

그린리모델링 효과평가를 위한 표준공동주택 정밀에너지해석모델 보정과 검증*

Calibration and Verification of Detailed Prototypical Apartment Building Energy Models for Estimation of Green Remodeling Feasibility

서동현**

Donghyun Seo**

Abstract

The prototypical building energy model is very useful in building energy policies, research, and technology development. A prototypical apartment model for detailed energy analysis was proposed by Seo et al. in 2014, but sufficient verification was not possible due to the lack of reliable measurement data in predicting the model's energy consumption. However, verification is now possible thanks to a recent study that analyzed the Household Energy Panel Survey (HEPS) data that is released annually by the Korea Energy Economics Institute (KEEI) and published apartment complex benchmark data. The data was used to calibrate the prototypical apartment energy model located in the central region and constructed between 1990 and 1999. The calibrated model was used to verify the other apartment building groups with respect to region and year of completion. Meteorological data for five representative cities each in the central and southern regions were used for the simulation. A majority of the 18 groups produced results that satisfied the MBE and cv(RMSE) criteria.

Keywords: APT, Prototypical Building Model, Energy Analysis, Building Energy, Benchmark Data

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국토교통부가 한국부동산원과 함께 국가건물에
너지 통합관리시스템 정보를 분석한 결과 2021년
건물부문 총에너지소비량은 34,344천TOE이며, 이
중 공동주택에서 43.2%, 단독주택에서 15.9%를 사
용하여 주거용에서 약 60%의 건물에너지소비량을
담당하는 것으로 보고하였다(국토교통부, 2021).

이를 주거용건물로 한정하여 분석하면 공동주택

의 연면적은 전체 주거용건물 총면적 18.7억 m^2 의
66%를 차지하고, 에너지소비량은 총 주거에너지소
비량인 20,000 천TOE의 61%를 차지한다. 일반적
으로 공동주택이 다른 주거유형에 비하여 에너지효
율적인 것으로 알려져 있으나, 주거부문에서 탄소중
립 실현정책을 수립한다면 공동주택이 그 주요대상
이 되어야 함을 이 데이터가 설명하고 있다.

건물에너지 효율강화를 위한 주요 대상으로 공동
주택을 선택한다면, 효과적인 정책개발(정윤혜 외,
2013)이나 기존정책 개선을 위한 첫 단추는 공동주

*이 연구는 국토교통부·국토안전관리원 지원 「2024 그린리모델링 플랫폼」사업의 지원을 받아 작성되었음.

**충북대학교 건축공학과 부교수(seodh@cbnu.ac.kr)

택 에너지소비특성 분석이 우선되어야 한다. 이러한 분석에 활용할 수 있는 데이터로는 유정현 외(2012)의 연구에 기반하여 한국부동산원에서 2023년부터 제공하고 있는 주거건물 표준베이스라인(국토교통부, 2020), 에너지경제연구원과 에너지공단에서 3년마다 발간하는 에너지총조사, 에너지경제연구원에서 매년 공개하는 국가표준통계인 가구에너지패널조사(HEPS: Household Energy Panel Survey) 등이 있지만 공동주택의 상세한 에너지 소비특성 정보를 추출하기 위해서는 상세 데이터가 부족하거나, 분석에 상당한 노력과 시간을 필요로 하는 단점이 있다.

실무자나 연구자 및 보다 다양한 분야에서 소비특성 분석을 위해서는 1) 최소 월별/원별 소비량을 확인할 수 있고, 2) 냉방, 난방, 급탕 등 에너지소비처별 소비량의 비율을 파악할 수 있거나, 3) 에너지소비량과 건축 및 설비특성 정보와 연계하여 에너지소비가 변화하는 인과관계를 파악할 수 있는 등 보다 상세한 정보가 제공되거나 이러한 정보를 추출할 수 있는 기초데이터가 필요하다. 그러나 1)~3)에 이르는 모든 정보를 수집하거나 분석결과를 제공하는 것은 비용과 시간의 한계로 불가능하기 때문에 공학적 분석기술이 보완적으로 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택의 에너지소비특성정보의 다양한 도출을 목적으로, 기존에 발표된 표준공동주택 연구결과(서동현 외, 2014)를 활용하여, 이를 상세 건물에너지모델로 구현한 후 전형적인 공동주택 에너지소비량 벤치마크데이터를 제공한 김혜진 외(2023)의 연구결과를 활용하여 모델의 보정과 검증을 진행하였다. 이를 통해 앞서 제시한 1)~3) 정보를 연구개발자, 설계실무자, 정책개발자 등이 쉽게 활용할 수 있는 도구개발의 기초연구가 될 것이다. 또한, 이 연구결과는 공동주택의 에너지효율을 높이는 기술의 효과를 객관적으로 검증하기 어려웠던 여러 참여자들에게 시뮬레이션

