

표준부하모델을 이용한 설계 변수에 따른 표준부하량 분석 A Study on Standard Heating and Cooling Load according to Design Factors using Prototypical Load Model

김권예(Kwonye Kim), 배상무(Sangmu Bae)*, 남유진(Yujin Nam)**†

부산대학교 건축공학과 석사과정, *부산대학교 건축공학과 박사과정, **부산대학교 건축공학과 교수
Master Course, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
*Doctoral Course, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
**Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

Abstract

Before newly-built building and building remodeling, it is important to predict and analyze building energy performance through energy simulation programs. Nevertheless, simulation results widely vary depending on individual user experience and input values. Therefore, this study uses prototypical building model, a versatile tool in building energy modeling, simulation and research for researchers and policy-makers, and ASHRAE standards. Then, it analyzed the changes in design type (roof type, number of floors) for the base case. As the result, it was found that the gap of annual energy demand per between them is maximally 9.1%.

Key words: Building energy simulation(건물에너지시뮬레이션), Prototypical building(표준건물), Building energy model(건물에너지 모델), Annual energy demand(연간 에너지 요구량)

†Corresponding author

E-mail: namyujin@pusan.ac.kr

접수일: 2020년 11월 06일; 심사일: 1차: 2020년 11월 26일, 2차:2020년 12월 28일; 채택일: 2021년 1월 14일

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물을 신축하거나 기존의 설비시스템 교체 및 외피, 창호 등의 건축 리모델링 전에, 건물의 에너지 성능을 미리 예측하고 분석하는 것은 매우 중요하다. 이에 따라, 대부분의 설계자와 연구자들은 에너지 시뮬레이션을 이용하여 건물의 에너지 성능을 예측하고 있다.

그러나, 시뮬레이션의 결과값은 수행자의 전문적 지식과 모델링 경험 등의 개개인의 능력에 따라 다르게 나타날 수 있다. 또한, 시뮬레이션에 입력되는 설계인자에 대한 불확실성이 클수록 수행자의 경험과 주관적 판단이 크게 요구되므로 분석결과에 대한 신뢰성과 정확성이 낮아진다. 이러한, 문제점을 해결하기 위해 다양한 정부 및 연구기관에서는 실증실험이나 장기간 데이터 해석결과 등을 기반으로 건물부하해석 모델에 대한 설계인자와 프로세스를 제시하고 있다.

국제표준화기구[1] (ISO, International Organization for Standardization)는 ISO 13790을 통해 건물 냉난

방 에너지 해석방법에 대해 제안하고 있다. 건물부하해석을 위한 대부분의 건물에너지시뮬레이션은 이를 근거로 건물의 냉난방 에너지성능을 계산한다. 또한, 미국공조냉동공학회(ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)에서는 건물 에너지 성능분석을 위한 저에너지 건물설계조건[2,3], 실내열환경조건[4], 실내공기질조건[5] 등의 설계인자의 입력값과 도출방법을 나타내고 있다.

건물 에너지 시뮬레이션의 정확한 성능평가를 위해서는 시뮬레이션 진행과정에서 요구되는 수행자의 전문지식과 경험치에 대한 검증이 필요하다[6]. 그러나, 일반적인 사용자가 에너지시뮬레이션에 포함된 모든 해석방법을 충분히 이해하고 사용하기는 쉽지 않다[7]. 심지어 표준 모델로 제시된 건물을 이용함에도 해석 모델의 구성에 따라 결과의 오차가 크게 나타날 수 있어 해석 수행자는 그 편차를 충분히 이해해야 할 것이다.

한편, 건물의 표준모델을 이용하여 설계인자에 따른 냉난방 에너지 요구량 분석에 관한 연구는 다양한 측면에서 활발하게 수행되고 있다. Seo et al.(2014)은 건물에너지시뮬레이션을 위한 건물용도별 표준공동주택모델 정의를 위해 기반데이터의 표준값 선정과정이 더 체계적으로 선정되어야 한다고 제안했다. Kim et al.(2017)은 공동주택 표준모델을 사용하여 개정된 절약설계기준과 지역별 건축물 부위 열관류율을 적용해 난방 에너지소요량 변화에 대해 분석했다. Park et al.(2019)은 용도별로 표준건물모델 구축하고 건축물 에너지절약 설계기준과 제도적 관점에서 부합하지 냉방부하를 분석하였다.

