



제로에너지 인증 공동주택 사례분석을 통한 피크부하 기반 설비용량 산정에 관한 연구

HVAC System Sizing by Case Studies of Zero-Energy-Certified Apartments

심찬형* · 홍구표**

Chanhyung Shim* · Goopyo Hong**

* Main author, Ph.D Student, Dept. of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., South Korea (sim9710@kangwon.ac.kr)

** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., South Korea (goopyoh@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Current unit-area heating and cooling load criteria (KS C 9306, Korea District Heating Corporation Heat-Using Facilities Standards (KDHC)) were established decades ago and do not reflect improved building envelope performance. While thermal transmittance standards have been updated, HVAC sizing guidelines remain outdated, causing potentially oversized systems in Zero-Energy Buildings (ZEBs). This study analyzes certified ZEB apartment cases to establish unit-area HVAC loads and quantify oversizing relative to existing standards. **Method:** A certified ZEB Grade 5 reference model—an 84m² apartment—was modeled as a 12-story building with two units per floor, based on four certified apartments in Central Region II (Seoul, South Korea). Envelope U-values and lighting power densities from Energy-Saving Design Standards (1987, 2013, 2017), the ZEB Technology & Components guide (ZEB T&C), and Cases 1–4 were applied. Peak heating and cooling loads were calculated using RTS-SAREK and compared across standards and cases. Additionally, effects of envelope improvements on load reduction were analyzed. **Result:** Compared to ZEB cases, KS C 9306 showed 199% higher cooling and 696% higher heating loads, while KDHC Standards produced 46% higher heating loads. Energy-Saving Design Standards still resulted in up to 28% cooling and 159% heating oversizing. Envelope improvements produced nonlinear heating load reductions with diminishing returns, while cooling load reduction was more sensitive to internal loads. ZEB cases yielded unit loads of 52–55W/m² for cooling and 28–34 W/m² for heating, indicating the need to update unit-load criteria for ZEB-level performance.

KEYWORD

제로에너지건축물
단위면적당 부하
HVAC 시스템 용량
아파트

Zero Energy Buildings (ZEBs)
Unit-Area Heating and Cooling Loads
HVAC System Sizing
Apartments

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 29, 2025
Final revision received Aug. 8, 2025
Accepted Aug. 14, 2025

© 2025. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 필요성

현재 전 세계는 지구 온난화 문제에 직면하고 있으며, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 평균 온도 상승폭을 1.5°C 이내로 제한하기 위해 2050년까지 전 세계 탄소중립 (Net-zero)을 실현해야 한다고 권고하고 있다[1]. 이에 미국[2], 유럽연합(EU)[3], 중국, 일본[4] 등 주요 국가들은 탄소중립 목표 달성을 위해 에너지 효율화, 재생에너지 확대, 산업 및 건축 분야 탄소배출 규제 등 다양한 정책을 시행되고 있다[5]. 국내에서는 2020년 ‘2050 탄소중립’을 공식 선언하고, 2023년 ‘국가 탄소중립·녹색성장 기본계획’을 수립하여 2030년까지 2018년 대비 온실가스 40% 감축 목표를 제시하였다[6]. 또한 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 에너지 소요량을 절감시키기 위해 제로에너지 건축물 의무화를 단계적으로 시행하고 있다.

건물 부문은 전 세계 에너지 소비량의 30%를 차지하며[7], HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) system은 건물에

너지 소비의 약 50%를 담당하고 있다[8]. 따라서 건물 부문 탄소중립 달성을 위해서는 냉난방에 사용되는 HVAC 시스템의 에너지 소비량을 최소화하는 것이 필수적이다. HVAC 시스템의 용량은 냉난방 피크부하를 기반으로 산정되지만, 대부분의 시간대에 피크부하가 아닌 이보다 낮은 부분부하로 운전하기 때문에 과용량 설계는 시스템 효율을 저하로 이어져 에너지 사용량이 증가하게 된다[9]. 하지만 이미 대부분의 HVAC 시스템 용량이 평균 80% 이상 과용량(oversizing)으로 설계되고 있다[10]. 미국 에너지성(DOE, Department of Energy)에서 제시한 시뮬레이션 결과에서는 냉방시스템의 용량이 기존 대비 2배 과용량인 경우, 약 13%의 에너지 소비량 증가를 초래한다고 보고하였으며[11], HVAC 시스템의 과용량(oversizing)을 1% 줄일 때마다 0.2%의 에너지가 절약되는 것으로 추정된다[12]. 따라서 건물 부문 에너지 소비량 감축을 위한 HVAC 시스템의 적정 용량 설계는 필수적이다.

국내에서는 「에너지절약설계기준」[13]의 ‘지역별 건축물 부위의 열관류율’을 강화하여 건물 에너지 요구량을 감소시키고, 제로에너지건축물 의무화 확대를 통해 범위를 공공건물에서 시작하여 민간 건물까지 범위를 확장시켰으나, 설비시스템 용량에 대한 가이드 및 기준은 미비한 실정이다.