측면에서 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 서동현 외(2014) 연구결과를 활용하여 정밀 건물에너지 해석도구인 eQUEST를 이용하여 표준공동주택모델을 제작한 후, 김혜진 외(2023)에서 제시한 주거에너지 벤치마크데이터를 보정 및 검증데이터로 활용하였다.

이 벤치마크데이터는 공동주택의 에너지소비량을 EUI(Energy Use Intensity, kWh/m²-yr)값으로 산정한 후 기후존, 전용면적, 준공년도로 구분하여 제시하고 있기 때문에, 중부지역과 남부지역의 대표 도시를 선정하였으며, 서동현(2017)의 연구에 기반한 도시별 표준기상데이터를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

2. 선행연구 검토

국외의 경우 Huang et al.(1991)이 당시 상업용건물 센서데이터(NBECS: Nonresidential Building Energy Consumption Survey)를 기반으로 병원, 호텔, 식당, 사무소, 슈퍼마켓, 상점, 학교, 모텔/호텔 등 37개 용도별 유형과 13개 도시를 대상으로 표준 상업용건물모델을 DOE-2를 이용하여 개발한 것이 본격적인 상세 건물에너지 모델을 이용한 표준건물 에너지소비량 특성분석의 시초가 된 것으로 판단된다. 이후 Huang et al.(1999) 및 Huang et al.(2005) 연구를 통해 CBECS(Commercial Buildings Energy Consumption Survey) 데이터를 표준건물모델의 예측결과와 비교분석한 연구를 통해 모델 검증과 검증이 완료된 모델을 이용한 활용방안을 제시하였다.

이러한 연구를 기반으로 NREL(2005)은 Building America 프로젝트의 일환으로 표준 주거건물 에너지모델을 제시하여 기존 및 신축주택에서 50%의 에

너지절약을 달성할 수 있는 비용효율적인 기술을 산업체와 건물주에게 제공하였다. 이러한 표준건물모델은 고효율 기술평가, 설계 시 최적화 분석 수행, 제어기술 효과분석, 에너지 코드나 기준 개발 및 평가 등 연구 및 실무에 다양하게 활용하고 있다.

국내의 경우 가장 파급효과가 큰 표준건물 관련 연구는 한국에너지기술연구원(2001)의 연구결과로, 건축물에너지효율등급제도의 시행을 위한 효율등급 평가방법으로 표준건물모델을 개발하여 활용하는 방안을 제안한 연구이다. 이 연구를 통해 표준공동주택모델 정의용 단위세대의 에너지소요량을 산출할 수 있는 에너지성능평가표와 표준공동주택의 정의항목과 값을 제안하였다. 한국건설기술연구원(2007)의 연구는 건물의 에너지효율등급제도 개선 방안을 제시하기 위하여 표준건물을 정의하였다. 이 연구는 우리나라와 동일한 기후대에 위치한 외국의 단위기준, 주거용 건물의 평균 에너지소비량에 대한 비교를 통해 성능개선에 대한 필요성을 파악, 정량적 비교를 위한 에너지성능 평가기법 개발 및 검증, 분석결과에 바탕한 국내에 보다 적합한 건물에너지효율등급제도의 로드맵을 주거용/비주거용 건축물 분야에 대해 제시하였다.