또한, 국내 선행연구에서는 건물의 냉난방 부하에 영향을 주는 요인들을 변수로 하여 다양한 시뮬레이션 연구가 수행되고 있다. Mun et al.(2012)은 EnergyPlus를 통해 주거용건물의 창면적비 변화에 따른 열관류율 및 에너지 요구량을 분석했다. Jeong et al.(2012)은 동적 에너지 시뮬레이션을 통해 창 종류와 차폐계수, 건물의 향에 따른 주거용건물의 에너지 요구량을 분석했다. 이를 통해, 통상적으로 창의 차폐계수가 증가하면 연간 에너지 요구량이 감소한다는 통념과 달리 난방부하는 감소하나 냉방 부하량은 크게 증가해 총 연간 냉난방 에너지 요구량은 증가한다는 것을 알 수 있었다. Lee et al.(2012)은 CE3 건물에너지 시뮬레이션 프로그램 이용해 일반 ‘국내 단독주택기준’, ‘건축물에너지절약설계기준’, ‘독일패시브하우스기준’의 창면적비, 침기량, 외피 단열성능 등을 상호 비교해 요소별 에너지 절감률을 도출했다. Kim et al.(2012)은 주거용건물의 난방방식에 따른 에너지소모량을 측정하기 위해 Mock-up 실험동을 구축하고 실내온도분포를 측정하고 CFD와 EnergyPlus를 통해 실내온도패적분포 및 에너지소비량을 분석했다. Bae et al.(2016)은 사무용 건물의 설계인자 간의 상호작용을 고려하고 냉난방부하 최적화를 위해 미국의 표준건물모델을 사용하였다. ‘ASHRAE 권고’, ‘국내 도시개발과 공공청사’, ‘E-Quest’ 기준으로 건물에너지 해석을 실시하고 부하값을 분석했다.

선행연구에서는 공동주택 등의 표준모델을 정의하기 위해 기반데이터 검토를 수행하고, 법적설계기준과 제도적 관점에서 표준모델에 대한 적합성을 분석하고 있다. 또한, 창호면적과 열물성치, 외피의 단열성능 등의 다양한 설계인자에 따른 건물 에너지 성능을 분석하였다.

따라서, 본 연구에서는 건물 에너지 해석자의 경험이나 능력에 따라 건물표준모델의 이용에서도 발생할 수 있는 표준부하의 차이를 정량적으로 분석하고 건물 에너지 해석의 객관성과 신뢰성을 높이기 위해, 표준모델의 조건(층수, 지붕형태, 기후 등)에 따른 냉난방 부하 분석을 실시하였다. 본 논문에서는 미국 PNNL(The Pacific Northwest National Laboratory)에서 제안하는 표준단독주택모델을 이용하였고 조건에 따른 냉난방 에너지 요구량을 산출하고, 분석결과를 근거로 상관관계분석 및 각 설계인자의 영향도를 분석하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 PNNL(The Pacific Northwest National Laboratory)의 표준단독주택모델을 기준으로 지붕의

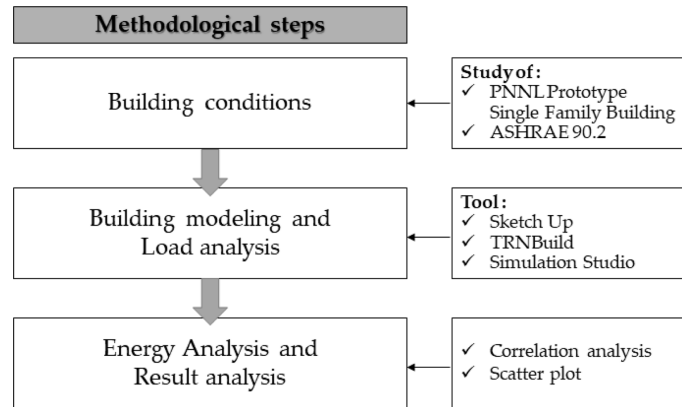


Fig. 1. Methodological steps

형태(박공지붕, 평지붕), 층수(2층, 1층)에 따른 케이스를 분류하고 ASHRAE Standard 기준을 참조하여 설계인자들을 결정하였다. 건물의 부하예측을 위하여 사용되는 TRNSYS를 통하여 건물에 필요한 냉난방 에너지 요구량을 산출했다. Fig. 1은 연구절차를 나타낸 것이다. 기준 지역(Newark)의 ASHRAE Standard 55-2013, 90.2-2018 항목을 참조하여 조건들을 TRNBuild에 입력 후, 냉난방 에너지 요구량을 산출하였다. 디자인 형태별 에너지 요구량의 차이에 대해서 증감률을 비교하고 지역별 외기조건에 따른 상관관계를 분석하였다.

