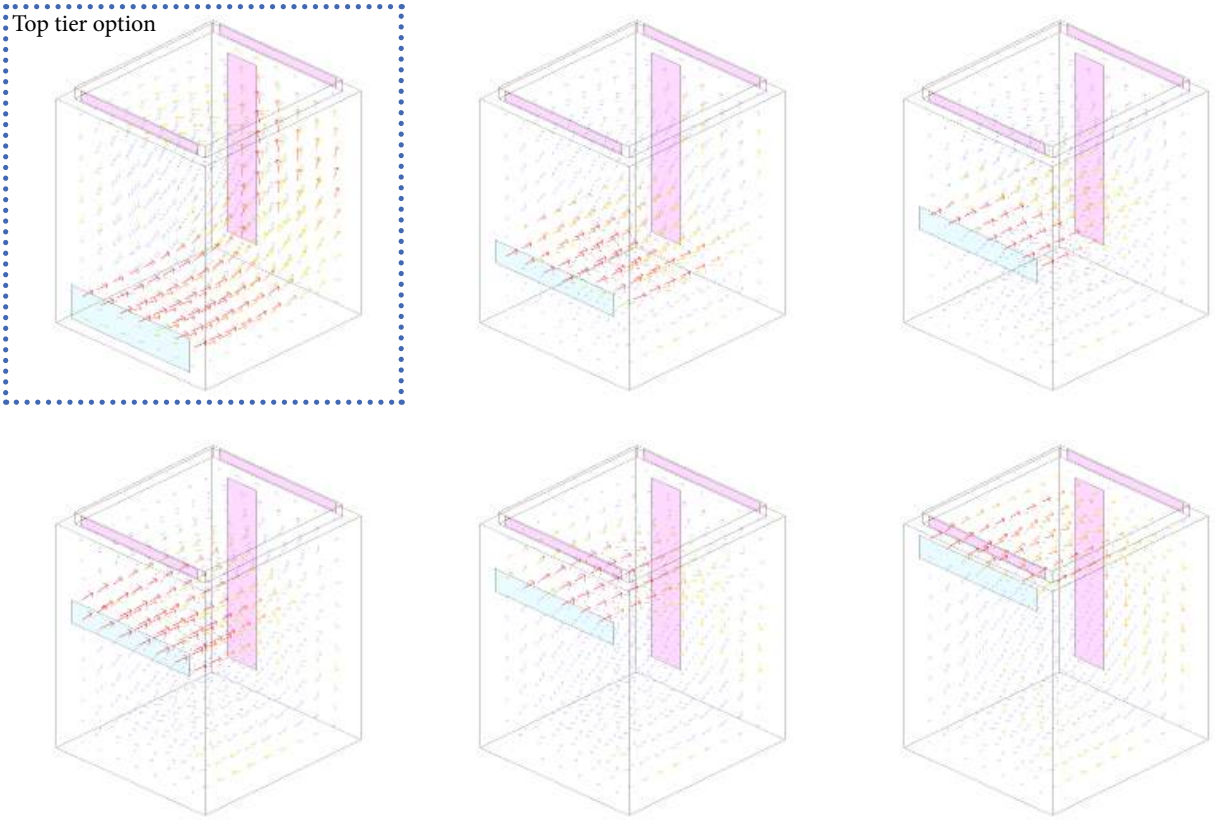
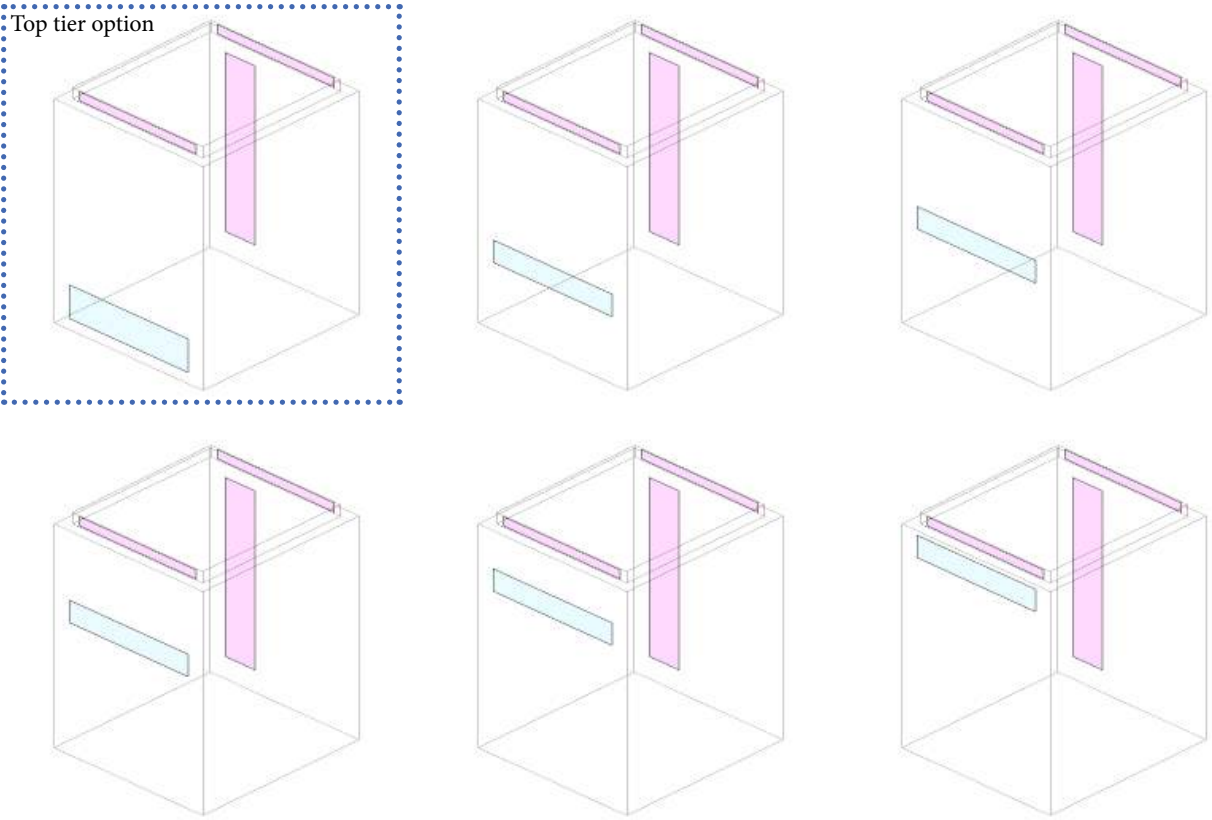
#### Defining Opening:

The area of intake and exhaust is set for ventilation simulation, and the fixed openings are around the core at the center east of the atrium, the ventilation window to prevent heat stagnation at the upper part of the atrium. The variable openings are sliding doors located on the central west of the atrium according to the structure of the building space.



#### 오프닝 설정:

환기 시뮬레이션을 위해 흡기와 배기의 영역을 설정하였고, 고정 개구부는 아트리움 중심 동측 입면의 코어 주변 개구부와 아트리움 상부 열고임 방지를 위한 환기창 부분, 변수인 개구부는 건축물 공간 구성에 따라 아트리움 중심 서측 입면에 위치한 슬라이딩 도어 부분으로 설정하였다.

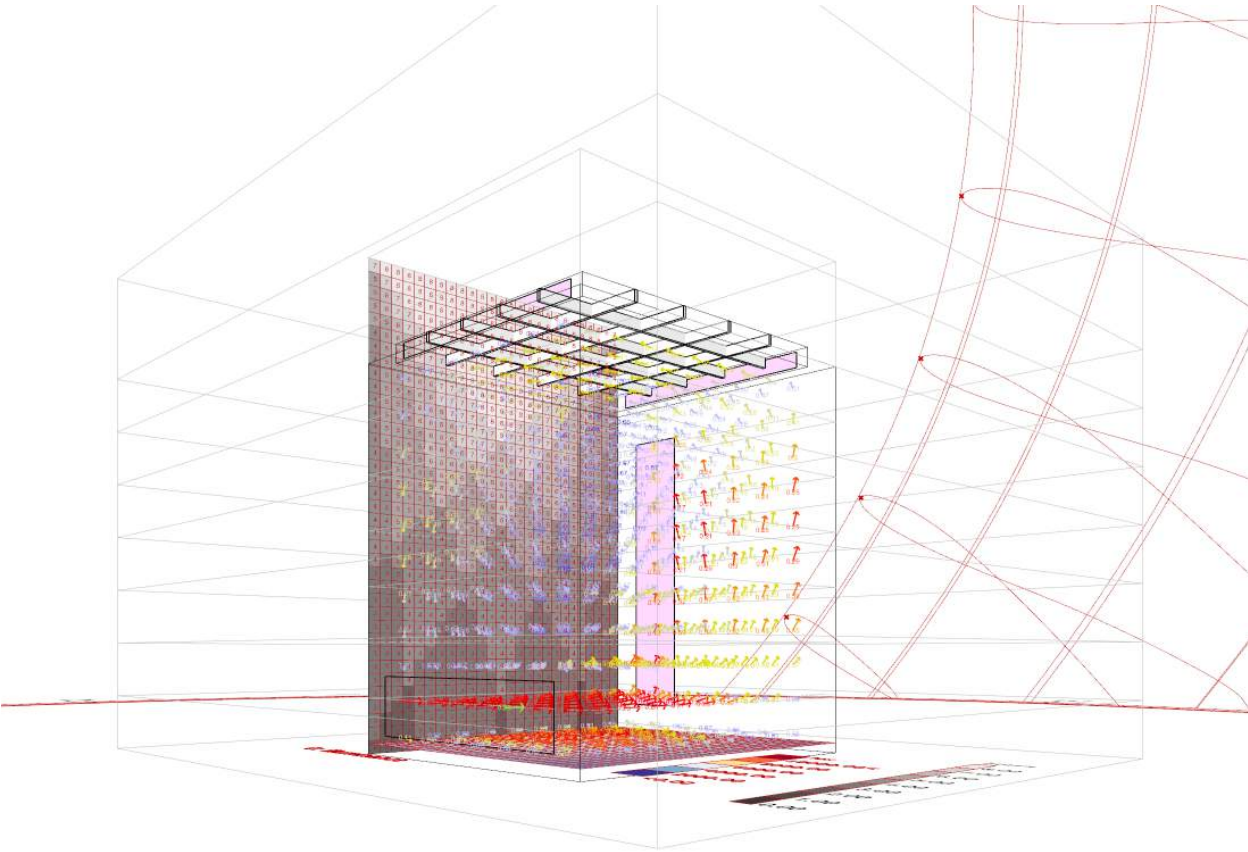


Finding optimal opening locations:  
CFD simulation was done for each variable opening to find the most effective opening location for ventilation. Based on the simulation results, the ground floor sliding doors will result in the most effective ventilation rate (155,664 psi).

최적 효율 환기:  
실내 프로그램에 따라 환기를 위한 가장 효율적인 개구부 위치를 파악하기 위해, 각층별 대안을 비교 분석하였다. 해당 분석에 따라, 변수인 개구부 중 최하층 슬라이딩 도어 개방 시 가장 높은 환기 효율 (155.664psi)을 보이는 대안을 최종적으로 디자인에 반영하였다.



Left: Top tier option through Shadow, Daylight and CFD simulation  
Right: Atrium Interior Perspective of Gang-seo Government Complex, Haeahn Architecture & H architecture P.C.





METHODOLOGY.02

Exterior Louver Optimization

방법론.02

외부 입면 루버를 통한 열 및 빛 환경 최적화



Exterior Louver Optimization

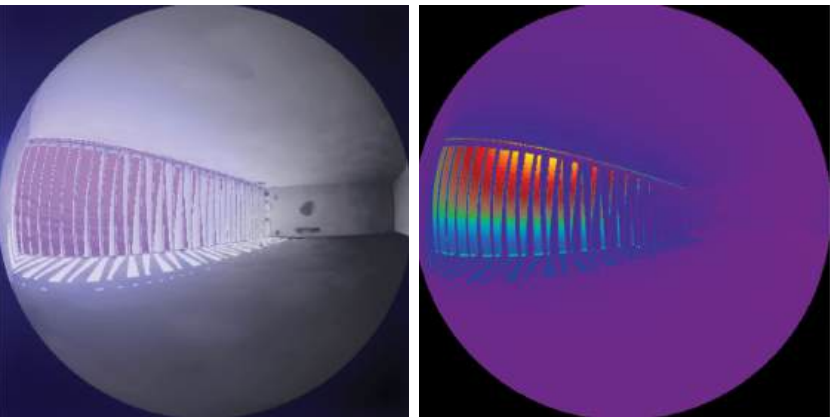
A multi-staged optimization methodology was applied to optimize the thermal performance of the building and the indoor lighting environment based on the shape of the shading device, which is derived from the external elevation dimensions of the building. Considering that the building is an office space and the present number of occupants compared to the base floor area is expected to be high, so the standard for latent heat is set high. It is expected that the monitors will be mainly used at work, so the shading fins as an architectural device to prevent glare in an indoor light environment is premised.

First, it was optimized to have the lowest cooling load in summer based on kWh/m2 unit, focusing on the summer cooling load due to the characteristics of the metropolitan area of Korea. The shading module design consists of various variables so that the thickness, width, profile shape, and spacing of the module can be adjusted in the optimization process. A multi-staged optimization process was configured so that the variables were compared and analyzed with the total material quantity, and the shapes with a relatively high heat load reduction effect compared to the total quantity are selected as better-performing options.

Glare analysis was conducted on the previously selected options and optimized. The analysis aimed to a comfortable light environment by setting a field of view within the office space and measuring the difference in illuminance within the field of view. Daylight Glare Probability (DGP)-based 0.35 or less is set to be the optimal glare level, and among the previously selected options based on the thermal performance, the option with DGP 0.348 is selected in process of optimizing the light environment by preventing direct sunlight while utilizing the indirect light.



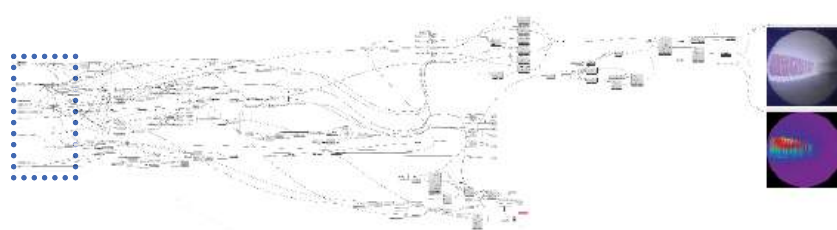
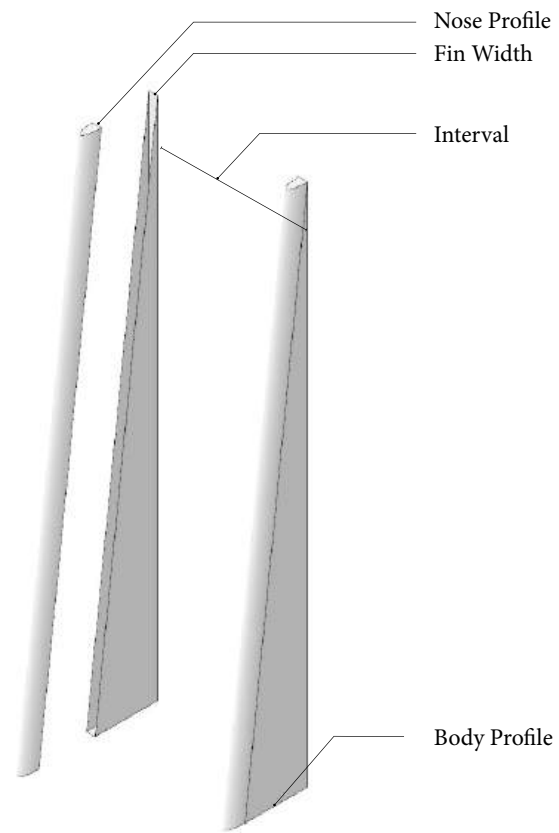
외부 입면 루버를 통한 열 및 빛 환경 최적화



건축물의 외부 입면 변수값을 바탕으로 차양 형상에 기인한 건물의 열 성능 및 실내 빛 환경을 최적화하는 다층적 최적화 방법론을 적용하였다. 해당 건축물은 사무공간임을 고려하여, 내부 열원이 다수 존재하고, 기준층 면적대비 재실자의 인원 비율이 평균치보다 높아 잠열의 기준을 높게 설정하였고, 업무 시 주로 모니터를 사용할 것으로 예상되어, 실내 빛 환경에서 눈부심 방지에 대한 장치로서의 차양을 전제로 하였다.