정영선 외(2014)는 435개 건물의 건축물에너지절약계획서, 에너지성능지표(EPI) 검토서 및 해당 건물 설계도서 수집과 분석을 통해 비주거용 표준건물모델을 제안하였다. 정해권 외(2017)는 유사한 수집데이터를 기반으로 공동주택 표준건물모델을 정의하고, ECO2모델링을 통해 월별, End-Use별 소비량을 도출하였다.

이 연구들은 앞서 거론한 국외 상세 건물에너지모델 기반 연구에 근접한 것으로 판단되나, 다양한 이용특성 프로파일 조절이 어려운 ECO2를 이용하거나, 지역별, 주거건물 규모별 및 주거유형(단독 및 공동주택 등)에 따른 표준건물을 제공하지 못한 점을 연구의 한계로 언급하였다.

이러한 측면에서 서동현 외(2014)의 연구는 상세 건물에너지 해석도구 모델링을 전제로 표준공동주택모델을 정의한 국내에서 드문 연구사례로 판단된다. 그들은 이 연구에서 건축정보, 설비정보, 조명과 가전 및 냉난방설비의 운전특성 등에 관한 시간별 프로파일까지 제공하여, 연구결과에 대한 재연성을 제공하였다. 그러나, 이 연구는 End-Use 비율측면에서 에너지모델의 소비량 추정결과 검증을 제시하였으나, 당시에는 상세검증을 시행할 신뢰성있는 측정 데이터가 부족하여 월별, 년별 소비량 검증결과를 제시하고 않아 이에 관한 검증이 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

최근, 신뢰성 있는 공동주택의 전형적 소비량 연구사례가 발표되었는데 대표적인 것이 진혜선 외(2018), 김혜진 외(2023)의 연구이다. 진혜선 외(2018)의 연구는 김용인·송승영(2014)의 연구에서 시작한 연구의 연장선상에 있는 연구로, 공동주택의 에너지 소비절약을 위한 설계기준의 참고자료로서의 활용과 건축물 에너지 소비 총량제의 기준과 실제 에너지소비량과의 비교 분석을 목적으로 하였다. 서울시 내 공동주택 181개 단지를 대상으로, End-Use별 소비량 측정과 함께 영향인자인 에너지효율등급 획득 여부, 전체 세대수, 전체 사용면적, 세대평균 전용면적, 최고 층수, 코어형태, 주동형태, 주향, 사용승인 연도에 대하여 조사하였다.

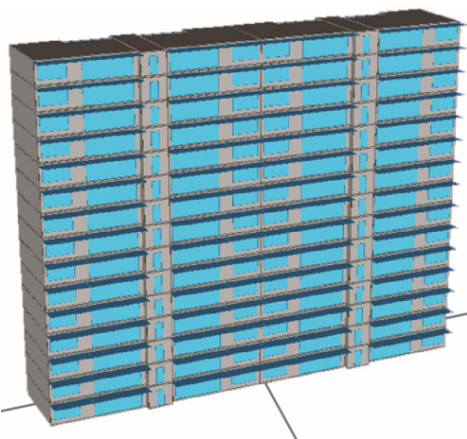
3. 시뮬레이션 데이터 및 프로세스

3.1 표준공동주택 에너지모델

Table 1과 Fig. 1은 서동현 외(2014)의 연구에서 제시한 표준공동주택 모델의 정의내용과 에너지모델 3-D뷰를 보여주고 있다. 이 건물은 1990년대에 준공된 전용면적 84m², 15층, 층별 4세대로 구성된 전형적인 공동주택이다.

Table 1. Summary of Defined Prototypical APT

Categories	Defined values
Structure	Staircase type
Vintage	1990~1999
Thermal Transmittance	Envelope: 1987 Building Code SC of Window: 0.82
Floor Height	2.6 m
Stories	15
Usable Area	84 m ²
Aspect Ratio	1:3
Orientation	South
WWR	S: 57.8%, N: 37.9%, Average: 47.3%
Infiltration	0.3 ACH
People	3
HVAC Setting	Heating: Nov~Mar (20°C) Cooling: Jun 11~Sep 10 (28°C)
HVAC Type	Gas boiler, Eff: 80% A/C, COP: 2.9
LPD & Schedule	LPD: 3.83 W/m ² Schedule: Refer [Seo, 2014]
EPD & Schedule	EPD: 6.4 W/m ² Schedule: Refer [Seo, 2014]
NOP & Schedule	NOP: 3 Schedule: Refer [Seo, 2014]
DHW & Schedule	Design Value: 45.5 liter/Unit Schedule: Refer [Seo, 2014]

