



## 최소 냉난방 부하량 도출을 위한 오피스 빌딩 배치 및 폭-깊이 설계 자동화

### Automation Design for Office Building Site Planning and Width-Depth Alternatives for Minimal Heating and Cooling Load

문하은\* · 오준걸\*\*

Haeun Moon\* · JoonGul Oh\*\*

\* Graduate Student, School of Architecture, Seoul National Univ. of Science and Technology, South Korea (saii889@naver.com)

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

#### ABSTRACT

**Purpose:** This study aims to propose an algorithm that generates alternatives for the layout and width-depth of office buildings to minimize heating and cooling loads. This is because it is necessary to consider energy performance from the initial stage of architectural design. **Method:** Office buildings located in Teheran-ro, Gangnam-gu, are analyzed by classifying site types and establishing base models. An algorithm is developed to derive optimal alternatives by using building location and width-depth as variables. Rhinoceros and Grasshopper are used to input basic building data, site boundaries, and surrounding buildings. Environmental analysis is conducted using the Grasshopper add-ons, such as Ladybug and Honeybee. Galapagos, a genetic algorithm tool, is employed to determine location and width-depth of the building within the site that minimize heating and cooling loads. The results are evaluated by analyzing the heating and cooling load of each derived base model. **Result:** The proposed algorithm demonstrates that it is possible to generate energy-efficient building layouts and form alternatives by considering the site context, including shading effects from surrounding buildings and the geometry of the site. In addition, since the environmental analysis results and design alternatives can be reviewed and evaluated in real time through variable adjustments, the algorithm can significantly reduce the time-consuming iterations typical of conventional design processes.

#### KEYWORD

설계자동화  
오피스 빌딩  
최적 배치  
최적 폭-깊이  
냉난방부하량

Design Automation  
Office Building  
Site Planning Optimization  
Building Width-Depth Optimization  
Heating and Cooling Load

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jun. 2, 2025  
Final revision received Jun. 17, 2025  
Accepted Jun. 20, 2025

© 2025. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

서울시의 에너지 배출 중 건물의 에너지 사용은 68.8%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다[1]. 현재 우리나라는 건축설계와 환경설계의 영역 분리로 기본설계가 마무리된 후 환경에 대한 고려가 이루어지는 것이 일반적이다. 이로 인해 초기의 변수가 수정되면 이어지는 과정을 다시 반복해야 하므로 효율성이 떨어진다. 따라서 건축 설계의 초기 단계에서부터 에너지 성능을 고려하는 것이 필요하다.

파라메트릭 모델링은 알고리즘 에디터를 통해 변수 조정 시 변수 수정에 따른 결과를 즉시 확인할 수 있어, 기존 설계 방식에서 반복적으로 소모되는 시간을 줄이고 초기 단계부터 환경 성능을 개선을 가능하게 한다. 건축설계에서 환경성능에 영향을 주는 디자인 요소 중 초기단계에 결정되는 요소는 건물 배치, 향, 장단변비 등이 있다[2]. 이에 본 연구의 목적은 최소의 냉난방 부하량을 도출하는 오피스 빌딩의 배치 및 폭-깊이를 도출하는 설계 자동화 알고리즘을 제안하여 설계자의 반복 작업을 줄이고 시간과 노력을 줄이는 것에 있다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 방법은 Fig. 1.의 연구흐름도 순서로 진행된다. 첫째, 연구를 위한 모델을 설정한다. 서울특별시의 대표적인 업무 지구 중 하나인 강남구 테헤란로의 오피스 빌딩의 필지 형태를 분류하고, 이중 대표적인 필지 유형 3가지를 선정하여 모델을 설정한다. 둘째, 건물의 필지 위의 배치, 폭과 깊이 대안 도출을 위한 알고리즘을 구성한다. Rhinoceros7 (2021)과 내장된 Grasshopper를 사용하여 필지 및 주변 건물, 모델의 기본정보 값을 입력한다. Grasshopper의 환경 분석 Add-on 프로그램인 Ladybug 1.8.0 (2024)과 Honeybee 1.8.0 (2024)를 사용하여 환경 분석 알고리즘을 구성한다. 이때 사용자는 창면적비, 층고, 층수, 코어 비율, 재료의 열관류율, 프로그램 등의 주요 설계 변수의 조절이 가능하다. 다음으로 Grasshopper 내장 최적화 알고리즘인 Galapagos를 사용하여 건물의 배치와 폭-깊이 최적안을 도출하되, 이때 도출 기준은 건물의 총 부하량이다. Galapagos는 필지 위 건물의 배치와 건물의 폭을 변수로 하여 최소의 총부하량이 되는 건물의 배치 및 형태를 도출한다. 셋째, 최적화 알고리즘에 의해 도출된 모델 별 대안과 현재 지어져 있는 빌딩의 부하량 비교를 통해 알고리즘의 활용성 및 유효성을 검증한다.

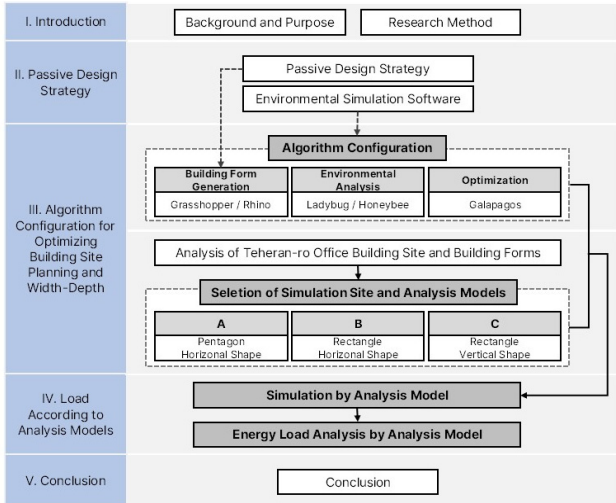


Fig. 1. Flow chart of research

## 2. 패시브 설계 전략과 환경 시뮬레이션

### 2.1. 패시브 설계 전략 및 선행연구 분석

패시브 설계 전략으로는 건물의 방향 및 형태, 차양 형태, 인접 건물과의 거리 등이 있으며 이러한 전략은 햇빛, 그늘, 기류와 같은 자연적인 요소를 사용하여 냉방, 난방, 조명 등의 필요성을 줄이는 데 중점을 둔다[3]. 액티브 설계 전략은 효율 또는 제약이 가능한 설비 시스템을 적용하여 에너지 사용을 최소화하는 데 중점을 둔다[4]. 초기의 건축 계획 단계에서부터 해당 필지의 상황과 주변 환경 조건을 고려한 두 설계 전략이 융합적으로 적용되어야 한다.