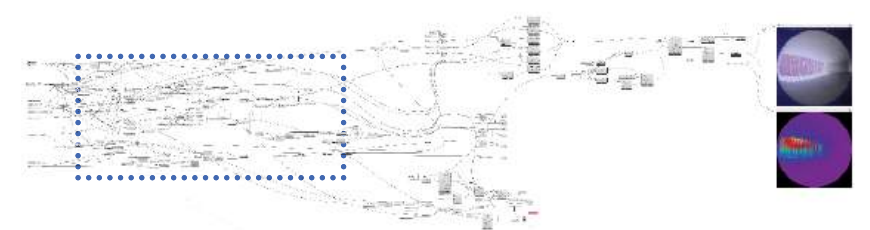
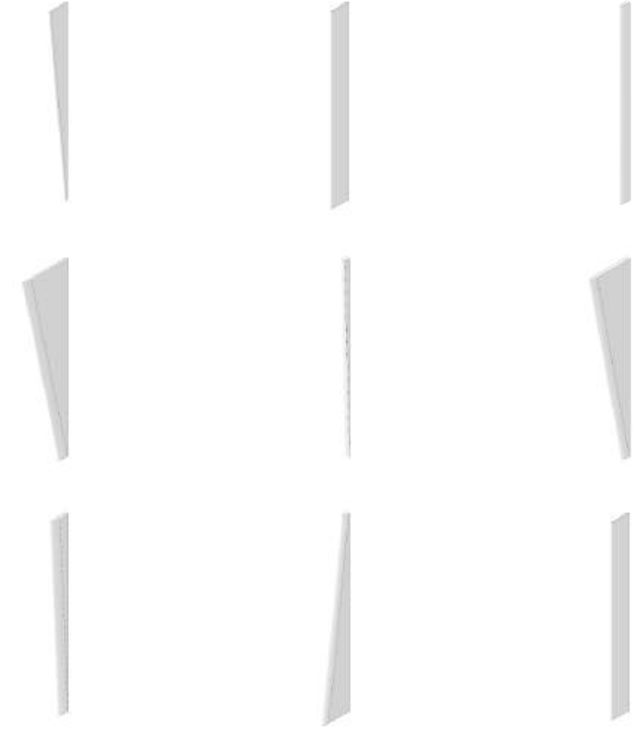
첫 번째, 한국 도심지역의 특성상 여름철 냉방 부하를 주안점으로 kWh/ m2 단위 기준 하절기 냉방 부하를 최소화하는 것을 목표로 하였다. 차양 모듈 디자인은 최적화 프로세스에서 모듈의 두께, 너비, 프로파일 형태, 간격을 조정할 수 있도록 변수값이 적용된 차양 시스템으로 구성하였다. 또한 해당 변수들이 전체 모듈 조합의 건축 물량과 비교 분석되도록 다중 최적화 프로세스를 구성했다. 이를 통해, 전체 물량 대비 상대적으로 높은 열 부하 저감 효과를 보이는 형상 대안들을 선택하는 프로세스로 구성되었다.

두 번째 선택된 대안을 바탕으로 휘도 분석을 통해 2차로 최적화를 진행하였다. 해당 분석은 사무공간 내 시야 범위를 설정하고, 해당 시야 범위내에서의 조도 차이를 측정하여, 업무공간의 편안한 빛 환경을 조성하는 것을 목표로 하였다. DGP(Daylight Glare Probability) 기반 0.35 이하를 최적화된 휘도로 설정하며, 이를 바탕으로 대안을 선택하였다. 선택된 대안들에 기인하여 차양 장치를 통한 외부 직접 광의 차단 및 간접 광을 통한 빛 환경 최적화 과정에서, DGP 0.348의 성능을 보이는 대안으로 디자인 방향을 결정하였다.



#### Defining geometry:

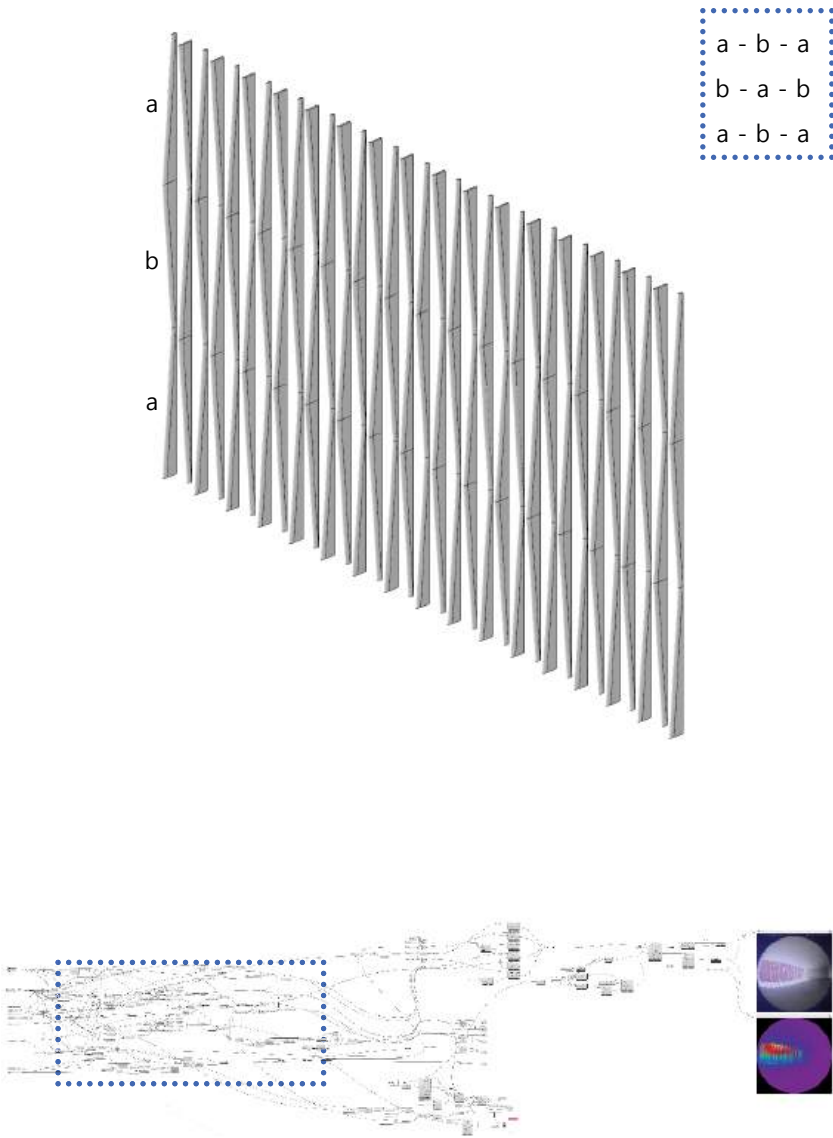
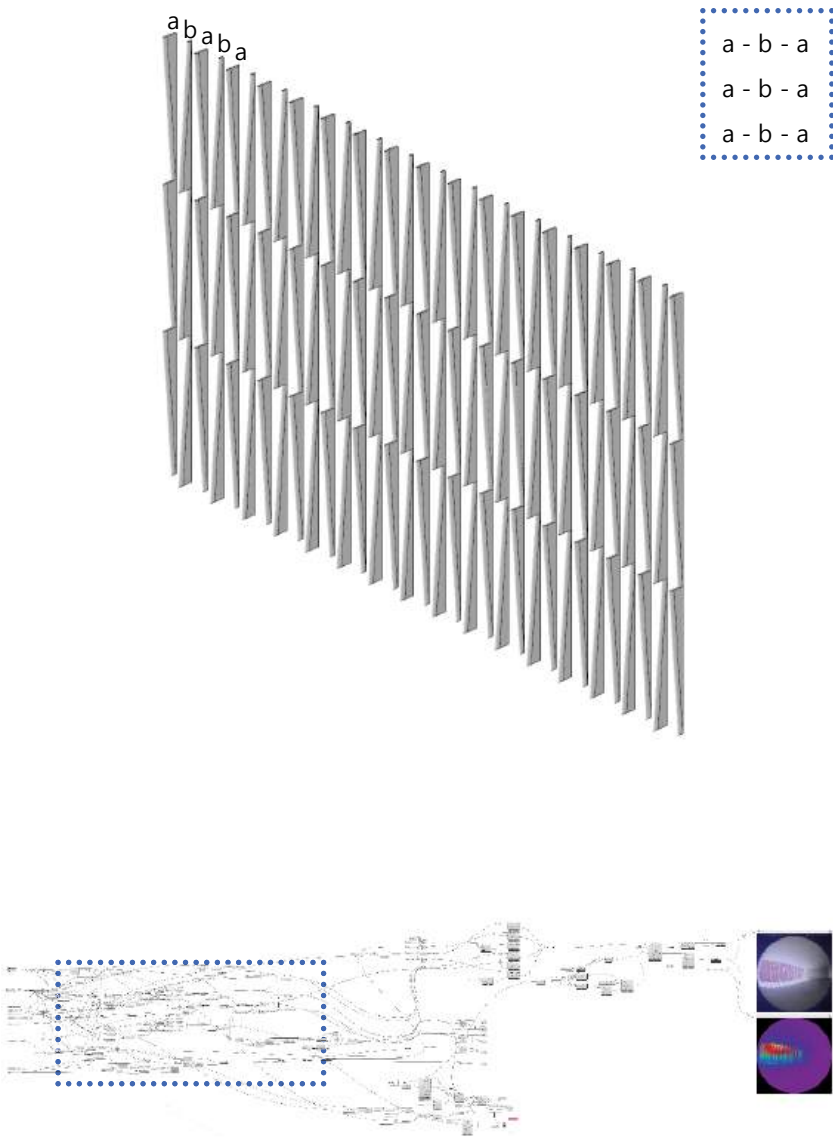
Several parameters are defining the fin shape; the width (0.010-0.040 meters), body depth (0.10-1.00 meters), and nose depth (0.00-0.60 meters). The fins are arranged along the simulation surface reversing at every other module to create an alternating pattern. The density of these fins is controlled by an increment of 0.3 meters (0.3-1.2 meters).



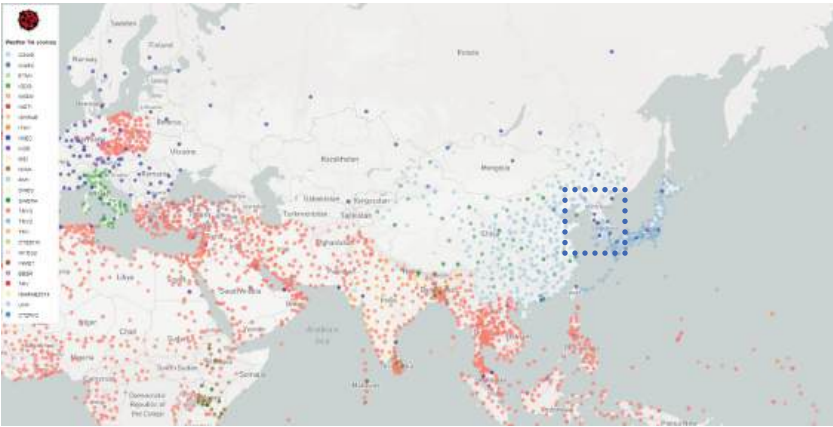
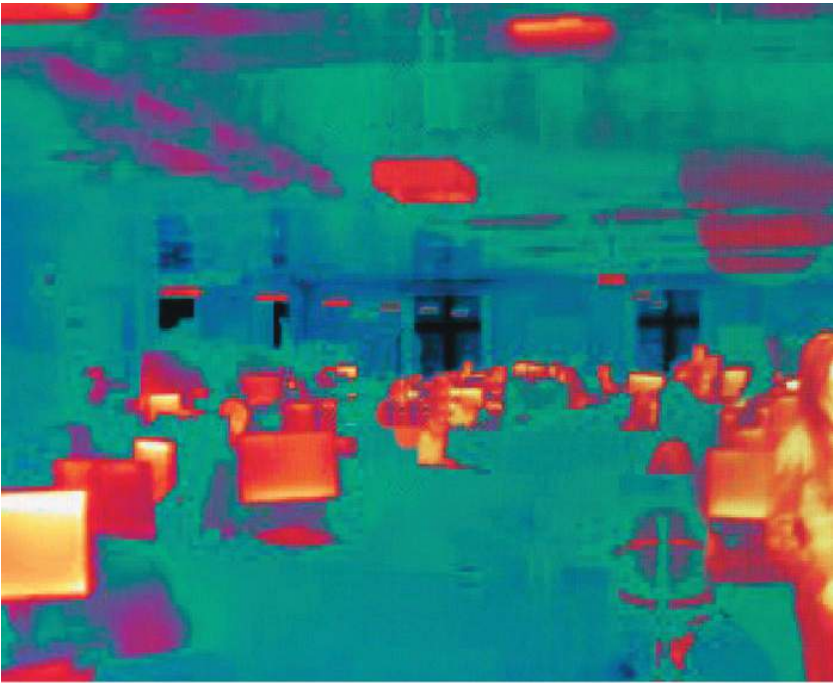
#### 모듈 디자인 구성

차양 모듈을 구성하는 가변 변수는 두께 (0.01-0.04m), 본체 깊이 (0.1~1.0m), 모서리 깊이 (0.1~0.6m), 그리고 전체 모듈의 밀도를 규정하는 간격(0.3m/0.6m/0.9m)으로 구성되어 있다. 또한, 이 모듈들은 수직적으로, 수평적으로 상하 반전되어 엇갈린 형상이 연속되어 부착되도록 구성되었다.

Left: Module shuffling Algorithm in Horizontal Direction  
Bottom: Module shuffling Algorithm in Vertical Direction

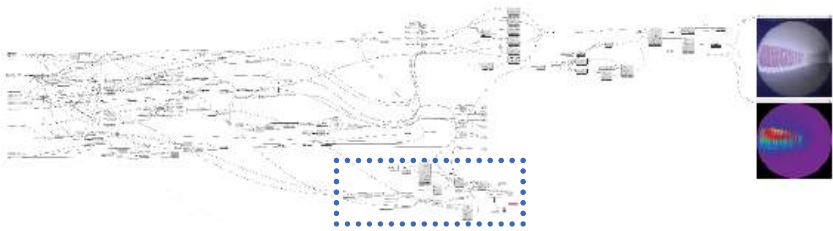
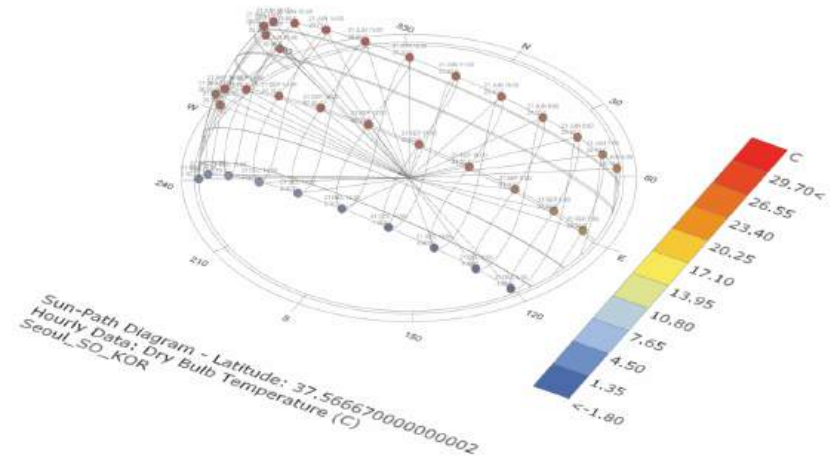


Left: Office Infrared View,Monty Rakusen at Alamy  
Right: Weather Data allocation on Korean Reigon on EPW map via OpenStreetMap, <https://www.ladybug.tools/epwmap>



Solar Radiation Analysis:

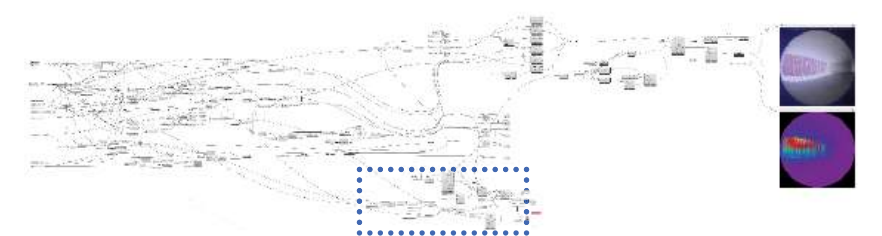
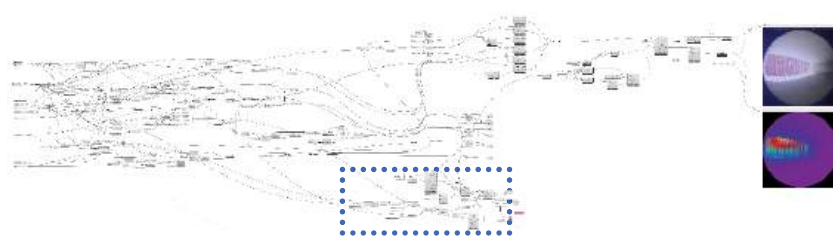
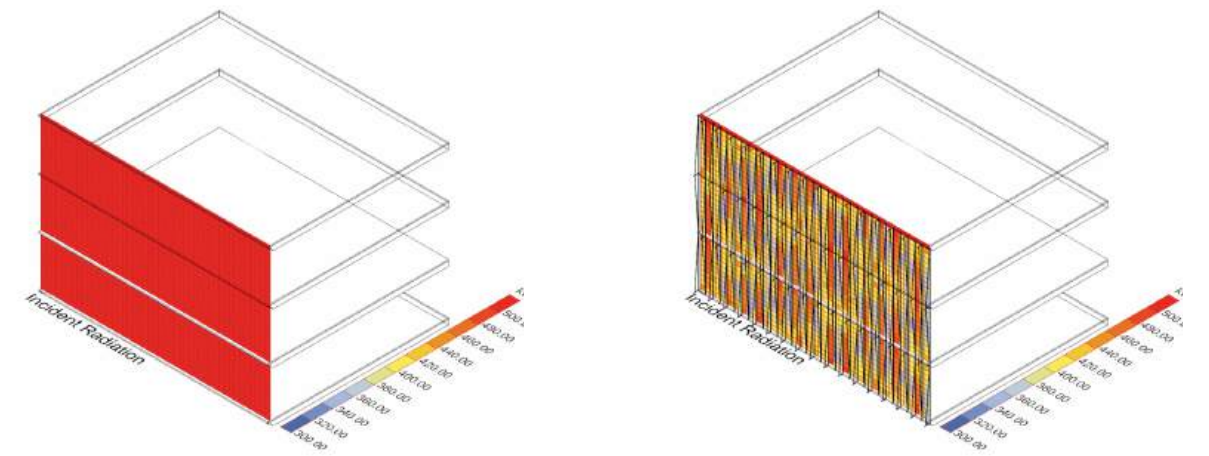
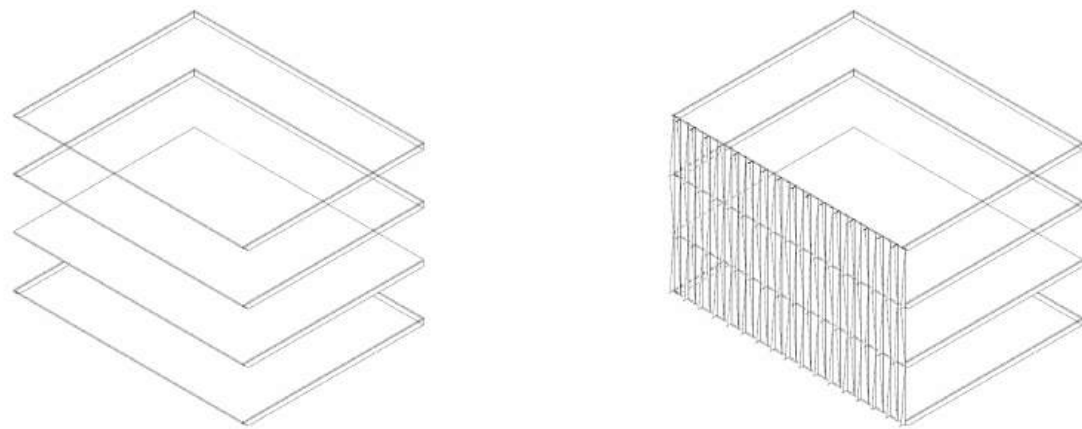
The project is located in the Northern Hemisphere, Korea, and most of the programs consist of offices which has a large number of indoor heating appliances and a relatively high number of occupants, so it has a lot of sensible and latent heat dissipation factors. Therefore, cooling efficiency in summer is considered to have a greater impact on energy performance than heating in winter.



