



ECO2를 활용한 업무시설의 규모와 장단변비에 따른 에너지 요구량 분석

Analysis of Energy Demand Based on Office Building Scale and Lateral to Longitudinal Ratio using ECO2

정선철* · 오준걸**

SunChul Jung* · JoonGul Oh**

* Graduate Student, 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: The government is implementing various policies and systems to reduce energy consumption in buildings, including the certification of building energy efficiency ratings and the strengthening of energy-saving design standards for buildings. The purpose of this study is to analyze cooling and heating energy demand by combining factors such as total floor area, number of floors, window-to-wall ratio, and lateral-to-longitudinal ratio, rather than focusing solely on the performance of the building envelope. This study aims to identify the optimal combination of factors that contribute to minimizing energy demand. It proposes a building form that can be predicted based on the scale of office buildings during the architectural planning and design stages, with the intention of using it as a reference. **Method:** The methodology of this study involved creating various office building models by combining different total floor areas, numbers of floors, window-to-wall ratios, and lateral-to-longitudinal length ratios, and then conducting simulations using the ECO2 program. **Result:** The analysis showed that the total energy demand was lowest for a 5-floor building with a window-to-wall ratio of 30%, and highest for a 20-floor building with a window-to-wall ratio of 60%. Additionally, for all total floor areas, the energy demand was lowest at a lateral-to-longitudinal length ratio of 1:1.5, while the highest total energy demand was recorded at 2.5:1.

KEYWORD

업무시설
연면적
층수
장단변비
에너지요구량

Office Building
Total Floor Area
Number of Floors
Lateral to Longitudinal Length Ratio
Energy Demand

ACCEPTANCE INFO

Received Oct. 8, 2024
Final revision received Apr. 15, 2025
Accepted Apr. 18, 2025

© 2025. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 우리 정부는 건축물 에너지 소비를 감축하기 위하여 건축물 에너지효율등급 인증 및 건축물의 에너지절약설계기준 강화 등 다양한 정책 및 제도를 시행하고 있다. ‘녹색건축물 조성 지원법 시행령 제10조 제1항(시행 2023. 12. 19.)’에 따르면 연면적의 합계가 500m² 이상인 건축물에 대해서는 건축물 에너지 절약계획서 제출을 의무화하여 녹색건축물의 조성을 촉진하고 있다[1]. 또한 건축물 에너지 절약계획서에서 건축 부문의 경우 건축물 에너지 절약을 위해 건축물의 외벽 단열 성능 강화 및 고성능 창호의 기밀 성능 강화, 외부 차양, 이중 외피 등의 사용이 건축물 에너지 성능을 향상시키는 방안으로 대부분 사용된다. 이에 본 연구의 목적은 건축물 외피 성능이 아닌 연면적, 층수, 창면적비, 장단변비 등의 요소 조합을 통해 냉방과 난방에너지 요구량을 분석하여 에너지 요구량을 최소화할 수 있는 요소의 유형 조합을 도출하고자 한다. 이를 통해 건축계획 및 설계단계에서 업무시설의 규모에 따라 예측할 수 있는 건축물의 형태를 제안하였으며, 이를 참고 자료로 활용하고자 하였다. 본 연구에서는 연면적(Total Floor Area 이하 TFA)에 따라 결정되는 바닥면적(Floor Area 이하 A)과 층수

(Number of Floors 이하 NF)를 ‘업무시설의 규모’로 한정하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위 및 방법은 서울시의 업무시설을 대상으로 연면적에 따라 소, 중, 대로 구분하였으며, 연면적별로 층수, 창면적비, 장단변비 등 건축 요소의 다양한 유형 조합 448개를 건축물 에너지효율등급 인증 평가프로그램인 ECO2 (2020_V2)를 사용하여 냉방과 난방에너지 요구량을 비교, 분석하여 업무시설 규모에 따른 최적의 장단변비를 도출하였다. 본 연구에 사용된 ECO2는 ISO 13790과 DIN V 18599를 기반으로 개발되었으며, 월별 평균 기상 데이터를 바탕으로 건축물의 에너지 요구량 및 소요량을 산출하는 방법을 사용하고 있다[2]. 이승주 외 4인(2022), 고승일(2022)의 연구에서는 ECO2 프로그램에 대해 데이터 입력이 단순하다는 장점은 있지만, 프로그램에 포함된 오픈 소스가 많지 않아 모델 구축 방식을 파악하기 어려워 정확성과 신뢰성 부분에 대한 의문을 제기하고 있다[3,4]. 하지만 본 연구에서는 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증 제도의 평가 도구로 사용되므로 연구의 분석 도구로 활용하였다.

2. 용어의 정의 및 기존연구 분석

2.1. 건축물 에너지 성능요소 용어의 정의

본 연구에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다. “에너지 요구량”은 특정 조건에서 실내를 쾌적하게 유지하기 위해 건축물이 요구하는 단위 면적당 에너지의 양(kWh/m²)을 의미하고, “창면적비(Window-to-Wall Ratio 이하 WWR)”는 벽 면적에 대한 창 면적의 비율을 의미하며 “장단변비(Lateral-to-Longitudinal Length Ratio 이하 LLR)”는 건축물의 세로 방향 길이 대비 가로 방향 길이의 비를 의미한다[5]. “외피 면적비(Surface to Floor Area Ratio 이하 S/F)”는 건축물의 바닥면적에 대한 외기와 직접 면해 있는 외피 면적의 비를 의미한다[6]. 여기서 바닥면적은 냉방과 난방이 필요한 공간으로 본 연구에서는 연면적을 의미한다.

2.2. 기존연구 분석

기존연구 분석은 Table 1.과 같다. 이권형 외 2인(2014)은 건축계획 요소를 중심으로 건축물 에너지 성능에 영향을 미치는 디자인 요소를 분석하여 저탄소 설계기법을 도출하고자 하였다[7]. 이충국(2016)은 동일한 체적을 가지는 업무시설의 에너지 소비 특성을 분석하여 건축물의 형상, 장단변비, 창호 성능 등 에너지 절감 효과를 고려한 설계 가이드라인을 개발 및 제시하고자 하였다[8]. 김진호(2019)는 제로에너지건축물 인증 사례를 중심으로 패시브 설계에서 에너지 요구량과 상관도가 높은 영향인자를 도출하였으며, 건축물의 에너지 성능 수준을 통해 제로에너지건축물 인증 가능 여부를 예측할 수 있는 모형을 개발하고자 하였다[9]. 이다영 외 4인(2020)은 스마트시티 제로에너지건축물 도입을 위해 건축설계의 영향인자를 제로에너지건축물 인증 사례를 중심으로 도출하여 건축물 에너지 성능 수준을 분석하였으며, 이를 통해 건축물의 용도별 표준모델을 개발하고자 하였다[10]. 엄태운 외 3인(2023)은 건축물 규모에 따른 에너지 성능 요소에 대해 에너지 소비량을 분석하여 제로에너지건축물 인증 사전검토 방법을 제시하고자 하였다[11]. 김지혜 외 5인(2023)은 소규모 건축물의 에너지 성능 수준을 고려한 설계기준 적용 방향을 제시하고자 하였다[12].

이와 같이 기존연구에서는 건축물 에너지 성능에 영향을 미치는 요소를 에너지 효율 등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 사례 중심으로 이루어져 건축물 에너지 성능에 영향을 미치는 요소의 체계적인 구분과 분석이 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 건축물에

너지 평가프로그램 ECO2를 활용하여 건축물의 에너지 성능에 영향을 미치는 요소를 업무시설의 연면적, 층수, 창면적비, 장단변비 등을 체계적으로 구분하여 일관되게 비교, 분석하였다.

3. 기본모델 설정 및 유형 조합

3.1. 기본모델 설정

본 연구의 기본모델 설정 조건은 Table 2.와 같으며, 건축 부위별 열관류율은 ‘건축물 에너지절약 설계기준(시행 2024. 8. 8.)’에 따라 중부2 지역의 열관류율을 적용하였다[13]. 기본모델의 층고는 4.5m, 천정고는 2.8m이며, 창면적비와 태양열취득률(Solar Heat Gain Coefficient 이하 SHGC)은 ‘2023 서울시 유리커튼월 가이드라인’에서 표준형으로 구분하고 있는 창면적비 30%, 40%, 50%, 60%를 적용하였으며, SHGC는 0.6을 기준으로 하여 설정하였다[14].