Table 1.은 환경 분석을 위한 패시브 설계 요소의 조절을 파라메트릭 디자인을 사용해 수행한 기존 연구들을 변수 기준으로 정리한 표이다. Youxiang Huan (2025)은 다목적 최적화 방법을 사용하여 건물 높이, 장단변비, 향, 창면적비 등을 변수로 두고 에너지 효율성을 평가하였다. 연구를 통해 도출된 최적의 설계 구성으로 에너지 소요를 30%, 수명주기비용을 20% 줄일 수 있음을 확인하였다[5]. Aviruch Bhati et al. (2024)은 건물 높이, 장단변비, 향, 창면적비, 차양 등의 변수를 조정하여 에너지 효율적인 설계 전략을 제공하는 도구를 개발하였다. 이 도구를 사용하였을 때 각 사례별 15%, 30%까지의 에너지 절감을 확인할 수 있었다[6]. Yijun Zhou et al. (2023)은 건물의 창면적비, 단열 조건, 건물 형태 등의 변수를 조정할 수 있는 다목적 최적화 모델을 개발하였다. 이 도구를 사용하였을 때 최대 47%까지 환경 성능 향상 및 에너지 절감이 가능함을 주장하였다[7]. Saffer Abbas et al.(2022)은 환경 시뮬레이션을 사용하여 건물의 방향, 형태, 창면적비 등을 조정하여 에너지 성능을 분석하였고 그 결과 평균 15~30% 정도의 에너지 절감이 가능함을 확인하였다[8]. Atsushi Takano(2016)은 MOBO (Multi-Objective Building Optimization)를 사용하여 층고, 장단변비, 향, 창면적비 등의 변수를 조정한 단독주택의 최적의 에너지 및 생애주기비용 대안을 도출하는 시뮬레이션을 진행하였다[9].

국외의 경우 설계 변수의 조합을 통하여 건물의 초기 설계 단계에

Table 1. Analysis of previous studies about passive design

Division	Variables	Youxiang Huan (2025)	Aviruch Bhati et al. (2024)	Yijun Zhou et al. (2023)	Saffer Abbas et al. (2022)	Atsushi Takano (2016)
Architectural design variables	Building height	●	●			
	Storey height					●
	Aspect ratio	●	●	●		●
	Orientation	●	●	●	●	●
	WWR	●	●	●	●	●
Engineering design variables	Overhang		●			
	Insulation type	●		●	●	●
	Glass type	●	●		●	●
	Solar gain coefficient	●				

Table 2. Analysis of previous studies about building aspect ratio

Division	Kim et al. (2010)	Nam et al. (2023)	Jung et al. (2025)	ZEB Technology & Component (2022)
Program	Ecotect	Openstudio	ECO2	DesignBuilder
Result	1:1.2→1:2→1:1.4	2:1→1:1→4:1→1:2→1:4	Min 1:1.5 Max 2.5:1	1.5:1→1:1→2:1→2.5:1→1:1.5→1:2→1:2.5

서 에너지 효율을 향상시키기 위한 접근을 하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 선행연구 분석을 종합해보면, 건축설계의 초기 단계에서의 결정이 에너지 효율에 큰 영향을 주며 다목적 최적화를 통해 여러 변수들이 동시에 고려되어야 함을 알 수 있다. 건축설계에서 에너지 성능에 영향을 주는 요소 중 건물의 배치, 장단변비는 초기 디자인 단계에서 결정되는 요소이다. 이에 본 연구에서는 이러한 요소 중 건물의 배치와 폭- 깊이를 변수로 설정하여 최적화 알고리즘 연구를 진행하였다.

Table 2.는 국내에서 에너지 절약을 위한 건물 장단변비를 분석한 기존 연구를 정리한 표이다. 김원석 외 1인(2010)은 Ecotect 프로그램을 사용하여 바닥면적 1600m<sup>2</sup>, 층수 15층의 오픈 플랜 오피스의 냉난방부하 분석 및 에너지소비량을 분석하였다. 건물의 장변이 남향일 때 '1:1.2 → 1:2 → 1:1.4' 순으로 냉난방에너지 소비를 증가함을 도출하였다[10]. 남주희 외 1인(2023)은 OpenStudio와 Energyplus를 사용하여 연면적 10,000m<sup>2</sup>, 5층의 오피스 빌딩의 장단변비에 따른 냉난방부하를 검토하였다. 시뮬레이션 결과 '2:1→1:1→4:1→1:2→1:4' 순으로 냉난방부하가 증가함을 도출하였다[11]. 정선철 외 1인(2025)은 ECO2 시뮬레이션을 통해 업무시설의 요소별 에너지 요구량을 분석하였다. 그 결과 에너지 요구량이 장단변비 1:1.5에서 최솟값, 2.5:1에서 최댓값임을 도출하였다[12]. '제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서'의 에너지 절약형 배치 계획의 가이드라인에 따르면 '1.5:1→1:1→2:1→2.5:1→1:1.5→1:2→1:2.5' 순의 장단변비가 에너지 절약에 유리하다고 제시한다[13]. 에너지 절약을 위한 오피스 건물의 장단변비 가이드라인을 제시하는 국내 연구를 종합해보면, 필지의 조건이나 건물의 규모 등에 따라 에너지 절약에 유리한 건물의 장단변비가 다르게 나타남을 알 수 있다. 이를 통해 건축계획에서 건물 형태를 결정할 때 기존의 가이드라인만을 고려하는 것은 한계가 있음을 알 수 있다. 이는 건물에서 패시브 전략을 사용할 때는 건물이 위치하는 대상지 및 주변 환경을 고려하는 것이 필요함을 보여준다.

## 2.2. 환경 시뮬레이션 프로그램

디지털 기술의 발달로 초기 설계 단계에서부터 환경 분석이 가능한 다양한 프로그램이 등장하였다. Table 3.은 본 연구에서 사용된 프로그램을 정리한 표이다.