현재 주택의 설비시스템 용량을 계산하는 방법으로는 부하계산

프로그램을 활용하여 산정한 피크부하(Peak load)에 여유율을 고려하여 설비용량을 산정하거나, 단위면적당 냉난방부하 기준을 적용하여 계산할 수 있다. 부하계산 프로그램은 비전문가가 사용하기 어렵기 때문에 공동주택의 경우, 단위면적당 냉난방 부하 기준을 활용한다[14]. 국내 단위면적당 냉난방부하 기준으로는 산업표준 규격 KS C 9306:에어컨디셔너[15], 한국지역난방공사 「열사용시설기준」[16]에서 건물 용도 및 지역별 단위면적당 냉·난방 부하에 대한 기준을 제시하고 있다. 하지만 두 기준 모두 과거에 제정되어 지속적으로 강화되어 온 건물의 외피 열성능을 반영하고 있지 못하기 때문에 제로에너지건축물에 적용 시, 설비시스템 용량이 과용량으로 산정될 수 있다. 따라서 제로에너지건축물 인증 확대에 따라 현행 기준 및 현황에 적합한 설비용량을 산정하고 적용할 필요가 있다.

1.2. 연구 목적 및 범위

본 연구에서는 현행 「건축물에너지절약설계기준」, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서(ZEB T&C, Zero Energy Building Technology & Component)[17], 제로에너지 건축물 인증을 받은 공동주택 사례의 외피 열성능(열관류율)과 조명 밀도를 공동주택 모델에 적용하여 냉난방 피크 부하를 산정하고, 면적으로 나누어 단위면적당 냉난방 부하를 비교하였다.

산정 결과를 산업표준 규격 KS C 9306, 열사용시설기준에서 제시하는 단위면적당 냉난방 부하와 비교하여 기존 기준 적용 시 발생하는 과용량 설계 정도를 정량적으로 분석하고, 각 기준 및 사례별 외피 열성능에 따른 냉난방 피크 부하 절감 효과를 정량적으로 분석하였다. 나아가, 실제 인증 사례 분석을 통해 현시점의 제로에너지 공동주택에 적합한 단위면적당 냉난방 부하 수준을 제시하여 향후 합리적인 설비용량 기준 개정을 위한 기초 자료를 마련하는 것을 목적으로 한다.

연구 대상으로는 제로에너지건축물 5등급 인증을 받은 84m² 규모의 공동주택을 기준 모델로 선정하고 실제 ZEB 인증을 받은 공동주택 4개 사례(Case1-4)의 외피 열성능을 적용하였다. 냉난방 피크 부하 계산은 대한설비공학회(RTS-SAREK) 프로그램을 사용하였으며, 대상 지역은 중부 2지역(서울)로 한정하였다.

2. 설비용량 산정 및 외피 열관류율 기준

2.1. 냉난방 설비용량 산정 방법

국내 설비용량 산정 시 사용되는 부하계산 프로그램으로는 대한설비공학회 공조부하계산 표준화 프로그램 특별위원회에서 개발·배포한 RTS-SAREK이 널리 활용된다. RTS-SAREK은 복사시계열(RTS, Radiant Time Series)법에 기반하여 시간대별 부하를 요소별(구조체, 재실인원, 조명 등)로 계산하고 합산하여 냉난방에 대한 피크 부하를 계산하는 도구이다. 주요 입력 변수로는 외기 온도도 조건, 실내 발열(인체, 조명, 기기), 환기량 등이 있다.

단위면적당 냉난방 부하계산을 수행하는 기준으로는 KS C 9306:에어컨디셔너와 한국지역난방공사(KDHC, Korea District Heating Corporation)열사용시설 기준이 있다. KS C 9306의 경우

Table 1. Heating and cooling load per unit area

Standard	Classification	Cooling load [W/m ²]	Heating load [W/m ²]
KS C 9306	Highest	185	250
	Middle	145	220
KDHC (Korea District Heating Corporation)	85m ² ~	-	38.3~48.7
	60m ² ~85m ²	-	39.2~50.0
	0~60m ²	-	41.0~52.0

Table 2. U-value standards for envelope components

Component (W/m ² ·K)	Energy saving design standards			Zero Energy Building Technology & Component (ZEB T&C)
	1987	2013	2017	
Wall	0.582	0.270	0.170	0.150
Roof	0.407	0.180	0.150	0.150
Floor	0.582	0.230	0.170	0.150
Window	3.376	1.500	1.000	0.800 (SHGC 0.400)

1970년 제정 이후 1999년 개정된 기준을 현재까지 적용하고 있다. 단위부하는 최상층, 중간층으로 구분하여 제시하고, 난방부하의 경우 히트펌프와 전열 장치의 값을 제시하고 있다. 열사용시설기준의 경우, 1992년 제정 후 2012년과 2017년 개정되었으며, 지역별로 공동주택의 전용면적에 따라 단위난방부하 기준을 제시하고 있다.

Table 1.은 공동주택(아파트)에 적용되는 KS C 9306과 열사용시설 기준을 나타낸 것이다. KS C 9306의 경우 최상층 냉방부하를 185W/m², 중간층 145W/m²를 적용하고, 난방부하의 경우 공랭식 히트펌프를 기준으로 최상층과 중간층을 각각 250W/m², 220W/m²으로 제시하고 있다. 열사용시설기준은 단위면적당 난방부하만을 면적별로 제시하고 있다. 지역별로 85m² 초과인 경우 38.3W/m²~48.7W/m²의 분포이며, 서울의 경우 41.0W/m²이 적용된다.