태양 복사열 분석:

프로젝트는 북반구, 대한민국에 위치하며, 대부분의 프로그램이 오피스로 구성되어 있다. 해당 프로그램은 다수의 실내 전열 기구 및 비교적 많은 수의 사용자를 보유하여 현열 및 잠열 발산 요소가 많은 프로그램으로, 동절기 난방보다 하절기 냉방의 효율이 더 큰 영향을 끼치는 프로그램이다.





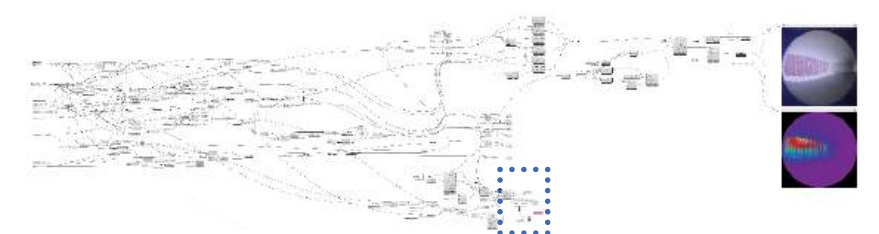
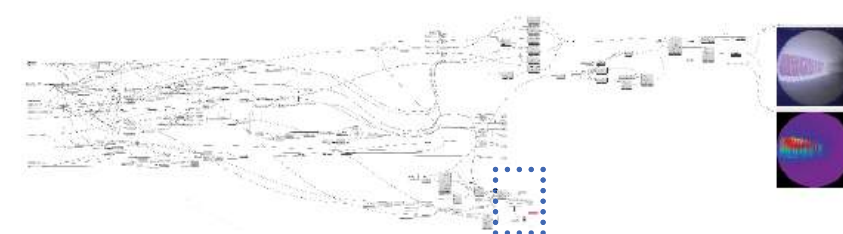
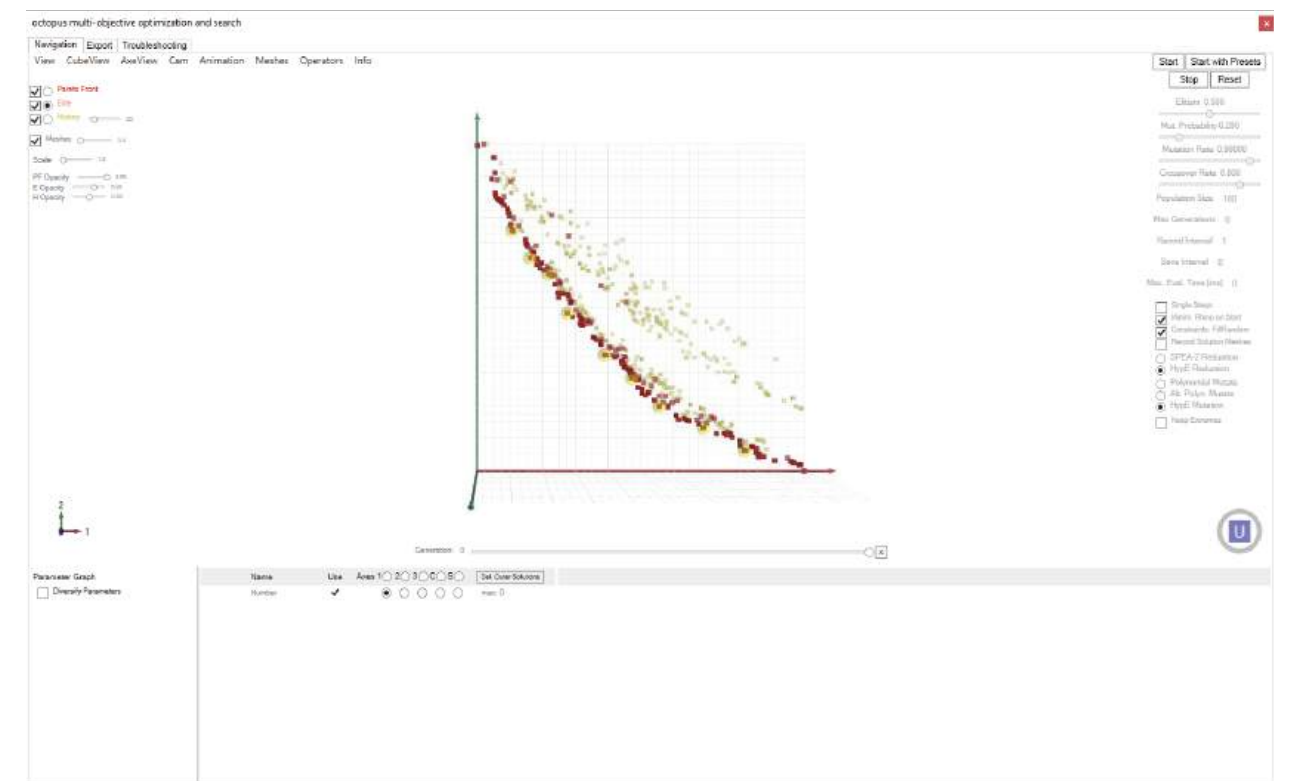
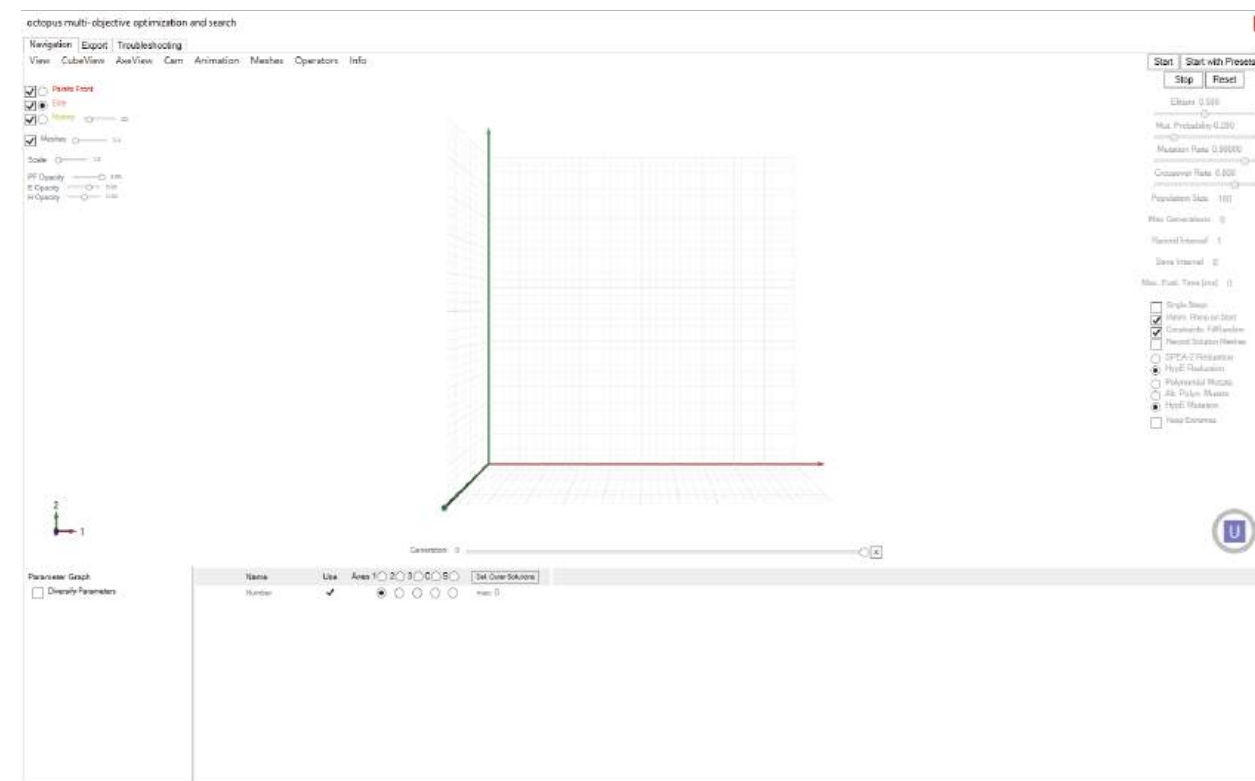
### Finding optimal fin dimensions and density:

Through solar radiation analysis, the effect of the module on thermal performance is identified, and at the same time, the quantity of material for each option is identified through the volume analysis. For multi-result analysis, octopus is utilized.

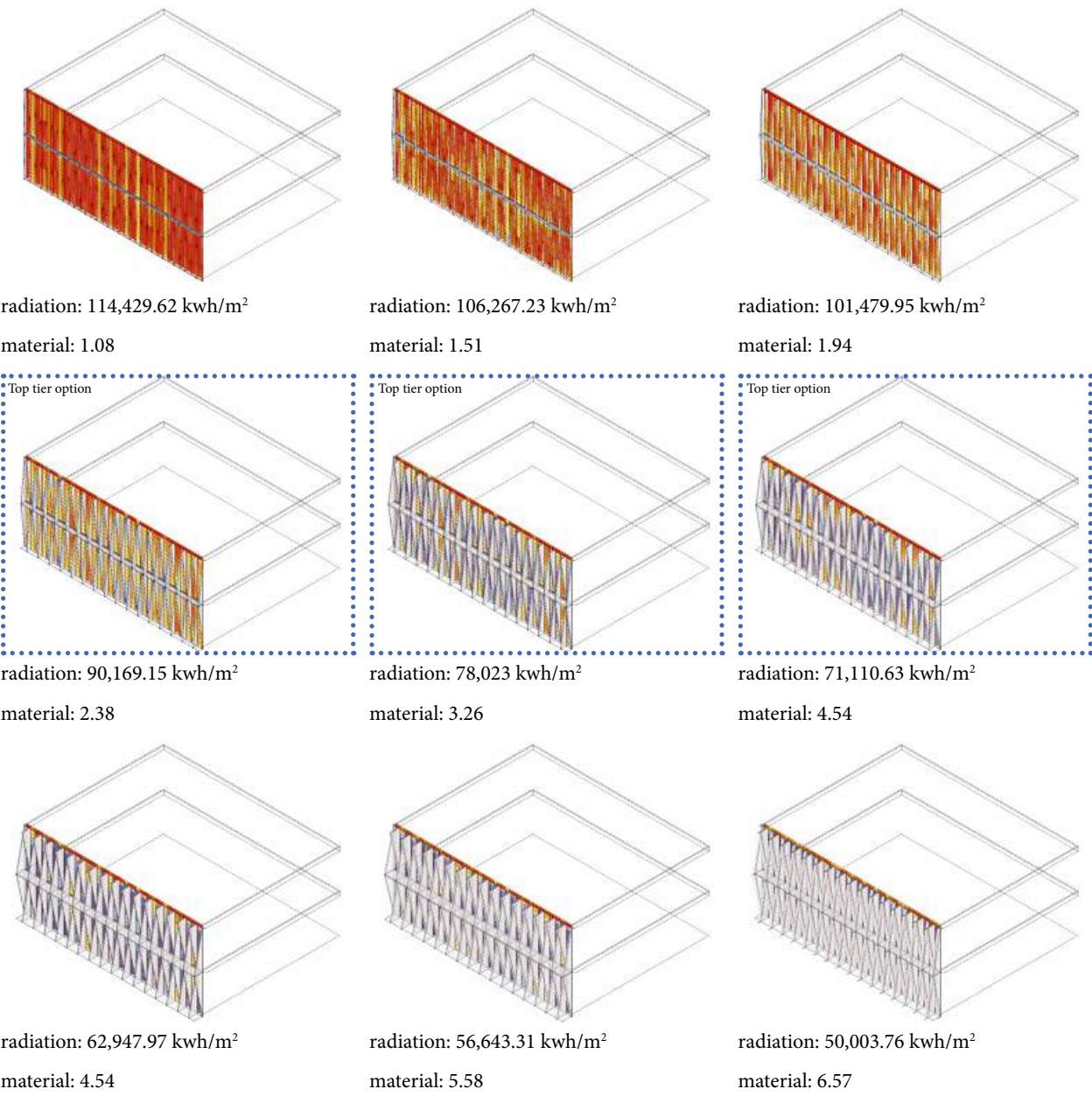
### 최적의 모듈 구성:

태양 복사열 분석을 통해, 해당 모듈의 열성능 개선 효과를 파악하며, 동시에, 모듈 볼륨 분석을 통해, 해당 대안의 물량을 파악하였다. 또한 다중 결과 분석을 위해, 옥토퍼스에 가변 변수를 접속하여 분석하였다.

Left: 3D graph of Octopus  
Right: Thermal Optimization Result via radiation simulation deployed in octopus interface

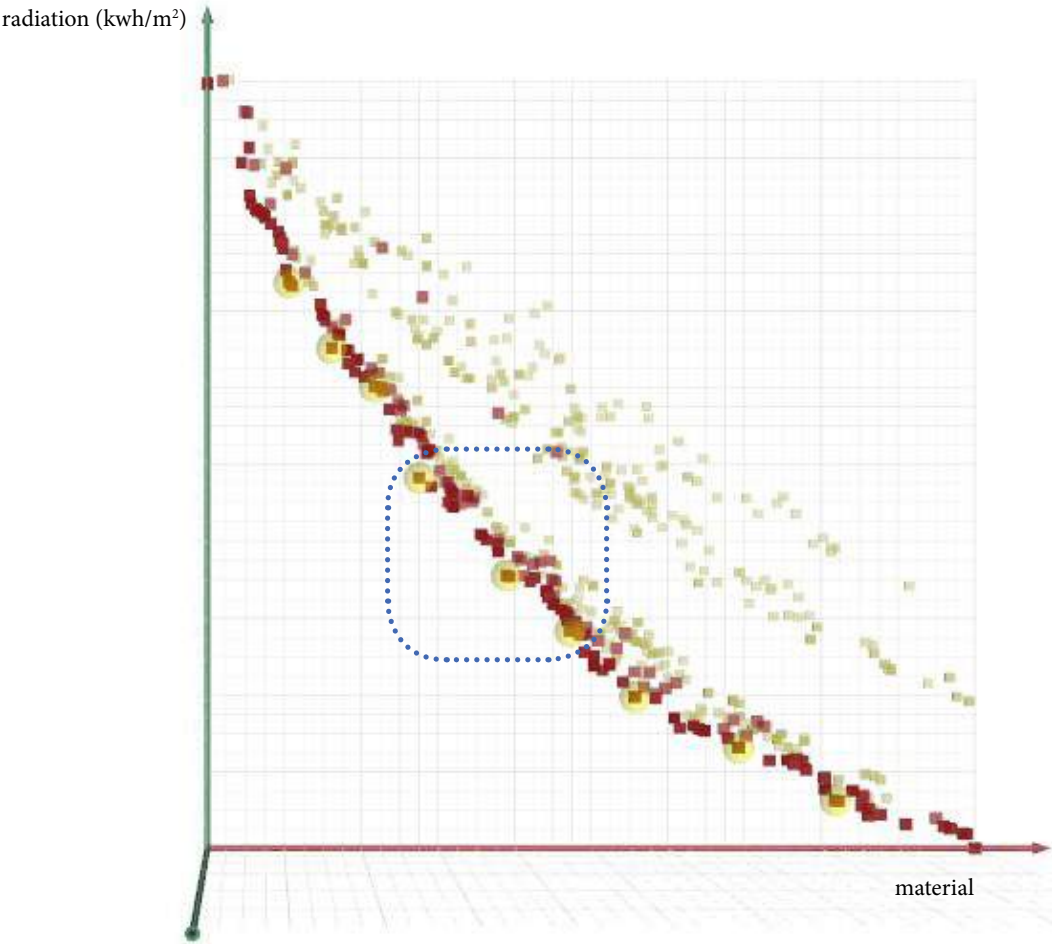


Left: Top tier group through radiation simulation  
Right: Options through radiation simulation displayed in octopus graph view



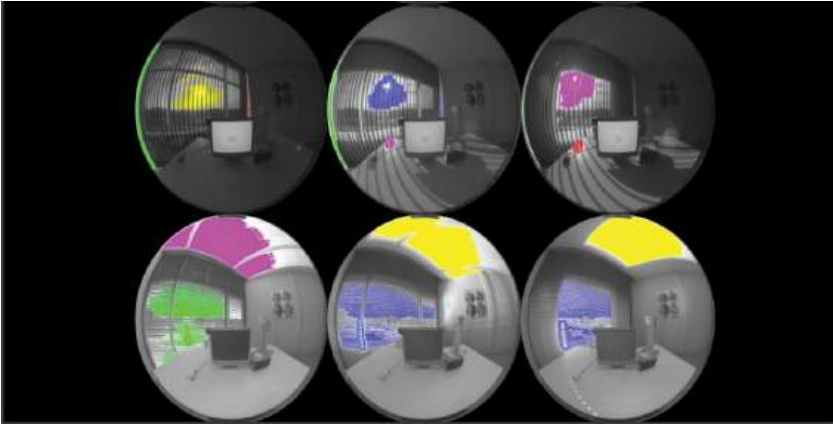
Selecting optimal option:

Various optimization options were presented, but equally considering the improvement of the thermal performance and the minimization of the material quantity three options were selected.