2. 시뮬레이션 개요

2.1 건물모델 개요

Table 1은 기준 건물에 대한 개요이며, Fig. 2은 본 연구의 케이스별 모델링을 정리한 것이다. 층수와 지붕의 형태에 따라 4가지 케이스로 분류하였다. PNNL 표준주택모델은 (a)와 같은 형태이며, 이를 기준으로 (b)와 같이 기존의 박공지붕 디자인을 평지붕으로 변경하고, (c)와 (d)는 층수를 변화시켰다.

2.2 건물모델 조건

2.2.1 지역별 기후 조건

지역은 6개의 미국의 대도시를 선정하였다. Table 2은 지역별 평균외기온도와 IECC의 Climate zone을 나타낸 것이다. IECC (International Energy Conservation Code)에서는 덥고 습한지역, 해양성 기후, 추운지역, 덥

Table 1. Characteristics of base building

Parameter	Assumption
Conditioned floor area	220.7m ²
Height	two-story, 2.59m
Perimeter length	42.5m
Window area	Fifteen percent equally distributed to the four cardinal directions
Door area	3.71m ²

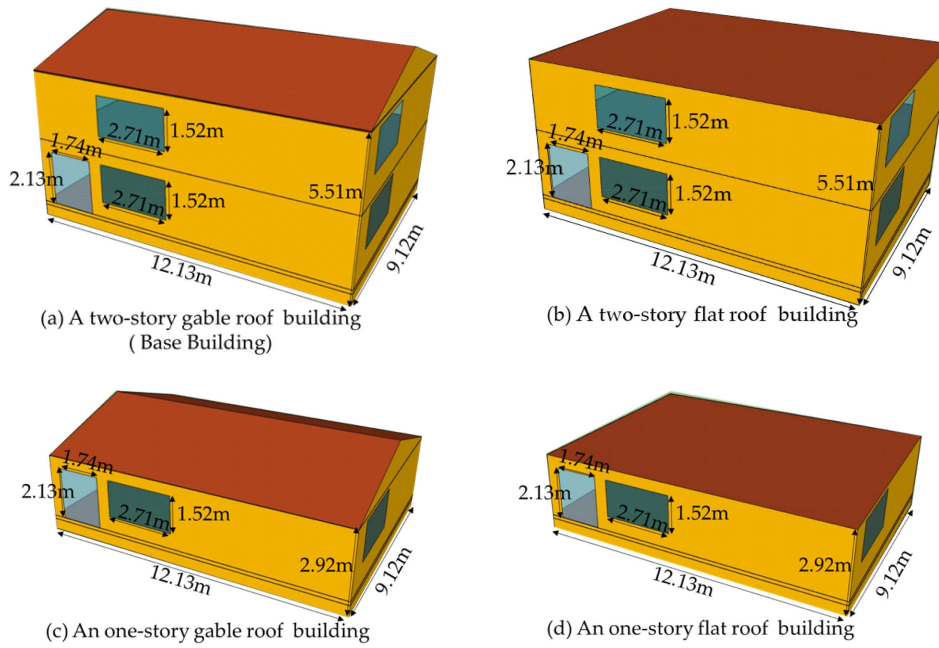


Fig. 2. Modeling case

Table 2. Ambient air data

Region	Average annual ambient temperature	Climate zone
Chicago	9.74°C	5A
New York	12.11°C	4A
Newark	12.15°C	4A
Los Angeles	16.66°C	3B
Phoenix	22.53°C	2B
Houston	20.05°C	2A

고 건조한 지역 등 7개의 기후대로 분류하고 있다. 이 중 대한민국의 연평균 기온과 비슷한 Newark 지역을 기준케이스로 설정하였다. 기상데이터는 TRNSYS에서 제공하는 TMY 데이터를 사용하였다.

2.2.2 TRNSYS Input Parameter

기준지역인 Newark의 ASHRAE 90.2-2004 기준을 참조하여 인체부하, 조명부하, 설정온도, 침기량 등을 설정했다. Table 3은 이를 정리한 표이며, Table 4은 건축물 부위별 열관류율을 나타낸 표이며, 유리의 g-value값은 46%이다. Fig. 3은 (a) 재실자, (b) 조명, (c) 기기에 대한 스케줄을 나타낸 것이다.

