



행정복지센터의 건축적 보이드공간 계획에 따른 건물 에너지 특성

Energy Performance Characteristics of Administrative Welfare Centers According to the Planning of Architectural Void Spaces

권주현* · 정선철** · 오준걸***

JooHyeon Kwon* · SunChul Jung** · JoonGul Oh***

* Main author; Ph.D. Candidate, School of Architecture, Seoul National Univ. of Science and Technology, South Korea (joo94@seoultech.ac.kr)

** Coauthor; Ph.D. Candidate, School of Architecture, Seoul National Univ. of Science and Technology, South Korea (sunchuljung@seoultech.ac.kr)

*** 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 analyze the building energy performance of administrative welfare centers according to the planning of architectural void spaces and to suggest energy-efficient void space strategies applicable in the early design stage. **Method:** Based on 37 award-winning administrative welfare center cases announced from 2016 to 2024, the layout and sectional types of architectural void spaces were classified. Two prototype models with gross floor areas of 3,000m² and 6,000m² were developed as simplified square masses and implemented through a Grasshopper-based parametric model. Energy simulations were conducted using Ladybug Tools and EnergyPlus under controlled conditions including Seoul climate, envelope performance, window-to-wall ratio, and operational schedules. A total of 73 void space combinations were compared. **Result:** Energy demand varied with the location and openness of void spaces. The total energy demand ranged from 109.19 to 119.09kWh/m² in the 3,000m² model and from 96.31 to 104.03kWh/m² in the 6,000m² model. Centrally located and highly open voids showed higher demand, while side or corner voids with less exposed envelope area showed lower demand. The results indicate that void space configuration is a significant design variable affecting building energy performance.

KEYWORD

행정복지센터
건축적보이드공간
건물에너지성능
에너지시뮬레이션

Administrative Welfare Center
Architectural Void Space
Building Energy Performance
Energy Simulation

ACCEPTANCE INFO

Received Mar. 27, 2026

Final revision received May 29, 2026

Accepted Jun. 4, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

행정복지센터는 주민 대상 행정서비스 제공 기능을 기본으로 하며, 생활 SOC·문화·복지 기능을 복합적으로 수용하는 지역 거점 공공건축물로 확대되어 왔다. 또한 ‘읍·면·동 복지허브화’ 정책 추진과 맞물려, 기존 주민센터 중심의 행정 기능에 더해 복지 기능을 강화하는 방향으로 제도적·운영적 변화가 이뤄졌다.¹⁾ 이러한 변화는 건축 계획 측면에서 저층부 공공성, 외부공간 연계, 주민 이용 프로그램 구성 등 복합적 요구조건을 증가시켜[1], 실내 프로그램의 복합화뿐 아니라 주민 이용을 유도하는 ‘외부공간’의 계획적 중요성이 부각된다. 따라서 행정복지센터의 복합적 기능 변화에 대응하기 위해 저층부 공공성, 외부공간 연계, 보이드공간 활용 등을 고려한 초기 계획 대안의 중요성이 강조된다.

한편, 2025년부터 연면적 1,000m² 이상 일부 용도의 공공건축물에 대해 제로에너지건축물(ZEB) 4등급 이상 인증이 의무화되면서, 초기 계획 단계에서부터 에너지 성능을 고려한 형태 및 공간계획의 필요성이 더욱 커지고 있다. 특히 행정복지센터는 유사한 프로그램과 규모로 반복 계획되는 공공건축 유형으로서, 보이드공간의 배치

및 개방 방식이 건물 외피면적과 건물 에너지 간 미치는 영향을 정량적으로 검토하기에 적합하다. 특히 보이드공간은 동선과 조닝, 채광 및 개방감을 확보하는 사례가 증가하고 있으며, 중정의 배치와 형태는 건물 외피 면적, 자연채광 등에 영향을 미쳐 에너지 성능에도 유의미한 요소이다.

따라서 본 연구는 건축 설계와 건물 에너지를 종합적으로 고려할 수 있도록 평면과 단면 유형에 따라서 행정복지센터의 외부공간을 ‘건축적 보이드공간(이하, 보이드공간)’으로 정의, 유형화하고 분석 모델을 Grasshopper 기반 시뮬레이션 모델로 구현한다. 에너지 시뮬레이션을 통해 외부공간 배치와 형태 특성에 따른 에너지 성능 변화를 비교, 분석함으로써 설계 초기 단계에서 에너지 성능 관점의 최적화가 가능한 보이드공간 배치 대안을 제시하는 것을 연구의 목적으로 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

연구분석의 대상은 단일 동 형태의 행정복지센터(지상 4층 내외)로 한정하였다. 사례 분석은 2016~2024년 설계 공고되어 당선 설계안이 공개된 자료를 중심으로 총 37개 사례를 수집²⁾하여, 건축적 보이드공간의 배치 및 단면 유형을 분류하였다. 본 연구에서 건축적 보이드공간 중정과 상부 개방 보이드공간을 포함한다. 여기서 보이드공간은 단순 조정·광장형 외부공간과 달리, 건물 매스와 직접 결합

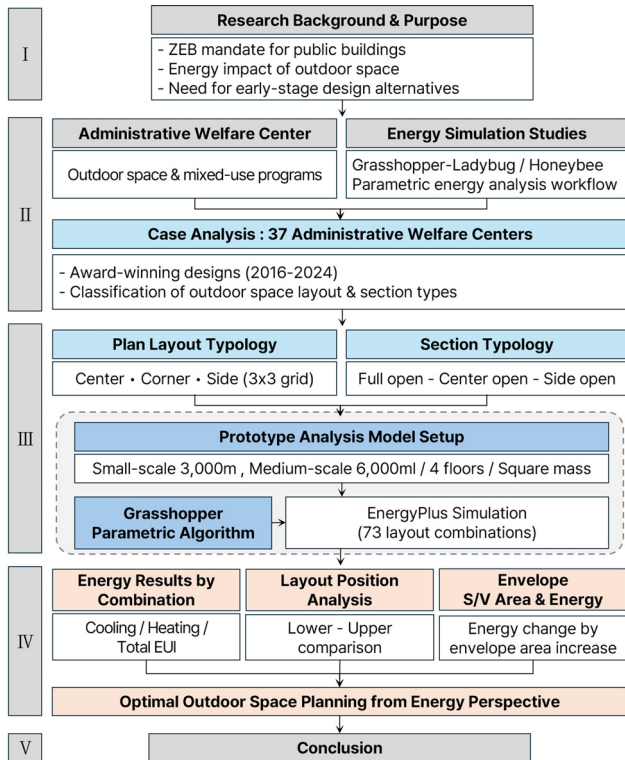


Fig. 1. Flow chart of research

되어 외피면적·채광·열환경에 영향을 미치는 ‘건축적 보이드공간’이다. 또한 행정복지센터 설계공모 지침서를 분석하여 연면적 및 층수의 중간값을 도출하고, 이를 바탕으로 분석모델을 설정하였다.