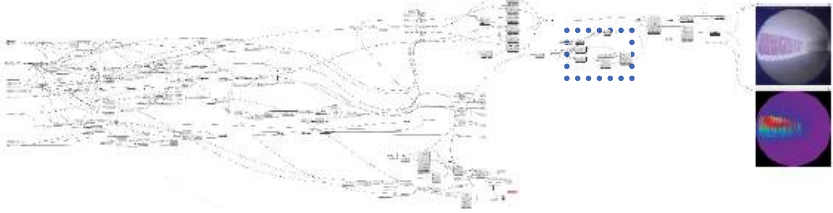
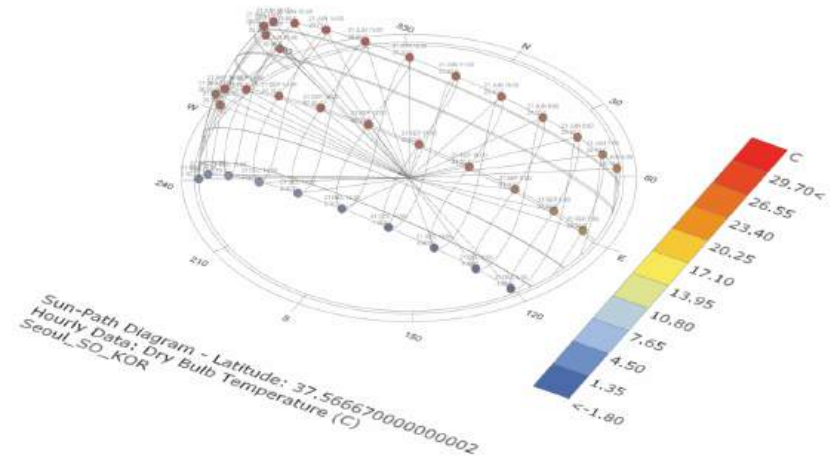
최적 대안 선택:  
다양한 최적화 대안이 제시되었으나, 열성능 개선 효과와 건축 물량의 최소화를 동일한 비중으로 고려한 대안은 총 3가지이다.

Top: Glare effect in unshaded room condition, Shade it  
Bottom: Daylight Glare analysis and metrics, Jan Weineld, EPFL, Lausanne, Switzerland



Finding optimal option for glare:

Glare is a factor in the indoor light environment and is caused by a large difference in illuminance within a single viewing angle. In case of office buildings, glare has a great influence on the creation of a comfortable indoor environment and work efficiency. Therefore, an adjustment of luminance can qualitatively improve the experience of indoor space.

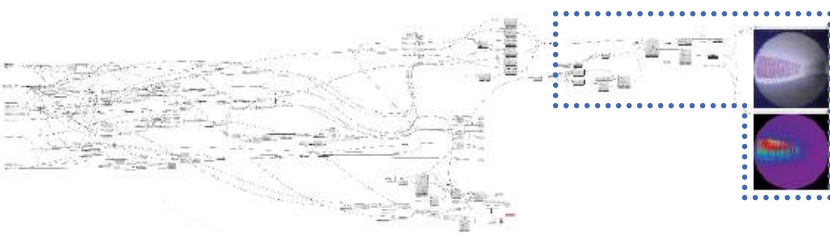
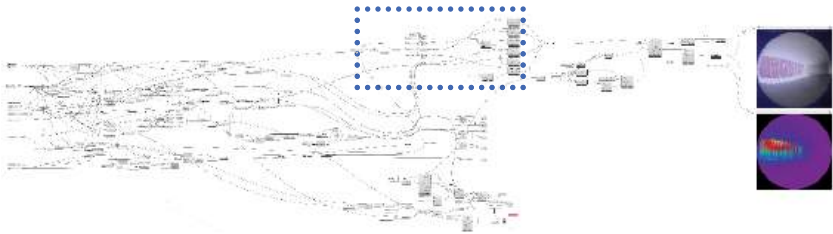
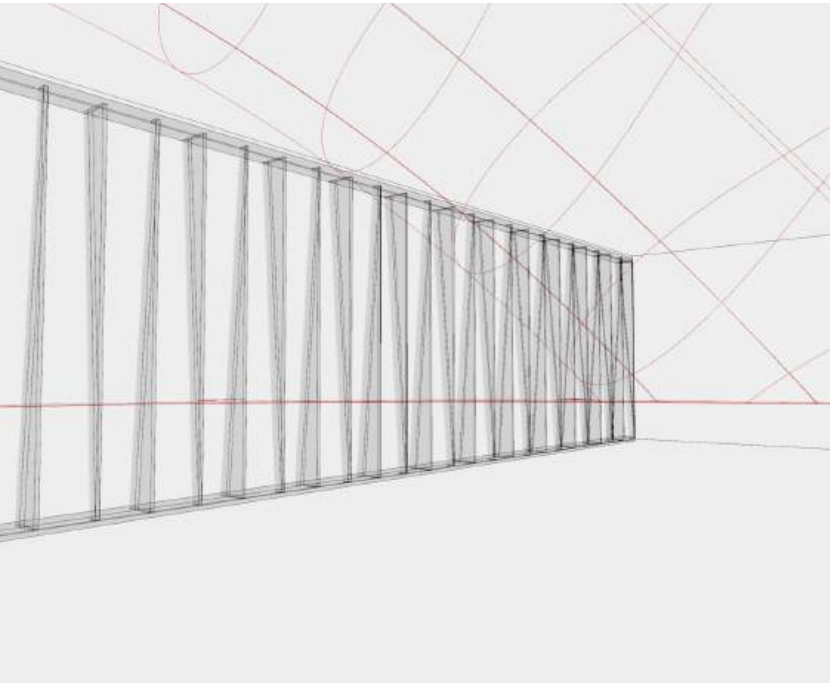
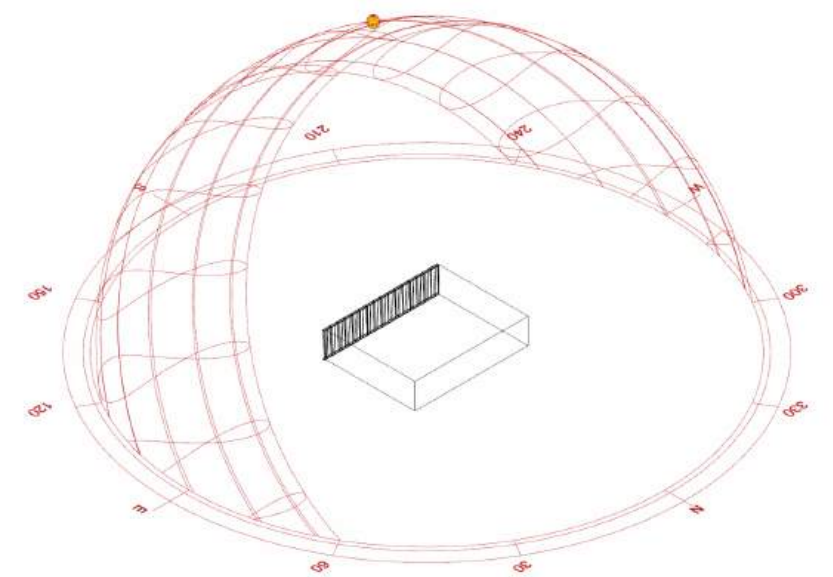


적정 휘도 환경 구성:

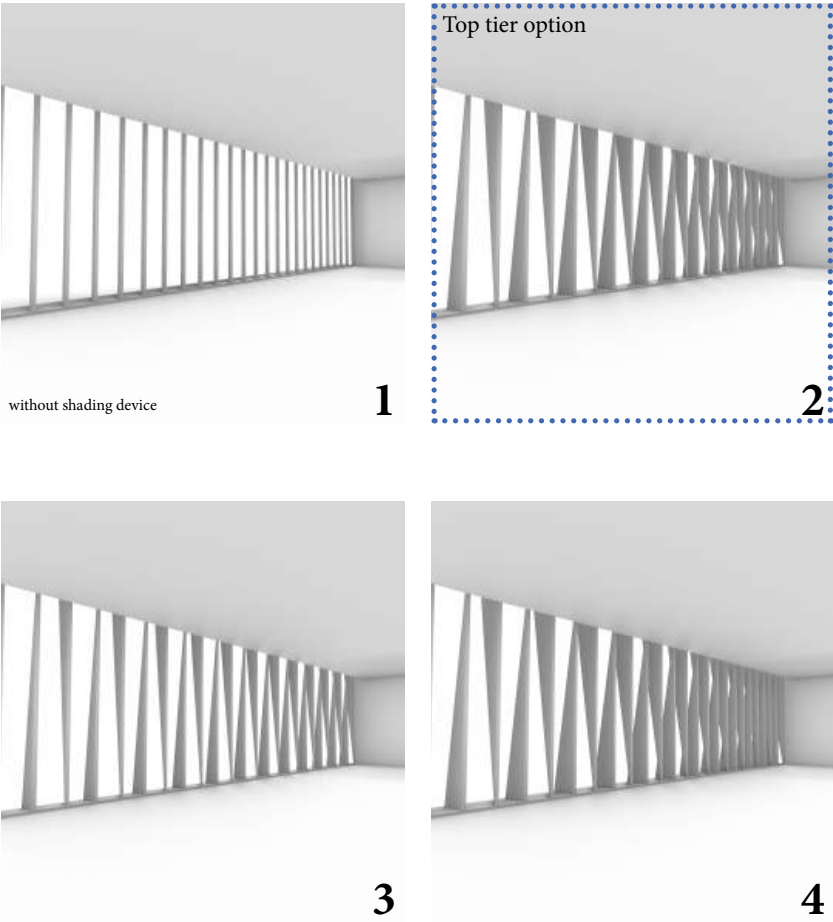
휘도는 실내 빛 환경 요소로, 하나의 시야각 안에서의 큰 조도 차이에 의해 발생한다. 오피스 건물의 특성상, 업무 공간에서의 휘도는 실내 쾌적 환경 조성 및 업무 효율에 큰 영향을 끼치는 공간 요소로, 휘도의 조정은 실내 공간의 경험을 질적으로 향상시킬 수 있다.



Left: Solar orientation with project location  
Right: Test view of office interior

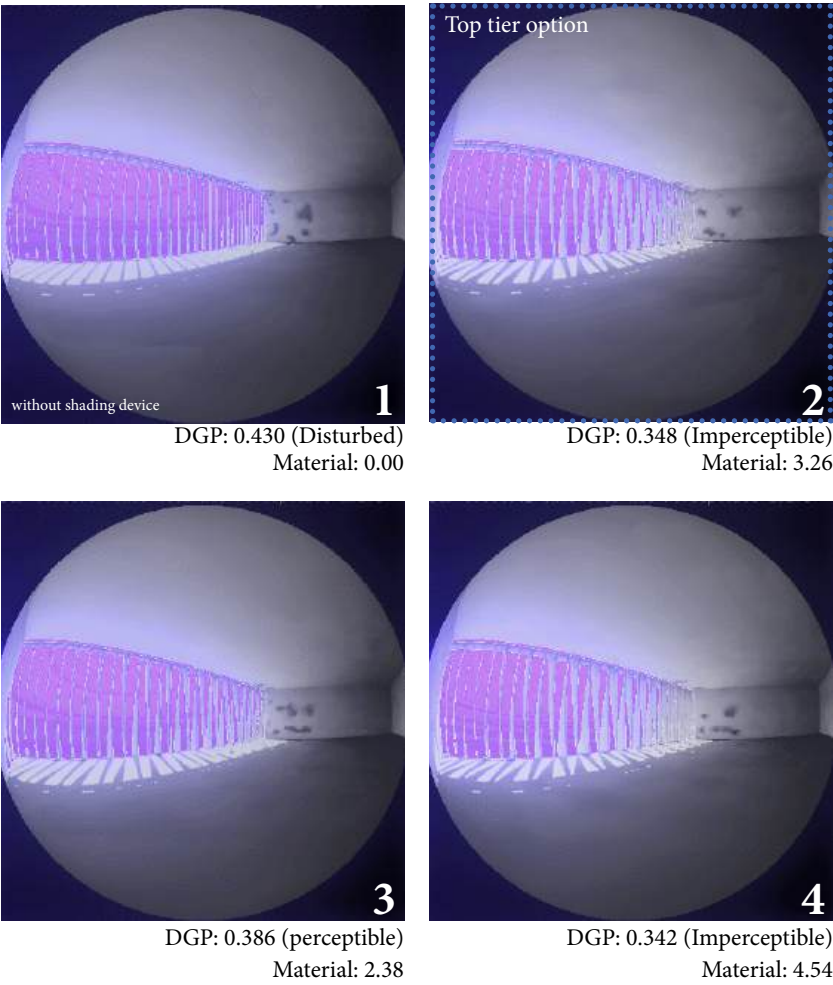


Left: Top tier group from former seletion process (Radiation & Material efficiency)  
Right: Glare simulation of top tier options for selection process



Selecting optimal option:

Two of the three options showed imperceptible glare level (0.35 DGP or less), the other options were analyzed as either perceptible or uncomfortable. Among the two options, the option that achieved DGP 0.35 with less amount of material is selected.

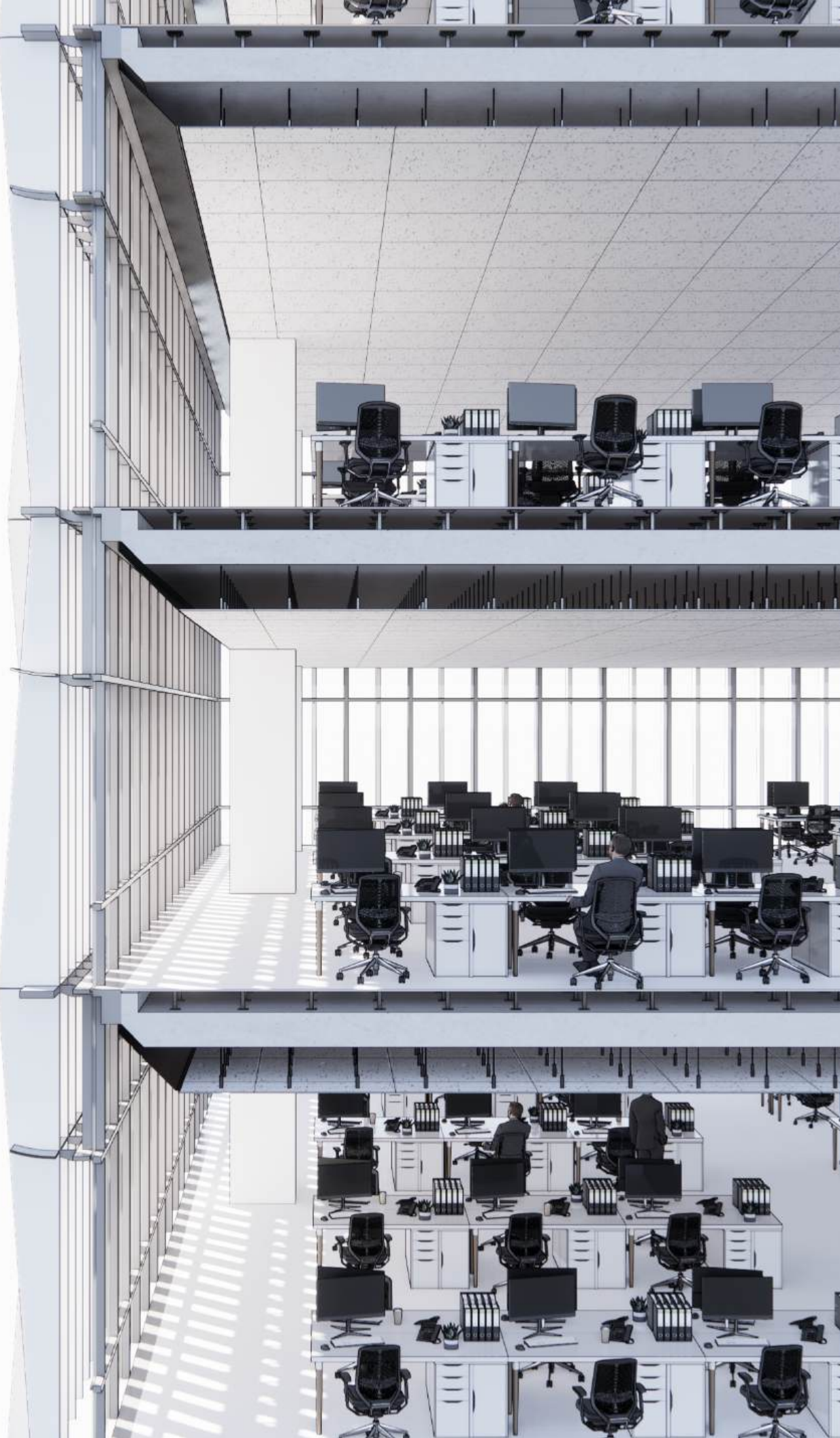
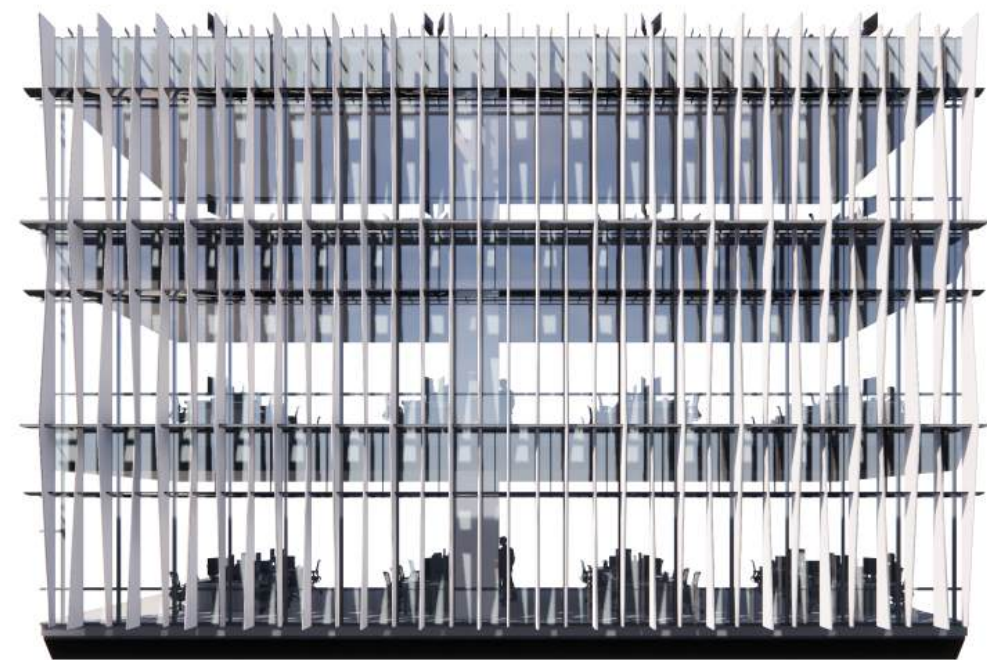


최적 대안 선택:

최종 3개 대안 중 2개 대안이 인지할 수 없는 휘도값(0.35 DGP 이하)을 보였으며, 타 대안들은 각각 인지 가능한 휘도 혹은 불편한 휘도로 분석되었다, 2개 대안 중 DGP 0.35를 달성한 대안과 상대적으로 적은 물량 값을 가진 대안을 선택하였다.