2.2. 건축물 부위별 열관류율 기준

현재 건축물 에너지절약을 위해 「에너지절약설계기준」 별표1에서는 지역별 건축물 부위의 열관류율표를 제시하고 있다. 중부지역을 기준으로 외벽의 열관류율은 1987년 0.580W/m²·K에서 단계적으로 강화되어 2013년 0.270W/m²·K, 현행 기준(2017)에서는 0.170W/m²·K으로 강화되었다. 또한 제로에너지건축물 인증을 위한 기술요소 참고서(ZEB T&C)의 동일 부위 열관류율은 0.150W/m²·K으로, 외피의 열성능이 강화되어 건물 에너지 요구량은 지속적으로 감소하고 있다. Table 2.는 중부 2지역의 에너지절약설계기준과 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서(ZEB T&C)에서 제시하는 부위별 열관류율을 나타낸 것이다.

3. 제로에너지 공동주택 사례 및 대상 모델

3.1. 제로에너지 공동주택 사례

제로에너지건축물 인증은 총 6단계(+, 1-5 등급)로, 건축물 에너지 관리 시스템(BEMS, Building Energy Monitoring System) 설치 여부와 에너지 자립률 또는 연간 단위면적당 1차 에너지 소요량을

Table 3. Envelope U-values and lighting power densities of ZEB-certified apartment case studies

Components	ZEB T&C*	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
Completion year	-	2024	2023	2025	2025	
Wall [W/m ² ·K]	0.150	0.133	0.136	0.070	0.133	
Roof [W/m ² ·K]	0.150	0.133	0.120	0.089	0.133	
Floor [W/m ² ·K]	0.150	0.230	0.138	0.091	0.144	
Window	U-value	0.800	(0.800)	0.860	0.786	(0.800)
	SHGC	0.400	(0.400)	(0.400)	(0.400)	(0.400)
Lighting power density [W/m ²]	5.5	(5.5)	7.3	4.8	4.5	

*ZEB T&C: Zero Energy Building Technology& Component

기준으로 인증된다. 본 연구에서 분석한 제로에너지 공동주택 사례는 3등급과 5등급에 해당된다. 현재 각 등급의 기준에 따르면 3등급은 에너지자립률 60% 이상 또는 단위면적당 1차 에너지소요량 50kWh/m²·year 미만, 5등급은 에너지자립률 20% 이상 또는 단위면적당 1차 에너지소요량 90kWh/m²·year 미만이다.

Table 3.은 제로에너지 건축물 인증을 받은 공동주택에 적용된 외벽, 지붕, 바닥, 창호의 열관류율과 조명밀도를 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서(ZEB T&C) 값과 함께 나타낸 것이다. Case 1은 예비 5등급 인증을 받은 대상지로, 외벽과 지붕의 열관류율은 0.133W/m²·K, 바닥은 0.230W/m²·K이 적용되었다. Case 2는 본 인증 5등급을 받은 대상지로, 외벽, 지붕, 바닥의 열관류율이 ZEB T&C에서 제시하는 값보다 낮지만, 창호 열관류율 0.860W/m²·K, 조명밀도 7.3W/m²으로, ZEB T&C에서 제시하는 값 보다 높은 값이 적용되었다. Case 3, Case 4는 예비 3등급 인증을 받은 대상지로 외벽, 지붕, 바닥의 열관류율이 ZEB T&C와 비교하여 낮고, 조명밀도도 각각 4.83W/m², 4.50W/m²으로 낮게 적용되었다.

냉난방 피크 부하 계산 시, 제로에너지 공동주택 사례 조사 시, 일부 창호 열관류율(Case 1, Case 4)과 조명밀도(Case 1) 정보가 누락되어, ZEB T&C 기준에 따라 창호 열관류율 0.800W/m²·K, 조명밀도 5.5W/m²으로 입력하고, 모든 대상지의 창호 SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)는 0.400으로 입력하였다.

3.2. 대상 모델 선정

현행 「건축물에너지절약설계기준」, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서(ZEB T&C)와 제로에너지 건축물 인증을 받은 공동주택 사례의 외피 열성능과 조명 밀도를 모델에 적용하여 냉난방 피크 부하를 계산하고, 단위면적당 부하를 비교하기 위해 제로에너지건축물 5등급 인증을 받은 공동주택을 Fig. 1.과 같이 선정하였다. 동일한 면적과 구조를 가진 대상 모델에 기준 및 사례별 외피 열관류율과 조명 밀도 값을 적용하고, 이를 통해 외피 열성능 변화에 따른 냉난방 피크 부하를 정량적으로 비교하였다.

대상 모델은 3-bay 판상형 평면으로, 침실 2개와 안방, 거실로 구성되어 있다. 대상 모델은 거실을 기준으로 남향으로 배치하고, 한 층당 좌우 2세대(Unit A, Unit B)로 이루어진 12층 규모의 공동주택

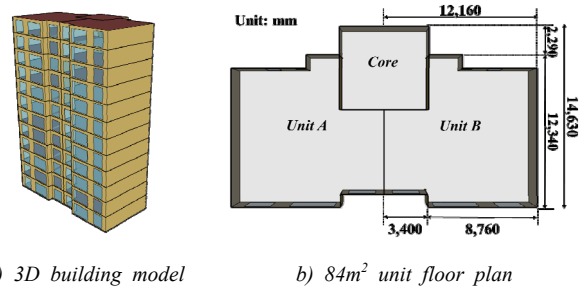


Fig. 1. Zero-energy residential building reference model

Table 4. Input parameters for peak heating and cooling load calculation using RTS-SAREK