3.2. 기본모델 유형 조합

본 연구에 적용된 요소의 유형 및 조합은 Fig. 1.과 같다. 연면적은 ‘서울특별시 녹색건축물 설계기준 제1조(시행 2024. 1. 1.)’의 건축물 에너지절약설계기준 적용 대상 중 연면적 2,800m², 5,000m², 20,000m², 30,000m²의 4가지 크기로 구분하였다[15]. 층수는 5, 10, 15, 20층의 4가지이며, 창면적비는 30%, 40%, 50%, 60%의 4가지 창면적비를 동, 서, 남, 북에 동일하게 적용하였다. 장단변비는 7가지이며, 각 요소의 유형 조합은 총 448개로

Table 2. Simulation and model condition

Classification		Condition
Building use type		Office building
Simulation program		ECO2 (2020_V2)
Building usage time		AM 09:00-PM 18:00
Location		Seoul
Height	Slab to slab	4.5m
	Floor to ceiling	2.8m
U-value	Exterior wall	0.24W/m ² ·K
	Exterior floor	0.20W/m ² ·K
	Exterior roof	0.15W/m ² ·K
	Exterior window	1.5W/m ² ·K
SHGC		0.6

Table 1. Literature review on building energy elements

Author(s) (Years)	Elements			
	TFA	NF	WWR	LLR
K.H. Lee et al. (2014)	●	-	●	●
C.K. Lee (2016)	-	●	●	●
J.H. Kim (2019)	-	●	●	-
D.Y. Lee et al. (2020)	●	●	●	●
T.Y. Aum et al. (2023)	●	●	●	-
J.H. Kim et al. (2023)	●	-	●	●

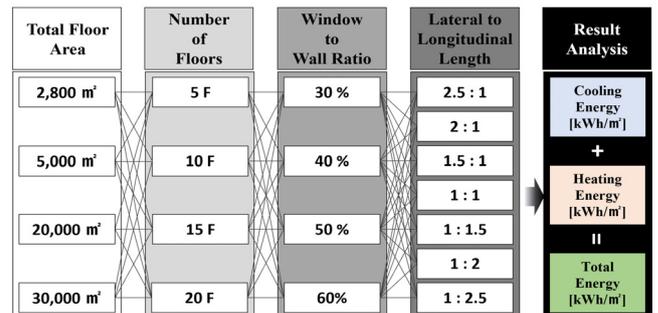


Fig. 1. Base building type diagram

Table 3.과 같다.

Fig. 2.와 같이 업무시설 규모에 따른 바닥면적은 연면적과 층수에 의해 결정되며, 4가지 연면적에서 층수에 따른 바닥면적의 장변과 단변 길이는 Table 4.의 계산식에 의해 도출하였다[16].

Table 4.의 계산식에서 단변의 비율은 항상 1이므로 세로와 가로

의 길이는 세로가 장변이면 세로 비율을 적용하고, 가로가 장변이면 가로 비율을 적용하여 세로와 가로의 길이를 구하였다. 그 결과 업무시설 규모에 따른 바닥면적의 세로와 가로 길이는 Table 5.와 같으며, 장단변비 2.5:1과 1:2.5, 2:1과 1:2, 1.5:1과 1:1.5의 장변과 단변 길이는 서로 대칭이므로 1:2.5, 1:2, 1:1.5의 장변과 단변 길이는 생략하였다.

Table 3. Type of building elements

BE*	EA**	Combination of type						
		2.5:1	2:1	1.5:1	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5
LLR	7							
TFA	4 ³	64	64	64	64	64	64	64
NF								
WWR								
Total		448						

*BE: Building Elements, **EA: Each

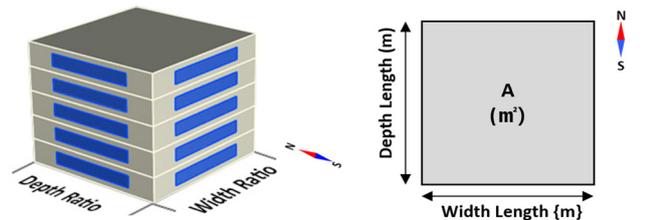


Fig. 2. Depth and width length

Table 4. Equation for depth and width

Ratio	Depth > 1	Depth = Width	1 < Width
Depth	$D_{ratio} \cdot \sqrt{\frac{A}{D_{ratio}}}$	\sqrt{A}	$\sqrt{\frac{A}{W_{ratio}}}$
Width	$\sqrt{\frac{A}{D_{ratio}}}$		$W_{ratio} \cdot \sqrt{\frac{A}{W_{ratio}}}$

*A: Floor area, **D_{ratio}: Depth ratio, ***W_{ratio}: Width ratio

Table 5. Depth and width length

TFA (m ²)	NF	LLR A (m ²)	2.5:1		2:1		1.5:1		1:1	
			Depth (m)	Width (m)						
2,800	5	560	37.42	14.97	33.47	16.73	28.98	19.32	23.66	23.66
	10	280	26.46	10.58	23.66	11.83	20.49	13.66	16.73	16.73
	15	187	21.60	8.64	19.32	9.66	16.73	11.16	13.66	13.66
	20	140	18.71	7.48	16.73	8.37	14.49	9.66	11.83	11.83
5,000	5	1,000	50.00	20.00	44.72	22.36	38.73	25.82	31.62	31.62
	10	500	35.36	14.14	31.62	15.81	27.39	18.26	22.36	22.36
	15	333	28.87	11.55	25.82	12.91	22.36	14.91	18.26	18.26
	20	250	25.00	10.00	22.36	11.18	19.36	12.91	15.81	15.81
20,000	5	4,000	100.00	40.00	89.44	44.72	77.46	51.64	63.25	63.25
	10	2,000	70.71	28.28	63.25	31.62	54.77	36.51	44.72	44.72
	15	1,333	57.74	23.09	51.64	25.82	44.72	29.81	36.51	36.51
	20	1,000	50.00	20.00	44.72	22.36	38.73	25.82	31.62	31.62
30,000	5	6,000	122.47	48.99	109.54	54.77	94.87	63.25	77.46	77.46
	10	3,000	86.60	34.64	77.46	38.73	67.08	44.72	54.77	54.77
	15	2,000	70.71	28.28	63.25	31.62	54.77	36.51	44.72	44.72
	20	1,500	61.24	24.49	54.77	27.39	47.43	31.62	38.73	38.73

4. 업무시설 규모에 따른 에너지 요구량 분석

본 연구에서 업무시설 규모에 따른 에너지 요구량 분석은 냉방과 난방에너지 요구량 그리고 에너지 요구량 합계 3가지 항목에 대해 분석하였다. 업무시설의 규모에 따른 건축 요소의 유형 조합에서 연면적, 층수, 장단변비에 따른 에너지 요구량은 입면과 평면의 형태에 따라 차이를 보인다. 이는 각 요소의 조합에 따라 외피 면적이 달라지기 때문이다. ‘건축물의 에너지절약설계기준 제7조 제2항(시행 2024. 8. 8.)’은 연면적 대비 외피 면적을 작게 하도록 권장하고 있다[17]. 따라서 연면적, 층수, 장단변비에 따른 에너지 요구량 분석을 위하여 시뮬레이션 결과와 외피 면적비를 비교, 분석하였다. 시뮬레이션 결과와 같이 에너지 요구량의 가장 큰 변수는 창면적비이며, 창면적비가 클수록 냉방 에너지 요구량은 증가하고, 난방 에너지 요구량은 감소한다. Table 6.은 연면적, 층수, 창면적비, 장단변비 등 요소의 유형 조합에 따른 시뮬레이션 결과이며, 연면적별 최솟값과 최댓값을 갖는 층수에는 음영을 넣어 강조하였다.

4.1. 연면적에 따른 에너지 요구량 분석

Table 6.과 같이 연면적 크기에 따른 냉방, 난방, 에너지 요구량 합계는 층수, 창면적비, 장단변비 등 모든 요소의 유형 조합에서 연면적이 클수록 에너지 요구량이 감소하였다. Fig. 3.은 최솟값과 최댓값을 가지는 창면적비 30%와 60%, 7가지 장단변비에서 중간 장단변비 1:1 기준의 연면적 크기에 따른 에너지 요구량 합계이다. 4가지 연면적 중 30,000m²에서 최솟값을 가지며, 2,800m²에서 최댓값

을 가진다. 연면적 크기에 따른 에너지 요구량 합계는 $30,000\text{m}^2 < 20,000\text{m}^2 < 5,000\text{m}^2 < 2,800\text{m}^2$ 순이다.