Left: Top tier option through Thermal and Glare simulation  
Right: Section perspective view of office floors with final louver application



METHODOLOGY.03

Interior Screen Optimization

방법론.03

실내 입면 장치를 통한 환경 최적화



Interior Screen Optimization

The third methodology describes the methodology and process for optimizing the visual and light environments by using the interior elevation elements of the building. In the case of the indoor elevation, among the office support spaces facing the atrium, there are meeting rooms where privacy is important, and reception and rest spaces that emphasize communication-based on visual openness. Furthermore, especially in the case of the north office, the optimization focuses on controlling daylight in office support spaces facing the atrium.

In the case of visual environment analysis, privacy is considered to be protected when the view range is less than 20% in the Cone of Vision 60 dree method, and when is higher than 60% it is considered to have visual openness. The screen module optimization process in the office support area was applied to achieve privacy for conference rooms and visual openness for reception and rest spaces. To select options with relatively high visual environment performance per quantity of material, the minimum and the maximum number of screening elements per module and the module spacing, which are the parameters used in the process, are cross-compared to the quantity of material.

Illuminance analysis was conducted on the options selected through visual environment analysis. Based on the appropriate illuminance standards of EN 12464 Light and lighting, an option with an appropriate illuminance for office and resting spaces of 300-700 lux.

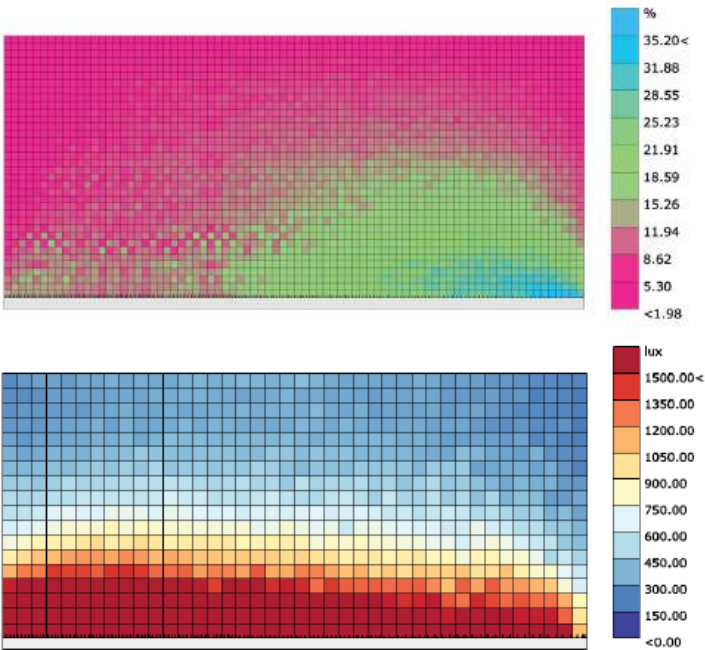


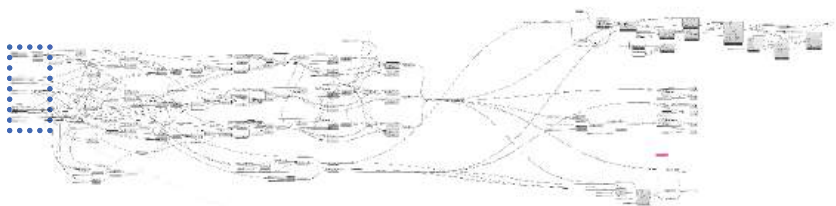
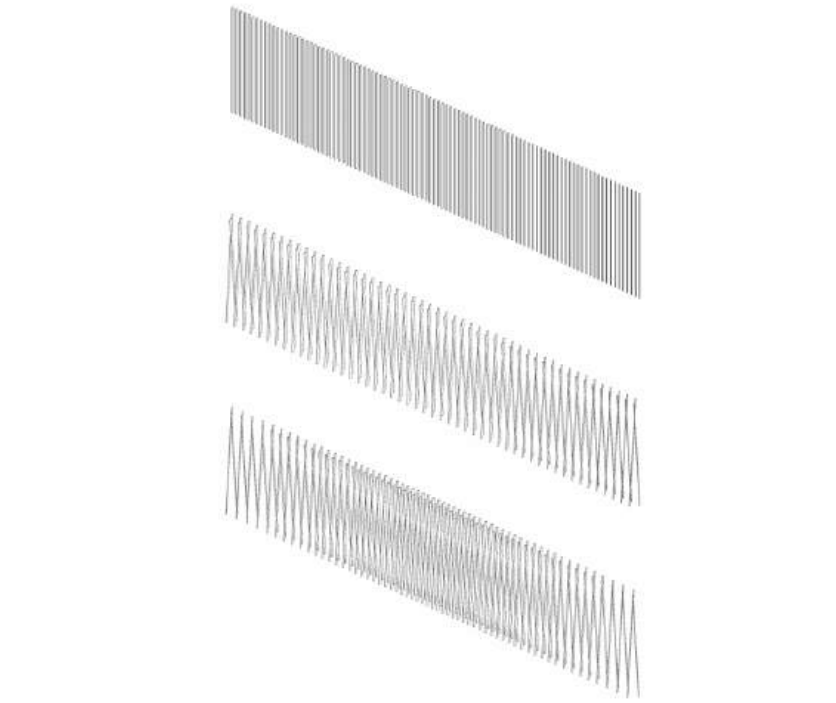
실내 입면 장치을 통한 환경 최적화

세 번째는 건축물의 실내 입면 요소를 활용하여 시각 환경 및 빛 환경의 최적화 방법론과 그 프로세스에 대하여 설명한다. 입면의 경우 실내 중정에 면하는 업무지원공간 중 프라이버시가 중시되는 미팅룸과 시각적 개방성을 바탕으로 소통을 중요시하는 접견 및 휴게공간이 동시에 존재한다. 그리고 특히 북쪽 오피스의 경우, 실내 중정을 면한 업무지원시설에 자연광 조절을 목적으로 한다.

Cone of Vision 60 degree 방식을 이용한 시각 환경 분석에서는 20% 이하로 개방될 경우, 프라이버시가 보호되고, 시각적 개방성은 60% 이상이 개방될 경우 확보된다. 이 값을 기반으로 오피스 공용 공간 회의실의 프라이버시와 접견 및 휴게 공간의 업무지원 영역의 스크린 모듈 최적화 알고리즘이 작성되었다. 해당 프로세스에 사용된 값은 모듈 수에 따른 총 입면 장치 물량과 교차 비교하여, 물량 대비 상대적으로 높은 시각 환경 성능을 보이는 대안들을 선별하는 데 사용되었다.

시각 환경 분석을 통해 선택된 대안들은 EN 12464 Light and lighting의 적정 조도 기준을 기반으로, 사무공간 및 휴게공간 조도 기준을 설정 및 분석하여, 대안 별 해당 면적에서 가장 넓은 범위에 300-700 lux의 조도를 보유한 대안을 선택하는 방식으로 최적화가 진행되었다.

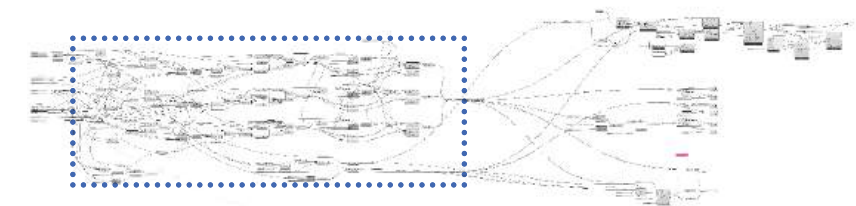
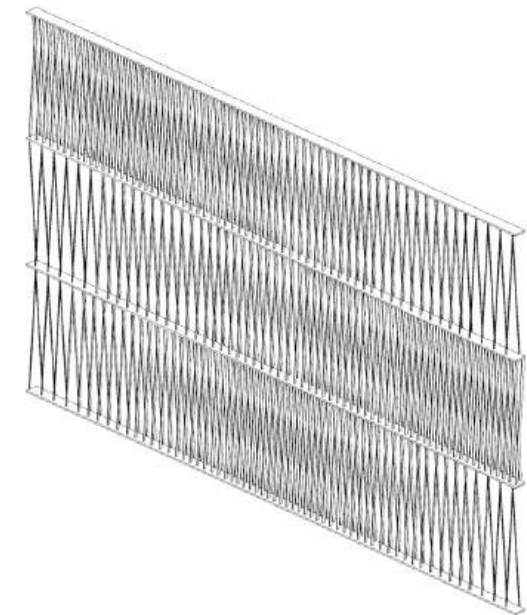




### Defining geometry:

Depending on the program, some office common areas require the view from the atrium or workspace to be prevented, and at the same time, for a comfortable light environment, proper indoor illumination through natural light is desired. These requirements depend on the program and also differ by floor.

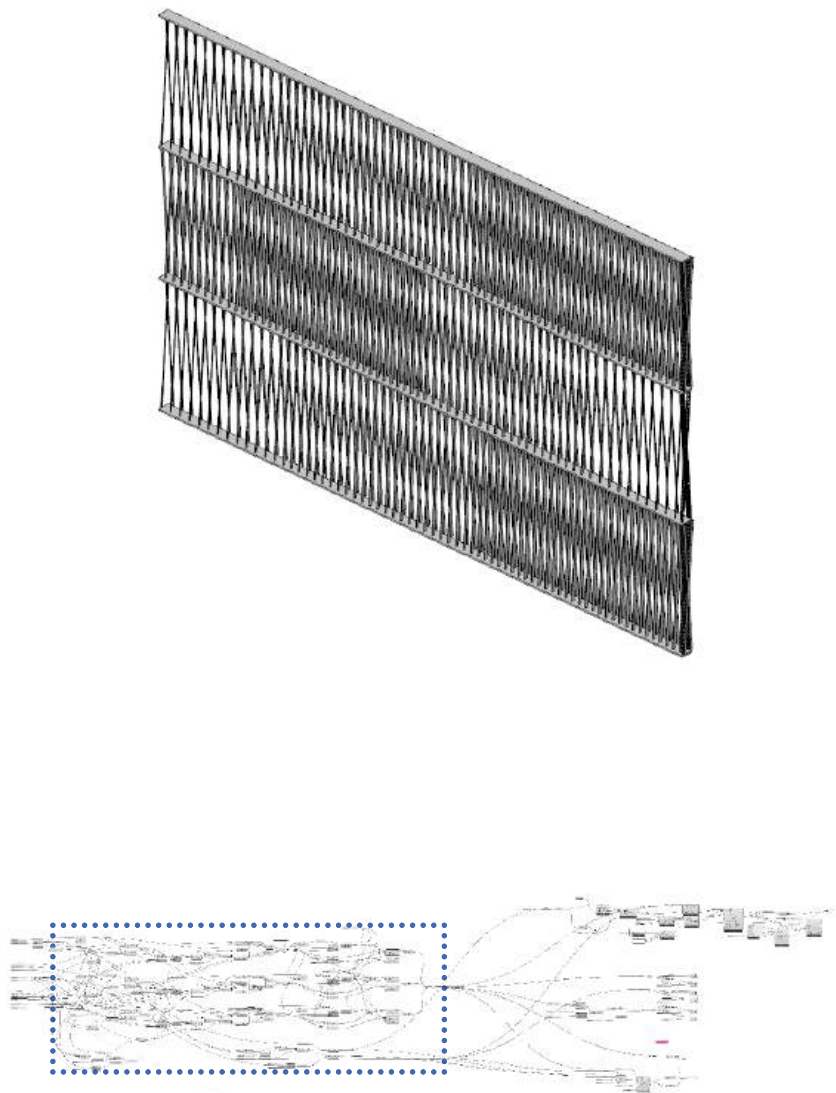
The interior elevation varies by adjusting the density of interior fins arranged diagonally in a row. The density is lowered in the program where the light environment is important and increased in the program where privacy is important.



### 모듈 디자인 구성:

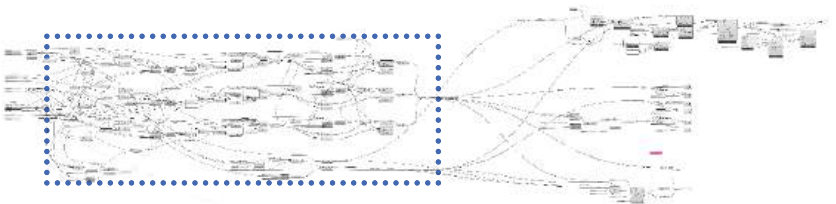
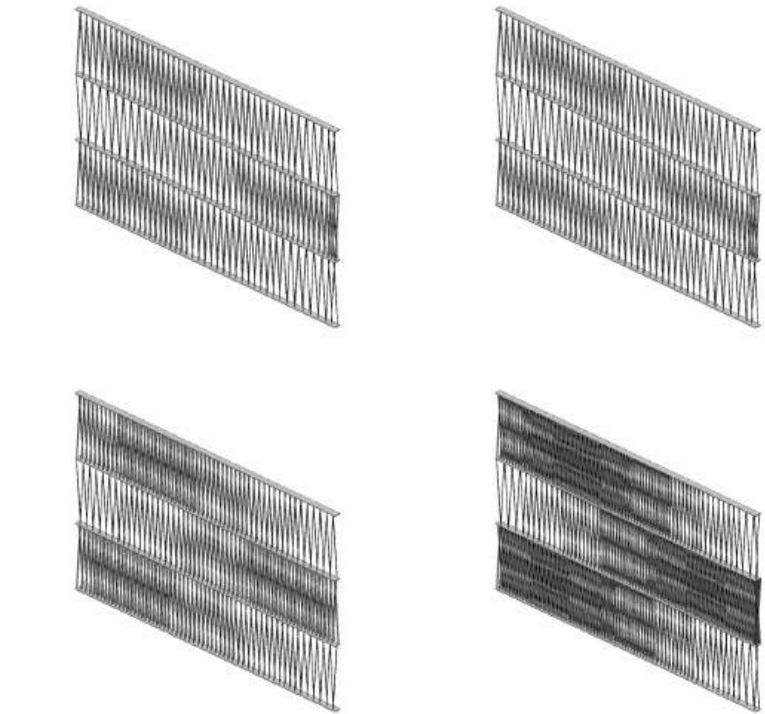
프로그램에 따라, 일부 사무공간의 공용부는 아트리움으로부터, 혹은 업무공간으로부터 시야 차단을 요구하며, 그와 동시에, 쾌적한 빛 환경을 위해, 자연광을 통한 적절 실내 조도를 요구한다. 위의 요구 사항은 내부 기능에 따라 다르며, 또한 각층마다 다르다.

대각선으로 엇갈리게 배치된 인테리어 핀은 빛 환경이 중요시되는 프로그램 입면에선 밀도를 낮추고, 프라이버시가 중시되는 프로그램 입면에선 그 밀도를 높이는 방식으로 내부 입면의 변화를 가진다.



### Defining geometry:

Fine adjustment of indoor illumination through privacy and natural light is achieved through the adjustment of parameters. Each variable consists of the size of the module (0.3-1.3 meters), the maximum number of fins in a module (5-8), and the minimum number of fins (2-5).