Conditions		Heating	Cooling
		Indoor temperature [°C]	20
	Outdoor temperature [°C]	-10.4	31.2
	People [Number]	4	
	Air change per hour [ACH]	0.5	
	Equipment [W/m ²]	2	
	Location	Seoul (central region 2)	

으로 가정하였다. 각 세대 중앙에는 코어(엘리베이터, 계단실)를 배치하고, 1개동 12층으로 구성된 공동주택 모델을 설정하였다. 최하층, 중간층, 최상층을 대상으로 하여 각 실을 독립된 공간 단위로 설정하고 개별적으로 산정하였다. RTS-SAREK을 이용한 부하계산 시, 실내 발열부하 및 실내·외 조건은 Table 4.와 같이 입력하였다.

Table 4.에서 실내 설정온도는 에너지절약설계기준 별표 8(냉·난방설비의 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준)의 공동주택 값인 난방 20℃, 냉방 26℃으로, 실외 온도는 별표 7(냉·난방설비의 용량계산을 위한 설계 외기 온·습도 기준)에서 서울의 외기조건을 적용하였다. 대상 모델 내 4인 가구가 거주하는 것으로 하고, 환기횟수는 시간당 0.5회로 입력하였으며, 대상모델의 지역은 모두 서울(중부 2 지역)으로 가정하였다.

4. 설비용량 산정을 위한 단위면적당 냉난방 부하 분석

에너지절약설계기준, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서와 제로에너지 건축물 인증을 받은 공동주택 사례의 냉난방 부하를 계산하기 위해 Fig. 1.의 대상모델에 Table 3., Table 4.에 나타낸 각 기준 및 사례의 열관류율 및 입력값을 적용하여 RTS-SAREK을 통해 냉난방 피크부하를 계산하였다.

4.1. 기준별 냉난방 부하

Table 5.는 국내 주요 단위면적당 냉난방부하 산정기준인 KS C 9306, 한국지역난방공사-열사용시설기준(KDHC)과 에너지절약설계기준의 주요 개정, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서(ZEB T&C)의 부위별 열관류율을 대상모델에 적용하여 단위면적당 냉난방 부하 계산한 것이다. KDHC는 난방부하만을 제시하고 있어, 냉방부하는 비교에서 제외되었다.

Table 5. Heating and cooling loads per unit area by standard and floor level

		KS C 9306	KDHC	Energy saving design standards			ZEB T&C
				1987	2013	2017	
Ground floor	Cooling	145.0	-	65.0	58.3	56.6	53.5
	Heating	220.0	42.1	70.9	38.8	30.8	28.1
Middle floor	Cooling	145.0	-	64.8	58.2	56.5	53.5
	Heating	220.0	42.1	69.5	38.3	30.4	27.8
Top floor	Cooling	185.0	-	67.5	59.2	57.4	54.3
	Heating	250.0	42.1	83.7	44.5	35.5	33.0

*KDHC: Korea District Heating Corporation

가장 보수적인 값을 가진 KS C 9306의 경우, 단위면적당 냉방부하가 145~185W/m², 난방부하가 220~250W/m²으로 가장 높다. KDHC의 난방부하는 층 구분 없이 단위면적당 난방부하가 42.1W/m²으로, 1987년 기준의 결과(69.5W/m²~83.7W/m²) 보다는 약 40% 낮고, 2017년 기준의 결과(30.4W/m²~35.5W/m²) 보다는 약 18% 높은 것으로 나타났다. ZEB T&C의 열관류율을 적용하여 냉난방 부하를 계산한 결과, 난방부하가 27.8~33.0W/m², 냉방부하가 53.5~54.3W/m²으로 모든 기준 중 가장 낮은 값을 나타냈다.

각 결과에서 최상층(Top floor)를 기준으로, 난방부하는 1987년 기준의 83.7W/m²에서 2017년 기준의 35.5W/m², ZEB T&C의 33.0W/m²까지 약 60% 감소하였다. 냉방부하는 같은 기간 67.5W/m² (1987년)에서 54.3W/m² (ZEB T&C)까지 약 20% 감소한 것으로 나타났다.

4.2. 제로에너지 공동주택 냉난방 부하

Fig. 2., Fig. 3.은 각각 Table 3.에 나타난 제로에너지 공동주택 사례(Case 1~4)의 부위별 열관류율 및 조명밀도를 대상모델(Fig. 1.)에 적용하여 계산한 단위면적당 냉방부하와 난방부하를 ZEB T&C에 적용하여 계산한 결과와 함께 나타낸 것이다.

Fig. 2.에서 ZEB T&C의 단위면적당 냉방부하는 최하층 53.5W/m², 중간층 53.5W/m², 최상층 54.3W/m²으로 나타났다. ZEB T&C와 제로에너지 공동주택 사례(Case 1~4)는 최하층과 중간층의 냉방부하가 같거나 0.1W/m²의 근소한 차이를 보였으며, 최상층의 단위 냉방부하가 최하층과 비교하여 0.4~0.8W/m² 높게 나타났다.