Rhinoceros (이하 Rhino)는 NURBS 기반의 3D 모델링 프로그램이다. Grasshopper는 Rhino에 내장된 비주얼 프로그래밍 도구로 즉각적인 피드백이 가능하고, 다양한 설계 변수를 직관적으로 조정하고 반복할 수 있어 설계 탐색과 최적화 과정에 적합하다. 또한 목적에 맞게 다양한 Add-on 프로그램을 설치하여 활용할 수 있는 장점이 있다. 그중 대표적인 환경 분석 도구인 Honeybee와 Ladybug는 Energyplus와 Radiance를 기반으로 건물 혹은 도시의 일조, 음영, 에너지 등의 환경 성능 평가를 수행한다. 초기안 변경에 따른 실시간 분석이 가능하여 빠르게 에너지 효율을 검토하고 최적안을 도출할 수 있다는 장점이 있다. Galapagos는 유전 알고리즘 기반 최적화 문제 해결 Add-on 프로그램이다. 유전 알고리즘은 진화의 핵심

원리인 유전자의 개념을 이용하는 최적화 알고리즘이다. 조정할 값 (Genome)과 목표값(Fitness) 주어지면 무작위 변수들을 추출하고 결합하여 목적함수의 목표값에 수렴하는 최종적인 대안을 도출해 낸다. Grasshopper 환경 내에서 매개변수 조정, 시뮬레이션, 최적화를 연계할 수 있어 효율적이며, 여러 대안을 함께 사용자가 비교 선택할 수 있다[14].

## 3. 건물 배치 및 폭-깊이 설계 알고리즘의 구성

### 3.1. 건물 배치 및 폭-깊이 설계 알고리즘 구조

알고리즘의 전체적인 구조는 Fig. 2.와 같다. 알고리즘은 크게 3단계로 구성되며, Table 4.는 각 단계별 변수값을 정리한 표이다. 첫 번째 단계에서는 Rhino와 Grasshopper를 사용하여 필지 및 건물 정보를 입력하여 건물의 형태를 구성한다. 알고리즘의 확장성을 위해 Rhino에 그려진 필지경계선을 Grasshopper의 'crv' 입력 컴포넌트를 이용하여 인식시키는 것을 제외하고는, 설계 변수의 숫자를 입력하는 것만으로 건물 형태가 생성될 수 있게 하였다. 이때 건물 정보는 건폐율, 용적률, 층고, 층수, 창면적비, 코어 비율을 입력한다. 두 번째 단계에서는 Honeybee와 Ladybug를 사용하여 부하량 분석을 위한 기본값을 설정한다. 건물의 프로그램, 재료 및 설비, 기상데이터, 주변 건물 등 시뮬레이션을 위한 분석 조건을 설정한다. 세 번째 단계에서는 Galapagos를 이용하여 총 부하량 측면에서 건물의 최

Table 3. Program used in research

Program	Definition Characteristics		Purpose
	Rhinoceros	- NURBS-based software for 3D modeling - Modeling platform support for parametric tools like Grasshopper	
GH*	GH*	- Visual programming tool for algorithmic design based on Rhino - Immediate feedback on parameter adjustments - Availability and utilization of various purpose-specific add-on programs	Algorithm editing inputting data
		GH*	Honeybee ladybugs
Galapagos	- Optimization Solver Based on Genetic Algorithm - Efficient linking of parameter controlling, simulation, and optimization in Grasshopper		

\*GH: Grasshopper

Table 4. Algorithm input value

Phase	Program	Phase	Input value
1	Rhinoceros grasshopper	1-1	Basic site information - Property line
		1-2	Basic building information - BCR, FAR, CH*, WWR, NF**, RC***
2	Honeybee ladybug	2-1	Ground material
		2-2	Building material
		2-3	Building program and condition
		2-4	Surrounding building, weather data (EPW)
3	Galapagos	3-1	Site planning, the width/depth of a building

\*CH: Ceiling Height, \*\*NF: Number of Floor, \*\*\*RC: Ratio of Core

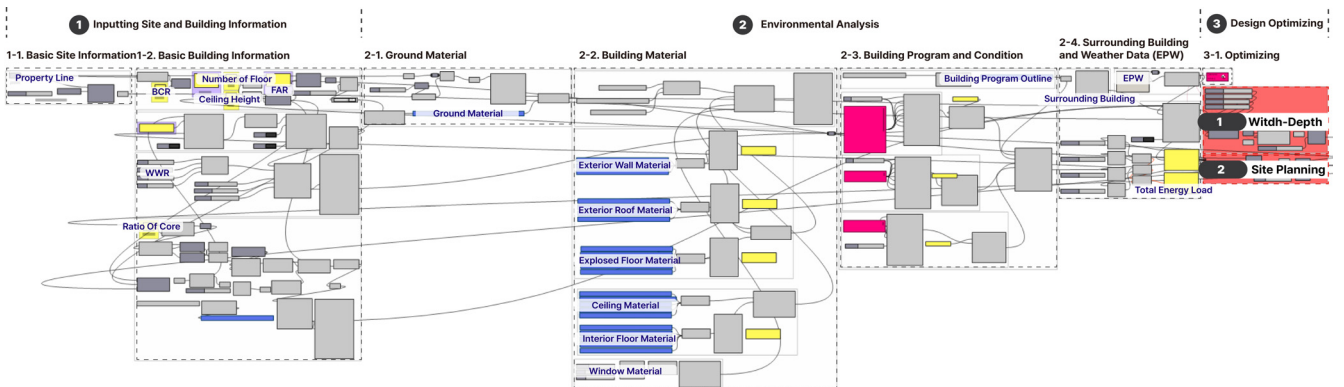


Fig. 2. Overall grasshopper implementation

적안을 도출한다. 이때 본 연구에서의 변수는 ① 건물의 폭과 ② 필지 위의 그리드 상 건물의 위치이다. 이때 건물의 폭(Width)는 도로를 기준으로 건물이 마주보는 정면 파사드의 길이를 말하며, 깊이(Depth)는 건물의 깊이, 즉 정면에서 건물 안쪽으로 들어가는 방향의 길이를 말한다. Galapagos는 결과값이 최소의 부하량에 수렴할 때까지 건물의 그리드 위 위치와 폭을 조절하여 조합들을 도출하고 이에 따른 대안을 도출한다.

### 3.2. 대상지 분석 및 필지 유형 분류









서울시 테헤란로는 역삼동 강남역사거리부터 삼성동 삼성교까지 사이를 잇는 50m의 왕복 10차로 도로이다. 테헤란로에 면한 전체 157개의 오피스 빌딩이 위치한 필지 형태를 분류하고, 가장 빈번하게 나타나는 필지형태 3개를 선정하여 시뮬레이션을 진행한다.