**Fig. 1.** 3-D view of Prototypical APT Model

3.2 표준기상데이터

이 연구에서는 충북대학교 건축환경 및 에너지연구실에서 개발(서동현, 2017)한 대한민국 표준기상 데이터를 사용하였다. 이 표준기상데이터는 NREL TMY2 제작 기준에 따라 국내기상청 데이터를 기반으로 35개 주요도시를 대상으로 개발되었으며, 한국건축친환경설비학회의 표준데이터로 채택될 예정이다. Table 2는 본 연구에서 이용한 기후존 기준 중부와 남부 10개 대표도시에 관한 기본정보를 요약하고 있다.

3.3 가구에너지 벤치마크데이터

이 연구는 2014년 완성된 표준공동주택모델의 보정 및 검증에 위한 것으로, 김혜진 외(2023)의 연구 결과가 있어 가능해졌다고 할 수 있다. 이들의 연구가 앞서 문헌고찰에서 언급한 다른 연구결과에 비해 차별성이 있는 점은 표준소비량을 계산하기 위한 공동주택 세대가 규모, 지역별로 통계적 체계를 갖춘 층화샘플링을 거쳐 대표성을 가지고 있다고 할 수 있다.

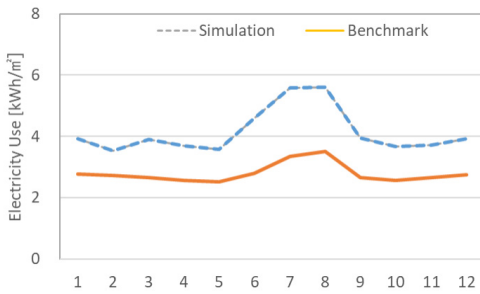
그들은 샘플세대를 기후존, 준공년도, 전용면적규모를 기준으로 그룹을 나누어 그룹별 연간 전력 및 연료 원단위(EUI: Energy Use Intensity)데이터를 제공하고 있다. 이 EUI에는 국내 효율등급기준과 달리 가전기기, 취사 등 주거건물에서 사용하는 모든 에너지가 포함되어 있다.

3.4 시뮬레이션 프로세스

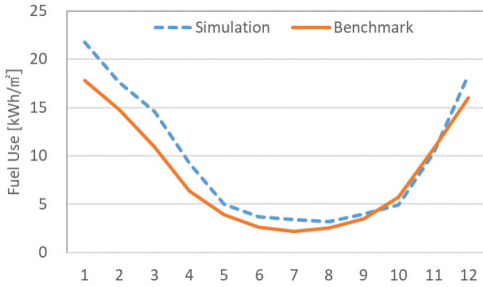
이 연구에서 시뮬레이션은 보정과 검증단계로 진행되었다. 보정은 서울에 위치한 2000년 이전에 준공된 중형규모(79.3~125.4 m²) 표준공동주택모델의 에너지원별 및 월별 벤치마크데이터를 기준으로 진행하였다. 김혜진 외(2023)의 연구에는 월별소비량이 제시되어 있지 않으나, 같은 연구그룹의 선행