최상층의 단위 냉방부하를 기준으로 제로에너지 공동주택 기준 및 사례의 단위 냉방부하 분포는 51.6~55.3W/m²으로 좁은 범위 내에 분포한 것으로 판단된다. 일부 낮은 열관류율 및 조명밀도가 적용된 사례인 Case 3, 4의 단위 냉방부하가 각각 51.9W/m², 51.6W/m²으로 비교적 낮게 나타났으나, 가장 높은 단위 냉방부하를 보인 Case 2와 최대 3.7W/m²의 작은 차이를 보인 것으로 판단된다.

단위면적당 난방부하를 비교한 Fig. 3.에서 ZEB T&C의 단위 난방부하는 최하층 28.1W/m², 중간층 27.8W/m², 최상층 33.0W/m²으로 나타났다. Fig. 2.의 단위 냉방부하와 달리 사례에 따라 최하층의 난방부하가 중간층보다 0.2~0.5W/m² 높게 나타났으며, 최상층의 경우 최하층과 비교하여 2.9~4.8W/m²의 차이를 보였다.

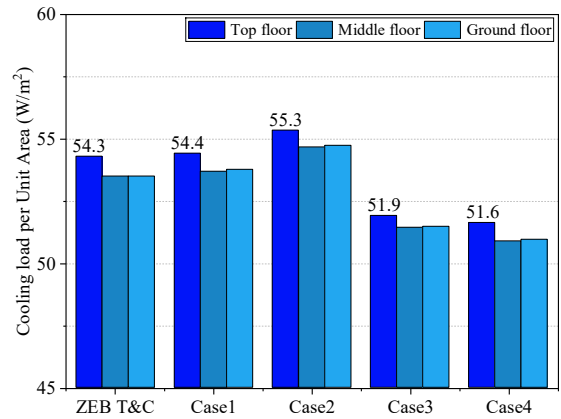


Fig. 2. Calculated cooling load per unit areas for Zero energy buildings

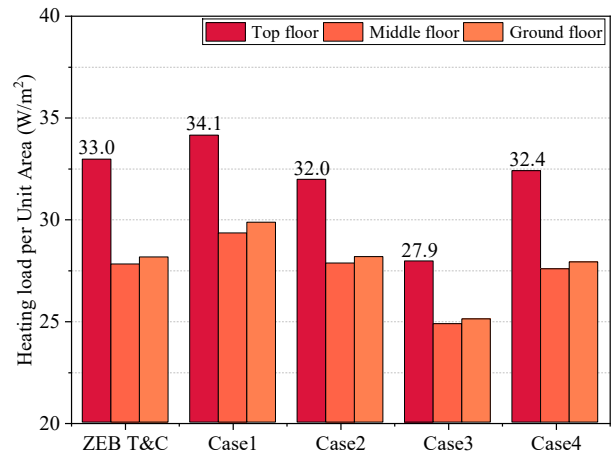


Fig. 3. Calculated heating load per unit areas for Zero energy buildings

단위 난방부하가 비교적 높은 최상층을 기준으로 비교하면, Case 1이 가장 높은 34.1W/m²로 나타났으며, Case 3가 가장 낮은 27.9W/m²로 나타났다. Case 4의 경우, 단위 난방부하에서는 Case 3와 함께 비교적 낮은 난방부하를 보였으나, 적용된 외피 열성능이 Case 1, 2와 유사한 동시에 난방부하에서는 조명밀도를 고려하지 않기 때문에 Case 1, 2와 유사한 단위 난방부하를 보인 것으로 판단된다.

4.3. 기존 및 ZEB 사례에 따른 냉난방 부하 분석

Fig. 4., Fig. 5.는 KS C 9306, KDHC 기준과 에너지절약설계기준

의 주요 개정, ZEB T&C, 제로에너지 공동주택 사례(Case 1-4)를 대상으로 냉난방 피크부하를 계산하여 사례별 단위면적당 부하의 분포로 나타내고 비교한 것이다. 각 기준 혹은 사례에 따라 층별 평균값을 나타내었다.

Fig. 4.에서 KS C 9306의 경우 층에 따라 단위면적당 냉방부하 분포가 145~185W/m²로 나타났으며, 층별 평균은 158.3W/m²이다. 단위면적당 냉방부하의 평균을 비교하면, KS C 9306은 가장 보수적인 158.3W/m²을 나타냈다. 에너지절약설계기준 적용 시, 1987년 기준은 67.9W/m², 2013년 58.6W/m², 2017년 56.8W/m²으로 개정에 따른 단계적 감소를 보이며, ZEB T&C (53.8W/m²)와 제로에너지 공동주택 사례(52.9W/m²)에서 더욱 감소했다. 각 기준에 따른 단위면적당 냉방부하를 기반으로 설비용량 산정 시의 과용량 비율을 제로에너지 공동주택 사례(Case 1-4)의 평균값과 비교하면 KS C 9306은 199.2%, 개정에 따른 에너지절약설계기준은 1987년 28.4%, 2013년 10.8%, 2017년 7.4% 과용량 설계가 될 것으로 판단된다.