연면적 $2,800\text{m}^2$, $5,000\text{m}^2$ 는 에너지 요구량이 급격히 감소하지만 연면적 $20,000\text{m}^2$, $30,000\text{m}^2$ 에서는 완만하게 감소한다. 이는 연면적 $2,800\text{m}^2$, $5,000\text{m}^2$ 가 $20,000\text{m}^2$, $30,000\text{m}^2$ 보다 요소의 조합에 따라 최솟값과 최댓값을 가지는 에너지 요구량의 범위가 크다는 것을 의미한다. 동일한 층수, 장단변비, 장단변비일 때 연면적이 증가

하면 에너지 요구량이 감소하는 이유로 연면적의 크기와 외피 면적이 서로 관계가 있을 것으로 판단되어 연면적의 크기에 따른 에너지 요구량과 외피 면적비를 비교, 분석하였다.

Table 7.은 최원기 외 2인(2007)의 연구를 참고하여 외기에 직접 면하는 외피 면적비를 구하는 계산식을 도출하였다[18]. Table 7.의 계산식에 의해 도출된 외피 면적비는 Table 8.과 같으며, 장단변비 2.5:1과 1:2.5, 2:1과 1:2, 1.5:1과 1:1.5의 외피 면적비는 서로 동일

Table 6. Simulation result

Elements Energy	WWR		30%							40%						
	TFA (m ²)	LLR NF	2.5:1	2:1	1.5:1	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	2.5:1	2:1	1.5:1	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5
Cooling [kWh/m ²]	2,800	5	26.7	25.8	25.0	24.2	24.0	24.1	24.3	32.5	31.2	30.0	28.9	28.6	28.8	29.2
		10	33.4	32.1	30.8	29.7	29.3	29.4	29.8	41.8	40.0	38.2	36.7	36.1	36.4	37.0
		15	38.4	36.8	35.2	33.8	33.3	33.5	34.0	48.8	46.6	44.4	42.4	41.8	42.1	42.8
		20	42.6	40.7	38.9	37.3	36.7	36.9	37.5	54.7	52.1	49.6	47.3	46.6	46.9	47.7
	5,000	5	22.9	22.3	21.6	21.0	20.8	21.0	21.2	27.2	26.3	25.4	24.6	24.4	24.5	24.8
		10	27.9	27.0	26.1	25.3	25.0	25.1	25.4	34.1	32.8	31.5	30.3	30.0	30.2	30.6
		15	31.7	30.5	29.4	28.3	28.0	28.1	28.5	39.4	37.7	36.1	34.7	34.2	34.5	35.0
		20	34.8	33.5	32.1	30.9	30.5	30.6	31.1	43.8	41.9	40.0	38.3	37.8	38.0	38.6
	20,000	5	17.5	17.2	16.9	16.6	16.5	16.6	16.7	19.5	19.1	18.6	18.2	18.1	18.2	18.4
		10	20.0	19.5	19.0	18.6	18.5	18.5	18.7	22.8	22.3	21.6	21.1	20.9	21.0	21.2
		15	21.8	21.2	20.6	20.1	20.0	20.0	20.3	25.6	24.8	24.0	23.3	23.1	23.2	23.5
		20	23.3	22.6	22.0	21.4	21.2	21.4	21.6	27.8	26.8	25.9	25.1	24.9	25.0	25.3
30,000	5	16.6	16.3	16.0	15.8	15.7	15.8	15.8	18.1	17.8	17.4	17.1	17.0	17.1	17.2	
	10	18.6	18.2	17.8	17.5	17.4	17.4	17.5	20.9	20.4	19.8	19.4	19.2	19.3	19.6	
	15	20.0	19.6	19.1	18.7	18.6	18.6	18.7	23.0	22.4	21.6	21.2	21.0	21.1	21.3	
	20	21.3	20.7	20.2	19.7	19.6	19.6	19.8	24.9	24.1	23.4	22.8	22.5	22.7	22.9	
Heating [kWh/m ²]	2,800	5	25.9	25.5	25.1	24.8	24.6	24.6	24.7	25.2	24.8	24.4	24.0	23.8	23.7	23.8
		10	26.7	26.2	25.7	25.2	25.0	25.1	25.2	26.1	25.5	25.0	24.4	24.1	24.1	24.2
		15	28.1	27.5	26.9	26.3	26.0	26.1	26.3	27.4	26.8	26.1	25.4	25.1	25.0	25.1
		20	29.5	28.8	28.0	27.3	27.1	27.2	27.4	28.8	28.0	27.2	26.4	26.1	26.0	26.2
	5,000	5	24.4	24.1	23.8	23.7	23.5	23.5	23.6	23.9	23.6	23.3	23.0	22.8	22.8	22.8
		10	24.7	24.3	23.9	23.6	23.4	23.4	23.5	24.1	23.7	23.3	22.8	22.6	22.6	22.6
		15	25.5	25.1	24.6	24.2	24.0	24.0	24.1	24.9	24.4	23.9	23.4	23.2	23.1	23.2
		20	26.5	26.0	25.4	24.9	24.7	24.7	24.9	25.8	25.3	24.7	24.1	23.8	23.8	23.8
	20,000	5	22.3	22.2	22.1	22.0	21.9	21.9	21.9	22.0	21.9	21.8	21.7	21.6	21.5	21.5
		10	21.6	21.4	21.3	21.1	21.1	21.1	21.1	21.5	21.1	20.9	20.7	20.6	20.5	20.5
		15	21.8	21.5	21.3	21.2	21.1	21.1	21.1	21.4	21.2	20.9	20.7	20.5	20.5	20.5
		20	22.1	21.8	21.7	21.4	21.3	21.3	21.4	21.7	21.4	21.1	20.8	20.7	20.6	20.6
30,000	5	22.0	21.9	21.8	21.7	21.6	21.6	21.6	21.7	21.6	21.5	21.4	21.3	21.3	21.3	
	10	21.1	21.0	20.8	20.6	20.6	20.6	20.7	20.9	20.7	20.5	20.4	20.3	20.2	20.2	
	15	21.1	20.9	20.8	20.6	20.6	20.6	20.6	20.8	20.6	20.4	20.2	20.1	20.1	20.1	
	20	21.3	21.1	20.9	20.8	20.7	20.7	20.7	21.0	20.8	20.5	20.3	20.1	20.1	20.1	
Total [kWh/m ²]	2,800	5	52.6	51.3	50.1	49.0	48.6	48.7	49.0	57.7	56.0	54.4	52.9	52.4	52.5	53.0
		10	60.1	58.3	56.5	54.9	54.3	54.5	55.0	67.9	65.5	63.2	61.1	60.2	60.5	61.2
		15	66.5	64.3	62.1	60.1	59.3	59.6	60.3	76.2	73.4	70.5	67.8	66.9	67.1	67.9
		20	72.1	69.5	66.9	64.6	63.8	64.1	64.9	83.5	80.1	76.8	73.7	72.7	72.9	73.9
	5,000	5	47.3	46.4	45.4	44.7	44.3	44.5	44.8	51.1	49.9	48.7	47.6	47.2	47.3	47.6
		10	52.6	51.3	50.0	48.9	48.4	48.5	48.9	58.2	56.5	54.8	53.1	52.6	52.8	53.2
		15	57.2	55.6	54.0	52.5	52.0	52.1	52.6	64.3	62.1	60.0	58.1	57.4	57.6	58.2
		20	61.3	59.5	57.5	55.8	55.2	55.3	56.0	69.6	67.2	64.7	62.4	61.6	61.8	62.4
	20,000	5	39.8	39.4	39.0	38.6	38.4	38.5	38.6	41.5	41.0	40.4	39.9	39.7	39.7	39.9
		10	41.6	40.9	40.3	39.7	39.6	39.6	39.8	44.3	43.4	42.5	41.8	41.5	41.5	41.7
		15	43.6	42.7	41.9	41.3	41.1	41.1	41.4	47.0	46.0	44.9	44.0	43.6	43.7	44.0
		20	45.4	44.4	43.7	42.8	42.5	42.7	43.0	49.5	48.2	47.0	45.9	45.6	45.6	45.9
30,000	5	38.6	38.2	37.8	37.5	37.3	37.4	37.4	39.8	39.4	38.9	38.5	38.3	38.4	38.5	
	10	39.7	39.2	38.6	38.1	38.0	38.0	38.2	41.8	41.1	40.3	39.8	39.5	39.5	39.8	
	15	41.1	40.5	39.9	39.3	39.2	39.2	39.3	43.8	43.0	42.0	41.4	41.1	41.2	41.4	
	20	42.6	41.8	41.1	40.5	40.3	40.3	40.5	45.9	44.9	43.9	43.1	42.6	42.8	43.0	

Table 6. Simulation result (continued)