2.3 케이스 선정

PNNL 표준주택모델의 기본 모델링의 에너지 요구량과 미국 에너지 정보청(EIA, U.S. Energy Information Administration)의 RECS(Residential Energy Consumption Survey) 데이터를 비교 후, 기준케이스를 4A지역의 Newark로 정했다. Fig. 4은 주거용건물의 에너지 사용비율을 나타낸 그림이며, 미국의 평균 연간 공동

Table 3. Input parameter

Parameter	Input Value
People	2.7/100 m ²
People Sensible Heat Gain	70 W/person
People Latent Heat Gain	45 W/person
LPD(Lighting Power Density)	10.76 W/m ²
EPD(Electric Power Density)	2.69 W/m ²
Infiltration Flow	0.7/h
Heating Setting Temperature	20°C
Cooling Setting Temperature	26°C

Table 4. U-value

Parameter	Value(W/m ² ·K)
Wall	0.479
Roof	0.153
Floor	0.389
Ceiling	0.271
Window	1.5

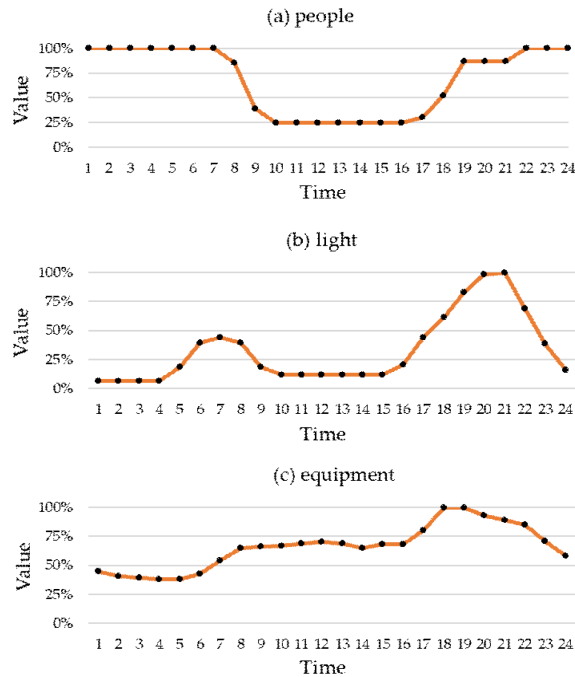


Fig. 3. Occupancy&Light&Equipment Schedule

주택의 단위면적당 난방 에너지 요구량은 52.4 kWh/m²이며, 냉방 에너지 요구량은 9.71 kWh/m²이다[16]. 참고로 국내의 주거용 건축물에 대한 에너지공단의 건축물 에너지효율등급 인증등급표에 따르면, 연간 단

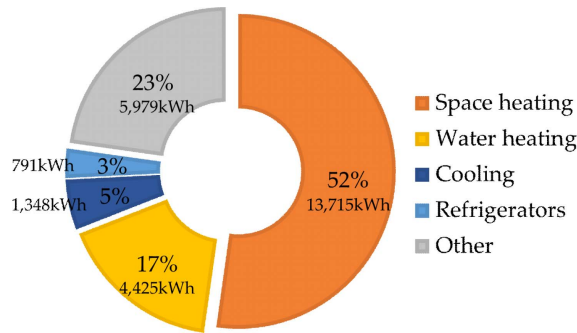


Fig. 4. 2015 average energy consumption data

Table 5. Modeling case

Case	Roof Type	Floor	Region
1	Gable	2	Newark
2	Flat roof		
3	Gable roof	1	
4	Flat roof		

위면적당 에너지소요량이 60 kWh/m² 이상 90 kWh/m² 인 경우를 1++ 등급으로 정하고 있다[17].

Table 5은 지붕의 형태를 박공지붕과 평지붕, 층수는 2층과 1층으로 분류한 표이다. 본 논문에서는 지붕의 형태와 함께 미국내 서로 다른 6개의 지역을 대상으로 해석을 실시하였다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 건물 에너지 요구량 비교

Table 6은 케이스별 최대부하를 나타내었다. 2층이 1층에 비해, 외기와 상대적으로 더 많이 접한다. 따라서, 2층에서의 최대부하가 크게 산출되었다. 2층의 난방최대부하는 최대 14.7%, 냉방최대부하는 최대 14.9% 컸다. 또한, 외기의 영향이 큰 평지붕이 박공지붕에 비해 최대부하가 23.9% 컸다.