Fig. 5.에서 단위면적당 난방부하의 평균은 KS C 9306이 230.0W/m²로 가장 높게 나타났으며, 에너지절약설계기준 개정은 1987년 74.7W/m², 2013년 40.5W/m², 2017년 32.2W/m²로 단계적

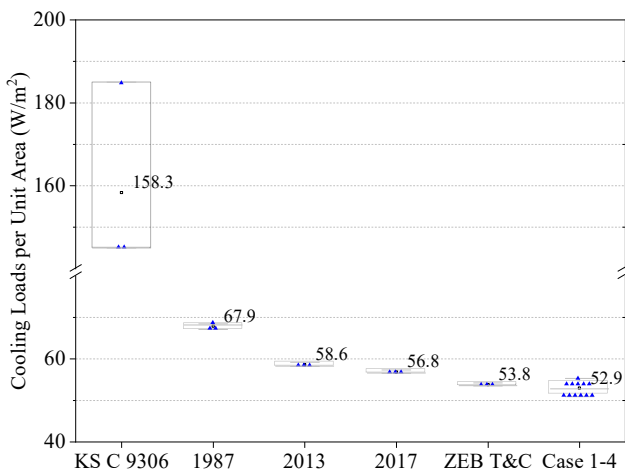


Fig. 4. Distribution of cooling loads per unit area under standards and cases

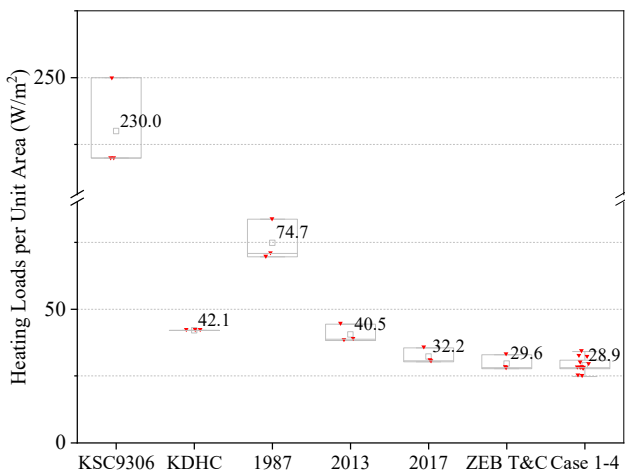


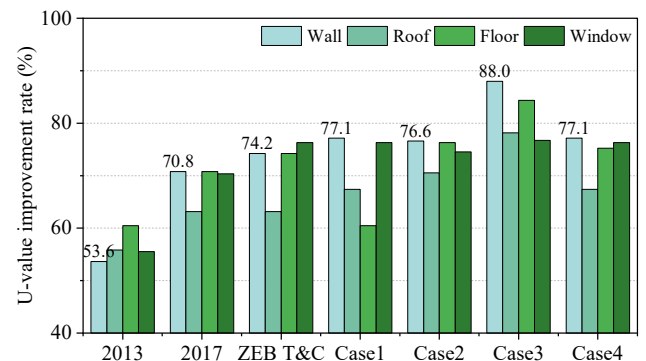
Fig. 5. Distribution of heating loads per unit area under standards and cases

으로 감소한다. ZEB T&C는 29.6W/m²로 기준 중에서는 가장 낮은 값을 보였으며, 제로에너지 공동주택 사례(Case 1-4)는 28.9W/m²로 ZEB T&C 보다 낮게 나타났다. KDHC는 42.1W/m²으로 2013년 에너지절약설계기준의 열관류율을 적용한 결과와 유사한 것으로 나타났다.

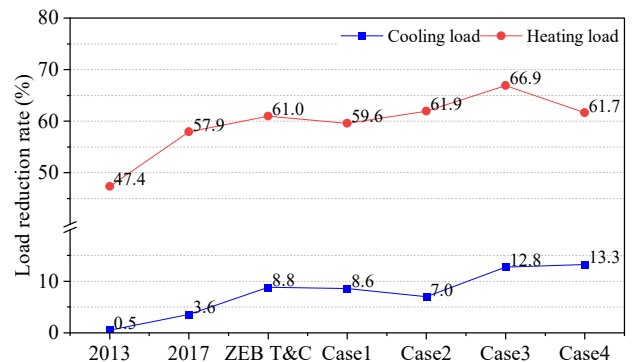
단위면적당 난방부하를 기반으로 설비용량 산정 시의 과용량 비율을 비교하면 KS C 9306은 제로에너지 공동주택 사례(Case 1-4)와 비교하여 695.8%, 에너지절약설계기준은 연혁에 따라 1987년 158.5%, 2013년 40.1%, 2017년 11.4%, 열사용시설기준은 45.7% 과용량 설계가 될 것으로 나타났다. 단위면적당 난방부하의 경우 Fig. 4.의 냉방부하 보다 더욱 뚜렷한 추세를 보였는데, 이는 피크부하 기반 계산 시 외피 단열 성능 강화가 냉방부하보다 난방부하에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

Fig. 6.은 1987년 에너지절약설계기준의 외피 열성능과 이를 적용하여 계산한 단위면적당 냉난방 부하계산 결과를 기준으로 연도에 따른 에너지절약설계기준 개정, ZEB T&C, 제로에너지 공동주택 사례(Case 1-4)의 외피 열성능 개선정도와 냉난방 부하 절감량을 나타낸 것이다.