Elements Energy	WWR		50%							60%						
	TFA (m ²)	LLR / NF	2.5:1	2:1	1.5:1	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	2.5:1	2:1	1.5:1	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5
Cooling [kWh/m ²]	2,800	5	38.4	36.8	35.3	33.9	33.5	33.7	34.2	44.5	42.6	40.6	38.9	38.4	38.7	39.4
		10	50.4	48.1	45.8	43.8	43.2	43.5	44.3	59.3	56.4	53.6	51.2	50.4	51.1	52.1
		15	59.6	56.7	53.8	51.4	50.6	51.0	51.9	70.9	67.3	63.8	60.8	59.9	60.5	61.7
		20	67.3	63.9	60.6	57.7	56.8	57.6	58.7	80.4	76.3	72.3	68.8	67.7	68.4	69.8
	5,000	5	31.5	30.4	29.2	28.1	27.9	28.0	28.5	36.0	34.6	33.1	31.9	31.6	31.8	32.3
		10	40.5	38.8	37.1	35.6	35.2	35.4	36.0	47.0	44.9	42.8	41.0	40.5	40.8	41.5
		15	47.3	45.2	43.1	41.2	40.6	41.0	41.7	55.4	51.6	50.2	47.9	47.3	47.7	48.8
		20	53.0	50.5	48.1	46.0	45.3	45.7	46.4	62.4	59.4	56.4	53.8	53.3	53.8	54.8
	20,000	5	21.6	20.9	20.4	20.0	19.8	19.9	20.1	23.7	23.0	22.4	21.8	21.6	21.7	21.9
		10	26.0	25.2	24.4	23.7	23.5	23.6	23.9	29.1	29.1	27.1	26.2	26.0	26.1	26.5
		15	29.4	28.3	27.3	26.4	26.2	26.3	26.7	33.2	31.9	30.7	29.6	29.3	29.5	29.9
		20	32.2	31.0	29.8	28.7	28.4	28.6	29.0	36.7	35.2	33.7	32.5	32.1	32.4	32.8
30,000	5	19.8	19.3	18.9	18.5	18.3	18.5	18.6	21.6	21.0	20.4	19.9	19.8	19.9	20.1	
	10	23.5	22.8	22.2	21.6	21.4	21.5	21.7	25.9	25.1	24.3	23.6	23.4	23.5	23.8	
	15	26.2	25.3	24.5	23.8	23.6	23.7	24.0	29.2	28.2	27.2	26.4	26.1	26.3	26.6	
	20	28.4	27.5	26.5	25.7	25.4	25.6	25.9	32.0	30.9	29.7	28.7	28.4	28.6	29.0	
Heating [kWh/m ²]	2,800	5	24.7	24.3	23.9	23.5	23.2	23.1	23.0	24.4	24.3	23.9	23.5	23.2	23.1	23.0
		10	25.6	25.0	24.4	23.8	23.5	23.4	23.4	25.3	24.7	24.1	23.4	22.9	22.8	22.8
		15	27.0	26.3	25.5	24.8	24.4	24.3	24.3	26.7	26.0	25.1	24.4	23.9	23.8	23.8
		20	28.3	27.5	26.7	25.8	25.4	25.3	25.3	28.1	27.2	26.3	25.4	24.9	24.8	24.8
	5,000	5	23.4	23.1	22.8	22.5	22.2	22.2	22.2	23.1	22.8	22.5	22.1	21.8	21.7	21.6
		10	23.7	23.2	22.8	22.3	22.0	21.9	21.9	23.4	22.9	22.4	21.9	21.5	21.4	21.4
		15	24.5	24.0	23.4	22.9	22.5	22.4	22.4	24.2	23.7	23.1	22.4	22.0	21.9	21.9
		20	25.4	24.8	24.2	23.5	23.1	23.1	23.1	25.1	24.5	23.8	23.1	22.7	22.5	22.5
	20,000	5	21.8	21.7	21.5	21.3	21.2	21.1	21.1	21.5	21.4	21.2	21.0	20.8	20.7	20.7
		10	21.0	20.8	20.5	20.3	20.1	20.1	20.0	20.7	20.5	20.2	20.0	19.8	19.7	19.6
		15	21.1	20.8	20.5	20.2	20.0	20.0	19.9	20.8	20.5	20.2	19.9	19.7	19.5	19.5
		20	21.3	21.0	20.7	20.4	20.2	20.1	20.1	21.0	20.7	20.4	20.0	19.7	19.6	19.6
30,000	5	21.5	21.4	21.3	21.2	21.0	21.0	20.9	21.3	21.2	21.0	20.9	20.7	20.6	20.6	
	10	20.5	20.4	20.2	20.0	19.8	19.8	19.8	20.3	20.1	19.9	19.7	19.5	19.4	19.3	
	15	20.5	20.3	20.1	19.8	19.6	19.6	19.5	20.2	20.0	19.8	19.5	19.3	19.2	19.1	
	20	20.6	20.4	20.1	19.9	19.7	19.6	19.6	20.4	20.1	19.8	19.5	19.3	19.2	19.1	
Total [kWh/m ²]	2,800	5	63.1	61.1	59.2	57.4	56.7	56.8	57.2	68.9	66.9	64.5	62.4	61.6	61.8	62.4
		10	76.0	73.1	70.2	67.6	66.7	66.9	67.7	84.6	81.1	77.7	74.6	73.3	73.9	74.9
		15	86.6	83.0	79.3	76.2	75.0	75.3	76.2	97.6	93.3	88.9	85.2	83.8	84.3	85.5
		20	95.6	91.4	87.3	83.5	82.2	82.9	84.0	108.5	103.5	98.6	94.2	92.6	93.2	94.6
	5,000	5	54.9	53.5	52.0	50.6	50.1	50.2	50.7	59.1	57.4	55.6	54.0	53.4	53.5	53.9
		10	64.2	62.0	59.9	57.9	57.2	57.3	57.9	70.4	67.8	65.2	62.9	62.0	62.2	62.9
		15	71.8	69.2	66.5	64.1	63.1	63.4	64.1	79.6	75.3	73.3	70.3	69.3	69.6	70.7
		20	78.4	75.3	72.3	69.5	68.4	68.8	69.5	87.5	83.9	80.2	76.9	76.0	76.3	77.3
	20,000	5	43.4	42.6	41.9	41.3	41.0	41.0	41.2	45.2	44.4	43.6	42.8	42.4	42.4	42.6
		10	47.0	46.0	44.9	44.0	43.6	43.7	43.9	49.8	48.6	47.3	46.2	45.8	45.8	46.1
		15	50.5	49.1	47.8	46.6	46.2	46.3	46.6	54.0	52.4	50.9	49.5	49.0	49.0	49.4
		20	53.5	52.0	50.5	49.1	48.6	48.7	49.1	57.7	55.9	54.1	52.5	51.8	52.0	52.4
30,000	5	41.3	40.7	40.2	39.7	39.3	39.5	39.5	42.9	42.2	41.4	40.8	40.5	40.5	40.7	
	10	44.0	43.2	42.4	41.6	41.2	41.3	41.5	46.2	45.2	44.2	43.3	42.9	42.9	43.1	
	15	46.7	45.6	44.6	43.6	43.2	43.3	43.5	49.4	48.2	47.0	45.9	45.4	45.5	45.7	
	20	49.0	47.9	46.6	45.6	45.1	45.2	45.5	52.4	51.0	49.5	48.2	47.7	47.8	48.1	

*Red (dark) shade: Highest value, Blue (bright) shade: Lowest value, **Energy demand unit: [kWh/m²]

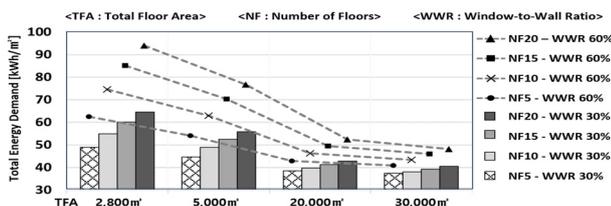


Fig. 3. Energy demand by total floor area

Table 7. Equation of surface area ratio

Surface area ratio by total floor area	
S/F	$\frac{\sum A_S}{A_{TF}}$

*A_S: Surface area directly exposed to the outside

**A_{TF}: Total floor area

Table 8. Surface area ratio by total floor area

Elements		Surface area ratio			
TFA (m ²)	LLR NF	2.5:1	2:1	1.5:1	1:1
2,800	5	1.042	1.007	0.976	0.961
	10	1.291	1.241	1.198	1.176
	15	1.525	1.464	1.411	1.384
	20	1.734	1.664	1.603	1.571
5,000	5	0.830	0.804	0.781	0.769
	10	0.991	0.954	0.922	0.905
	15	1.158	1.112	1.073	1.053
	20	1.310	1.257	1.212	1.188
20,000	5	0.515	0.502	0.490	0.485
	10	0.545	0.527	0.511	0.502
	15	0.612	0.590	0.570	0.560
	20	0.680	0.654	0.631	0.619
30,000	5	0.457	0.446	0.437	0.432
	10	0.464	0.449	0.435	0.429
	15	0.512	0.494	0.477	0.469
	20	0.564	0.543	0.524	0.515

하므로 생략하였다. Table 8.과 같이 동일한 층수와 7가지 장단변비에서 연면적이 30,000m²일 때 가장 낮은 외피 면적비를 가지며, 연면적 2,800m²일 때 가장 높은 외피 면적비를 가진다. 외피 면적비 또한 연면적의 크기에 따른 에너지 요구량 순위와 동일하다. 이는 동일한 층수와 장단변비일 때 연면적이 클수록 바닥면적은 커지고, 높이는 같게 되어 외피 면적비는 감소하게 된다. 따라서 연면적이 클수록 외피 면적비는 상대적으로 작아지며, 에너지 요구량이 감소하는 요인으로 분석된다.