연구의 흐름은 Fig. 1.과 같다. 첫째, 문헌조사를 통해 행정복지센터의 제도·계획적 변화 및 보이드공간 배치의 중요성을 분석한다. 둘째, 37개 사례에서 보이드공간의 배치 및 단면 유형을 분류 및 분석하고 특성을 도출한다. 셋째, Grasshopper 기반의 시뮬레이션 모델을 구축하고, Ladybug와 Honeybee를 통해 EnergyPlus 시뮬레이션을 수행하여 건물의 에너지 소요량을 분석한다. 넷째, 유형별 결과를 비교하여 에너지 성능 관점에서 최적의 보이드공간 조합을 도출하며, 본 연구에서 보이드공간 계획은 보이드공간의 위치 조합에 따른 배치를 의미한다.

2. 행정복지센터의 건축적 보이드공간과 건물 에너지 해석 시뮬레이션

2.1. 행정복지센터 선행연구 분석 및 보이드공간 계획

2007년 ‘동사무소’의 명칭이 ‘주민센터’로 변경되며 주민 중심 통합서비스 기관으로의 전환이 강조되었고, 2016년에는 ‘복지허브화’ 추진에 따라 읍·면·동 주민센터 명칭을 ‘행정복지센터’로 전환하는 정책이 발표되었다. 이는 민원 중심 공간에서 복지, 돌봄, 주민커뮤니티 프로그램 등을 포함하는 생활SOC형 복합 공공청사로의 계획 전환을 촉진하였다.

행정복지센터의 계획 연구는 저층부 공공성 강화, 외부공간과 가로의 연계, 커뮤니티 기능 복합화, 이용자 행태를 고려한 프로그램

Table 1. Previous studies on administrative welfare centers and generative design

No.	Scope of study	Design target	Tool/Method	Authors
1	Planning characteristics of lower floors and outdoor spaces	Administrative welfare centers in Seoul	Analysis of drawings, photographs, and user behavior	Lee et al.
2	Planning characteristics of mixed-use administrative welfare centers	Mixed-use administrative welfare centers	Analysis of spatial programs and layout composition	Ryu et al.
3	Publicness and principles of spatial organization	Administrative welfare centers in small and medium-sized cities	Typological analysis of planning elements	Lee et al.
4	Planning characteristics of community complex spaces	Community centers and administrative welfare centers	Analysis of user needs and spatial programs	Han
5	Design alternative generation and multi-objective optimization	Architectural layout alternatives	Generative design based on evolutionary algorithms	Jang et al.
6	Automated layout generation considering daylight, view, and energy	Apartment complex layouts	NSGA-II-based generative design with EnergyPlus	Kim et al.

구성 등을 주요 쟁점으로 다룬다. 이나영 외 2인(2024)은 서울시 행정복지센터 사례를 대상으로 외부공간 및 저층부 계획 특징을 공공성 관점에서 분석하여 저층부의 개방성과 공공 프로그램 배치, 외부공간의 연계 전략이 시설 이용 활성화에 기여함을 제시하였다[1]. 또한 이현우 외 1인(2025)은 중소도시 행정복지센터를 대상으로 건축적 공공성 관점에서 공간 계획 특성을 지역 규모, 수요에 따른 복합화 수준 및 공공 공간의 구성 원리를 제안하였다[2]. 류지희 외 1인(2024)은 행정복지센터의 복합화 건축계획을 다뤘으며[3], 한진아(2023)는 주민센터의 커뮤니티 복합공간 계획에 관해 행정시설과 생활 SOC, 커뮤니티 시설의 결합 방식과 프로그램 운영을 계획적 관점에서 검토하였다[4]. 또한 중정은 다층형 공공건축에서 동선의 중심성을 제공하는 핵심 계획 요소로서, 건물 외피 면적 증가 및 일사 조건 변화 등을 통해 에너지 성능에 영향을 미친다[5].

Table 1.과 같이 국내 행정복지센터 계획 연구는 저층부 공공성, 외부공간 연계, 복합화 프로그램 구성 등 공간 계획 특성이 주를 이루고 있다. 반면, 최적화/생성형 설계자동화 연구는 초기 설계 단계에서 대안 생성 및 의사결정 지원의 가능성을 제시하였으나, 행정복지센터와 같이 특정 공공건축 유형에 대해 보이드공간의 배치·개방 방식을 유형화하고 이를 건물 에너지 성능과 직접 연계하여 비교·검증한 연구는 상대적으로 제한적이다.

이와 같이 행정복지센터를 계획과 에너지 관점에서 종합적으로 분석한 기존 연구가 없어, 행정복지센터의 초기 계획 단계에서 보이드공간의 배치 및 개방 방식이 건물 에너지 성능에 미치는 영향에 대한 정량적 검토가 필요하다.

2.2. 에너지 해석 시뮬레이션 프로그램

Rhino Grasshopper는 NURBS 기반 모델링과 시각적 프로그래밍을 결합하여 형태 생성과 성능 분석을 연계하기에 유리하며, Ladybug Tools (Ladybug/Honeybee)는 EPW 기반 기후 데이터 연동 및 EnergyPlus, Radiance 등 엔진을 활용한 에너지·채광 시뮬레이션 워크플로우를 제공한다[6].

본 연구는 행정복지센터 외부공간 계획의 유형별 에너지 특성을 비교하기 위해, (1) 보이드공간 유형을 반영한 시뮬레이션 분석모델 구축, (2) 에너지 시뮬레이션 실행, (3) 결과 데이터 추출 및 비교, 분석한다.

시뮬레이션 설정 조건(운영시간, 내부발열, 외피 열관류율, 창면적비, 기후데이터 등)은 국내 기준(국토교통부 고시 ‘건축물 에너지 절약 설계기준’)과 선행 연구의 입력값을 참고하여 설정한다[7]. 이와 같은 접근방식은 다양한 외부공간 계획의 변화를 효율적으로 반영하여 반복 시뮬레이션을 가능하게 하며, 에너지 특성의 체계적인 비교, 분석에 효과적이다. 이에 따라 Table 2.와 같이 Rhino Grasshopper 및 Add-on 프로그램을 활용하여 알고리즘을 구축하고 시뮬레이션을 실행한다.

Table 2. Algorithm input value

Phase	Program	Phase	Input value
1	Building Geometry and Configuration Rhino Grasshopper	1-1	1-1-1 Building size
			1-1-2 WWR
		1-2	1-2-1 High-rise void
			1-2-2 Low-rise void
2	Environmental and Operational Parameters Ladybug & Honeybee	2-1	2-1-1 Exterior wall materials
			2-1-2 Exterior roof materials
			2-1-3 Exterior floor materials
			2-1-4 Interior floor materials
			2-1-5 Window materials
		2-2 Building program	
		2-3	2-3-1 Occupancy schedule
			2-3-2 Lighting schedule
			2-3-3 Equipment schedule
3	Simulation Execution and Analysis Honeybee -Energy	3-1	3-1-1 Simulation
			3-1-2 Automated layout
		3-2	Simulation results and visualization

3. 보이드공간 배치 평면설계 알고리즘 구성

3.1. 보이드공간 배치를 적용한 알고리즘 구조

Fig. 2.는 알고리즘의 전체적인 구조이며, 알고리즘은 크게 세 단계로 구성된다. 또한 각 단계별 변수는 Table 2.와 같으며, 이는 알고리즘에 적용된 입력 변수의 목록을 정리한 것이다. Fig. 2.는 건물 형상 생성, 보이드공간 조합, 에너지 모델 설정, 시뮬레이션 실행, 결과 추출로 이어지는 시각적 프로그래밍 흐름을 보여주며 Table 2.의 단계(Phase)와 매칭된다. 첫 번째 단계에서는 Rhino와 Grasshopper를 사용하여 기본 건물 정보를 입력하고 건물의 형태를 구성한다. 적용되는 건물의 입력 정보는 건축면적, 층고, 층수, 외부공간의 규모 등이다. 두 번째 단계에서는 Ladybug와 Honeybee를 사용하여 건물 에너지 분석을 위한 기본값을 설정한다. 건물의 프로그램, 재료 및 설비, 기상데이터 등 시뮬레이션을 위한 조건을 설정한다. 세 번째 단계에서는 Colibri와 EnergyPlus를 이용하여 외부공간의 배치 및 에너지소요량을 도출한다.