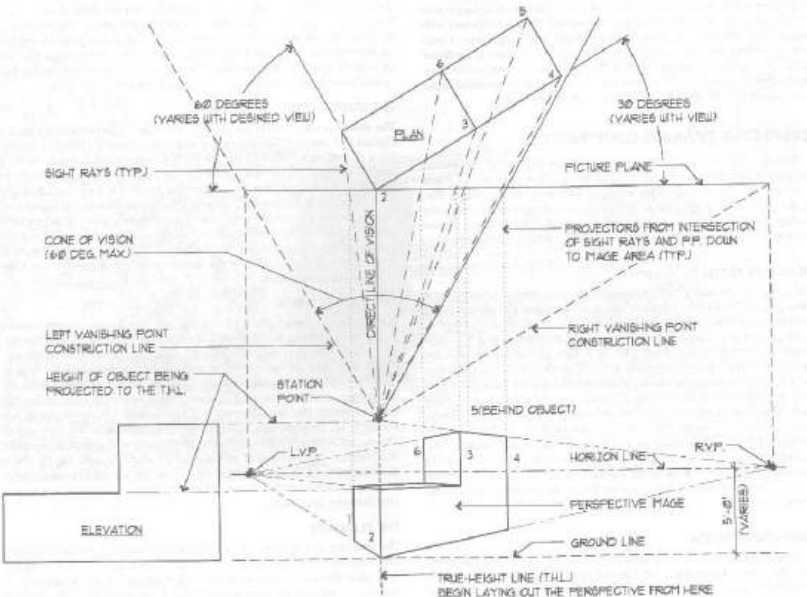
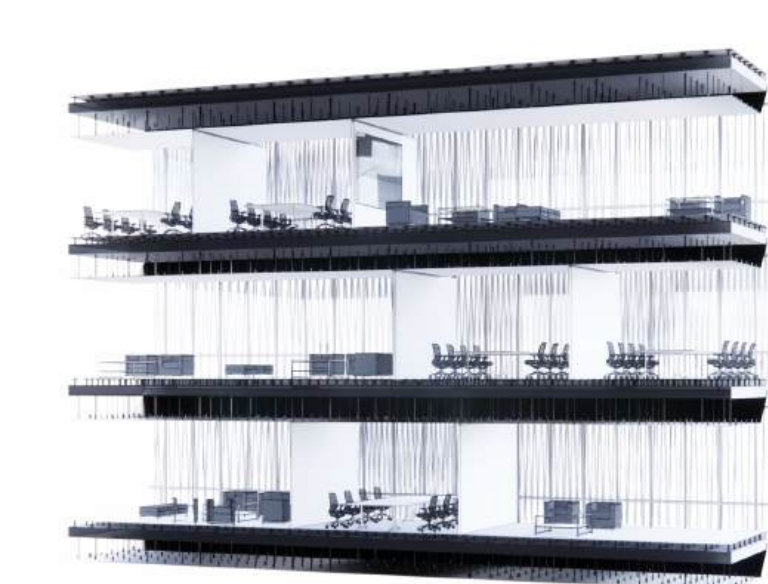


### 모듈 디자인 구성:

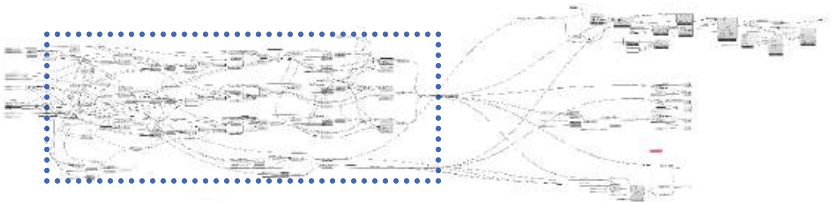
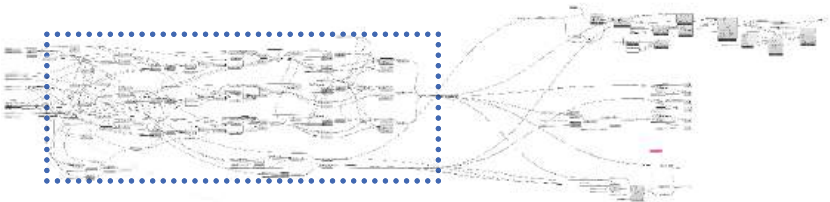
프라이버시와 자연광을 통한 실내 조도의 미세조정은 변수의 조절을 통해 이루어진다. 각 변수는, 모듈의 크기(0.3-1.3m), 한 모듈 안의 최대 핀의 갯수(5-8) 및 최소 핀의 갯수(2-5개)로 구성된다.



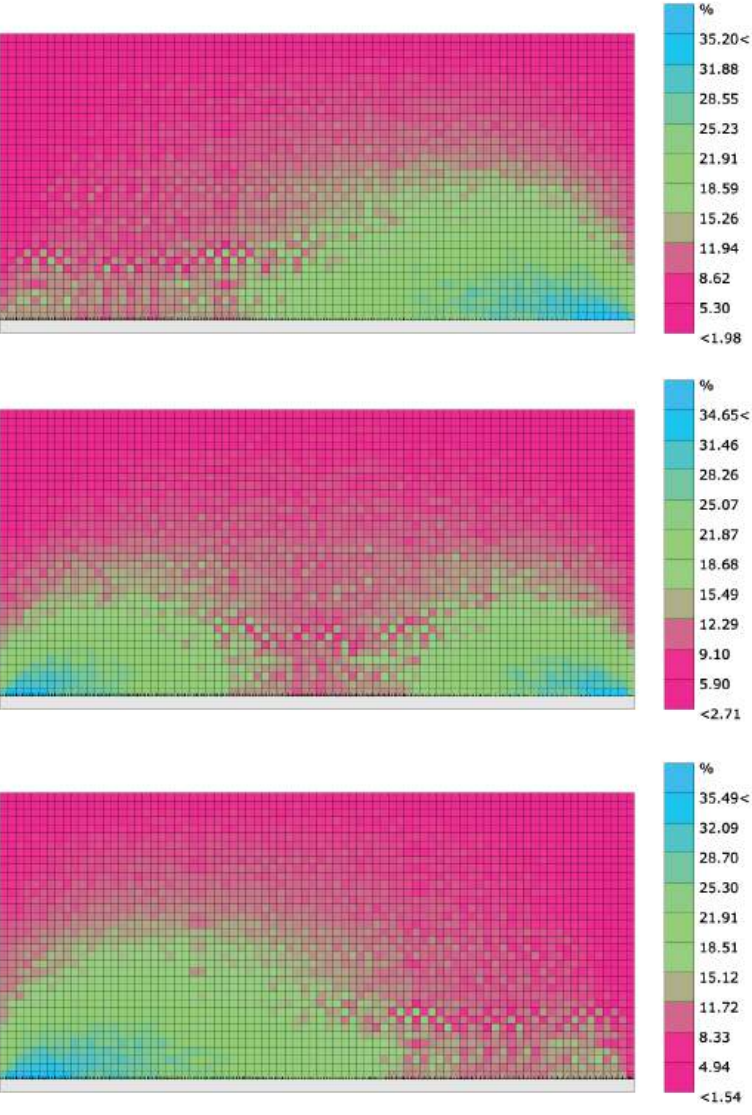
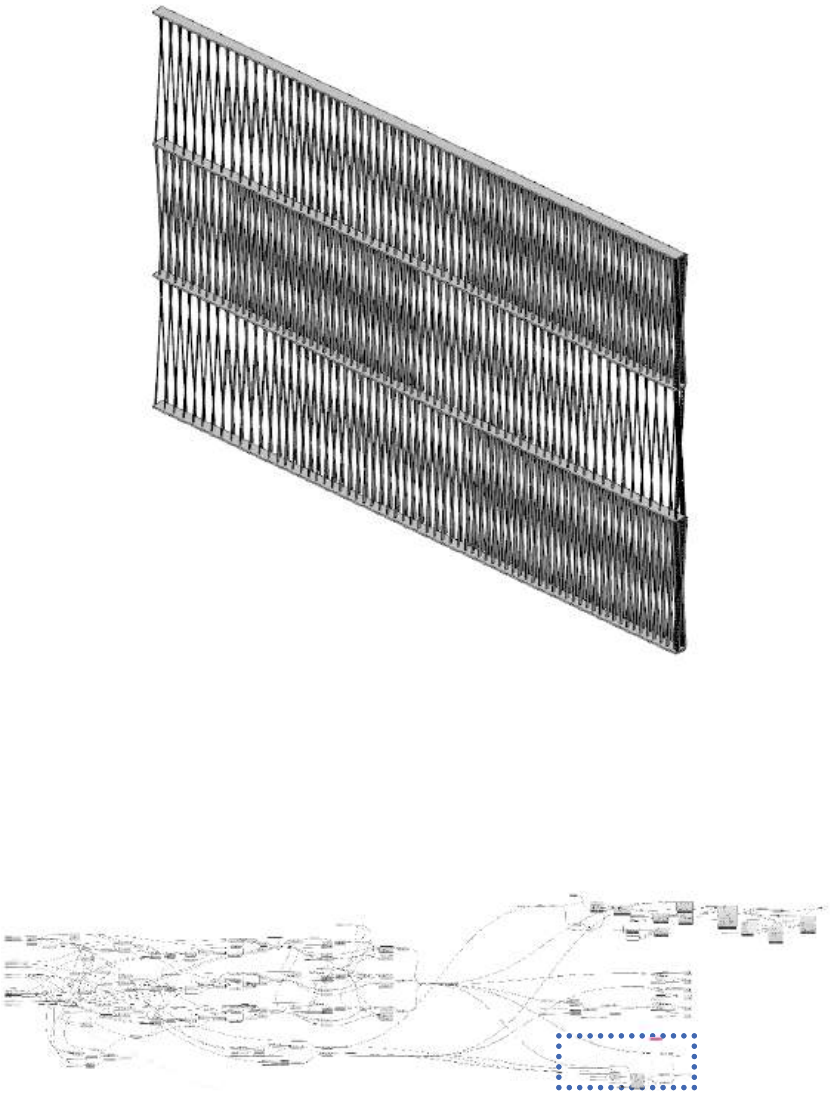
Left: view of screening from the interior side  
Right: Visibility measuring logic, "http://www.lems.brown.edu/vision/people/leymarie/Refs/VisualArt/Figs/2ptp-1.jpg"



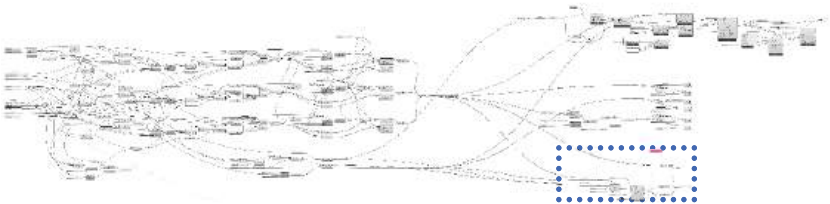
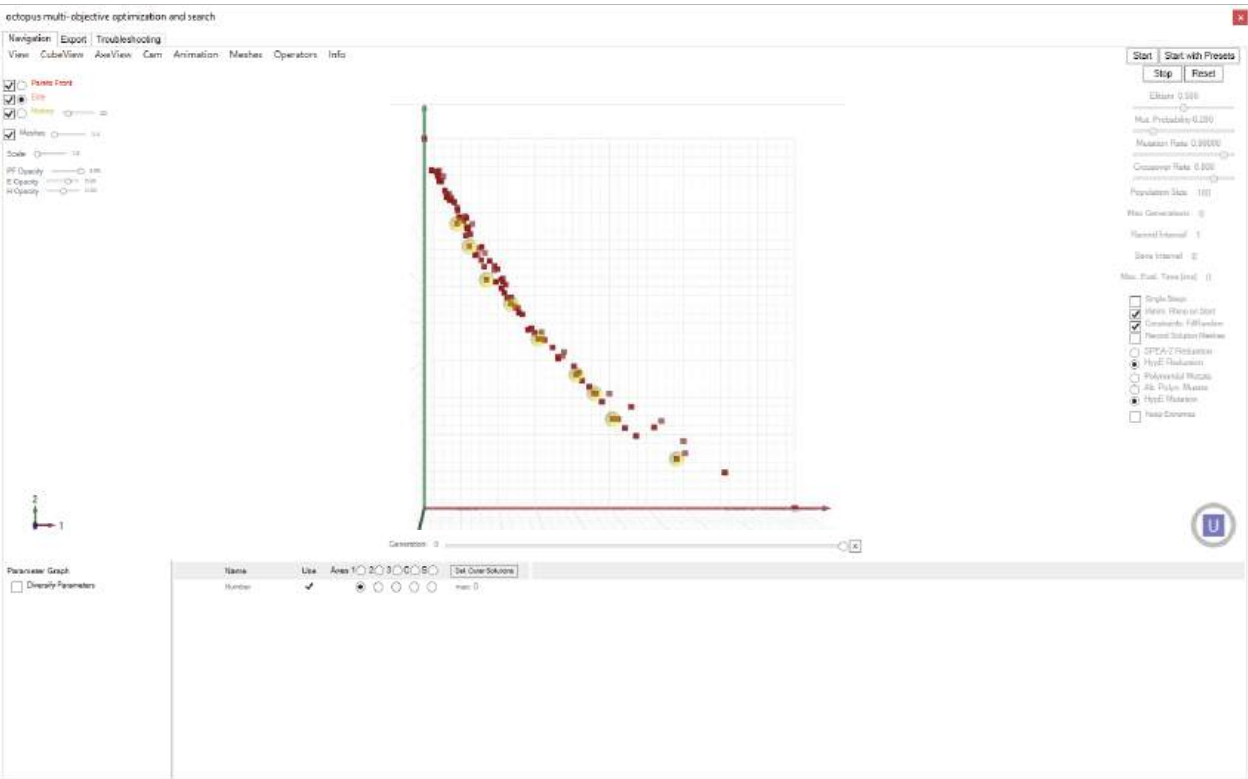
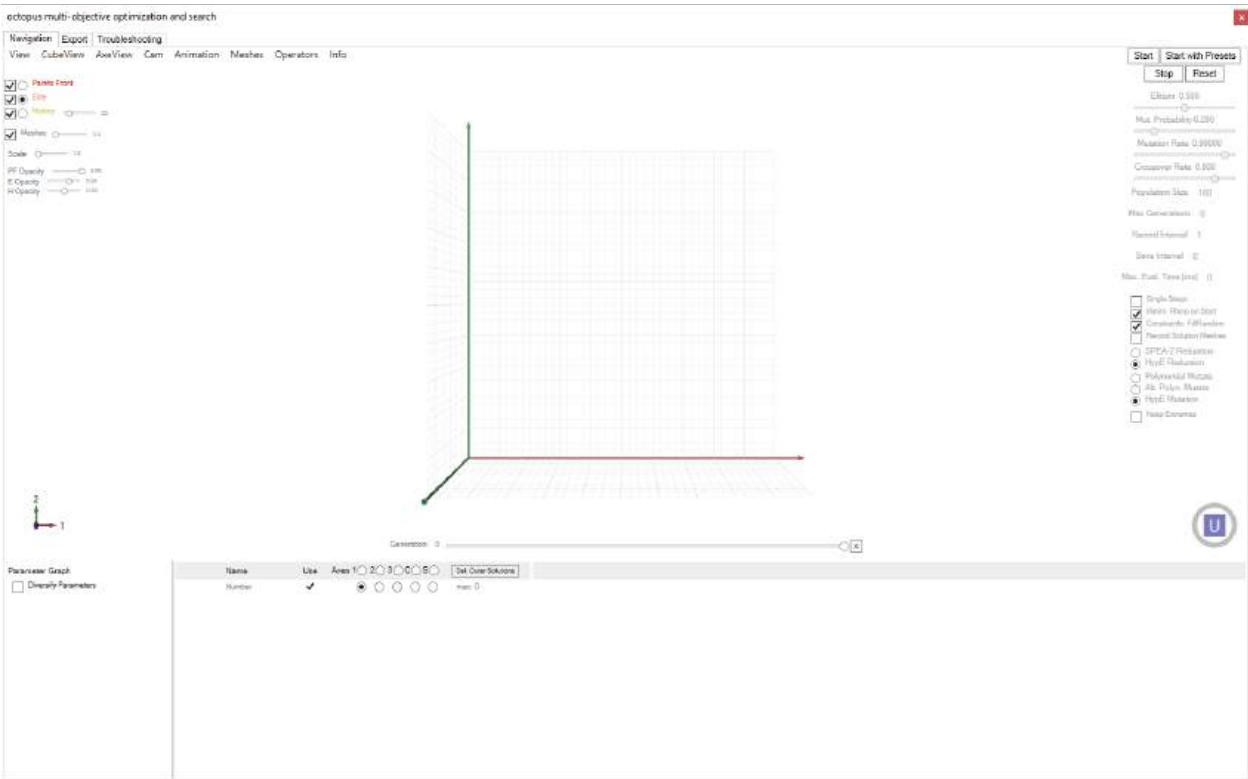
FIGURES 6-2  
Basic two-point perspective components.



Left: Axon view of screening over 3 floors  
Right: View simulations of each floors with different screening location

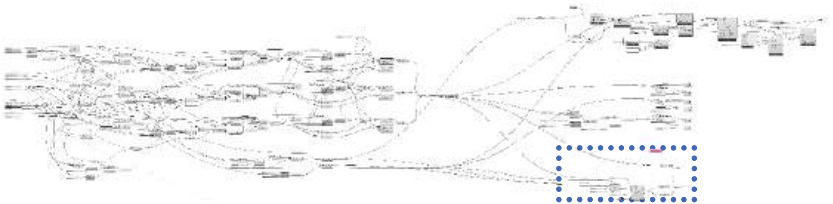


Left: Octopus simulation interface  
Right: Options through visibility and material volume simulation deployed in octopus interface



Finding optimal screening density:

For efficient density, Ladybug’s visual environment analysis was used, through which the degree of visual opening and closing of the space per each option is analyzed. Visual environment analysis is a method of measuring the ratio of unobstructed views from a specific point to the outside. To identify an option that can achieve an appropriate visual environment with a lesser amount of material, a multi-factor optimization process using Octopus is performed.