4.2. 층수에 따른 에너지 요구량 분석

Fig. 4.는 창면적비 30%와 60%, 장단변비 1:1의 층수에 따른 에너지 요구량 그래프이다. 냉방에너지 요구량은 4가지 연면적과 창면적비 30%, 60% 모두 층수 5층일 때 최소값을 가지며, 20층일 때 최댓값을 가진다. 층수에 따른 냉방에너지 요구량의 크기는 5층 < 10층 < 15층 < 20층 순이다.

난방에너지 요구량은 연면적, 창면적비, 장단변비 등의 요소 조합에 따라 최소값과 최댓값을 가지는 층수가 다르다. 연면적 2,800m²와 5,000m²는 5층과 10층일 때 최소값을 가지며, 연면적 20,000m²는 10층과 15층, 연면적 30,000m²에서는 10층, 15층, 20층에서 최솟값을 가진다. 이처럼 난방에너지 요구량은 연면적이 2,800m²에서 30,000m²로 커질수록 난방에너지 요구량 최솟값이 5층에서 10층, 15층, 20층으로 바뀐다. 한편 창면적비가 커질수록 층수에 따른 난방에너지 요구량 최솟값을 가지는 층수는 증가하게 된다. 예를 들어 연면적 2,800m²의 창면적비 30%일 때 난방에너지 요구량 최솟값은 5층이며, 창면적비 60%일 때 난방에너지 요구량 최솟값은 5층과 10층으로 바뀐다. 다른 연면적에서도 창면적비가 커질수록 최솟값을 가지는 층수가 증가한다. 난방에너지 요구량 최댓값은 연면적 2,800m²와 5,000m²는 모든 창면적비와 장단변비에서 20층일 때이며, 이와 반대로 연면적 20,000m², 30,000m²는 5층일 때이다.

에너지 요구량 합계는 모든 연면적과 창면적비 30%, 60%에서 5층일 때 최솟값을 가지며, 최댓값은 20층으로 냉방에너지 요구량

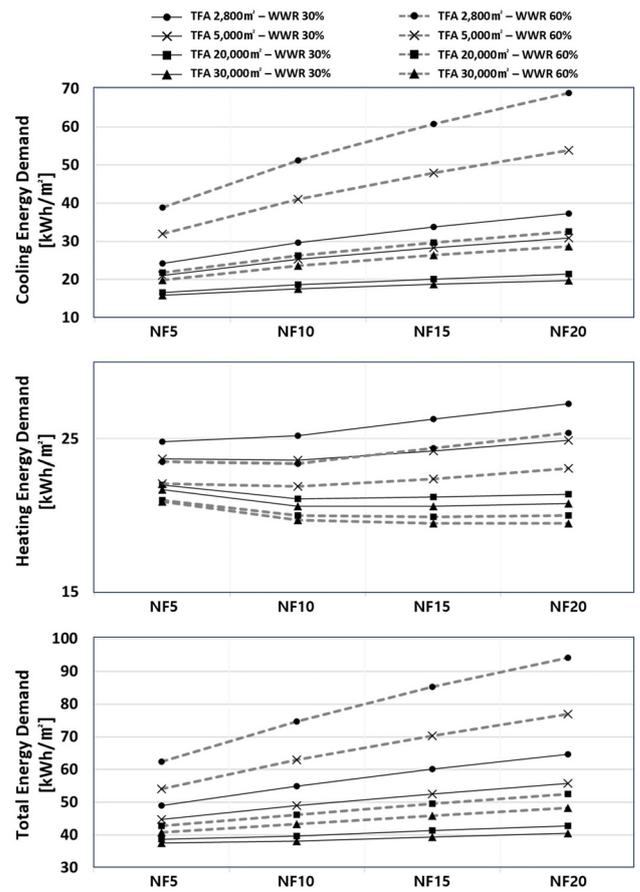


Fig. 4. Energy demand by number of floors

순위와 동일하다. 이는 냉방에너지 요구량이 난방에너지 요구량 대비 차지하는 비중이 크기 때문이다. 따라서 층수에 따른 에너지 요구량의 크기는 5층 < 10층 < 15층 < 20층 순이다.

층수에 따른 에너지 요구량 분석 결과와 같이 Table 8.의 외피면적비 또한 층수가 증가할수록 증가한다. 따라서 층수 증가에 따른 에너지 요구량도 외피 면적의 증가로 인해 에너지 요구량이 증가하는 요인으로 분석된다.

4.3. 장단변비에 따른 에너지 요구량 분석

장단변비에 따른 에너지 요구량은 최솟값과 최댓값을 가지는 층수 5층과 20층, 창면적비 30%와 60%일 때 7가지 장단변비에 대해 분석하였다. Fig. 5.와 같이 냉방에너지 요구량은 4가지 연면적에서 층수 5층과 20층, 창면적비 30%와 60%의 4가지 조합 모두 장단변비 1:1.5에서 최솟값, 2.5:1에서 최댓값을 가진다.

난방에너지 요구량은 층수 5층과 20층, 창면적비 30%와 60%의 4가지 조합에 따라 최솟값을 가지는 장단변비는 1:1.5, 1:2, 1:2.5로 다르며, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 사이의 난방에너지 요구량 차이는 0~0.3kWh/m²로 같거나 차이가 작다. 반면 4가지 연면적의 모든 조합에서 난방에너지 요구량 최댓값은 장단변비 2.5:1일 때이다. Fig. 6.은 연면적 30,000m²에서 장단변비에 따른 냉방과 난방에너지 요구량 크기 순서이다. Fig. 7.은 냉방과 난방에너지 요구량 합계 그래프이다. 4가지 연면적에서 층수 5층과 20층, 창면적비 30%와 60%의