3.2. 행정복지센터 건축적 보이드공간 유형 분류

일반적인 보이드공간의 대표적인 사례인 ‘중정’의 정의는 기존 연구마다 일부 상이하여, 본 연구의 분석 대상과 직접적으로 대응하지 않는 경우가 있다. Muhaisen (2006)는 중정을 4면이 완전히 폐쇄된 내부 중앙 공간으로 정의하였으나[8], Aldawoud (2008)는 3면 이상이 건물로 둘러싸인 개방형 외부공간을 포함하여 광범위하게 정의하였다[9]. 또한 국내 연구에서는 아트리움과 중정을 혼용하거나, 옥상정원·필로티를 포함하는 등 정의의 경계가 명확하지 않은 사례가 있다[10].

본 연구에서는 이러한 정의의 혼란을 피하고, 건물의 형상 변화와 에너지 성능에 직접적으로 연관되는 공간만을 대상으로 하기 위해 ‘건축적 보이드공간’으로 정의하며, 이를 다음의 3가지 물리적 위치 조건으로 한정하였다.

① 인접하는 벽의 유효 높이가 2개 층 이상인 보이드공간, ② 상부 또는 측면이 외기에 개방되어 비·바람 등 기상 영향을 받는 공간, ③ 옥상정원 제외.

이와 같은 연구가정을 통해 광장과 같은 일반 외부공간과 달리 건

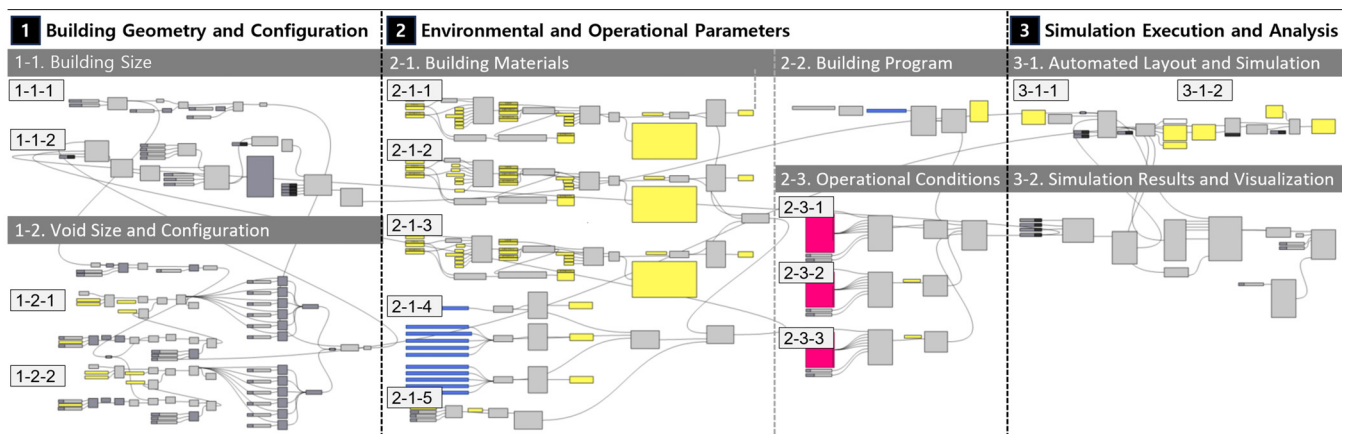


Fig. 2. Overall grasshopper implementation

물의 형상과 직접적으로 결합되어 건물 에너지 성능 변수에 영향을 미치는 공간으로 대상을 제한하였다.

분류 기준은 당선안 사례의 평면 및 단면 자료 분석을 통해 도출하였으며, 보이드 위치에 따른 용어의 정의는 성이용 외 1인(2016)의 연구를 재구성하였다[11]. 보이드공간은 배치 유형에 따라 매스 중심부에 위치하는 중심형, 중심부에서 일부 외부로 개방되는 중심부 3면형, 매스 편측에 위치하는 편심부 2면형 등으로 구분한다. 단면 유형에 따라서는 중정이 상부로 개방되는 상부개방형과, 상부가 폐쇄되거나 다층으로 둘러싸여 상부 개방성이 낮은 고층단면형으로 구분할 수 있다[5].

행정복지센터의 프로토타입 분석모델은 설계공모 지침서 분석을 바탕으로 도출된 규모를 기준으로 소규모와 중규모로 분석모델을 작성하였다. 소규모 모델은 연면적 3,000m², 중규모 모델은 연면적 6,000m²이 기본 모델 크기이며 두 모델 모두 지상 4층 규모이다.

Fig. 3.과 같이 건물의 형태는 건물의 형태는 장단변비 1:1의 정방형 매스로 단순화하였다. 장단변비 등 건물의 형태 요소는 단순화하여 본 연구의 주요 요소인 보이드공간의 배치 및 개방방식과 건물에너지 간의 상관관계에 중점을 둔다. 또한 앞서 가정한 건축적 보이드공간의 정의 및 연구가정①에 따라 보이드공간은 저층부(1~2층)와 고층부(3~4층)에 각각 배치 가능하다.

Table 3.과 같이 37개 사례 중 보이드공간의 사례를 포함하는 17

개이며, 이 중 2개의 사례는 다중 보이드공간을 가진다. 이에 사례에서 추출 가능한 외부공간 유형의 조합은 총 19개이며, 이에 도출된 배치 유형을 시뮬레이션 분석모델로 구현하기 위해, 저층부 및 고층부 외부공간 위치를 각각 3×3 격자 기반의 9개 위치로 단순화하였다. 이는 사례 분포의 집중도 및 시뮬레이션 효율성을 고려한 것이다.

동일한 연면적과 외피 성능 조건을 비교함으로써, 외부공간의 위치와 형태 유형에 따라 에너지 성능에 미치는 상대적 영향을 분리하여 분석 및 해석할 수 있도록 설정하였다. 에너지 분석을 위해 시뮬레이션 분석모델로 구현한 외부공간의 평면 및 입면의 배치는 Fig. 3.과 같이 제한하였다.