Fig. 6. a)에서 외벽의 열관류율은 1987년 대비 2013년 53.6%, 2017년 70.8% 향상되었으며, ZEB T&C와 제로에너지 공동주택 사례(Case 1, 2, 4)는 74.2%~77.1% 수준으로 유사한 것으로 나타났다. Case 3의 경우 가장 낮은 열관류율인 0.070W/m²·K이 적용되어 기준 대비 88.0% 향상되었다.



a) U-value improvement



b) Heating and cooling load reduction rates

Fig. 6. Analysis of envelope performance improvement and load reduction

Fig. 6. b)에서 단위 난방부하는 1987년의 외피 열성능을 적용한 결과와 비교하여 2013년 47.4%, 2017년 57.9%, ZEB T&C 61.0% 까지 지속적으로 감소하였으나, 제로에너지 공동주택 사례에서 Case 3를 제외한 모든 대상지의 감소가 59.6%~61.9%로 차이가 미미하다. Case 3의 경우 다른 제로에너지 공동주택 사례와 비교하여 외벽의 열관류율이 약 50% 낮고, 지붕은 25%~33%, 바닥은 ZEB T&C 대비 높은 열관류율($0.230\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)이 적용된 Case 1을 제외하여도 34%~37% 낮은 열관류율이 적용되어 난방부하의 절감이 크게 나타났다.

ZEB T&C와 가장 뛰어난 열적 성능이 적용된 Case 3의 비교 시, 외벽의 열관류율 개선정도는 ZEB T&C가 74.2%, Case 3가 88.0%로 13.7%의 차이를 보인다. 지붕, 바닥이 각각 15.0%, 10.1%의 차이로 외피 열성능이 제로에너지건축물 기준과 비교하여 10% 이상 향상된 것을 확인할 수 있으나, 단위 난방부하의 절감은 ZEB T&C는 61.0%, Case 3가 66.9%로 5.9%의 차이를 보여 외피 성능 향상 대비 난방부하의 절감이 미미한 것으로 판단된다. 이는 외피의 열성능이 일정 수준을 초과하면 단열 성능 향상이 난방부하 절감에 미치는 영향이 점차 감소함을 보인다.

단위 냉방부하의 경우 1987년과 비교하여 2013년 0.5%, 2017년 3.6% 감소하였으며, ZEB T&C와 Case 1, 2는 7.0%~8.8% 감소하였다. 반면 Case 2와 유사한 수준의 열관류율이 적용되었음에도 낮은 조명밀도가 적용된 Case 4는 13.3%의 냉방부하 절감을 보였으며, 적용된 외피의 열적 성능이 가장 뛰어난 Case 3(12.8%)보다 0.5% 크게 나타났다. 이는 Case 4에 적용된 조명밀도가 $4.5\text{W}/\text{m}^2$ 로 Case 3에 적용된 조명밀도 $4.8\text{W}/\text{m}^2$ 와 근소한 차이를 보이지만, 외피의 열적성능이 뛰어난 건물에서 단위 냉방부하 절감에는 외피의 열성능 향상보다 조명밀도, 기기부하 등의 내부부하 절감이 더 효과적임을 시사한다.

따라서 외피 열성능의 강화는 난방부하 절감에 미치는 영향이 점차 감소하고 있으며, 냉방부하 감소에는 단열성능의 강화보다 내부부하의 절감이 큰 영향을 미치는 것으로 보이며, 이를 고려한 제로에너지건축물 수준의 단위면적당 냉난방 부하를 재정립할 필요가 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 제로에너지건축물 인증을 받은 공동주택 대상 모델에 「건축물에너지절약설계기준」의 주요 개정(1987년, 2013년, 2017년), 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서(ZEB T&C), 제로에너지건축물 인증 공동주택 사례(Case 1-4)의 외피 열성능 및 조명 밀도를 적용하여 단위면적당 냉난방 피크 부하를 RTS-SAREK으로 산정하였으며, 그 결과를 단위면적당 냉난방 부하로 계산하여 기존 기준값(KS C 9306, 열사용시설기준)과 정량적으로 비교하였다.

연구 결과, 제로에너지 공동주택의 단위면적당 부하는 사례에 따라 냉방 $51.0\sim 55.3\text{W}/\text{m}^2$, 난방 $24.8\sim 34.1\text{W}/\text{m}^2$ 으로 나타났다. 이를 기존의 단위면적당 냉난방 부하 기준과 비교한 결과, KS C 9306은 단위면적당 냉난방 부하가 냉방 199.2%, 난방 695.8% 높게 나타났으며, 열사용시설기준은 난방부하가 45.7% 높게 나타났다. 에너

지절약설계기준 개정에 따른 적용 시에도 냉방 7.4%~28.4%, 난방 11.4%~158.5% 크게 나타났다. 따라서 기존 단위부하 기준을 통해 설비시스템 용량을 산정하는 경우 과용량 설계가 될 수 있으며, 이는 난방설비에 더 큰 영향을 미칠 수 있다.

또한 제로에너지 건축물 인증을 위한 기술요소 참고서(ZEB T&C) 대비 제로에너지 공동주택 사례(Case 3)를 비교한 결과 외벽, 지붕, 바닥의 열관류율 개선은 각각 13.7%, 15.0%, 10.1% 차이를 보이지만, 단위 난방부하는 5.9%의 차이를 보여 외피 열성능 향상에 따른 난방부하 절감은 점차 감소하고 있다. 동시에 Case 4는 Case 3와 비교하여 높은 열관류율이 적용되었으나, 낮은 조명밀도(Case 3 - $4.83\text{W}/\text{m}^2$, Case 4 - $4.50\text{W}/\text{m}^2$)로 냉방부하 절감 효과가 크게 나타나 냉방부하 부문에서는 외피 열성능 보다 내부 부하로 인한 절감 효과가 큰 것으로 판단된다.