Table 5.는 테헤란로에 면한 필지 형태를 분류하여 정리한 표이다. 1차적으로 사각형, 사다리꼴, 오각형, 이형으로 분류한다. 사각형, 사다리꼴, 오각형의 경우에는 세부 분류를 정방형, 세로형, 가로형로 분류한다. 정방형인 경우는 양변의 길이 비율이 1:1.1, 1.1:1 이내인 필지를 말하며[15], 세부 분류가 가로인 경우는 가로:세로의 비율이 1.1:1 이상인 경우, 세부 분류가 세로인 경우는 가로:세로의 비율이 1:1.1 이상인 경우를 말한다. 이형의 경우는 ㄱ, ㄴ 등의 꺾인 형태를 띠는 'T' 형태와 정이가 어려운 이형의 형태로 세부 분류한다. 필지 분류 결과 유형 'B'가 57개로 가장 많이 나타났으며, 다음으로 유형 'F' 27개, 유형 'C' 25개 순으로 많이 나타났다. 따라서 테헤란로에서 다수를 차지하는 필지 유형인 유형 'B', 'F', 'C'를 선정하여 모델을 설정하였다.

### 3.3. 모델 조건 설정

시뮬레이션을 위한 모델은 테헤란로에 위치한 오피스 빌딩 157개 중 건축물 대장이 없는 6개의 건물을 제외한 151개의 건물을 분석하였다. 이중 유형 'b', 'f', 'c' 필지의 건물 중 테헤란로 전체 건물의 평균 연면적인 19,414.78m<sup>2</sup>에 가까운 건물을 선정하였다. Table 6.은 모델 3개의 필지 현황 및 모델의 기본값을 정리한 표이다. Site A는 역삼역과 선릉역 사이 남쪽 블럭에 위치한 W타위이다. 필지 형태는

Table 5. Classification of Teheran-ro landform


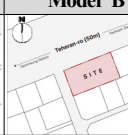
Classification	Detail	Image	Num.
Rectangle	a Square		1
	b Vertical shape		57
	c Horizontal shape		25
Trapezoid	d Horizontal shape		1
Pentagon	e Vertical shape		24
	f Horizontal shape		27
Variant shape	g 'T' shape		17
	h Variant shape		4
Total			157

유형 'f'이며 면적은 1586.60m<sup>2</sup>이다. 해당 블럭은 동쪽 14m, 서쪽 40m, 남쪽 3m 도로에 인접해 있으며, 건축물대장에 의하면 건물의 연면적은 19,645.98m<sup>2</sup>이다. Site B는 역삼역과 선릉역 사이 남쪽 블럭에 위치한 H빌딩이다. 필지 형태는 유형 'c'이며 면적은 1,415.50m<sup>2</sup>이다. 해당 블럭은 동쪽 8m, 서쪽 8m, 남쪽 4m 도로에 인접해 있으며, 건축물대장에 의하면 건물의 연면적은 19,160.83m<sup>2</sup>이다. Site C는 삼성역과 선릉역 사이의 북쪽 블럭에 위치한 W빌딩이다. 필지 형태는 유형 'b'이며 면적은 1369.90m<sup>2</sup>이다. 해당 블럭은 동쪽 8m, 서쪽 6m, 북쪽 6m 도로에 인접해 있으며, 건축물대장에 의하면 W빌딩의 연면적은 20,126.44m<sup>2</sup>이다. 시뮬레이션을 위한 건물정보는 법적 범위에서 기존건물과 최대한 유사하게 작성하였다.

필지의 경계는 필지경계선이 그려진 캐드 파일을 Rhino에 불러 오고, Rhino 상에 그려진 커브를 Grasshopper의 'crv' 입력 컴포넌트를 이용하여 인식시킨다. 필지 내 건물이 위치할 수 있는 영역인 건축물계선은 테헤란로 지구단위계획에 따라 0.5m를 이격한다.

다음은 건물 형태를 구성하기 위한 정보를 입력한다. 각 모델이 기존 건물과 최대한 유사하게 작성되나, 시뮬레이션을 위해 일부 값을 변경하여 작성하였다. 모델의 조건은 Table 6.과 같다. 모델 모두 건폐율은 기존 건물과 동일하게 작성하였으며, 건축면적은 대지면적과 건폐율을 곱한 값으로 설정된다. 모델의 층고는 일반적인 업무용 건물의 기준층 층고 중 4.0m로 설정하여 작성하였으며[16], 층수는 기존 건물과 동일한 22층, 20층, 19층이다. 각 층 바닥면적을 동일하게 작성하였으며, 따라서 용적률은 건축면적×층수로 결정된다. 건물의 높이는 층고×층수이며, 이에 따라 각 모델의 용적률과 높이는 'A' 792.00%, 88m, 'B' 947.56%, 80m, 'C' 979.12%, 76m이다. '2023 서울시 유리커튼월 가이드라인'의 에너지 부문 가이드라인에서 커튼월 건물의 입면적에 대한 벽면율은 40% 이상을 권장하고 있다[15]. 따라서 모델의 창면적비는 60%로 통일하여 설정하였다. 건축면적에 대한 코어비는 25%이며, 코어 평면의 장단변비는

Table 6. Building information input

Classification	Model A	Model B	Model C	
Site	Image			
	Shape	f	c	b
	Area	1,586.6m <sup>2</sup>	1,415.5m <sup>2</sup>	1,396.9m <sup>2</sup>
	Road	E	14m	8m
		W	40m	8m
S		3m	4m	
N		50m (Tehran-ro)	50m (Tehran-ro)	6m
Building	FAR	792.00%	947.56%	979.12%
	BCR	39.60%	47.36%	54.40%
	BA*	628.30m <sup>2</sup>	670.40m <sup>2</sup>	759.85m <sup>2</sup>
	TFA**	12,566.00m <sup>2</sup>	13,408.00m <sup>2</sup>	13,677.30m <sup>2</sup>
	Height (NF***)	88m (22)	80m (20)	76m (19)
	Ceiling height	4.0m	4.0m	4.0m
	WWR	60%	60%	60%
	Core	157.08m <sup>2</sup> (25%)	167.6m <sup>2</sup> (25%)	189.96m <sup>2</sup> (25%)

\*BA: Building Area, \*\*TFA: Total Floor Area, \*\*\*NF: Number of Floor

Table 7. Simulation setting condition input

Program		Construction type	
Program	Large office - open office	Climate zone	4A
People	0.057people/m <sup>2</sup>	BldgVintages	ASHRAE 90.1 2019   IECC 2021
Lighting	6.6W/m <sup>2</sup>	Construction type	SteelFramed
Electric equipment	7.6W/m <sup>2</sup>	U-value	
Infiltration	0.000227m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup>	External wall	0.24W/m <sup>2</sup> ·k
Ventilation	0.000305m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup>	External roof	0.15W/m <sup>2</sup> ·k
Operation time	07:00~19:00 (Except for holiday)	Exposed floor	0.18W/m <sup>2</sup> ·k
Setpoint	21.0°C (heating) 24.0°C (cooling)	Internal Floor	0.42W/m <sup>2</sup> ·k
Weather data		Glazing	
EPW	Seoul	Light transmission	0.56
Month	1-12	Total solar transmission	0.69 (SHGC)
Date	1-31	U-value	1.5W/m <sup>2</sup> ·k

1:1이다. 코어는 건물의 변수 변화에 따라 평면 형태가 변하여도 오피스 평면의 중앙에 위치하게 하였다.