저층부에서 외부공간 위치와 고층부 외부공간의 위치 조합에 따른 유형의 총 조합은 73개이다. 본 연구에서 보이드공간의 정의에 따라 저층부 L-5 위치일 때, 고층부의 위치는 H-e의 단일조합만 가능하며, 이 외 다른 저층부의 위치는 모든 고층부와 매칭 가능하다. 73개의 위치 조합은 외피면적에 따라 9개로 구분된다. 외피면적은 4면의 전체 개방(L-5&H-e), 3면의 전체 개방(L-2&H-b 외), 2면의 전체 개방(L-1&H-a 외), 2-2면 교차개방(L-1&H-c 외), 2-3면 교차개방(L-1&H-b 외), 3-3면 교차개방(L-2&H-f 외), 2-4면 교차 개방(L-1&H-e), 3-4면 교차 개방(L-2&H-e)과 같이 구분된다. 외피면적의 크기는 '4면 전체>3-4면 교차>3-3면 교차=2-4면 교차>2-3면 교차>3면 전체>2-2면 교차>2면 전체'이다.

본 연구에서 다루는 (1) 외피면적과 (2) 중정과 같은 보이드공간은 건물 에너지 성능에 영향 미치는 주요한 패시브요소이다.

외부공간의 위치 조합에 따라 건물의 외피면적이 달라지며, 본 연구에서 에너지 결과값에 영향을 미치는 외피면적비는 증가할수록 외기에 면하는 단위 체적당 표면적이 커져, 동절기 열손실과 하절기 열취득이 모두 증가한다. Depecker et al. (2001)은 다양한 건물 형태를 대상으로 한 시뮬레이션에서 형태계수(S/V)가 0.1 증가할 때 난방에너지소요량이 평균 약 8~12% 증가함을 보고하였다[12]. 또 Granadeiro et al. (2013)은 주거건물을 대상으로 S/V비와 연간 에

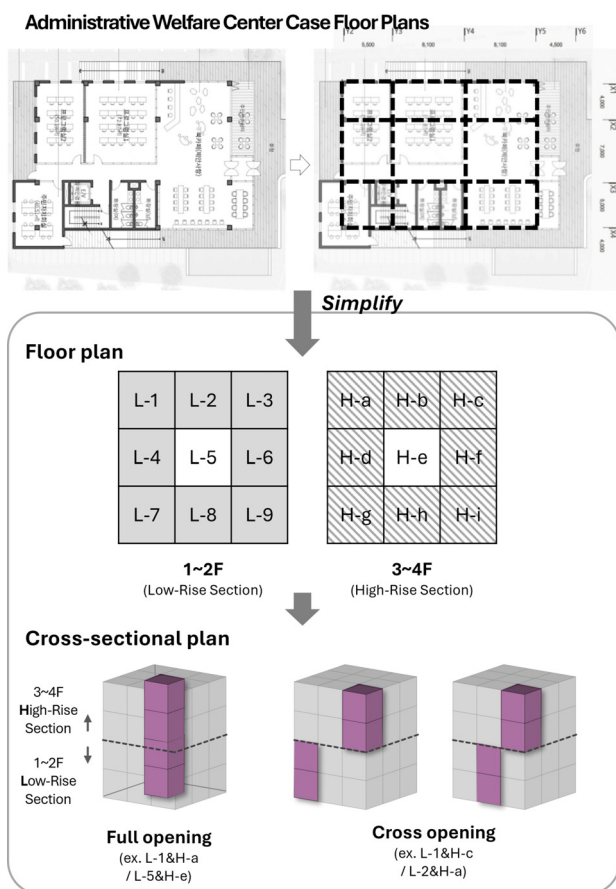


Fig. 3. Derivation of void space types based on floor plan simplification

Table 3. Courtyard planning according to layout typologies

Category	Layout	Number of cases	Case drawing
Floor (total 19 cases)	Center	3	
	Corner side	4	
	Side-centered	12	
Cross-sectional (total 19 cases)	Upper full open	8	
	Upper center open	7	
	Upper side open	4	

너지소요량의 양의 상관관계($R^2=0.89$)를 확인하였다[13]. 국내 기준인 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’에서도 외피면적이 에너지 성능의 직접 변수임을 명시하고 있으며, 특히 연면적 3,000m² 미만 소규모 건물에서는 동일한 외피면적 변화가 전체 에너지소요량에 미치는 영향이 대규모 건물 대비 1.3~1.7배 크게 나타나는 경향이 있다[7].

기존 매스 형태 건물에 중정과 같은 보이드공간을 도입할 경우, 외피면적 증가에 의한 열손실 증가와 자연채광 등에 의한 부하 저감 효과가 상충적으로 나타난다. Cantón et al. (2014)은 온대기후를 대상으로 분석하여, 중정 도입 시 연간 총 에너지소요량이 약 6.9% 감소하며, 자체 성능까지 최적화한 경우 최대 11.16% 절감이 가능함을 제시하였다[14]. 반면 Aldawoud (2008)는 고온다습 기후에서 중정 도입 시 냉방부하가 오히려 7~15% 증가하는 사례를 확인하였으며[15], 이는 기후 조건과 배치 방식에 따라 중정의 에너지 효과가 상이함을 나타낸다. 또한 EnergyPlus를 활용한 정남영 외(2016)에 따르면, 저층 건물에서는 아트리움의 배치 방식이 냉방부하 변동($\pm 12\%$)에 크게 영향을 미치며, 고층 건물에서는 외벽면적 증가로 인한 난방부하 변동($\pm 8\%$)이 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있다[16]. 즉, 보이드공간의 에너지 영향은 외피면적 증가에 따른 부하

증가와 채광·개방성 확보에 따른 잠재적 이점이 복합적으로 작용하므로, 배치와 개방 방식을 함께 고려한 정량적 검토가 필요하다.

3.3. 분석모델 해석을 위한 시뮬레이션 설정

37개 행정복지센터 설계지침서 내 면적 개요를 분석하여 시뮬레이션을 위한 2개 규모의 분석모델을 설정하였다. 프로토타입 모델의 규모는 ‘서울특별시 녹색건축물 설계기준(2025)’에서 구분하는 규모군 중 소규모와 중규모에 해당하는 수준이다[17]. 규모군에 따른 분포는 Table 4.와 같다.

사례분석에 따르면 행정복지센터의 중간 크기는 약 1,900m²이며, 면적이 가장 많이 분포한 3,000m²와 6,000m²를 프로토타입으로 설정하여 연구를 진행하였으며, 대지 크기에 대한 제한은 제외하였다.

에너지 분석 시뮬레이션을 위한 설정값은 Table 5.와 같다. 창면적비, 외피 열관류율, 운영시간 등 입력조건은 국내 기준을 만족하는 수준으로 설정하였다. 채실자 밀도, 조명 밀도, 내부 발열 등은 빌딩 유형에 따라 제공되는 프로그램의 기본 설정값을 적용하였다. 다만 운영 조건은 유형 간 상대 비교를 위한 통제 변수로, EnergyPlus의 Medium Office – Open Office 프로파일을 기준으로 채실자 밀도, 조명밀도, 기기발열, 운영시간을 동일하게 적용하였다. HVAC 조건 역시 보이드공간 유형 간 비교의 일관성을 위해 동일 시스템 조건으로 단순화하였다.