Table 2. General Information of Selected Cities

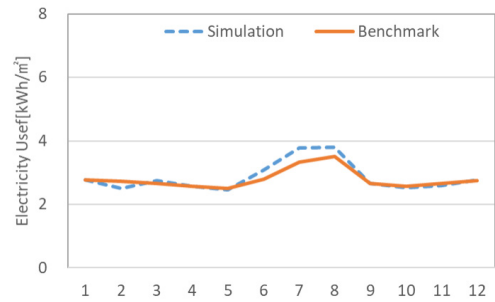
Zn	City	Lat	Lon	Elev.	HDD
Central	Seoul	37°34'17"N	126°57'56"E	86	2722
	Incheon	37°28'39"N	126°37'29"E	69	2702
	Suwon	37°15'27"N	126°58'58"E	40	2757
	Cheongju	36°38'21"N	127°26'26"E	59	2571
	Wonju	37°20'15"N	127°56'47"E	150	2848
Southern	Busan	35°6'16"N	129°1'55"E	70	1857
	Daegu	35°52'40"N	128°39'10"E	54	2250
	Gwangju	35°10'22"N	126°53'29"E	70	2255
	Ulsan	35°34'56"N	129°20'4"E	81	2100
	Jeonju	35°50'27"N	127°7'1"E	60	2441



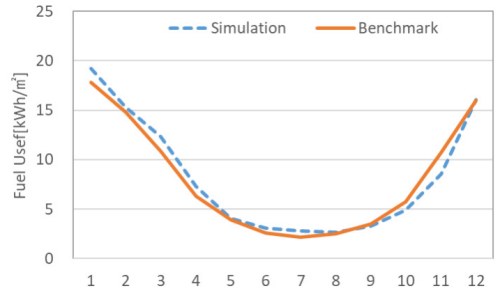
(a) Monthly Electricity Consumption



(b) Monthly Fuel Consumption

Fig. 2. Energy Comparison Results of APT Model before Calibration

(a) Monthly Electricity Consumption



(b) Monthly Fuel Consumption

Fig. 3. Energy Comparison Results of APT Model after Calibration

연구인 이나현 외(2019)에는 월별 소비량이 제시되어 있기 때문에 이 데이터를 검증용으로 활용하였다.

Fig. 2는 서동현 외(2014) 연구의 보정전 월별 전기 및 연료소비량 추정결과이며 Fig. 3은 보정을 거친 결과를 보여주고 있다. 보정전 결과는 End-Use별

소비비율 검증이 불완전한 것임을 보여주고 있으며, 보정의 방향은 전력, 연료 모두 가전기기, 급탕과 같은 계절 비탄력적 기저에너지 소비량을 감소시키고, 난방과 냉방시 설정온도나 가동시간 조절 등을 통한 에너지소비량의 증가 민감도를 낮추어야 함을 보여

Table 3. Excerpt of Benchmark Data [kWh/m²-yr] of Mid-size APT Group

Zone	Vintage	Fuel	Elec.	Total
Central	Before 2000	97.0	33.1	130.1
	2000's	92.8	31.4	124.4
	After 2010	91.1	32.2	123.3
Southern	Before 2000	92.6	33.6	126.2
	2000's	93.8	34.5	128.3
	After 2010	96.8	32.9	129.7

Table 4. Applied U-value Per APT Group

Zn	Vintage	Element	U-value [W/m ² -K]
Central	Before 2000	Wall	0.58
		Window	3.37
	2000's	Wall	0.47
		Window	3.84
	After 2010	Wall	0.36
		Window	3.0
Southern	Before 2000	Wall	0.58
		Window	3.37
	2000's	Wall	0.47
		Window	3.84
	After 2010	Wall	0.36
		Window	3.0

주고 있다.

보정이 완료된 모델이 계산한 에너지소비량이 Table 3과 같이 벤치마크데이터에서 제공하고 있는 6개 그룹의 에너지소비량과 얼마나 일관성이 있는지 검증하는 절차를 진행하였다. 벤치마크데이터가 공동주택의 기후존, 준공년도, 면적규모로 제공되기 때문에 본 연구에서는 중부와 남부지역의 중형공동주택을 대상으로 준공년도별 단열기준을 Table 4와 같이 허가승인 당시의 에너지절약설계기준값을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 5는 기후존별 5개 대표도시의 가구수와 그

Table 5. Weight of Selected Cities for Average Energy Use Calculation

Zn	City	Household	Weight
Central	Seoul	1,625,034	0.55
	Incheon	697,246	0.24
	Suwon	288,430	0.10
	Cheongju	224,702	0.08
	Wonju	109,584	0.04
Southern	Busan	773,935	0.34
	Daegu	616,058	0.27
	Gwangju	428,840	0.19
	Ulsan	254,106	0.11
	Jeonju	173,927	0.08

에 따른 기후존별 평균 에너지소비량 계산시 반영된 가중치값을 보여주고 있다. 5개 대표도시는 가구수를 우선으로 하였으나, 같은 기후존 내에서도 지리적 특성에 따른 에너지소비량의 차이가 있음을 감안하여 선정하였다.