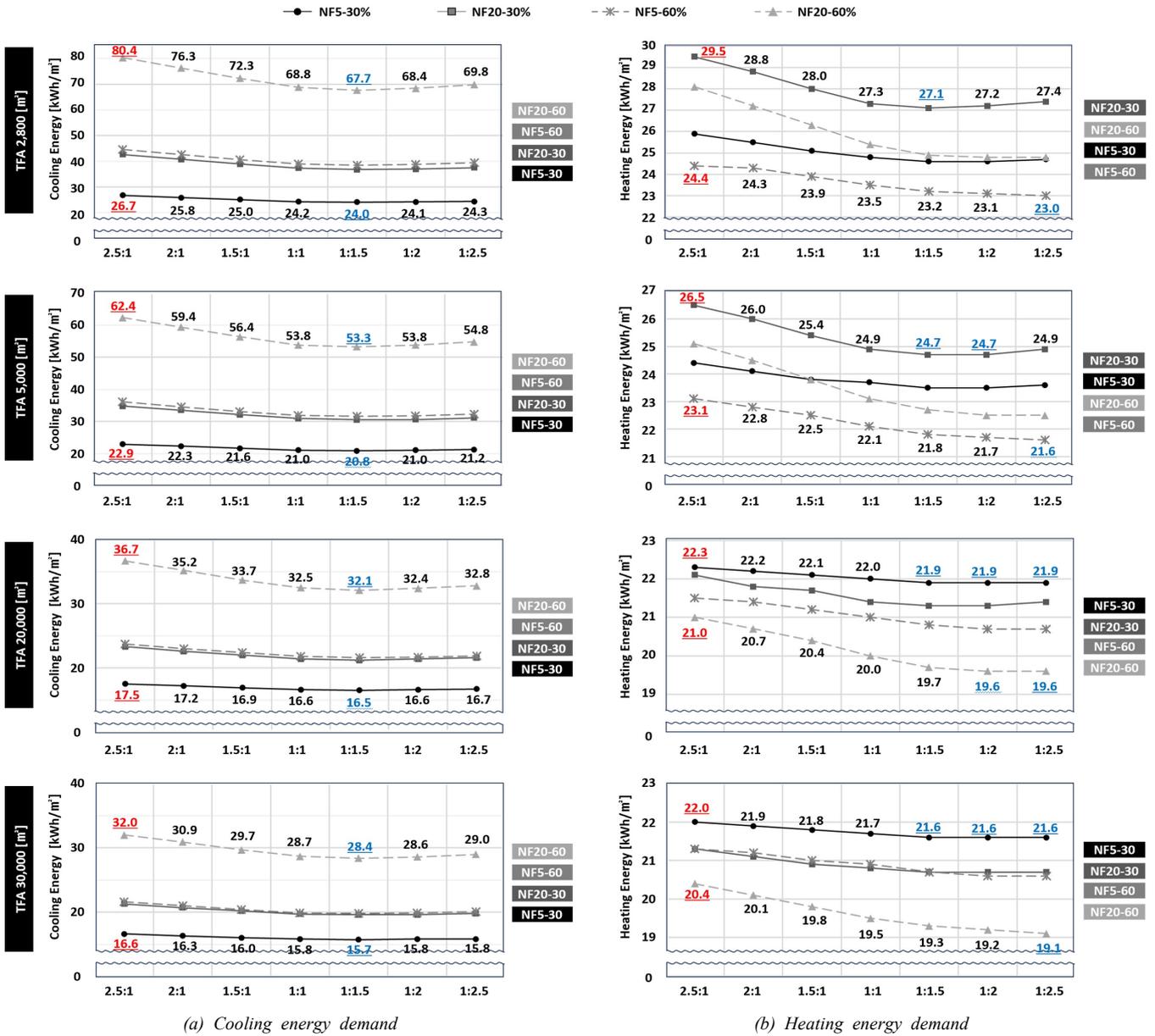


Fig. 5. Cooling and heating energy demand by lateral-to-longitudinal length ratio

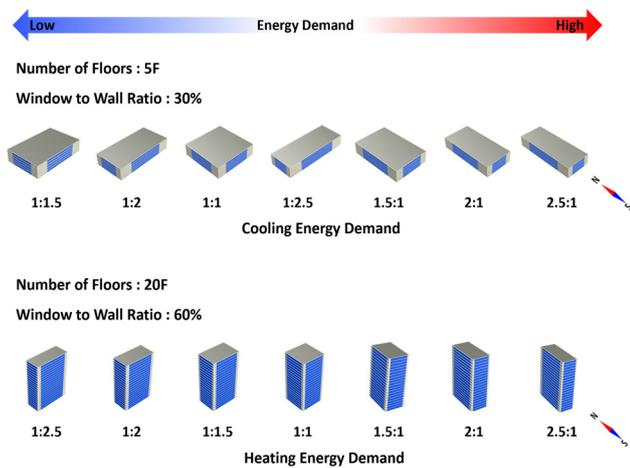


Fig. 6. Energy demand ranking

모든 조합에서 장단변비 1:1.5일 때 최솟값을 가지며, 2.5:1일 때 최댓값을 가진다.

에너지 요구량은 동일한 연면적, 층수, 창면적비, 장단변비의 조합에 따라 유사한 에너지 요구량을 가진다. 예를 들어 연면적 30,000m²의 5층, 창면적비 60%, 장단변비 1:1.5와 층수 20층, 창면적비 30%, 장단변비 1:1의 에너지 요구량은 40.5kWh/m²로 동일하다. 이처럼 요소의 유형 조합에 따라 동일하거나 유사한 에너지 요구량을 가질 수 있다.

장단변비에 따른 에너지 요구량과 Table 8.의 외피 면적비를 비교한 결과 4가지 연면적에서 가장 낮은 외피 면적비를 갖는 장단변비는 1:1이며, 가장 높은 외피 면적비는 2.5:1과 1:2.5이다. 그러나 에너지 요구량은 1:1에서 최솟값, 2.5:1에서 최댓값을 가지며, 2.5:1과 1:2.5는 큰 차이가 있다. 이는 동일한 연면적과 층수에서 동서와