4. 건축적 보이드공간 배치에 따른 행정복지센터의 건물 에너지 특성

4.1. 유형별 건물 에너지소요량 결과

본 연구에서 시뮬레이션을 통해 산출한 냉방 및 난방 에너지소요량은 단위면적당 최종에너지 기준의 결과로 공공건축물 에너지 성능 평가에서 활용되는 1차에너지소요량과는 구분된다. 이에 본 연구에서는 결과값 수치를 시뮬레이션의 최종에너지 기준으로 제시하되, 1차에너지 기준 해석을 위해 에너지원별 환산계수를 적용한 수치를 Table 6.에 함께 제시하였다.

본 연구는 저층부(L)와 고층부(H)의 외부공간 위치 조합을 총 73개 유형으로 분류되어 분석하였으며, 각 유형에 대해 3,000m²와 6,000m² 규모의 프로토타입 모델을 비교하였다. 이러한 조건은 보이드공간의 위치와 단면 개방 방식에 따른 상대적 에너지 영향을 분리하여 해석하기 위한 것이다. 시뮬레이션 결과(냉방, 난방, 총 에너지소요량)는 Table 7.과 같다. 배치 조합에 따라 연면적 3,000m²와 6,000m² 규모별 최고, 최저 에너지소요량은 표 내 음영으로 강조하였다. 시뮬레이션 결과, 동일한 연면적과 외피 성능, 운영조건을 적용한 경우에도 보이드공간의 위치 조합에 따라 냉방, 난방 및 총 에너지소요량에 차이가 나타났다.

Fig. 4.와 같이 연면적 3,000m²의 총 에너지소요량은 약 109.19~119.09 kWh/m² 범위로 나타났으며, 6,000m² 규모는 약 96.31~104.03 kWh/m² 범위로 나타났다. 3,000m² 규모의 보이드 공간에서는 저층부의 북측과 고층부의 중심부에 위치하는 L-2&

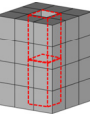
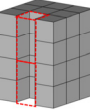
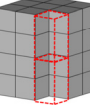
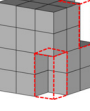
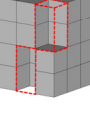
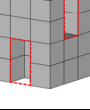
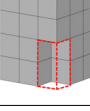
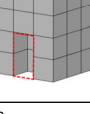
Table 4. Area status of administrative welfare centers

Building scale	Total floor area range (m ²)	Number of cases	Number of floors (avg.)
Small-Scale (~3,000m ²)	0~1,000	1	3
	1,000~2,000	18	3
	2,000~3,000	10	4
	Subtotal	29	-
Medium-Scale (3,000~10,000m ²)	3,000~5,000	4	4
	5,000~10,000	2	4
	Subtotal	6	-
Total		35	-

Table 5. Simulation setting condition input

Classification		Condition	
Building	Location	Seoul	
	Building type	Office building	
	Gross floor area	2,998.5m ²	5,997.3m ²
	Building area	761.76m ²	1,500m ²
	Aspect ratio	1:1	
	Height (number of floors)	16m (4 Floors)	
	Slab to slab height	4.0m	
	WWR	50%	
	U-value	Exterior wall	0.24W/m ² ·K
		Exterior roof	0.15W/m ² ·K
		Exterior floor	0.2W/m ² ·K
		Interior floor	0.42W/m ² ·K
	Window construction	U-value	1.5W/m ² ·K
		SHGC	0.4
		Visible light transmission	0.4
Operational environment	Program	Medium office-open office	
	Occupant density	0.057people/m ²	
	Lighting power density	6.6W/m ²	
	Equipment power density	10.3W/m ²	
	Operation time	07:00~19:00	

Table 6. Area status of administrative welfare centers (6,000m²)

Type	Envelope area		Representative image	Combination
	Avg. energy [kWh/m ²]			
Fully Open on 4-Sides	4,633.68m ²			1EA (L-5&H-e)
	Cooling	80.44		
	Heating	23.60		
	Total	104.03		
	*PEE	286.08		
Fully Open on 3-Sides	4,220.88m ²			4EA (L-2&H-b,L-4&H-d, L-6&H-f,L-8&H-h)
	Cooling	79.30		
	Heating	21.16		
	Total	100.46		
	PEE	276.27		
Fully Open on 2-Sides	3,808.08m ²			4EA (L-1&H-a,L-3&H-c, L-7&H-g,L-9&H-i)
	Cooling	77.22		
	Heating	19.34		
	Total	96.55		
	PEE	265.51		
Cross-Open on 2-2 Sides	4,140.9m ²			12EA (L-1&H-c,L-1&H-g, L-1&H-i,L-3&H-g, L-3&H-i etc.)
	Cooling	77.24		
	Heating	19.28		
	Total	96.52		
	PEE	265.43		
Cross-Open on 2-3 Sides	4,347.30m ²			32EA (L-1&H-b,L-1&H-d, L-1&H-f,L-1&H-h, L-2&H-a etc.)
	Cooling	78.86		
	Heating	20.10		
	Total	98.96		
	PEE	272.14		
Cross-Open on 3-3 Sides	4,553.70m ²			12EA (L-2&H-d,L-2&H-f, L-2&H-h,L-4&H-b, L-4&H-f etc.)
	Cooling	80.20		
	Heating	21.01		
	Total	101.21		
	PEE	278.33		
Cross-Open on 2-4 Sides	4,553.70m ²			4EA (L-1&H-c,L-3&H-e, L-7&H-e,L-9&H-e)
	Cooling	77.40		
	Heating	22.64		
	Total	100.04		
	PEE	275.11		
Cross-Open on 3-4 Sides	4,760.10m ²			4EA (L-2&H-e,L-4&H-e, L-6&H-e,L-8&H-e)
	Cooling	79.69		
	Heating	22.33		
	Total	102.02		
	PEE	280.56		

*Primary energy equivalent [kWh/m²·yr]

H-e 조합이 가장 높은 총 에너지소요량을 보였고, 반대로 보이드공간이 편측 또는 모서리 방향으로 배치된 L-7&H-g 조합이 가장 낮은 값을 나타냈다. 6,000m² 규모에서는 L-5&H-e 조합이 가장 높은 값을, L-7&H-c 조합이 가장 낮은 값을 보였다. 이는 보이드공간의 위치 조합에 따라 동일 규모 내에서도 총 에너지소요량의 차이가 발생하며, 그 영향은 특히 연면적 3,000m² 모델에서 더 크게 나타났다.