4. 표준공동주택 에너지모델 소비량과 벤치마크데이터 비교검증

4.1 비교검증 기준

ASHRAE 가이드라인 14(2002)는 월별, 연간소비량을 기준으로 보정전-보정후, 리모델링전-리모델링 후 등과 같은 두 데이터세트간의 일치도 통계지표와 검증 허용오차를 제공하고 있다. 시뮬레이션에 의한 에너지소비량과 측정된 에너지 소비량(벤치마크데이터) 간의 오차는 월 단위로 분석하며, 통계지표 MBE, cv(RMSE) 계산수식은 아래 식 (1)과 (2)와 같다.

$$MBE_{year}(\%) = \sum_{month} \left[\frac{ERR_{month}}{N_{month}} \right] \times 100 \quad (1)$$

여기서,

$$ERR_{month} = (M - S)_{month}$$

N_{month} : 월의 수

M: 측정된 월별 소비량

S: 시뮬레이션 추정 월별 소비량

$$CV[\%] = \frac{RSME}{A_{month}} \times 100 \quad (2)$$

여기서,

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{month} (M - S)^2}{N_{month}}}$$

A_{month} = 월평균 측정값

4.2 비교검증결과

Fig. 4는 중부지역 중형 공동주택의 준공년도에 따른 도시별 및 가중평균한 중부지역 에너지소비량 추정결과를 요약하여 보여주고 있다. 주거용 건물에서 전력소비량은 비계절적 요인에 대부분 기인하고, 난방에너지소비량의 비중이 크지 않아 준공년도별 단열기준이나 기후에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면, 난방, 급탕, 취사에 사용되는 연료소비량은 준공년도가 최근에 가까울수록 감소하는 비율이 눈에 띄게 나타나고 있다. 유사한 경향을 나타내는 남부는 지면관계상 생략하였으며, Tables 6과 7은 최종적으로 중부지역과 남부지역의 공동주택 그룹별 표준건물에너지모델 추정소비량과 벤치마크 데이터와 비교결과를 보여주고 있다. 남부지역에서 준공년도가 오래된 그룹에서 에너지모델이 약간 과다 예측을 하고, 최근 준공된 그룹에서 과소예측을 하는 것으로 나타나 난방 기간 소비량 예측성능의 개선필요성은 확인되었다. 이로 인하여 일부 그룹의 연료소비량 MBE, cv(RMSE)가 월별 기준인 각각 $\pm 5\%$, 15% 를 약간 상회하지만, 총에너지소비량 기

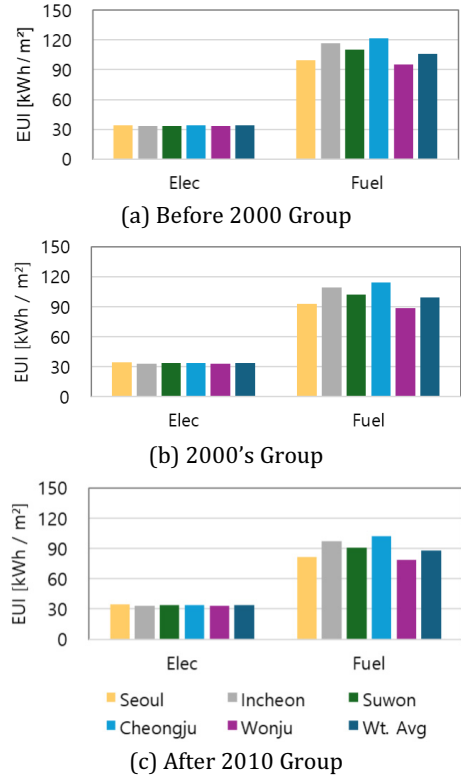


Fig. 4. Annual Electricity and Fuel EUI of Calibrated APT Model Per Vintage for Central Zone