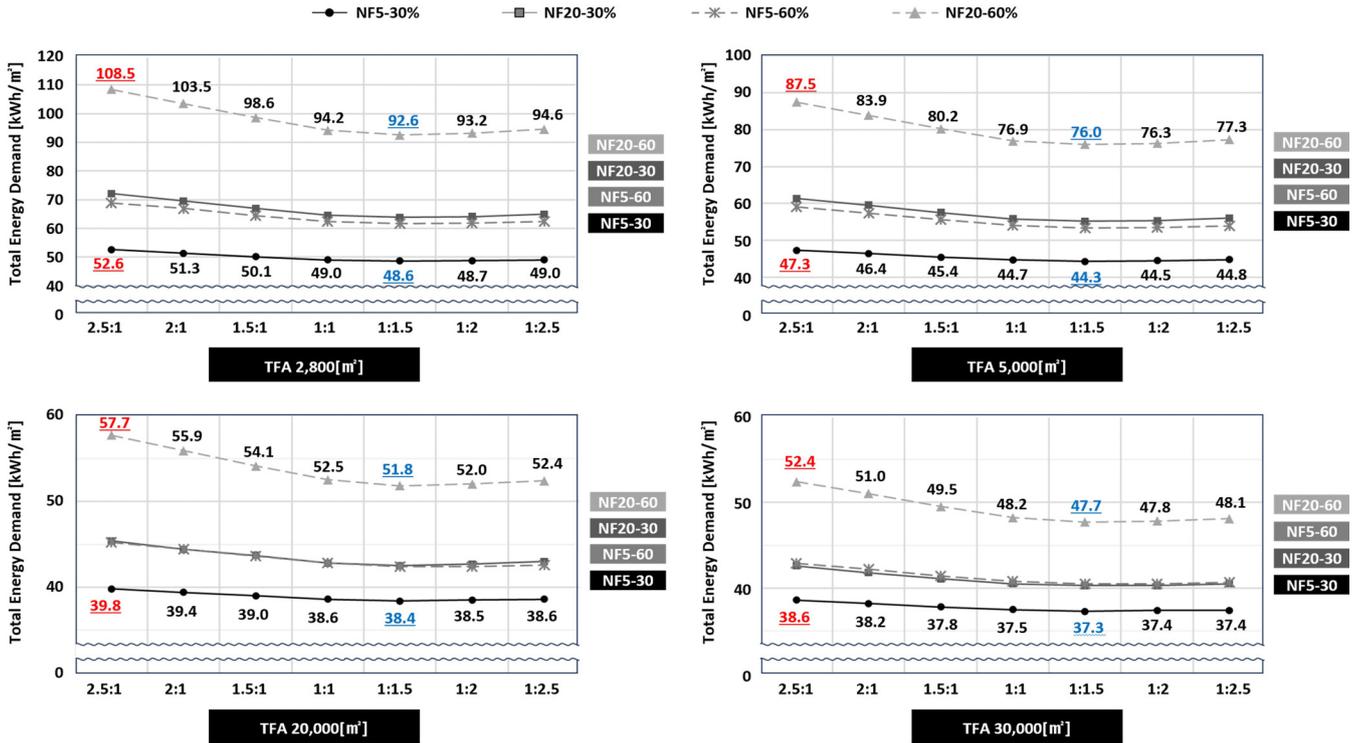


Fig. 7. Energy demand by lateral-to-longitudinal length ratio

Table 9. Solar radiation by direction

Direction	East	West	South	North
Solar radiation [W]	336	340	256	138

Table 10. Equation of solar radiation on exterior wall area

$$\sum (S_R \times A_W)$$

* S_R : Solar radiation on vertical planes by direction

** A_W : Exterior wall area by direction

Table 11. Solar radiation on exterior wall area

TFA (m²)	NF	Solar radiation [kW]						
		LLR	2.5:1	2:1	1.5:1	1:1	1:1.5	1:2
2,800	5	701.8	657.4	612.1	569.7	550.8	551.2	559.3
	10	992.5	929.7	865.7	805.7	779.0	779.5	791.0
	15	1,215.5	1,138.6	1,060.2	986.8	954.0	954.7	968.8
	20	1,403.6	1,314.7	1,224.2	1,139.4	1,101.6	1,102.4	1,118.7
5,000	5	937.8	878.4	818.0	761.3	736.1	736.6	747.5
	10	1,326.2	1,242.3	1,56.8	1,076.7	1,040.9	1,041.7	1,057.1
	15	1,624.3	1,521.5	1,416.8	1,318.6	1,274.9	1,275.8	1,294.6
	20	1,875.6	1,756.9	1,635.9	1,522.6	1,472.1	1,473.1	1,494.9
20,000	5	1,875.6	1,756.9	1,635.9	1,522.6	1,472.1	1,473.1	1,494.9
	10	2,652.5	2,484.6	2,313.6	2,153.3	2,081.9	2,083.3	2,114.1
	15	3,248.6	3,043.0	2,833.5	2,637.3	2,549.8	2,551.5	2,598.2
	20	3,751.2	3,513.8	3,271.9	3,045.3	2,944.2	2,946.2	2,989.8
30,000	5	2,297.1	2,151.7	2,003.6	1,864.8	1,803.0	1,804.2	1,830.9
	10	3,248.6	3,043.0	2,833.5	2,637.3	2,549.8	2,551.5	2,589.2
	15	3,978.7	3,726.9	3,470.4	3,230.0	3,122.8	3,125.0	3,171.2
	20	4,594.3	4,303.5	4,007.2	3,729.7	3,605.9	3,608.4	3,661.7

남북 방향의 장단변비에 따라 수직면이 받는 일사량이 다를 것으로 예상되어 연면적 규모에 따른 장단변비별 수직면이 받는 일사량을 구하여 비교, 분석하였다.

Table 9.는 방위별 수직면이 받는 일사량이며, 에너지 성능지표에서 거실 외피 면적당 평균 태양열 취득 계산식을 참고하여 Table 10.의 계산식을 도출하였다[19].

Table 5.의 장변과 단변의 길이 입력 정보에서 동일한 연면적과 층수일 때 7가지 장단변비 모두 바닥면적은 동일하다. 따라서 7가지 장단변비의 수평면이 받는 일사량은 동일하므로 제외하였으며, 수직면이 받는 일사량만 계산하였다. Table 11.과 같이 동일한 연면적

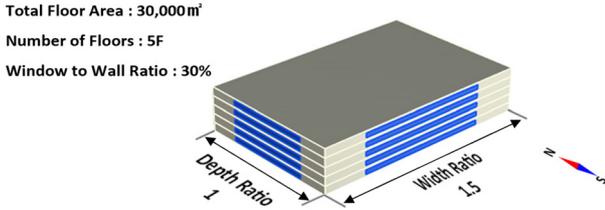


Fig. 8. Optimal energy demand type

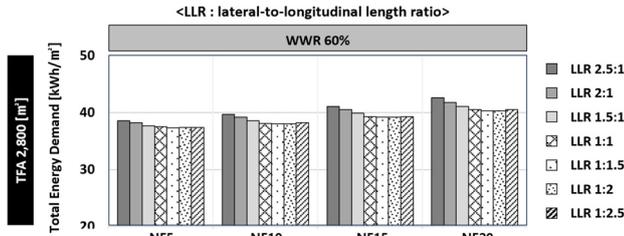


Fig. 9. Energy demand by lateral-to-longitudinal length ratio

과 층수에서 수직면이 받는 일사량은 장단변비 1:1.5일 때 가장 낮으며, 2.5:1일 때 가장 높다. 이처럼 장단변비 1:1.5일 때 에너지 요구량이 가장 낮고, 2.5:1일 때 가장 높은 이유이며, 평면의 장단변비에 따라서 방위별 입면 크기가 달라지기 때문이다. 따라서 가장 낮은 에너지 요구량을 가지는 요소의 조합은 연면적 30,000m²일 때 층수 5층, 장단변비는 1:1.5이며, 창면적비는 30%로 Fig. 8.과 같다.

Fig. 9.는 연면적 30,000m², 창면적비 30%의 장단변비에 따른 에너지 요구량이다. 이처럼 층수별 장단변비의 조합에서 1:1.5, 1:2, 1:1, 1:2.5는 서로 유사한 수준의 에너지 요구량을 가진다. 따라서 본 연구에서는 최소 수준의 에너지 요구량을 가지는 장단변비로 정의할 수 있다.

김수진(2013), 김유리(2015)는 EnergyPlus를 이용한 시뮬레이션을 통해 건축물의 에너지 절감 방안으로 장단변비 1:1, 1:1.5, 1:2를 최소 수준으로 제안하였다[20,21]. 이는 본 연구의 결과와 유사하지만, 순위에서 차이를 보인다. 그 이유는 장단변비의 범위, 건축물의 방위, 방위별 창면적비, 창의 단열성능, 차양의 설치 여부 등 에너지 성능에 영향을 미치는 요소들이 복합적으로 구성된 반면 본 연구에서는 연면적, 층수, 창면적비, 장단변비 등의 요소들이 일관된 기준에 의해 조합되었기 때문이다.

4.4. 소결

본 연구의 각 요소의 유형 조합에 따라 에너지 요구량에 차이를 보이는데 이는 외피 면적이 달라지기 때문이다. 동일한 층수를 유지한 상태에서 연면적이 증가할 경우, 바닥면적이 커짐과 동시에 외피 면적은 상대적으로 감소하여 에너지 요구량은 감소하는 반면 동일한 연면적에서 층수가 증가하면 바닥면적은 감소하고, 외피 면적은 증가하여 에너지 요구량이 증가한다. 장단변비는 외피 면적비를 통해 에너지 성능을 평가하는데 한계가 존재한다. 특히 장단변비에 따라 방위별 입면의 크기가 달라지며, 수직면이 받는 일사량에 영향을 미치게 된다. 그 결과 동서의 장방형이 에너지 요구량 저감 측면에서 효율적이다.

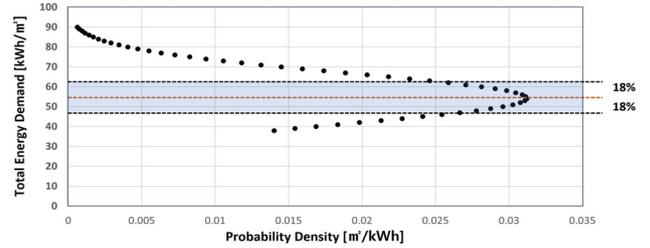


Fig. 10. Energy demand normal distribution graph

Fig. 10.은 4개 층수 평균 112개 유형 조합의 에너지 요구량 정규분포를 나타낸 그래프이다. 이를 통해 본 연구에서 도출된 112개 요소 조합의 에너지 요구량은 최소 38.7kWh/m²에서 최대 89.9kWh/m²의 범위로 분포됨을 확인할 수 있다. 전체 평균 에너지 요구량은 54.2kWh/m²이며, 본 연구에서는 이 평균값을 기준으로 가장 많은 값이 분포된 구간을 36%로 설정하였다. 이 구간의 확률 밀도는 0.03m²/kWh 일 때이며, 에너지 요구량은 48.2kWh/m²에서 60.2kWh/m² 사이의 범위이다. 이 범위 내에 포함된 요소의 조합 수는 24개이다. 이들 조합에서 연면적, 층수, 창면적비의 조합에 의한 에너지 요구량의 차이는 큰 반면 장단변비에 따른 에너지 요구량은 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서 건축설계 단계에서 이러한 요소의 조합들을 활용하여 에너지 효율성을 고려한 계획이 가능할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구는 업무시설의 연면적, 층수, 창면적비, 장단변비 등의 요소 조합을 통해 냉방과 난방에너지 요구량을 분석하여 에너지 요구량을 최소화할 수 있는 요소의 유형 조합을 도출하고자 하였다. 이를 통해 건축계획 및 설계단계에서 업무시설의 규모에 따라 예측할 수 있는 건축물 형태를 제안하고, 그 결과를 참고 자료로 활용하고자 하였다. 이에 연구 결론은 다음과 같다.

첫째, 연면적과 층수의 증가는 에너지 요구량에 대해 상반된 영향을 미친다. 따라서 에너지 성능에 효율적인 설계를 위해서는 건폐율을 최대한 충족하는 평면계획을 바탕으로 층수를 낮게 계획하는 것이 바람직하다. 그러나 대지의 형상이나 다른 조건으로 인해 바닥면적 확보에 제한이 있는 경우에는 건폐율과 용적률을 고려하여 층수를 결정하되 외피 면적을 줄이기 위한 전략으로 층고를 낮추는 방안을 검토할 필요가 있다.