또한 두 규모 모두에서 냉방에너지소요량은 난방에너지소요량보다 절대값이 크게 나타났다. 특히 총 에너지소요량의 변동 폭의 경우, 냉방에너지소요량은 6% 내외의 차이이나 난방에너지소요량은

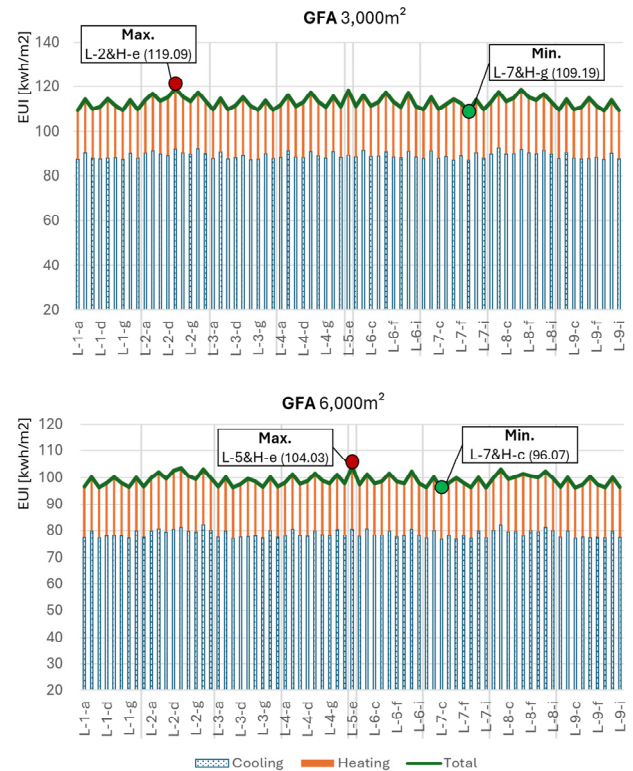


Fig. 4. Energy load result

약 23~31%까지 차이남을 확인하였다. 이는 보이드공간의 배치로 인해 외기에 접하는 면이 증가할수록 동절기 열손실이 크기 때문으로 분석된다. 특히 3,000m² 규모에서는 H-e 유형을 포함하는 조합에서 난방에너지소요량의 증가가 컸으며, 이는 총 에너지소요량의 상승으로 연결된 것으로 파악된다.

4.2. 위치유형별 특성 분석

저층부 보이드공간 평면 위치별 평균값을 비교한 결과, 모든 규모에서 L-2, L-8, L-4, L-6 유형의 총 에너지소요량이 상대적으로 높게 나타난 반면, L-9, L-1, L-3, L-7 유형은 상대적으로 낮음을 나타낸다. 특히 중심부에 해당하는 L-5는 단일 조합(H-e)만 가능함에도 불구하고 비교적 큰 에너지소요량을 나타냈다. 이는 저층부 보이드공간이 매스 북측 또는 중심에 위치할 때 에너지 관점에서 가장 불리한 조건임을 의미한다. 반면 편측 또는 코너에 위치한 경우 보이드공간에 따른 건물의 형상 변화는 상대적으로 제한되어 총 에너지소요량이 낮게 나타났다.

위치별 차이는 연면적 3,000m² 모델에 비해 연면적 6,000m²에서 상대적으로 완만하게 나타났다. 이는 규모가 커질수록 동일한 보이드공간 면적이 건물 전체 외피 대비 차지하는 비율이 감소하여, 보이드공간 위치 변화의 상대적 영향이 적어지는 것으로 해석된다. 이를 통해 보이드공간의 평면 위치는 두 규모 모두에서 에너지 성능에 영향을 미치지만, 그 민감도는 연면적 3,000m² 모델에서 더 크게 나타남을 알 수 있다.

고층부 단면 위치별 비교에서는 두 규모 모두 H-e 유형에서 총 에너지소요량이 가장 높게 나타나는 경향이 확인되었다. 반면 H-a,

Table 7. Simulation result

Low-rise	High-rise	Small-Scale (3,000m ²)			Medium-Scale (6,000m ²)			Low-rise	High-rise	Small-Scale (3,000m ²)			Medium-Scale (6,000m ²)		
		*C	*H	*Total	C	H	Total			C	H	Total	C	H	Total
L-1	H-a	87.32	22.29	109.61	77.36	19.36	96.71	L-6	H-a	88.34	23.04	111.38	77.77	19.69	97.46
	H-b	90.53	23.85	114.38	79.87	20.35	100.23		H-b	91.47	24.68	116.15	80.57	20.76	101.32
	H-c	87.80	22.27	110.07	77.14	19.32	96.47		H-c	88.45	23.10	111.54	78.15	19.73	97.88
	H-d	87.52	23.62	111.14	77.96	20.10	98.07		H-d	88.67	24.44	113.11	78.21	20.50	98.71
	H-e	87.82	26.72	114.54	77.88	22.33	100.22		H-e	90.94	26.37	117.31	79.82	21.76	101.58
	H-f	88.09	23.60	111.70	77.94	20.09	98.03		H-f	88.28	24.99	113.27	77.62	20.98	98.60
	H-g	87.35	22.21	109.56	77.27	19.28	96.55		H-g	88.03	23.03	111.05	78.19	19.69	97.88
	H-h	90.32	23.73	114.05	79.88	20.27	100.15		H-h	91.13	25.93	117.06	80.47	21.86	102.33
	H-i	87.78	22.13	109.91	77.56	19.23	96.79		H-i	88.39	23.00	111.39	78.27	19.67	97.94
L-2	H-a	90.40	23.56	113.96	79.87	20.14	100.01	L-7	H-a	87.73	22.21	109.93	77.13	19.29	96.41
	H-b	91.38	25.46	116.84	80.52	21.46	101.98		H-b	91.31	23.84	115.15	79.95	20.36	100.31
	H-c	89.95	23.63	113.58	79.46	20.19	99.65		H-c	87.81	22.27	110.07	76.74	19.33	96.07
	H-d	88.88	26.38	115.26	80.37	22.20	102.57		H-d	88.56	23.60	112.16	77.92	20.10	98.02
	H-e	92.16	26.93	119.09	81.22	22.23	103.45		H-e	87.03	27.40	114.43	76.82	23.15	99.97
	H-f	90.42	24.97	115.39	79.76	20.95	100.71		H-f	88.92	23.60	112.52	77.92	20.10	98.01
	H-g	89.89	23.53	113.43	79.47	20.12	99.59		H-g	86.95	22.25	109.19	77.10	19.34	96.44
	H-h	92.21	25.07	117.28	82.00	21.12	103.11		H-h	90.41	23.72	114.14	79.84	20.28	100.12
	H-i	90.12	23.46	113.58	79.92	20.07	100.00		H-i	87.78	22.13	109.90	77.14	19.24	96.37
L-3	H-a	87.60	22.30	109.90	77.50	19.34	96.83	L-8	H-a	89.97	23.34	113.30	79.92	20.00	99.92
	H-b	90.72	23.94	114.66	79.90	20.41	100.31		H-b	92.47	24.98	117.45	82.06	21.07	103.13
	H-c	87.49	22.46	109.95	77.03	19.48	96.51		H-c	90.00	23.40	113.40	79.51	20.04	99.56
	H-d	88.02	23.70	111.72	77.52	20.15	97.68		H-d	90.10	24.73	114.84	79.66	20.81	100.48
	H-e	89.11	26.15	115.26	77.68	21.95	99.63		H-e	91.89	26.59	118.48	77.90	23.52	101.42
	H-f	87.13	24.36	111.49	77.98	20.72	98.70		H-f	90.46	24.73	115.19	79.95	20.81	100.76
	H-g	87.42	22.29	109.72	77.23	19.34	96.57		H-g	90.06	23.94	113.99	79.53	20.54	100.07
	H-h	90.02	23.81	113.83	79.94	20.33	100.27		H-h	91.49	25.06	116.56	81.20	21.19	102.39
	H-i	87.64	22.22	109.87	77.51	19.29	96.80		H-i	90.01	23.26	113.27	79.92	19.95	99.87
L-4	H-a	88.18	23.77	111.94	77.88	20.32	98.20	L-9	H-a	87.73	22.09	109.82	77.44	19.21	96.66
	H-b	91.34	24.69	116.04	80.48	20.77	101.25		H-b	90.56	23.73	114.29	79.90	20.29	100.19
	H-c	88.31	23.11	111.42	78.09	19.74	97.83		H-c	87.80	22.15	109.95	77.05	19.26	96.31
	H-d	88.15	25.03	113.17	77.85	21.01	98.86		H-d	87.56	23.49	111.04	77.49	20.03	97.52
	H-e	90.99	26.40	117.39	79.83	21.79	101.61		H-e	87.57	27.32	114.89	77.23	23.12	100.35
	H-f	88.87	24.45	113.32	78.49	20.51	98.99		H-f	88.11	23.48	111.59	77.45	20.02	97.47
	H-g	87.84	23.11	110.94	78.14	19.74	97.88		H-g	87.36	22.09	109.45	77.18	19.22	96.40
	H-h	91.00	24.60	115.59	80.42	20.70	101.12		H-h	90.31	23.61	113.92	79.85	20.21	100.06
	H-i	88.24	22.97	111.21	78.22	19.65	97.87		H-i	87.53	22.03	109.56	77.37	19.17	96.54
L-5	H-e	89.31	28.96	118.27	80.44	23.60	104.03	*C: Cooling load, H: Heating load, Total: Total energy load [kwh/m ²]							