### 3.4. 환경 시뮬레이션 조건 설정

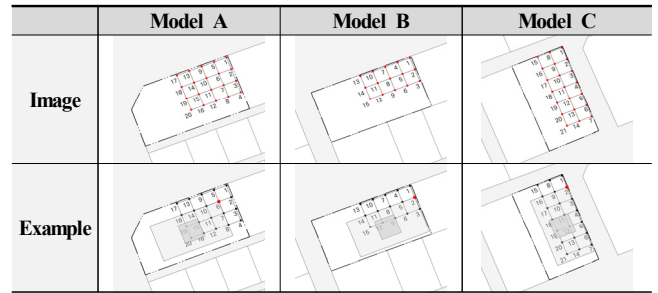
환경 분석 시뮬레이션을 위한 설정값은 Table 7.과 같다. Climate Zone은 ANSI/ASHRAE Standard 169-2022에서 구분한 기후지역 중 대한민국 서울이 포함된 4A를 적용하였으며, Construction Type은 철골조이다. 재실인원, 조명, 기기 발열, 침기, 환기, 냉난방 기준온도는 기본 제공하는 ASHRAE 90.1 2019-Large Office-Open Office 세팅 값을 적용하였다. 건물의 운영 시간은 공휴일을 제외하고 7:00부터 19:00까지이다. 건물의 벽, 지붕, 바닥, 유리의 열관류율은 국토교통부 고시 「건축물 에너지 절약 설계 기준」 [별표 1]의 중부 2지역(서울) 단열 기준에 적합하게 반영하였다[17]. 기후 데이터는 1950년부터 2023년까지의 기록을 기반으로 구성된 서울 지역의 EPW<sup>1)</sup> 파일을 사용하였다. 주변 건물은 GIS와 .shp 파일을 사용하여 대상지 중심으로부터 반경 150m 이내를 실제건물과 동일한 규모로 모델링하였다. 주변건물은 모델의 정확한 부하량 측정을 위하여 음영으로 인식되게 하였으며, 반사율은 20%이다.

### 3.5. 배치 및 폭-깊이 최적안 도출 설정값

본 연구에서 갈라파고스의 결과값은 건물의 총부하량이며, 조정값은 건물의 폭과 필지 위 건물의 위치이다. 건물의 폭은 알고리즘의 가동 시간을 고려하여 1m 단위로 조정하여 형태가 변하도록 하였다. 폭이 조정됨에 따라 깊이가 결정되도록 하였으며, 건물 폭의 최댓값은 필지의 폭과 동일하다. 필지 상에서 건물이 이동하는 기준 그리드 간격은 알고리즘의 가동 시간을 고려하여 5m로 설정하였다.

기준 그리드는 필지의 동북 방향을 기준으로 필지의 폭, 깊이와 최대로 이동할 수 있는 거리를 고려하여 임의로 작성하였다. 건물은 평면 상에서 동북 방향의 모서리 점을 기준으로 그리드 위를 이동하며, 이는 Table 8.과 같다. 건물의 필지 위 위치를 시각화하기 위하여 가장 동북쪽에 위치한 점을 '1'으로 하여 번호를 부여하였다.

Table 8. Location movement processing



## 4. 각 모델에 따른 총부하량

### 4.1. 각 모델별 대안의 결과 분석


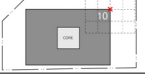





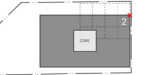





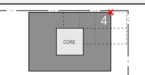


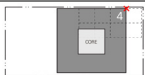




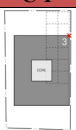
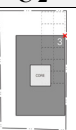
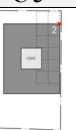
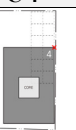



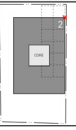
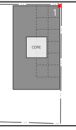
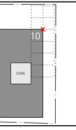
Table 9.는 각 모델 별로 최종 생성되는 50개의 대안 중 필지경계선을 벗어난 것을 제외하여 정리한 표이며, 시뮬레이션 효과 검증을 위해 필지에 현재 지어져 있는 빌딩을 단순화하여 모델링한 '기준안'과 결과를 비교하였다. 기준안은 Table 5.에 작성된 모델 별 기본 정보와 동일한 값으로 작성되었다. 건물의 폭-깊이는 현재 지어져 있는 건물의 폭-깊이의 소수점 둘째 자리에서 반올림하여 작성하였으며, 필지 위의 위치는 5m 간격의 그리드 위에서 최대한 동일한 지점에 배치시켰다. 결과로 도출되는 총 부하량[kwh/m<sup>2</sup>]은 난방, 냉방, 실내, 전기 부하량을 더한 값이다. 생성된 대안에서 실내, 전기 부하량은 동일하게 산출되어 Table 9.에는 총, 난방, 냉방 부하량 작성하여 대안을 비교하였다.

모델 A는 10개 대안이 생성되었다. 건물형태는 장단변비가 1.17:1에서 2.70:1까지 생성되었으며, 배치는 대부분 동북쪽에 붙어 있는 대안이 도출되었다. 모델 A의 기준안은 폭이 37.60m이고 깊이가 21.12m로 장단변비가 1.78:1이며, 동북쪽에 붙어 있는 1번에 위치한다. 이때 총부하량은 126.62kwh/m<sup>2</sup>이다. 대안 중 기준안보다 총부하량이 낮은 경우는 6개, 높은 경우는 4개이다. 총부하량이 가장 낮은 경우는 건물의 폭이 46.00m이고 깊이가 17.26m로 장단변비가 2.70:1이며, 동북쪽 중앙인 2번에 위치할 때이다.

모델 B는 9개 대안이 생성되었다. 건물 형태는 장단변비가 1:1.22에서 1:1.95까지 생성되었다. 모델 B의 기준안은 폭이 22.90m이고 깊이가 30.77m로 장단변비가 1:1.34이며, 필지의 중앙인 2번에 위치한다. 이때 총부하량은 125.77kwh/m<sup>2</sup>이다. 대안 중 기준안보다 총부하량이 낮은 경우는 4개, 높은 경우는 5개이다. 총부하량이 가장 낮은 경우는 건물의 폭이 24.00m이고 깊이가 29.36m인 장단변비가 1:1.22일 때이며, 동쪽 중앙인 3번에 위치할 때이다.