따라서 공동주택의 제로에너지건축물 달성과 에너지 소비량 절감을 위해서는 현행 기준 및 실제 사례에서 나타나는 외피 열성능과 내부 부하 수준을 종합적으로 반영한 단위 냉난방부하 기준의 마련이 필요하다. 특히 외피 성능 향상이 일정 수준 이상에서는 부하 절감 효과가 점차 감소하는 비선형적 경향을 보이므로, 단순히 단열을 강화하는 것만으로는 효과적인 설비 최적화를 기대하기 어렵다. 이에 따라 부하 특성을 기반으로 한 합리적인 설비용량 산정 방식이 요구된다.

본 연구를 통해 도출된 단위면적당 냉난방 부하는 강화된 단열성능 및 제로에너지건축물 수준의 성능 요소들을 반영한 결과로, 기존 KS C 9306 및 열사용시설기준에 비해 현저히 낮은 값을 보였다. 이는 기존 기준을 그대로 적용할 경우, 냉난방 설비용량이 실제 에너지 요구량보다 과도하게 산정될 수 있음을 시사하며, 이는 에너지 소비량 증가로 이어진다. 특히 난방 부하에 있어 단열성능 향상이 부하 절감에 미치는 영향이 크다는 점을 고려하여 강화된 열성능 수준을 반영한 설비용량 기준이 필요하다.

한편, 본 연구는 중부2지역(서울)의 기후 조건과 제로에너지건축물 인증을 받은 4개 공동주택 사례를 기반으로 냉난방 피크 부하 및 설비 과용량 수준을 분석하였으므로, 향후에는 다양한 기후대, 건물 유형, 사례를 포함한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

향후 본 연구 결과의 부하계산 결과를 동적 에너지 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 연간 부하, Auto-sizing, 여유율(Safety factor), 부분부하 운전 및 Unmet hours를 종합적으로 분석하여 냉난방 설비시스템 적정 용량을 정량적으로 산정하고 분석할 예정이다.

References

- [1] B. Jones et al., Assessing uncertainty in housing stock infiltration rates and associated heat loss: English and UK case studies, *Building and Environment*, 2015, 92, pp.644-656.
- [2] California Energy Commission, 2019 Building energy efficiency standards for residential and non-residential buildings, CEC, 2019.
- [3] U. Desideri et al., Design of a multipurpose "zero energy consumption" building according to european directive 2010/31/eu: life-cycle assessment, *Energy and Buildings*, 80, 2014, pp.585-597.
- [4] S. Zhang et al., scenarios of energy reduction potential of zero-energy building promotion in the Asia-Pacific region to year 2050, *Energy*, 213, 2020, 118792.
- [5] International Energy Agency, Net zero by 2050: A roadmap for the

- global energy sector, IEA, 2021.
- [6] 2050탄소중립녹색성장위원회, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획, 2023 // (2050 Carbon Neutrality and Green Growth Committee, National framework plan for carbon neutrality and green growth, 2023)
 - [7] International Energy Agency, Energy market report 2015, OECD/IEA, 2015.
 - [8] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40, 2008, pp.394-398.
 - [9] 남아영, 김영일, 최근 기상데이터를 반영한 냉난방 설계용 외기 온·습도의 재산정, *설비공학논문집*, 제31권 제4호, 2019.4, pp.149-155. // (A.Y. Nam, Y.I. Kim, Recalculation of outdoor temperature and humidity for cooling and heating load design including recent weather data, *Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 31(4), 2019.4, pp.145-155)
 - [10] D. Frenze et al., Right-sizing laboratory equipment loads, National Crime Prevention Institute, 2005.
 - [11] U.S. Department of Energy, Right size heating and cooling factsheet, DOE, 2002.
 - [12] H.A. McLain et al., Benefits of replacing residential central air conditioning systems, Oak Ridge National Laboratory, 1985.
 - [13] 국토교통부, 건축물 에너지절약설계기준 국토교통부 고시 제2024-1026호, 2024. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy saving design criteria for buildings, 2024.)
 - [14] 조홍재, 최슬건, 황동곤, 제로에너지 건축물 인증 의무화에 따른 공동주택 단위 냉난방부하 기준에 관한 연구, *설비공학논문집*, 제35권 제12호, 2023.12, pp.633-645. // (H.J. Cho, S.G. Choi, D.K. Hwang, A study on unit heating and cooling load standard for apartment houses according to the mandatory of zero energy building certification, *Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 35(12), 2023.12, pp.633-645.)
 - [15] 한국산업표준심의회, KS C 9306:2017 공기조화기, 한국기계전기전자시험연구원, 2017. // (Korean Industrial Standards Review Council, KS C 9306:2017 Air conditioners, Korea Testing Certification Institute, 2017.)
 - [16] 한국지역난방공사, 열사용시설기준, 2022. // (Korea District Heating Corporation, Heat utilization facilities Standard, 2022.)
 - [17] 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증 기술요소 참고서, 2024. // (Korea Energy Agency, Zero energy building _ technology & component, 2024.)