Table 7, 8, 9은 케이스별 월별 에너지 요구량을 정리한 것이다. 2층 형태의 Case1(박공지붕)과 Case2(평지붕) 모두 냉난방 에너지 요구량이 2층에서 월별 에너지 요구량이 크게 산출되었다. Case1은 난방의 경우 최대 10.3%, 냉방의 경우 최대 15.3%, Case2은 난방의 경우 최대 23.7%, 냉방의 경우 최대 67.6% 컸다.

Table 6. Heating&Cooling peak load (W/m²)

Case	Peak Load			
	Heating		Cooling	
	1st floor	2nd floor	1st floor	2nd floor
1	40.9	42.8	19.1	20.1
2	40.2	46.1	19.4	22.3
3	40.1	-	17.1	-
4	46.2	-	21.2	-

Table 7. Case 1 Monthly energy demand (kWh)

Month	Case1			
	Heating		Cooling	
	1st floor	2nd floor	1st floor	2nd floor
Jan	1748.9	1892.2	-	-
Feb	1323.9	1451.1	-	-
Mar	1038.1	1136.6	-	-
Apr	588.4	643.7	-	-
May	88.5	96.9	39.4	42.8
Jun	-	-	108.2	121.8
Jul	-	-	295.9	334.8
Aug	-	-	266.9	307.9
Sep	-	-	27.9	32.1
Oct	239.2	263.9	1.96	1.97
Nov	883.9	964.5	-	-
Dec	1476.7	1603.8	-	-

Table 8. Case 2 Monthly energy demand (kWh)

Month	Case2			
	Heating		Cooling	
	1st floor	2nd floor	1st floor	2nd floor
Jan	1733.3	1994.7	-	-
Feb	1307.1	1511.9	-	-
Mar	1024.9	1184.5	-	-
Apr	581.2	676.9	-	-
May	87.5	107.4	39.4	55.4
Jun	-	-	105.7	145.4
Jul	-	-	288.6	359.7
Aug	-	-	257.9	320.9
Sep	-	0.3	26.77	36.5
Oct	238.4	294.9	1.79	3.00
Nov	875.6	1017.5	-	-
Dec	1461.4	1681.4	-	-

1층 형태의 Case3(박공지붕)보다 Case4(평지붕)가 월별 냉난방 에너지 요구량이 대부분 크게 산출되었다. 난방의 경우 최대 201.4 kWh, 냉방의 경우 최대 64.5 kWh 컸다.

3.2 디자인 형태별 에너지 요구량 비교

3.3.1 지붕의 형태별 에너지 요구량 비교

Table 10와 11은 다른 조건을 동일하게 가정하고 지붕의 형태를 달리하였을 때, 케이스별 연간 평균 에

Table 9. Case 3,4 Monthly energy demand (kWh)

Month	Case3		Case4	
	Heating	Cooling	Heating	Cooling
Jan	1822.1	-	2023.5	-
Feb	1467.4	-	1545.7	-
Mar	1137.1	-	1216.4	-
Apr	610.9	-	700.3	-
May	63.9	0.03	115.8	43.7
Jun	-	50.7	-	115.2
Jul	-	311.7	-	318.5
Aug	-	326.9	-	276.1
Sep	-	36.7	0.67	25.8
Oct	112.2	0.69	310.7	1.53
Nov	903.8	-	1043.2	-
Dec	1600.5	-	1713.7	-

Table 10. Case1, 2 Average annual energy demand

Case	Energy demand (Unit : kWh/m ² ·yr)			
	Heating(rate)		Cooling(rate)	
	1floor	2floor	1floor	2floor
1	66.93 (100%)	72.92 (100%)	6.71 (100%)	7.62 (100%)
2	66.22 (98.9%)	76.73 (105.2%)	6.53 (97.3%)	8.34 (109.4%)

Table 11. Case3, 4 Average annual energy demand

Case	Energy demand (Unit : kWh/m ² ·yr)	
	Heating(rate)	Cooling(rate)
3	69.92(100%)	6.58(100%)
4	78.54(112.3%)	7.07(107.4%)

너지 요구량과 기준 비교량(%)을 나타낸 표이다. Table 10에서 Case1(박공지붕)보다 Case2(평지붕)가 외기의 영향이 크므로, 2층에서 연간 평균 에너지 요구량이 냉난방 모두 크게 산출되었다. 난방의 경우 5.2%, 냉방의 경우 9.4% 컸다. 또한, 평지붕의 경우 2층에서의 에너지 요구량이 증가하며 상대적으로 1층의 에너지 요구량이 박공지붕 보다 감소한 것을 알 수 있다.