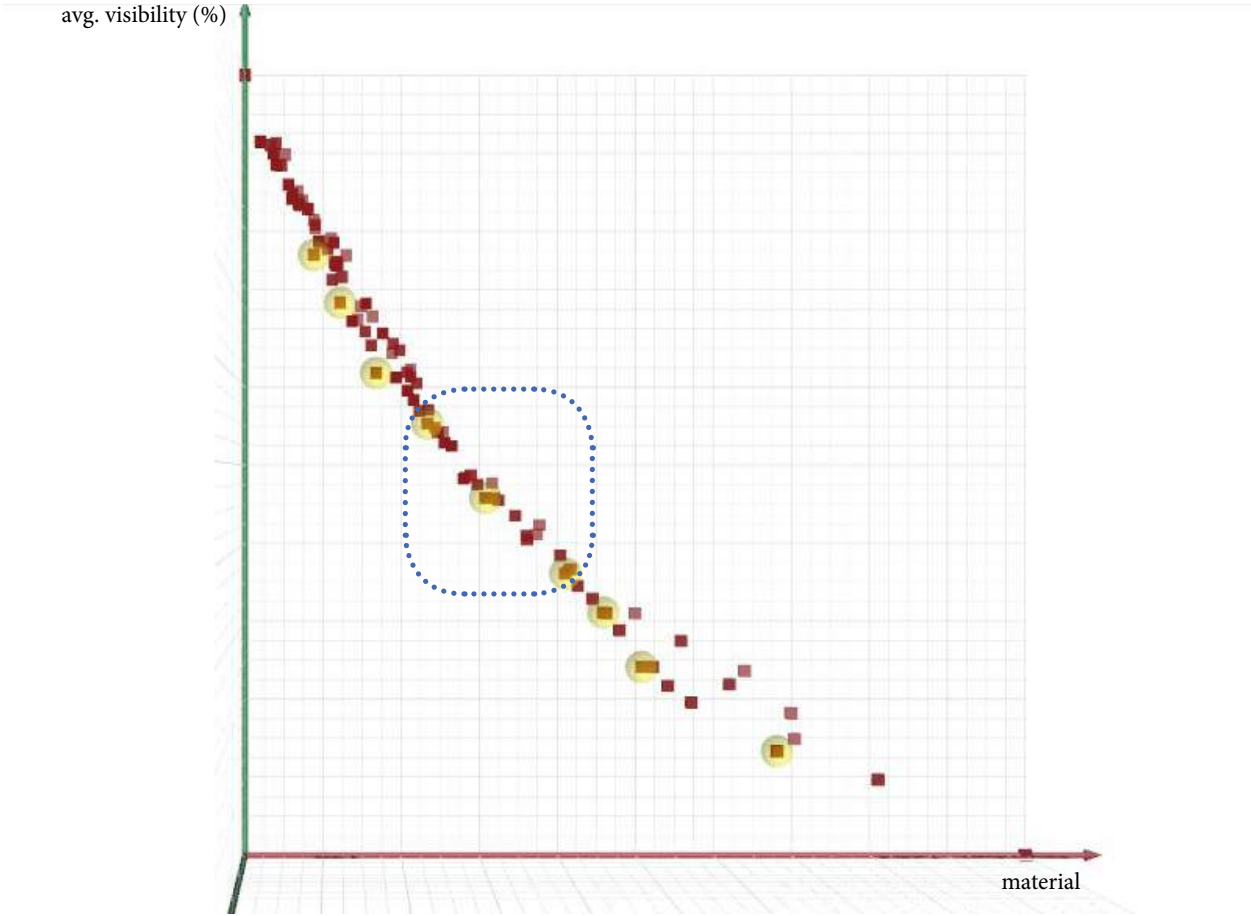
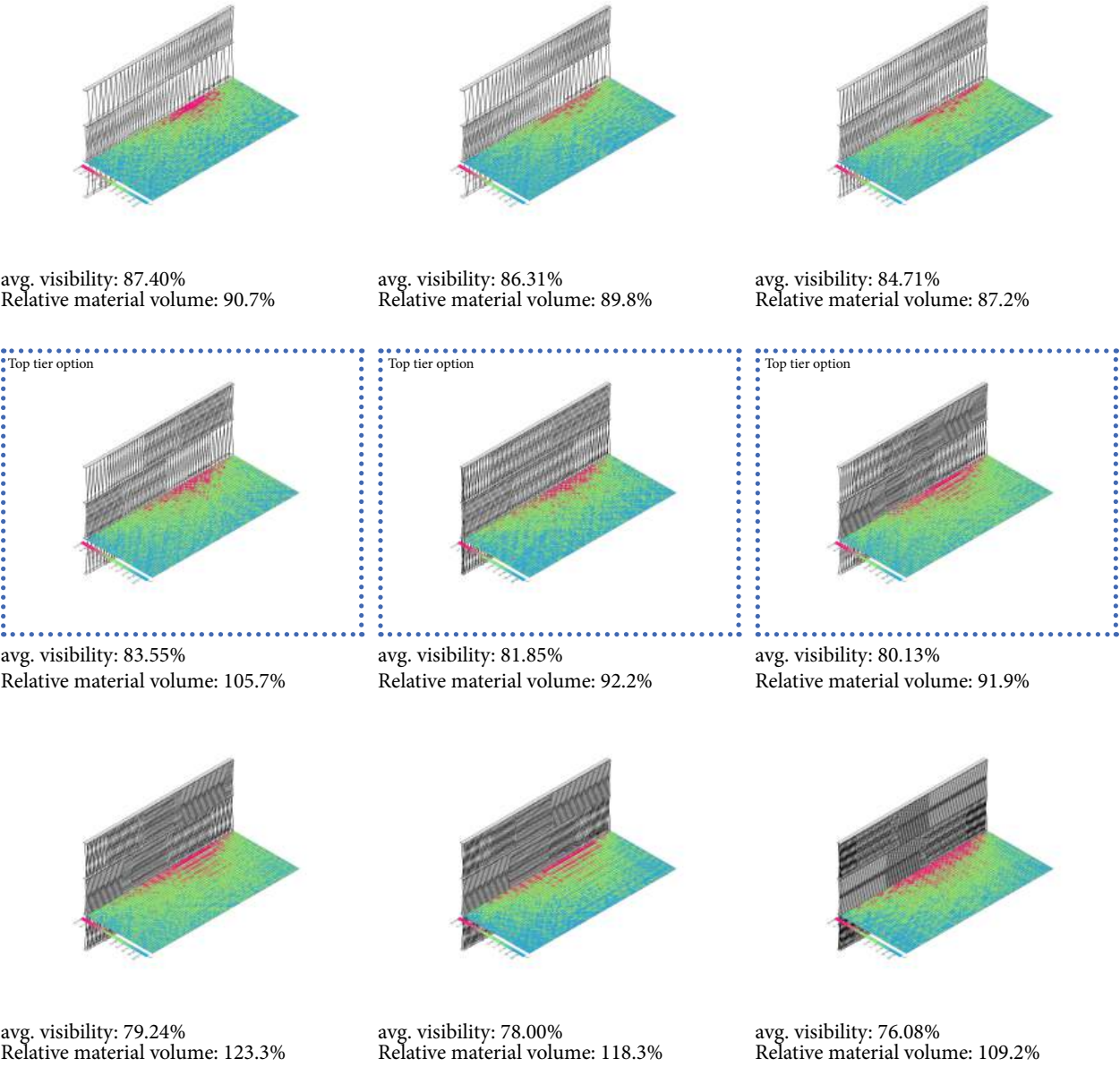


최적의 밀도 구성:

효율적인 밀도 구성을 위해서, 레이디버그(Ladybug)의 시각 환경 분석이 사용되었으며, 이를 통해 각 옵션별 공간의 시각적 열림과 닫힘의 정도를 분석한다. 시각 환경 분석은 특정 포인트에서 외부로부터 방해받지 않는 뷰의 비율을 측정하는 방식이며, 이와 동시에, 더 적은 건축 물량으로 적절한 시각 환경 구성이 가능한 옵션을 파악하기 위해, 옥포퍼스(Octopus)를 이용한 다중 요소 최적화 과정을 거치게 된다.



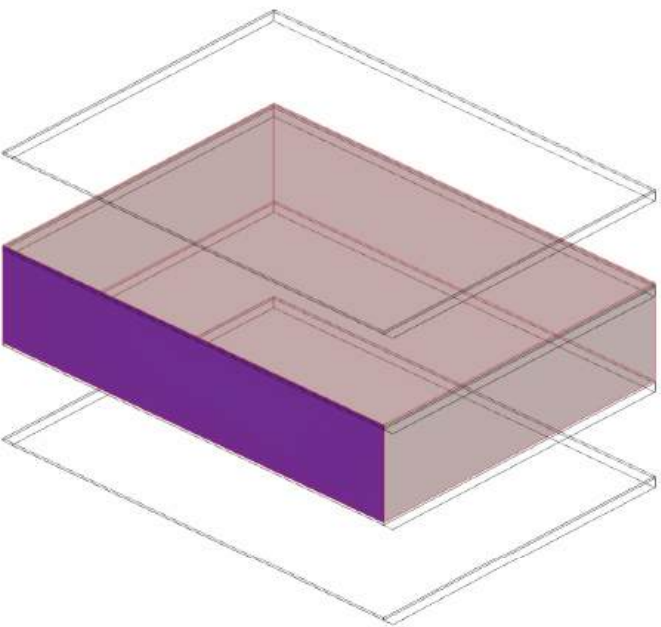
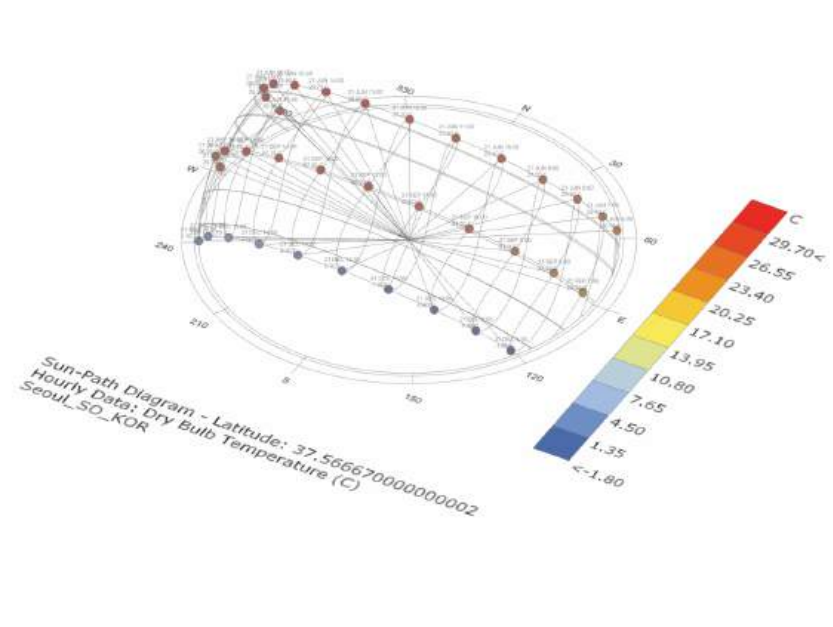
Left: Top tier group through visibility & material efficiency simulation  
Right: Options with visibility & material efficiency simulation in octopus graph view



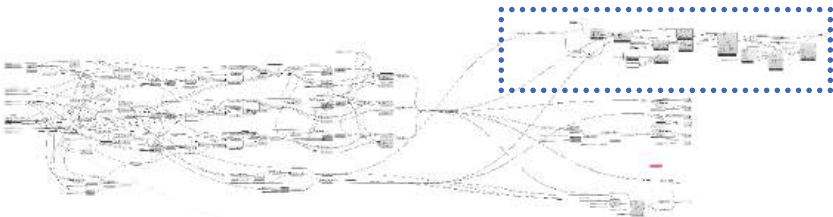
Selecting optimal option:

Among the many optimized options, assuming the visual environment and material quantity are equally considered, an option with the highest visual prevention effect per quantity of material is selected.

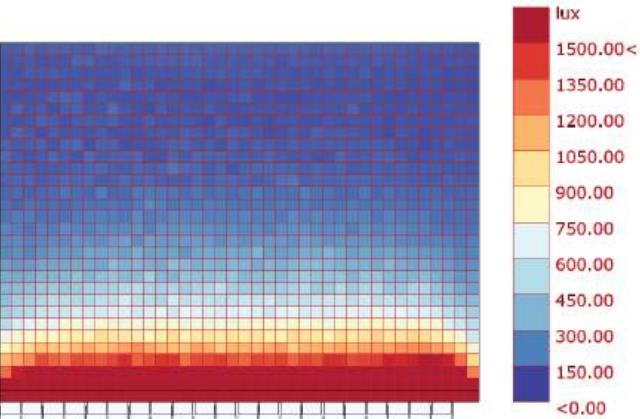
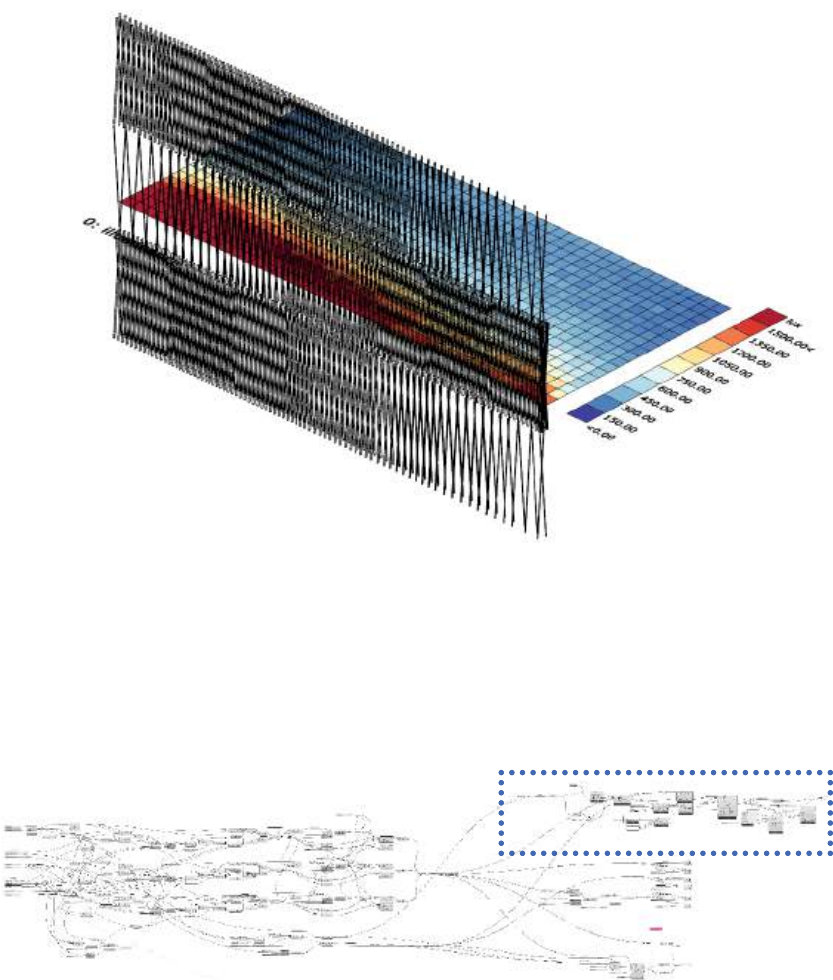
최적 대안 선택:  
다수의 최적화 옵션 중, 시각환경과 건축 물량을 동일 비중으로 최적화할 경우, 물량대비 시각적 차폐 효과가 가장 높은 대안으로 다음 단계 최적화를 진행한다.



Activity	Illuminance (lx, lumen/m²)
Public areas with dark surroundings	20 - 50
Simple orientation for short visits	50 - 100
Areas with traffic and corridors - stairways, escalators and travelators - lifts - storage spaces	100
Working areas where visual tasks are only occasionally performed	100 - 150
Warehouses, homes, theaters, archives, loading bays	150
Coffee break room, technical facilities, ball-mill areas, pulp plants, waiting rooms,	200
Easy office work	250
Class rooms	300
Normal office work, PC work, study library, groceries, show rooms, laboratories, check-out areas, kitchens, auditoriums	500
Supermarkets, mechanical workshops, office landscapes	750
Normal drawing work, detailed mechanical workshops, operation theaters	1000
Detailed drawing work, very detailed mechanical works, electronic workshops, testing and adjustments	1500 - 2000
Performance of visual tasks of low contrast and very small size for prolonged periods of time	2000 - 5000
Performance of very prolonged and exacting visual tasks	5000 - 10000
Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size	10000 - 20000



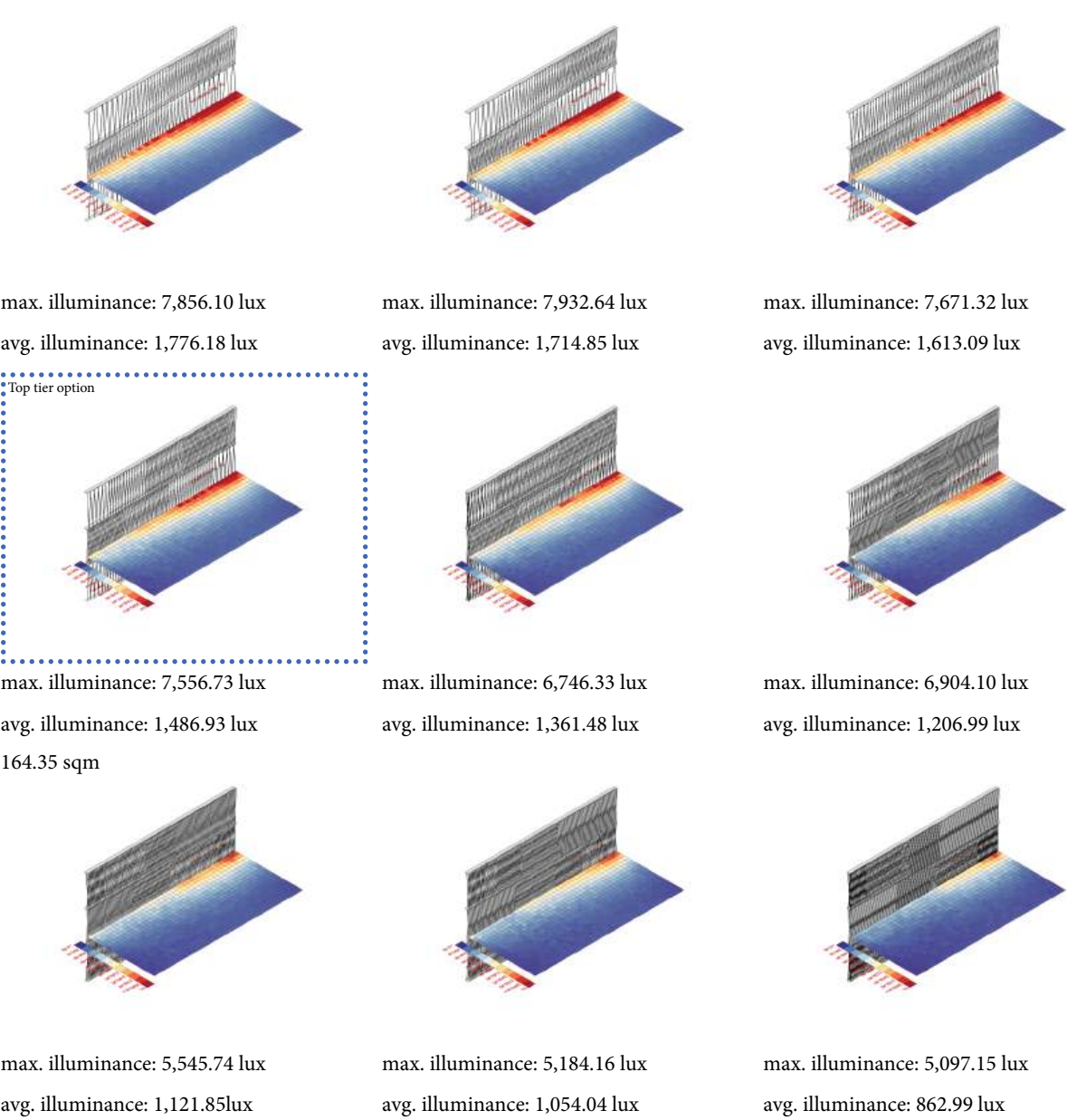
Left: Axon view of daylight simulation of designated office floor  
Right: Plan view of daylight simulation of designated office floor