H-c, H-g, H-i 유형은 상대적으로 낮은 총 에너지소요량을 보였다. 이는 상부 보이드공간이 다면 개방에 가까운 방식으로 형성될수록 외기에 접하는 면적이 증가하기 때문으로 분석된다. 특히 소규모에서는 H-e 유형의 난방에너지소요량 증가가 커 전체 에너지소요량이 크게 늘었으며, 중규모에서도 H-e 유형의 증가 경향이 유지되지만, 전체 변동 폭은 다소 작은 편이다. 따라서 단면 개방 방식은 보이드공간 배치 시, 평면 위치와 결합될 때 그 영향이 더욱 크게 작용한다.

또한 외피면적이 가장 큰 유형인 L-5&H-e 조합은 중규모에서 총 에너지소요량이 가장 크게 나타났다. 반대로 2면 전체 개방 유형인 L-1&H-a 또는 L-9&H-a 조합은 상대적으로 낮은 값을 보였다. 이는 보이드공간 배치로 인해 외피면적이 증가할수록 난방에너지소요량이 증가하며, 총 에너지소요량이 커진다. 다만 모든 조합에서 외피면적 증가와 총 에너지소요량 증가가 완전히 선형적으로 일치하는 것은 아니며, 동일 외피면적 그룹 내에서도 보이드공간의 위치, 상하부 연계 방식 등에 따라 일부 다르게 나타났다.

Table 6. 및 Table 7.과 같이 보이드공간 유형에 따른 외피면적 변화와 총 에너지소요량은 중규모에서 외피면적이 가장 큰 L-5&H-e 조합에서 총 에너지소요량이 가장 높게 나타났다(104.03kWh/m²). 반면 외피면적이 가장 작은 L-9&H-c 조합에서는 96.31kWh/m²로 약 7.4% 낮은 값을 나타내, 외피면적 증가에 따른 에너지소요량의 상승을 확인할 수 있었다. 따라서 외피면적은 에너지 성능에 큰 영향을 미치는 변수이나, 보이드공간의 위치 및 단면 구성까지 통합적으로 고려되어야 한다.

본 연구 결과에서 보이드공간의 중심 집중 및 다면 개방 조합이 높은 에너지소요량을 보인 것은 앞서 분석한 선행연구 중 외피면적 및 형태계수 증가가 에너지소요량 증가와 관련된다는 Depecker et al. (2001), Granadeiro et al. (2013)의 연구 경향과 유사하다. 또한 중정 및 아트리움의 에너지 영향이 배치, 기후, 개방 조건에 따라 상이하게 나타난다는 Aldawoud (2008), 정남영 외(2016)의 결과와도 연관되어 분석된다.

다만 본 연구는 실측 기반 검증이 아닌 시뮬레이션 기반 비교 연구

이므로, 향후 실제 행정복지센터 사례의 에너지 사용량 또는 상세 BEMS 모델과의 교차 검증이 필요하다.

4.3. 에너지 측면의 최적 보이드공간 배치

행정복지센터의 보이드공간 배치는 단순히 공공성이나 공간적 개방감의 확보 차원을 넘어서 건물 에너지 성능에 직접적인 영향을 미치는 설계 변수로 작용한다. 특히 보이드공간이 저층부와 고층부 모두 중심부에 배치되거나, 다면 개방에 가까운 방식으로 중첩될 경우 외피면적 증가로 인해 총 에너지소요량이 증가하는 경향을 보인다. 반대로 보이드공간이 편측 또는 코너부에 배치되고, 상부 개방 역시 중심 집중형(H-e)을 피하는 경우 상대적으로 낮은 에너지 성능을 확보할 수 있다. 따라서 보이드공간은 편측 또는 코너 배치를 우선 검토하고, 고층부는 중심집중형(H-e)보다 코너 단면형을 채택하는 것이 에너지 성능에 유리한 것으로 분석된다.

건물의 에너지 효율 관점에서 최적의 건축적 보이드공간 배치는 해당 공간을 완전히 배제하는 것이 아니라, 외피면적 증가를 최소화하면서도 공공적 활용성과 개방감을 유지할 수 있는 위치와 단면 조합을 구성해야 한다. 본 연구 결과는 행정복지센터 초기 계획 단계에서 건축적 보이드공간의 배치 전략을 정량적으로 판단할 수 있으며, 향후 공공건축 기초 설계안 검토 및 에너지 대안 등의 기준이 될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구는 행정복지센터의 건축적 보이드공간 배치 계획에 따른 건물 에너지 특성을 분석하기 위해, 37개 사례를 기반으로 보이드공간 유형을 분류하고, 분석모델을 Grasshopper 기반 분석모델로 구현하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 연구 결과는 다음과 같이 정리된다.

첫째, 연면적 3,000m² 모델의 총 에너지소요량은 약 109.19~119.09 kWh/m², 연면적 6,000m² 모델은 약 96.31~104.03kWh/m² 범위로 나타났으며, 동일 규모 내에서도 보이드공간의 위치 조합에 따라 최대 약 9.9kWh/m²의 차이가 발생하였다.

둘째, 보이드공간이 매스 중심부에 집중되는 조합은 가장 높은 에너지소요량을 나타낸 반면, 편측 또는 코너에 배치된 조합은 가장 낮은 값을 보여, 보이드공간의 평면 위치가 외피면적 변화를 통해 에너지 성능에 직접적으로 영향을 미침을 확인하였다. 다만 본 연구에서는 보이드공간 위치에 따른 외피면적을 중심으로 분석하였으며, 이외 일사취득량, 자연채광 등 타요소는 세부 변수로 분리하여 분석에서 제외하였다. 이에 추후 연구에서 세부 요소를 복합적으로 고려한 연구가 필요하다.