모델 C는 10개 대안이 생성되었다. 건물 형태는 장단변비는 1:1.00에서 1:1.99까지 생성되었다. 모델 C의 기준안은 폭이 38.40m이고 깊이가 12.55m로 장단변비가 3.06:1이며, 필지의 북쪽인 2번에 위치한다. 이때 총부하량은 135.80kwh/m<sup>2</sup>이다. 대안 중 기준안보다 총부하량이 낮은 경우는 7개, 높은 경우는 3개이다. 총부하량이 가장 낮은 경우는 건물의 폭이 30.00m이고 깊이가 16.07m인 장단변비가 1.87:1이며, 북쪽인 2번에 위치할 때이다.

Table 9. Base model 'A', 'B', 'C' simulation result image

	Division	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
	<b>A</b>	Image					
	Total energy load [kwh/m <sup>2</sup> ]	118.67	123.24	123.76	125.80	125.97	126.57
	Heating load [kwh/m <sup>2</sup> ]	29.25	29.28	29.39	29.44	28.95	28.95
	Cooling load [kwh/m <sup>2</sup> ]	41.68	46.22	46.63	48.62	49.28	49.88
	Width [m]	46.00	34.00	37.00	38.00	36.00	37.00
	Length [m]	17.26	23.35	21.46	20.89	22.05	21.46
	Building aspect ratio	2.70:1	1.46:1	1.72:1	1.82:1	1.63:1	1.71:1
	Location	2	10	6	6	1	1
	Division	Existing building	A-7	A-8	A-9	A-10	
	Image						
	Total energy load [kwh/m <sup>2</sup> ]	126.62	126.79	127.40	129.92	130.76	
	Heating load [kwh/m <sup>2</sup> ]	28.97	29.06	29.56	29.60	28.99	
	Cooling load [kwh/m <sup>2</sup> ]	49.91	49.99	50.10	52.58	54.03	
	Width [m]	37.60	33.00	36.00	38.00	38.00	
	Length [m]	21.12	24.06	22.05	20.89	20.89	
	Building aspect ratio	1.78:1	1.37:1	1.63:1	1.82:1	1.82:1	
	Location	1	1	2	2	1	
<b>B</b>	Division	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
	Image						
	Total energy load [kwh/m <sup>2</sup> ]	128.29	129.01	130.04	133.36	134.66	135.05
	Heating load [kwh/m <sup>2</sup> ]	34.09	35.34	34.28	33.25	33.84	33.40
	Cooling load [kwh/m <sup>2</sup> ]	46.70	46.17	48.26	52.51	53.32	54.15
	Width [m]	30.00	31.00	31.00	26.00	24.00	28.00
	Length [m]	16.07	15.55	15.55	18.54	20.08	17.22
	Building aspect ratio	1.87:1	1.99:1	1.99:1	1.40:1	1.19:1	1.63:1
	Location	2	8	2	4	7	4
	Division	B-7	Existing building	B-8	B-9	B-10	
	Image						
	Total energy load [kwh/m <sup>2</sup> ]	135.30	135.70	138.84	138.88	139.92	
	Heating load [kwh/m <sup>2</sup> ]	33.42	36.06	34.18	34.27	34.34	
	Cooling load [kwh/m <sup>2</sup> ]	54.38	52.14	57.16	57.11	58.08	
	Width [m]	22.00	38.40	26.00	25.00	24.00	
	Length [m]	21.91	12.55	18.54	19.28	20.08	
	Building aspect ratio	1.00:1	3.06:1	1.40:1	1.30:1	1.19:1	
	Location	4	2	10	10	10	
<b>C</b>	Division	C-1	C-2	C-3	C-4	Existing building	C-5
	Image						
	Total energy load [kwh/m <sup>2</sup> ]	124.73	125.08	125.38	125.56	125.77	125.89
	Heating load [kwh/m <sup>2</sup> ]	30.16	30.74	30.32	30.30	30.49	47.78
	Cooling load [kwh/m <sup>2</sup> ]	47.29	48.16	47.32	48.49	47.51	29.99
	Width [m]	24.00	21.00	24.00	22.00	22.90	24.00
	Length [m]	29.36	33.55	29.36	32.02	30.76	29.36
	Building aspect ratio	1:1.22	1:1.60	1:1.22	1:1.46	1:1.34	1:1.22
	Location	3	3	2	4	2	1:1.22
	Division	C-6	C-7	C-8	C-9		
	Image						
	Total energy load [kwh/m <sup>2</sup> ]	126.00	126.10	128.76	130.30		
	Heating load [kwh/m <sup>2</sup> ]	30.54	30.67	31.41	31.55		
	Cooling load [kwh/m <sup>2</sup> ]	22.20	47.73	48.53	49.11		
	Width [m]	21.00	22.00	20.00	19.00		
	Length [m]	33.55	32.02	35.27	37.08		
	Building aspect ratio	1:1.60	1:1.46	1:1.76	1:1.95		
	Location	4	2	1	10		

### 4.2. 시뮬레이션에 의한 모델별 부하량 분석

모델 A, B, C의 기존안과 도출된 대안의 총 부하, 냉방부하, 난방 부하를 순서대로 그래프로 표기하였다. 그래프의 상단에는 총부하량이 가장 낮은 경우 대비 기존안과 총부하량이 가장 높은 경우의 총 부하량 차이를 백분율로 표현하여 그래프 상단에 작성하였다.