0: illuminance

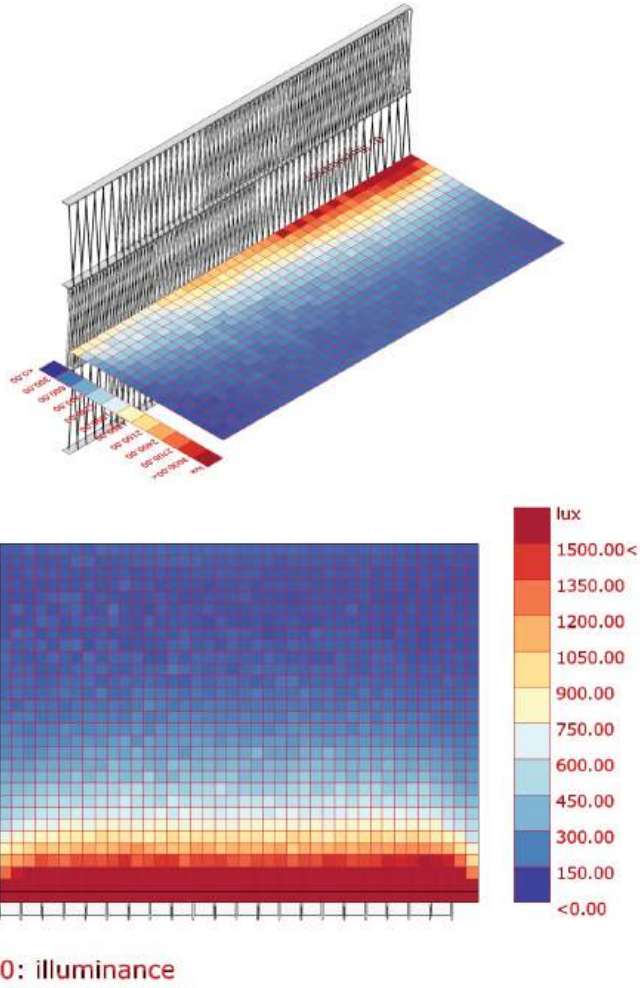


Left: Top tier group through daylight simulation  
Right: Top tier option axon and plan view



Illuminance simulation:

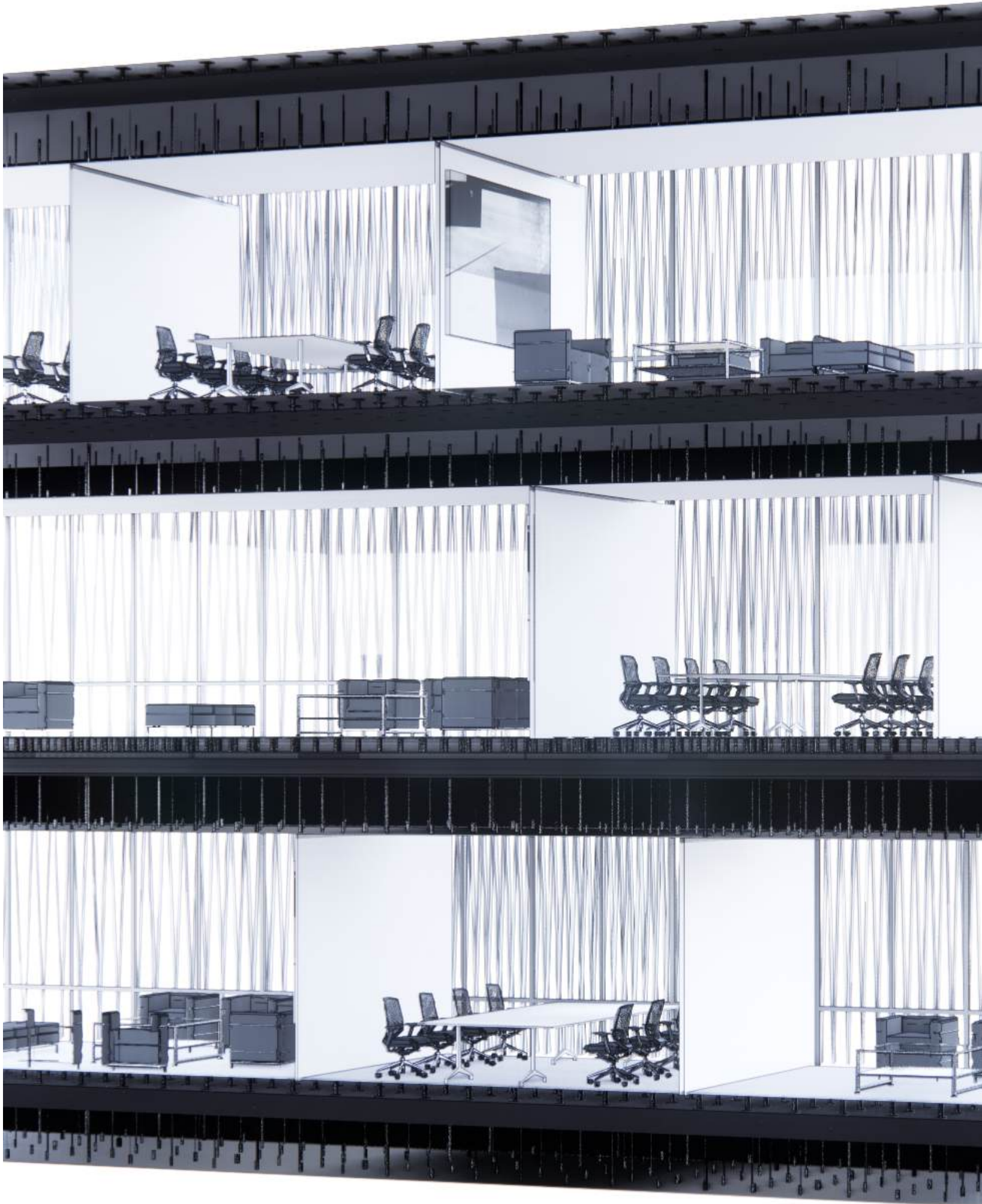
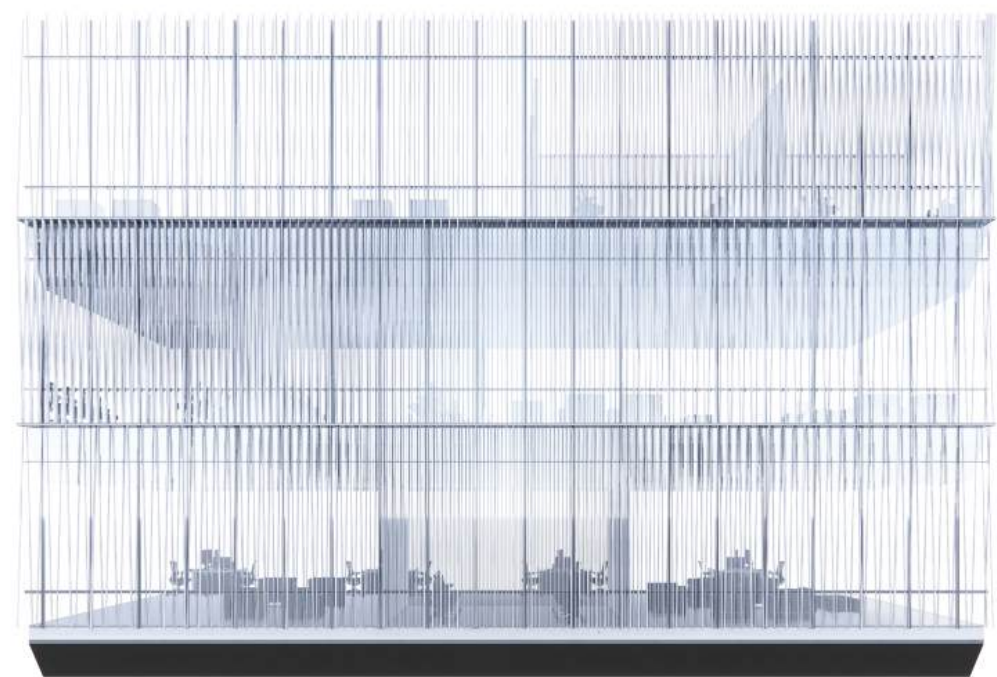
To select an option that best meets the indoor light environment standards and can deliver indirect light to deeper space, an illuminance analysis is performed on the 9 optimized options from the previous stage. The option with the appropriate illuminance level of the office space (300 – 700 lux) in the widest area is selected to be optimal and applied to the design.



조도분석:

앞서 진행한 최적화 옵션 9가지를 대상으로 조도 분석을 통해 그중 가장 실내 빛 환경 기준에 적합하고, 더 깊은 공간으로 간접광을 전달할 수 있는 대안을 알아보았다. 결과적으로 최적 대안은 오피스 공간의 적정 조도(300 – 700 lux)를 가장 넓은 영역에 전달할 수 있는 조도 환경을 가진 것이다.

Left: Top tier option through vision and daylight simulation  
Right: Section perspective view of office floors toward interior screen



RESULTS & CONCLUSION

결론 및 향후 전망



# Result & Conclusion

The communication between architects and engineers who give and receive feedback by analyzing designed works based on environmental data had a one-way characteristic, but recently, expert knowledge related to environmental data was created as an algorithm and distributed to practitioners as a form of plug-ins in design modeling software. As a response, many applications are made in the design methodologies through the real-time evaluation process through various analysis, application, and optimization processes based on professional quantified environmental data from the initial design stage.

This research investigates the possible establishment of a methodology for creating architectural designs optimized for environmental performances through evolutionary computing and utilizing quantitative values of environmental data. And Ultimately, the possibility of partial substitution of the design decision-making standard, which relied on the architect's intuition, into numerical performance data based on the computer's fast analysis efficiency was investigated. This research examines the morphological, spatial, and environmental potential of the quantitative measurement values based on qualitative priorities in design processes.

On the other hand, other factors such as preference, philosophy, and culture are complicated to represent numerically and require additional conversion methods to quantify them. Furthermore, the conversion process is subject to interpretation. Thus, the design methodologies in this article are limited to quantifiable data.

Despite its limitations, the design methodologies in this article can be utilized in many disciplines as more data are quantified. Introducing further numerical information, especially structural data, is expected to further advance the design methods developed in this article.

# 결론 및 향후전망

디자인 작업과 관련된 환경 데이터 분석과 피드백은 엔지니어들이 건축가들에게 제공하는 일방향적인 특성이 있었으나, 최근 환경 데이터와 관련된 전문지식이 하나의 알고리즘으로 만들어진 디자인 모델링 소프트웨어의 플러그인으로 실무자들에게 배포되었다. 이에 디자인 초기 단계부터 수치화된 환경 데이터를 기반으로 다양한 분석, 적용, 최적화 과정이 가능해지면서 디자인 방법론에 많은 변화를 가져왔다.

이 연구는 최종목적은 환경 데이터의 정량적인 수치를 에볼루셔너리 컴퓨팅(Evolutionary Computing)을 통해 환경 성능에 최적화된 건축의 형태 생성의 하나의 방법론으로 정착 가능성에 대한 연구로서, 건축가의 직관에 의존하던 디자인 결정 과정을 컴퓨터의 빠른 분석 효율을 바탕으로 수치화된 성능 데이터로의 부분적 치환 가능성에 대해 살펴보았다. 앞선 방법론에서 보여준 데이터들은 디자인 과정에서의 우선순위를 바탕으로, 정량적 측정값을 적용하는 프로세서가 융합되면서, 디자인 최적화 프로세서로 적립하고, 그것들의 형태적, 공간적, 그리고 환경적 잠재성에 대해 모색하였다.

그러나, 취향, 철학, 문화와 같은 정량적 수치로 표현되기 힘든 정보의 경우, 이를 해석 가능한 정보로 전환하는 일련의 프로세스가 추가로 필요하다. 해당 분석 과정으로 전환하는 방법도 해석의 여지가 있어, 과정의 정확성 및 적합성을 판단하는 데 취약하다는 특성이 있다. 따라서 해당 종류의 정보를 디자인에서 다루는 방법론으로선 부적합하다는 한계점 또한 존재한다.

그럼에도 불구하고, 많은 데이터가 정량화됨에 따라 앞선 연구를 통해 구축한 방법론은 많은 분야에서 활용될 것으로 보인다. 특히, 구조 정보와 같이 정량적 수치로 표현되는 정보의 추가를 통해, 더욱 선진화된 디자인 방법론들의 후속 연구로 이어지길 기대한다.

References

Zeiger, M. (2017). For This Solar Design Pioneer, Architecture Is Synonymous With Energy. Metropolis, Game Changers 2017: Ralph Knowles. Retrieved from <https://metropolismag.com/projects/ralph-knowles-pioneer-solar-design/>

Banke, T. (2013). Parametri i Praksis, generativ performance i arkitektur. Ph.D. Thesis, Center for Information Technology and Architecture at The Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Architecture, Design and Conservation

Killian, A. (2006). Design Innovation through Constraint Modeling, International Journal of Architectural Computing, 1(4): 87-105

Knowles, R. L. (1999). The Solar Envelope, Los Angeles: University of Southern California.  
Menges, A. & S. Ahlquist. (2011). Computational Design Thinking: Computation Design Thinking. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

Luca, F. (2017). Solar Form Finding, ACADIA 2017: DISCIPLINES + DISRUPTION, 212-221

Capeluto, I, & E. Shaviv. (1997). Modeling The Design of Urban Fabric with Solar Rights Considerations, Proceeding Paper, Israel Institute of Technology Haifa

Miller. N. (2017). Positioning Computational Designer in your Business - 4things to Consider. Proving Ground Online. Accessed Feb 18. 2017 from <https://provingground.io/2017/02/15/positioning-computational-designers-in-your-business-4-things-to-consider/>

Bostock. M. Honeybee & Ladybug. (2018). Retrieved January 4, 2022 from <https://hydrashare.github.io/hydra/index.html?keywords=LBExampleFiles>

3XN. (2017). Middelfart Savings Bank. Retrieved from <http://www.3xn.com/#/architecture/by-year/51-middelfart--savings-bank>

3XN. (2017). Horten Headquarters. Retrieved from <http://www.3xn.com/#/architecture/by-year/57-horten-headquarters->

Mayne. T. Morphosis. (2017). Phare Tower. Retrieved from <https://www.morphosis.com/architecture/3/>

Morphosis + AVTL. (2010) Phare Tower Skin and Structure. Retrieved from <http://atlv.org/project/pha>

Ingels. B, BIG. (2009). Astana National Library. Retrieved from <http://www.big.dk/#projects-anl>

Ingels. B, BIG, & JPE Design Studio (2018). Adelaide Contemporary International Design Competition. Retrieved from <https://competitions.malcolmreading.com/adelaide-contemporary/shortlist/big-bjarke-ingels-group>

Waldheim, Charles. (2016) Unbuilt Manhattan. Retrieved from <https://www.gsd.harvard.edu/2016/09/archinect-talks-with-charles-waldheim-about-office-for-urbanization-and-inaugural-conference-heliomorphism/>

Ferriss, H. (1922), Evolution of a City Building Under the Zoning Law. The New York Times Magazine, March 1922, 8-9

Altair (2021), Analyzing air flow of an industrial fan using Altair CFD™. Retrieved from <https://www.altair.com/newsroom/articles/achieving-noise-compliance-with-fan-cfd-simulation/>

Autodesk Flow Design (n.d.), Wind tunnel simulation. Retrieved from <http://www.autodesk.com/store/flow-design>

Monty Rakusen at Alamy (2013), Office Infrared View. Retrieved from <https://www.alamy.com/infrared-heat-image-of-office-image66520839.html>

Ladybug Tools (2021), EPW Meta Data map via Open Street Map. Retrieved from <https://www.ladybug.tools/epwmap>

Weineld, J. (2014), Daylight Glare analysis and metrics, presentation, EPFL

Shade it (2016), Glare effect in unshaded room condition. Retrieved from <https://www.shadeit.org.uk/>





Parametric Methodology of Multi-Staged Environmental Form-Finding  
**ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION IN ARCHITECTURAL DESIGN**

**ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION IN ARCHITECTURAL DESIGN**

Parametric Methodology of Multi-Staged Environmental Form-Finding

H Architecture

This research paper was written and edited by Dongil Kim, Jake Jaekyung Han,  
John Hanghyun Cho and Seojoo Lee at H Architecture, 2021.

All rights reserved. No part of this paper may be reproduced or transmitted in any form or  
by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording or any information  
storage and retrieval system, without prior permission in writing from the author.

H Architecture