Table 6. Comparison Result of Benchmark Data with Simulated Data for Central Zone Groups

Vintage	Energy	Bench- mark	Simu- lation	MBE (%)	Cv (RMSE) (%)
Before 2000	Elec	33.5	33.9	1.1	5.2
	Fuel	97.0	106.0	9.3	18.7
	Total	130.5	139.9	7.2	14.1
2000's	Elec	31.8	33.8	6.2	8.1
	Fuel	92.8	98.9	6.6	16.8
	Total	124.7	132.7	6.5	13.6
After 2010	Elec	32.6	33.9	4.1	6.7
	Fuel	91.0	87.7	-3.7	15.9
	Total	123.6	121.6	-1.6	12.3

준으로 대부분의 그룹들이 기준값을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 7. Comparison Result of Benchmark Data with Simulated Data for Southern Zone Groups

Vintage	Energy	Benchmark	Simulation	MBE (%)	Cv (RMSE) (%)
Before 2000	Elec	33.3	33.4	0.2	5.4
	Fuel	92.6	101.4	9.5	19.6
	Total	125.9	134.8	7.0	14.0
2000's	Elec	34.3	33.3	-2.7	5.3
	Fuel	93.8	92.6	-1.3	11.9
	Total	128.1	125.9	-1.7	14.2
After 2010	Elec	32.6	33.4	2.3	7.6
	Fuel	97.2	82.5	-15.1	20.8
	Total	129.8	115.9	-10.7	16.1

5. 결 론

본 연구는 서동현 외(2014) 연구결과를 활용하여 정밀 건물에너지 해석도구인 eQUEST를 이용한 표준공동주택모델을 구축하고, 월별 전기와 연료 소비량을 추정한 후 김혜진 외(2023)에서 제시한 주거에너지 벤치마크데이터를 이용하여 에너지모델의 보정 및 검증결과를 제시하였다.

벤치마크데이터는 주거건물의 지역, 전용면적 규모, 준공년도에 따라 그룹으로 구분하여 제시하고 있기 때문에 모델링한 표준공동주택도 그룹의 특성에 맞게 개발되었으며, 시뮬레이션시 기상데이터도 중부 및 남부의 대표도시 장기표준기상데이터를 이용하였다.

보정전 결과는 End-Use별 소비비율은 만족하였으나 전력 및 연료의 기저소비량, 냉난방 기간의 소비량이 과다예측하는 것으로 확인되었다. 따라서, 전력, 연료 모두 기저에너지 소비량을 감소시키고, 난방과 냉방시 에너지소비량의 증가 민감도를 낮추어 Tables 6 및 7과 같이 MBE, cv(RMSE) 측면에서 기준만족도 값을 얻었다. 다만, 남부지역에서 준공연도가 오래된 그룹에서 에너지모델이 약간 과다 예

측을 하고, 최근 준공된 그룹에서 과소예측을 하는 것으로 나타나 난방 기간 소비량 예측성능의 개선필요성은 확인되었다.

보정과 검증이 완료된 공동주택 에너지모델은 에너지효율 기술적용시 에너지절약 효과를 객관적으로 제시하고, 설계 및 건물운영 단계에서 보다 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있으며, 정부의 건물에너지 정책의 효과를 보다 다양한 측면에서 평가하는데 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 국토교통부(2020), “세계최초 건물 온실가스 배출표준(Baseline) UN 승인”, 세종.
2. 국토교통부(2021), “단위면적당 건물에너지사용량 꾸준히 감소”, 세종.
3. 김용인·송승영(2014), “공동주택의 에너지사용량 실태 분석 및 각종 인자가 에너지사용량에 미치는 영향 분석”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 34(6): 93~102.
4. 김혜진·신재광·서동현(2023), “주거용 건물에너지 벤치마크데이터 개발”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」, 17(6): 482~496.
5. 서동현(2017), “대한민국 표준기상데이터 처리 프로그램 개발, 검증 및 시연”, 「한국태양에너지학회 춘계 학술발표회 논문집」, 34.
6. 서동현·노병일·임병찬(2014), “상세 건물에너지 시뮬레이션을 위한 표준공동주택모델 정의에 관한 연구”, 「대한건축학회 지회연합논문집」, 16(6): 285~296.
Seo, D. H., B. I. Noh and P. C. Ihm (2014), “A Research on Prototypical Apartment House Definition for Detailed Building Energy Simulation”, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 16(6): 285~296.
7. 유정현·김종엽·황하진(2012), “건물부문의 에너지 효율화를 위한 국가 건물에너지 통합관리 시스템의 활용방안 연구”, 「LHI Journal」, 3(3): 263~270.
8. 이나현·김혜진·서동현(2019), “가구에너지상설표본 조사 결과를 활용한 지역, 주거유형, 전용면적, 준공연도별 주거에너지 소비특성 분석”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」, 13(6): 545~558.