Fig. 3.은 모델 A의 결과이다. 모델 A에서 총부하량이 가장 낮은

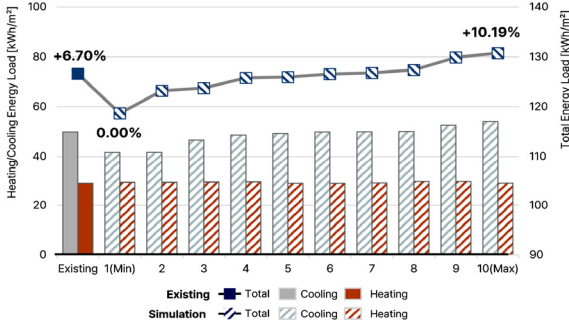


Fig. 3. Model 'A' energy load result

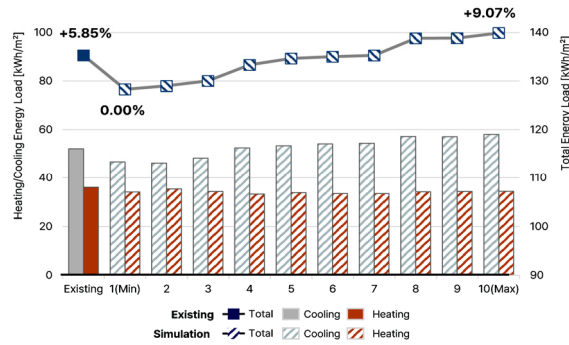


Fig. 4. Model 'B' energy load result

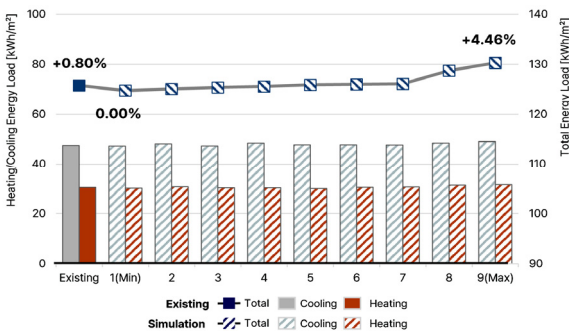


Fig. 5. Model 'C' energy load result

Table 10. Simulation result of rhino viewport

Classification	Model A-1	Model B-1	Model C-1
Rhino viewport			
Building aspect ratio	2.70:1	1.87:1	1:1.60
Total energy load	118.67 [kwh/m <sup>2</sup> ]	128.29 [kwh/m <sup>2</sup> ]	124.73 [kwh/m <sup>2</sup> ]
Load reduction rate*	-6.70%	-5.85%	-0.80%

\*Load reduction rate: ('A-1, B-1, C-1' total energy load/'existing building' total energy load)\*100

경우는 118.67kwh/m<sup>2</sup>으로 기존안의 126.62kwh/m<sup>2</sup> 대비 6.70% 적게 발생하며, 총부하량이 가장 높은 경우인 130.76kwh/m<sup>2</sup> 대비 10.19% 적게 발생한다. 상위 4개의 대안에서 건물의 배치는 북쪽 테헤란로의 도로로부터 그리드 한 칸이 떨어져 있다. 따라서, 모델 A에서는 도로면으로부터 이격된 건물의 배치가 에너지 측면에서 더 유리한 것으로 판단된다. Fig. 4.는 모델 B의 결과이다. 모델 'B'에서 총부하량이 가장 낮은 경우는 124.73kwh/m<sup>2</sup>으로 기존안의 125.77kwh/m<sup>2</sup> 대비 0.80% 적게 발생하며, 총부하량이 가장 높은 경우인 130.30kwh/m<sup>2</sup> 대비 4.46% 적게 발생한다. 상위 3개의 대안은 장단변비가 1.75:1에서 2.0:1 사이에 분포하며, 이 경우 배치는 북쪽 테헤란로에서 그리드 한 칸이 이격되어 있다. 따라서 모델 B의 경우에는 장단변과 단면의 차이가 크고 테헤란로에서 이격된 건물 배치가 에너지 측면에서 더 유리한 것으로 판단된다. 모델 C에서 총부하량이 가장 낮은 경우는 128.29kwh/m<sup>2</sup>으로 기존안 135.80kwh/m<sup>2</sup> 대비 5.85% 적게 발생하며, 총부하량이 가장 높은 경우인 139.92kwh/m<sup>2</sup> 대비 9.07% 적게 발생한다. 상위 5개의 대안 중 C-2를 제외한 대안의 장단변비가 1:1.0에서 1:1.5 범위에 속한다. 따라서 Site 'C'의 경우 정방형에 가까운 건물의 형태가 에너지 측면에서 더 유리한 것으로 판단된다.

### 4.3. 소결

대지 내 외부 공간은 시민의 쾌적한 보행, 휴식, 녹지를 제공하며, 필지의 상황에 따른 출입구, 교통, 안전성 등 복합적인 요소를 고려한 적절한 외부 공간 계획이 필요하다. 건물의 장단변비는 건물 형태를 결정하는 주요요소로 공간 활용 효율성과 내부 동선 계획 등에 영향을 미친다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 최소의 총부하량이 도출된 대안을 에너지 관점에서 건축계획 최적안으로 정의하였으며, Table 10.은 각 모델별 최적안인 'A-1', 'B-1', 'C-1'의 3D 및 배치를 정리한 표이다. 모델 'A-1'은 장단변비가 2.70:1으로 가로로 긴 형태를 띄며 필지 동북쪽에 위치하고 있다. 유동인구가 높은 테헤란로 방향으로 가로형태의 녹지를 계획하여 보다 넓은 보행 및 휴게공간을 제공할 수 있다. 모델 'B-1'의 장단변비는 1:1.22로, 필지 동북쪽에 위치하며 필지의 전면과 후면에 짝지형 공원 조성이 가능하다. 필지 후면은 보행자가 비교적 적어 심터 위주의 공간 구성으로 쾌적한 휴게공간을 제공할 수 있다. 모델 'C-1'은 장단변비가 1.87:1이고 건물이 필지 남쪽에 위치한다. 테헤란로와 서쪽 8m 도로 방향으로 공지가 형성되어 접근성이 높은 코너 부분에 휴게공간을 계획하여 적극적으로 외부공간을 이용하게 할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 건축설계 초기단계에서부터 친환경 요소를 고려한 설계 프로세스를 제안하고자 파라메트릭 디자인 도구를 활용하여 최소 부하량의 건물의 배치 및 폭-깊이 대안 도출을 자동화하는 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘의 유효성 검증을 위해 테헤란로에 위치한 대상지 3개를 선정하고 시뮬레이션을 진행하였다.

각 대상지 적용 결과, 모델 A에서 10개 대안이 도출되었으며, 총 부하량이 가장 낮은 경우는 장단변비가 2.70:1이고 건물이 필지동 북쪽에 위치할 때이다. 총부하량은 기존안 대비 6.70% 적게 발생한다. 모델 B에서 9개 대안이 도출되었으며, 총부하량이 가장 낮은 경우는 장단변비가 1:1.22일 때이고 건물이 필지 동쪽 중앙에 위치할 때이다. 총부하량은 기존안 대비 0.80% 적게 발생한다. 모델 C에서 10개 대안이 도출되었으며, 총부하량이 가장 낮은 경우는 장단변비가 1.87:1이고 건물이 필지 북쪽에 위치할 때이다. 총부하량은 기존안 대비 5.85% 적게 발생한다. 연구결과를 통해 본 연구에서 제시한 건물 배치 및 폭-깊이 도출 알고리즘의 유효성은 다음과 같다.