셋째, 고층부 단면 위치 유형 중 H-e 유형은 두 규모 모두에서 가장 높은 에너지소요량을 나타내었으며, H-a, H-c, H-g, H-i 유형은 상대적으로 낮은 값을 보였다. 이는 상부 보이드공간이 다면 개방에 가까울수록 외기 접촉 면적이 증가하기 때문이며, 단면 개방 방식이 평면 위치와 함께 작용할 때 그 영향이 더욱 크게 작용함을 알 수 있다. 건물이 소규모일수록 민감도가 높게 나타나 보이드공간의 위

치 선정이 에너지 성능에 미치는 영향이 더욱 중요함을 확인하였다.

이에 건물의 에너지 성능 관점에서는 코너부 배치와 같이 외피면적 증가가 제한적인 조합이 상대적으로 유리하며, 편측 배치는 방향 및 고층부 개방 방식에 따라 결과값의 차이가 나타났다. 따라서 실제 설계에서는 보이드공간의 위치를 단순히 코너 또는 편측으로 일반화하기보다, 방위와 단면 개방 방식, 자연채광, 환기, 공공 프로그램 운영 등을 함께 고려할 필요가 있다.

본 연구는 행정복지센터의 보이드공간 배치를 유형화하고 성능 분석과 연계함으로써, 초기 설계 단계에서 적용 가능한 보이드공간 배치 전략을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 다만 본 연구는 서울 기후 조건과 정방형 매스의 프로토타입 모델을 전제로 하였으므로, 향후 다양한 기후 지역·건물 형태·외피 성능 조건으로 연구 범위를 확장하고, 보이드공간 내 자연환기 효과 및 일사 취득 조건을 세분화한 후속 연구가 필요하다. 또한 향후 연구에서는 장방형, L자형, 복합형 등 실제 행정복지센터에서 나타나는 다양한 평면 형상으로 분석모델을 확장하고, 보이드공간의 위치 변화가 형상비와 결합될 때의 에너지 특성을 추가적으로 검토할 예정이다.

Acknowledgement

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 이나영, 고준호, 김효정, 공공성 관점에서의 행정복지센터의 외부공간 및 저층부 계획 특성-서울시 사례를 중심으로-, 대한건축학회논문집, 제40권 제10호, 2024.10, pp.47-58. // (N.Y. Lee, J.H. Koh, H.J. Kim, Examining publicness in the planning of exterior and lower space in administrative welfare centers -Focused on the case of Seoul-, Architectural Institute of Korea, 40(10), 2024.10, pp.47-58.)
- [2] 이현우, 윤동식, 중소도시 행정복지센터 건축계획에 관한 연구-건축적 공공성을 중심으로-, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제45권 제1호, 2025.04, pp.100-103. // (H.W. Lee, D.S. Yoon, A study on the architectural planning of administrative welfare center in small and medium cities -A focus on architectural publicness-, Korea: Conference Journal of AIK, 45(1), 2025.04, pp.100-103.)
- [3] 류지희, 윤동식, 행정복지센터의 복합화 건축계획에 관한 연구 -대민업무시설과 생활SOC시설을 중심으로-, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2024.04, pp.37-40 // (R.J. Ryu, D.S. Yoon, A study on the complex building plan of administrative welfare center - Focused on public service facilities and living SOC facilities -, Korea: Proceedings of the Architectural Institute of Korea, 2024.04, pp.37-40.)
- [4] 한진아, 주민센터의 커뮤니티 복합공간 계획에 관한 연구 -송파구 장지동 복합커뮤니티센터 계획-, 홍익대학교 석사학위논문, 2023, pp.15 // (J.A. Han, A study on the planning of community complex space in community service centers - Focused on the complex community center plan in Jangji-dong, Songpa-gu- (Master's thesis), Korea: Hongik University, 2023.)
- [5] 권주현, 정선철, 오준길, 행정복지센터 중정 계획에 따른 건물 에너지 특성, 한국: 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제25권 제2호, 2025.11, pp.172-173. // (J.H. Kwon, S.C. Jung, J.G. Oh, Energy performance of administrative welfare centers according to courtyard design, Korea: Conference Journal of KIEAE, 25(2), 2025.11, pp.172-173.)
- [6] 문하은, 오준길, 최소 냉난방 부하량 도출을 위한 오피스 빌딩 배치 및 폭·깊이 설계 자동화, KIEAE Journal, 제25권 제3호, 2025.06, pp.91-98 // (H. Moon, J.G. Oh, Automation design for office building site planning and width-depth alternatives for minimal heating and cooling

- load, KIEAE Journal, 25(3), 2025.06, pp.91-98)
- [7] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, [https://www.law.go.kr/행정규칙/건축물의에너지절약설계기준\(2025-738,20251216\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/건축물의에너지절약설계기준(2025-738,20251216)), 2025.12. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Standards for energy-saving design of buildings, [https://www.law.go.kr/행정규칙/건축물의에너지절약설계기준\(2025-738,20251216\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/건축물의에너지절약설계기준(2025-738,20251216)), 2025.12.)
- [8] A.S. Muhaisen, Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions, Building and Environment, 41(12), 2006, pp.1731-1741.
- [9] A. Aldawoud, R. Clark, Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings, Energy and Buildings, 40(3), 2008, pp.209-214.
- [10] 이지영, 손장열, 이영균, 친환경적 아트리움을 위한 개구부 계획, 대한건축학회논문집, 제26권 제1호, 2010.01, pp.159-166. // (J.Y. Lee, J.Y. Son, Y.K. Lee, Planning conditions of opening for environment-friendly atrium, Architectural Institute of Korea, 26(1), 2010.01, pp.159-166.)
- [11] 성이용, 윤희진, 국내외 초등학교 내 중정공간의 형태와 유형에 관한 비교연구를 통한 특성 분석, 예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지, 제6권 제7호, 2016.07, pp.451-459. // (Y.Y. Sung, H.J. Yoon, A characteristics analysis through comparative study on form and type of the elementary school courtyard in cases of domestic and foreign country, Journal of Arts, Humanities and Social Convergence Multimedia, 6(7), 2016.07, pp.451-459.)
- [12] P. Depecker et al., Design of buildings shape and energetic consumption, Building and Environment, 36(5), 2001, pp.627-635.
- [13] V. Granadeiro et al., Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages, Energy and Buildings, 61, 2013, pp.215-223.
- [14] M.A. Cantón et al., Courtyards as a passive strategy in semi-dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building, Renewable Energy, 69, 2014, pp.437-446.
- [15] A. Aldawoud, Thermal performance of courtyard buildings, Energy and Buildings, 40(5), 2008, pp.906-910.
- [16] N.Y. Jeong, J.Y. Lee, C.U. Chae, Heating and cooling load of building according to atrium layout, KIEAE Journal, 16(1), 2016, pp.29-36.
- [17] 서울특별시, 서울특별시 녹색건축물 설계기준, <https://www.law.go.kr/LSW/ordinInfoP.do?ordinSeq=1904837>, 2023.12. // (Seoul Metropolitan Government, Seoul Metropolitan Government green building design standard, <https://www.law.go.kr/LSW/ordinInfoP.do?ordinSeq=1904837>, 2023.12.)

1) “읍면동 복지허브화, 주민센터→주민복지센터 명칭 변경”

2) 조달청 나라장터, 행정복지센터 설계공모 공고/지침서 자료, <https://www.g2b.go.kr>, 2026.01.