둘째, 장단변비는 건축물의 평면 및 입면의 크기, 형태를 결정짓는 중요한 요소 중 하나이다. 남향을 주향으로 할 경우 동서 방향으로 배치된 장방형 또는 정방형이 에너지 효율성을 높이는데 유리한 형태이다. 본 연구에서 제시된 업무시설의 규모와 장단변비에 따른 에너지 요구량 분석 결과를 바탕으로 건축계획 및 설계단계에서 대지의 형태, 크기, 향을 종합적으로 고려한 평면 및 입면 계획을 수립하는 것이 중요하다. 이처럼 본 연구 결과를 바탕으로 건축설계 초기 단계에서 규모와 형태를 결정할 때 에너지 성능을 고려한 의사결정이 가능하다.

본 연구에 적용된 업무시설의 규모, 장단변비, 창면적비 등은 비

교 가능한 수치를 바탕으로 설정되었다. 따라서 실제 건축물의 환경 조건에 따라 차이가 있을 수 있다. 분석 도구로 활용된 ECO2는 정형화된 입력 정보를 기반으로 하여 실제 복잡한 건축물의 형상이나 외부 환경조건을 충분히 반영하기 어렵다. 따라서 정밀한 시뮬레이션이나 설계 최적화를 위한 에너지 성능 분석에는 제약이 존재한다. 이는 본 연구의 한계로 판단된다.

본 연구에서는 냉방에너지 요구량이 난방에너지 요구량 대비 차지하는 비중이 높았다. 이는 너무 높은 SHGC 때문이다. 허효선(2018)의 연구에 따르면 업무시설의 SHGC는 냉방과 난방에너지에 큰 영향을 미치는 변수로 작용하였다[22].

Acknowledgement

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] 국토교통부, 녹색건축물 조성 지원법 시행령 [별표 1], 대통령령 제34006호, 2023. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Enforcement Decree of Green Buildings Construction Support Act [Appendix 1], 2023.)

[2] 국토교통부, 한국에너지공단, ECO2 매뉴얼 Ver 17, 2020.05. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Agency, ECO2 Manual Ver 17, 2020.05.)

[3] 이승주 외 4인, 준 정적 건물에너지 해석 평가 도구의 쟁점들 - 국내 건축물 에너지효율등급 인증평가 프로그램 (ECO2)을 중심으로 -, 대한건축학회논문집, 제40권 제1호, 2024.01, pp.169-176. // (S.J. Lee et al., Issues and recommendations for quasi steady-state building energy analysis - Focusing on a domestic building energy efficiency rating program (ECO2) -, Journal of the Architectural Institute of Korea, 40(1), 2024.01, pp.169-176.)

[4] 고승일, Design Builder와 입력변수 민감도 비교를 통한 ECO2 개선방향 검토, 대한건축학회연합논문집, 제24권 제6호, 2022.12, pp.129-136. // (S.I. Ko, An examination on the improvement of ECO2 by comparing sensitivity of input variables with design builder, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, 24(6), 2022.12, pp.129-136.)

[5] 국토교통부, 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서 Ver.3, 2022.03. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Agency, Zero Energy Building Technology & Component, 2022.03.)

[6] 김진호 외 4인, 건축물에너지효율등급 인증 현황 분석을 통한 제로에너지건축물의 설계 영향인자 분석: 교육연구시설을 대상으로, 한국건축환경설비학회 논문집, 제12권 제4호, 2018.08, pp.387-399. // (J.H. Kim et al., Analysis of design parameters affecting zero energy buildings based on the building energy efficiency rating certified buildings: Focused on educational research facilities, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 12(4), 2018.08, pp.387-399.)

[7] 이권형, 김인한, 추승연, Energy BIM 기반 초기 단계의 설계결정인자 간 상관성 분석: 에너지성능평가의 냉난방부하 절감을 중심으로, 대한건축학회논문집, 제30권 제12호, 2014.12, pp.31-39. // (K.H. Lee, I.H. Kim, S.Y. Choo, A causality analysis among architectural design decision factors in the early design stage: Focused on reduction of cooling and heating loads in energy BIM simulation, Journal of the Architectural Institute of Korea, 30(12), 2014.12, pp.31-39.)

[8] 이충국, 동일 체적 건물의 온실가스 저감 설계 지표 개발에 관한 연구, 인하대학교 박사학위논문, 2016.02. // (C.K. Lee, Study on developing advanced design index for greenhouse gas reduction of the same volume building, Doctoral dissertation, Inha University 2016.02.)

[9] 김진호, 제로에너지 건축의 설계 영향인자 분석 및 활용방안 연구, 아주대학교 박사학위논문, 2019.02. // (J.H. Kim, Analysis of design parameters of zero energy building and its application, Doctoral Dissertation, Ajou University, 2019.02.)

[10] 이다영 외 4인, 스마트시티 설계 시 제로에너지건축물 인증 취득을 위한 패시브/액티브 인자별 평균성능 및 참조모델 제시 - 교육연구 및 업무시설을 중심으로 -, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제14권 제5호, 2020.10, pp.387-400. // (D.Y. Lee et al., A study on the average performance and reference model depending on passive and active factor for zero-energy building certification in smart city - Focused on education and research facilities and office -, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 14(5), 2020.10, pp.387-400.)

[11] 임태윤 외 3인, ZEB 인증을 위한 건축물 에너지 성능요소의 사전검토 방안 연구, 대한건축학회논문집 제39권 제2호, 2023.02, pp.115-120. // (T.Y. Aum et al., Pre-check method using building energy performance factors for zero-energy building certification of office building, Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(2), 2023.02, pp.115-120.)

[12] 김지혜 외 5인, 소규모 건축물 에너지절약설계기준 적용방안 마련을 위한 설계현황 및 요소별 영향력 분석, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제17권 제3호, 2023.06, pp.143-156. // (J.H. Kim et al., A study on impact analysis of design variable to develop building energy code for small-scale buildings, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 17(3), 2023.06, pp.143-156.)

[13] 국토교통부, 한국에너지공단, 건축물의 에너지절약 설계기준 [별표 1], 국토교통부 고시 제2024-421호, 2024. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Agency, Energy-saving design standards for buildings, [Appendix 1], 2024.)

[14] 서울특별시, 2023 서울시 유리커튼월 가이드라인, 2023. // (Seoul Metropolitan Government, 2023 Seoul Glass Curtainwall Guideline, 2023.)

[15] 서울특별시, 서울특별시 녹색건축물 설계기준, 서울특별시 고시 제2023-555호, 2023. // (Seoul Metropolitan Government, Seoul Metropolitan City Green Building Design Standards, 2023.)

[16] 남주희, 서울지역 오피스빌딩 장단변비에 따른 냉난방부하 변화 평가, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제43권 제2호, 2023.10, pp.333-334. // (J.H. Nam, Assessment of heating and cooling load variations in office buildings in Seoul based on aspect ratio, Journal of the Architectural Institute of Korea Fall Conference, 43(2), 2023.10, pp.333-334.)

[17] 국토교통부, 한국에너지공단, 건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부 고시 제2024-421호, 2024. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Agency, Energy-Saving Design Standards for Buildings, 2024.)

[18] 최원기, 김원중, 서승직, 동일 체적의 건물 형상에 따른 에너지 소비량 패턴에 대한 분석 연구, 한국태양에너지학회 논문집 제27권 제2호, 2007.06, pp.103-109. // (W.K. Choi, H.J. Kim, S.J. Suh, A study on the analysis of energy consumption patterns according to the building shapes with the same volume, Journal of the Korean Solar Energy Society, 27(2), 2007.06, pp.103-109.)

[19] 국토교통부, 한국에너지공단, 건축물의 에너지절약 설계기준 [별표 1], 국토교통부 고시 제2024-421호, 2024. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Agency, Energy-Saving Design Standards for Buildings, [Form 1], 2024.)

[20] 김수진, ZEB(Zero Emission Building) 구현을 위한 사무소건물의 에너지절약 방법론에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2013. // (S.J. Kim, A study on energy saving methodology in office buildings for implementing ZEB(Zero Emission Building), Master's thesis, Chungang University, 2013.)

[21] 김유리, 성능예측식을 활용한 건물에너지 예측 모바일 어플리케이션 개발에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2015. // (Y.R. Kim, A development of a mobile application for building energy prediction using performance prediction model, Master's thesis, Chungang University, 2015.)

[22] 허효선, 업무용 커튼월 건축물의 일사유입 조절방법에 따른 냉방부하의 변화, 연세대학교 석사학위논문, 2018. // (H.S. Hur, Cooling loads calculation depending on incident radiation control of curtain wall glazing in an office building, Master's thesis, Yonsei University, 2018.)