첫째, 국내 건축설계에서는 일반적으로 기본설계가 마무리 된 후 환경에 대한 고려를 하는 것이 일반적이다. 이 과정에서 환경분석 시뮬레이션은 이미 만들어진 디자인이 환경성능 측면에서 합리적인지를 판단하는 방법으로 활용된다. 본 연구의 알고리즘 사용 시 초기단계에서 창면적비, 층수, 층고 등의 설계 변수를 사용자가 조절할 수 있으며, 이러한 변수 조절에 따라 에너지 측면에서 유리한 건물의 위치 및 폭-깊이 대안을 실시간으로 확인하고 평가할 수 있다. 이를 통해 기존 설계 방식에서 반복적으로 소모되는 시간을 절약할 수 있다.

둘째, 건물이 위치하는 필지의 주변 환경을 고려한 건물 형태와 배치 대안 도출이 가능하다. 건축설계에는 건물이 놓여지는 필지 주변의 건물 등의 다양한 조건들이 영향을 미친다. 기재된 가이드라인 참고 시 건물의 부하에 영향을 미치는 다양한 설계요소의 상호작용을 고려하기 어렵다. 본 연구에서는 주변 건물 음영의 영향과 필지 형태 등 다양한 조건들이 영향을 고려한 총부하량을 도출한다.

셋째, 알고리즘의 사용 시 최적인 뿐만 아니라 다음 순위의 대안이 도출되기 때문에 설계자가 설계 컨셉에 맞추어 대안을 선택하여 조정할 수 있다. 유전 알고리즘인 Galapagos는 총부하량 측면에서 당위성을 가지는 수많은 디자인을 탐색하고 추출하여 제시함으로써 초기 단계에서부터 패시브 전략의 고려가 가능하다.

본 연구의 한계는 현재 알고리즘에서 필지경계선을 넘어서는 대안은 사용자가 확인하고 지워야 하는 후처리 과정이 필요하다는 점이다. 이러한 부분에 대해 추후 연구에서 개선된 프로세스의 제안이 필요하다. 건축 디자인은 이 외에도 다양한 변수를 다루는 과정으로 후속 연구에서는 건물의 높이, 창면적비 등 건축 설계 과정에서 고려되는 더 많은 변수를 포함시키는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

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

## References

- [1] 서울연구원, 서울탄소중립 브리프, 서울특별시 탄소중립 지원센터, 2024.03, pp.1-8. // (The Seoul Institute, Seoul carbon neutrality BRIEF, Seoul Carbon Neutrality Support Center, 2024.03, pp.1-8.)
- [2] 류한수, 김인한, 추승연, BIM을 이용한 건축물 초기 디자인 단계에서 초고층 업무용 건물의 최적 에너지 형태개발, CAD/CAM 학회 논문집, 제16권 제2호, 2011, pp.83-91. // (H.S. Ryu, I.H. Kim, S.Y. Choo, Development of energy optimized geometry using BIM for super tall office building in early design stages, Korean Journal of Computational Design and Engineering, 16(2), 2011, pp.83-91.)
- [3] B. Bektas Ekici, U. Teoman Aksoy, Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS, Expert Systems with Applications, 38(5), 2011, pp.5352-5358.
- [4] ZEB, 액티브 요소 기술, <https://www.zebenergy.kr/subpage.php?mc=61> // (ZEB, Active element technology, <https://www.zebenergy.kr/subpage.php?mc=61>)
- [5] Y. Huan, Research on energy-efficient building design using target function optimization and genetic neural networks, EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 12, 2025.
- [6] A. Bhati et al., Approach for energy efficient building design during early phase of design process, Energy Informatics, 7, 122, 2024.
- [7] Y. Zhou, V. Tam, K.N. Le, Developing a multi-objective optimization model for improving building's environmental performance over the whole design process, Building and Environment, 246, 2023.
- [8] S. Abbas et al., Investigating the energy-efficient structures using building energy performance simulations: A case study, Applied Sciences, 12(18), 2022.
- [9] A. Takano, K. Alanne, K. Siren, Integrating architectural and energy view point for a multi objective optimization during early design stage, International Building Performance Simulation Association (IBPSA), 2016.
- [10] 김원석, 김삼열, 사무소 건물 평면의 장단변비 변화에 따른 에너지 소비 패턴에 관한 연구, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2010.06, pp.139-144. // (W.S. Kim, S.Y. Kim, A study on the analysis of energy consumption patterns according to the variation of the ratio of lateral to longitudinal length in office building, Conference Journal of SAREK, 2010.06, pp.139-144.)
- [11] 남주희, 윤성환, 서울지역 오피스빌딩 장단변비에 따른 냉난방부하 변화 평가, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제43권 제2호, 2023.10, pp.333-334. // (J.H. Nam, S.H. Yoon, Assessment of heating and cooling load variations in office buildings in Seoul based on aspect ratio, Conference Journal of AIK, 43(2), 2023.10, pp.333-334.)
- [12] 정선철, 오준걸, ECO2를 활용한 업무시설의 규모와 장단변비에 따른 에너지 요구량 분석, 한국생태환경건축학회지, 제25권 제2호, 2025.04, pp.81-90. // (S.C. Jung, J.G. Oh, Analysis of energy demand based on office building scale and lateral to longitudinal ratio using ECO2, KIEAE Journal, 25(2), 2025.04, pp.81-90.)
- [13] 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서 Ver.3, 2022 // (Korea Energy Agency, ZEB Technology & Component, 2022.)
- [14] 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.)
- [15] 국토교통부 한국부동산원, 2025년 표준지공시지가 조사·평가 업무요령 부록, 2024.12.17, pp.4-294. // (Guidelines for Ministry of Land, Infrastructure and Transport Korea Real Estate Board, Inspection and assessment of officially announced price of representative land in 2025, 2024.12.17, pp.4-294.)
- [16] 오승주 외 4인, 건축계획론, 한국: 광문각, 2018. // (S.J. Oh et al., Architectural planning & design theory, Korea: Kwangmoonkag, 2018.)
- [17] 서울특별시, 2023 서울시 유리커튼월 가이드라인, 2023, pp.6-54. // (Seoul Metropolitan Government, Seoul Glass Curtainwall Guideline, 2023, pp.6-54.)

1) EPW는 EnergyPlus Weather data의 약자로 표준 기상 데이터이다. 각 월별로 가장 대표적인 해의 데이터를 선택하여 구성된 TMYx로, 일사량 및 온도, 습도 등의 정보를 포함하고 있다.