9. 정영선·정해권·장희경·유기형(2014), “건축물 설계 현황 분석을 통한 국내 비주거용 표준건물의 설정에 관한 연구”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 34(3): 1~11.
10. 정윤혜·이종성·김효진·박지영(2013), “기존 공동주택 그린홈 개보수 제도 마련을 위한 거주자 수요 조사에 관한 연구”, 「토지주택연구」, 4(2): 201~209.
11. 정해권·정영선·허정호(2017), “공동주택의 표준건물 설정에 따른 에너지소비량 산정 및 특성분석”, 「대한건축학회 논문집-계획계」, 33(9): 45~52.
12. 진혜선·임한영·이수진·김성임·임재한·송승영(2018), “표본건물 계측에 의한 공동주택 세대에서의 용도별 에너지사용량 및 CO₂ 배출량 연간 원단위(2016~2017) 분석”, 「대한건축학회 논문집-구조계」, 34(7): 43~52.
13. 한국건설기술연구원(2007), 「건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구」, 2005-E-BD04-P-02, 일산.
14. 한국에너지기술연구원(2001), 「에너지 절약형건물의 성능인증기준, 제도 및 보급촉진방안 연구」, KIER-1998-E-BD-01-O-09, 대전.
15. ASHRAE (2002), *ASHRAE Guideline 14-2014: Measurement of Energy, Demand, and Water Savings*, Atlanta.
16. Huang, H. J. and E. Franconi (1999), *Commercial Heating and Cooling Loads Component Analysis, LBL-37208*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
17. Huang, H. J., J. A. Roberson and O. Sezgen (2005), *Analysis of 1999 CBECS Data by Commercial Building Type, LBNL-57457*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
18. Huang, Y. J., H. Akbari, L. Rainer, R. Ritschard (1991), *481 Prototypical Commercial Buildings for 20 Urban Market Areas, Technical Documentation LBL-29798*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
19. NREL (2007.8.15). Building America Research Benchmark Definition, <https://doi.org/10.2172/920931>.

요 약

표준건물 에너지모델은 정책, 연구 및 기술개발 등에 다양한 활용성이 있다. 상세 에너지해석용 표준공동주택모델이 서동현 외(2014)에 의해 제안되었으나, 모델의 에너지소비량 예측에 성능 검증용 신뢰성 있는 측정데이터가 없어 충분한 검증이 이루어지지 못하였다. 그러나, 최근 에너지경제연구원(KEEI)에서 매년 발표하는 가구에너지패널조사(HEPS) 데이터를 분석하여 공동주택 벤치마크데이터를 발표한 연구에 힘입어 검증이 가능하게 되었다. 이 연구는 이 검증용 데이터를 이용하여 표준공동주택 에너지모델을 중부지역, 2000년 이전 모델을 기준으로 보정하고, 보정된 모델을 이용하여 지역과 준공년도가 그룹에도 유효한 성능을 보여주는지 검증하였다. 검증에는 중부, 남부 각 5개씩의 대표도시 표준기상데이터가 이용되었고, 18개의 그룹에서 대부분 MBE, cv(RMSE) 기준을 만족하는 결과를 도출하였다.

주제어: 공동주택, 표준건물모델, 에너지해석, 건물에너지, 벤치마크데이터