Table 11에서 Case 3(박공지붕)보다 Case 4(평지붕)가 연간 평균 난방 에너지 요구량이 12.3%, 냉방 에너지 요구량이 7.4% 더 많은 것을 알 수 있다.

3.3.2 층수별 에너지 요구량 비교

Fig. 5의 박공지붕형태의 Case 1(2층)과 3(1층), 평지붕형태의 Case 2(2층)와 4(1층)를 비교했을 때, 2층 형태가 냉방 에너지 요구량은 크게, 난방 에너지 요구량은 작게 산출되었다.

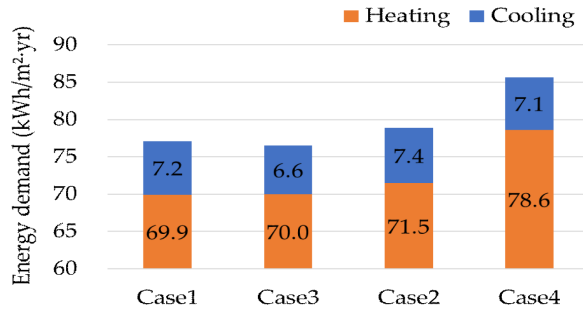


Fig. 5. Average annual energy demand

1층 형태가 외기와 접하는 비율이 2층 형태에 비해 크므로 단위 면적당 난방 에너지 요구량이 최대 9.9% 크게 산출되었다. 냉방 에너지 요구량은 지표와 접하는 비율이 크므로 1층 형태가 최대 9.1% 적게 산출되었다.

3.3 외기별 에너지 요구량 비교

선정한 6개의 지역의 외기 데이터를 취합하여 외기온도와 일사량에 대응하는 냉난방 에너지 요구량에 대하여 정리하였다. 이를 산점도 그래프로 나타내고 R²을 통해 상관성을 나타내었다. R²값은 0과 1사이의 값으로 나타나며, 0에 가까울수록 상관성이 떨어지고 1에 가까울수록 상관성이 높다고 해석한다. 0.7~1 사이

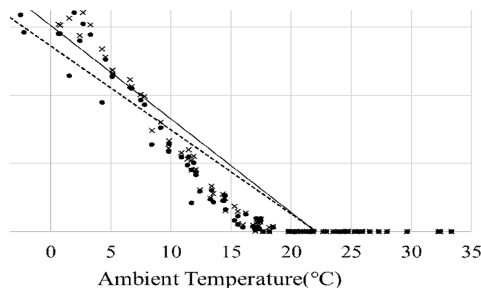


Fig. 6. Heating energy demand by ambient temperature

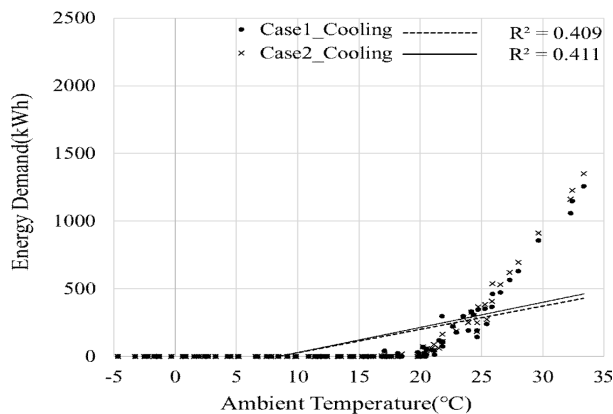


Fig. 7. Cooling energy demand by ambient temperature

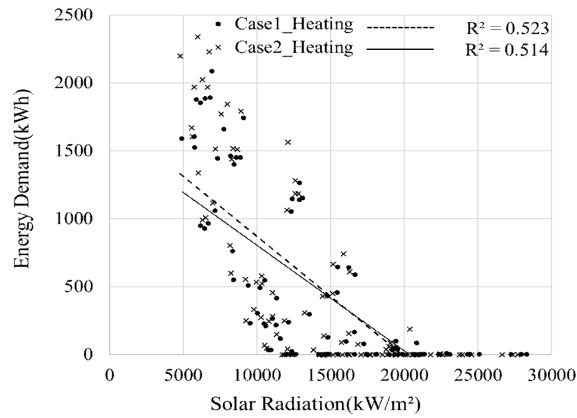


Fig. 8. Heating energy demand by solar radiation

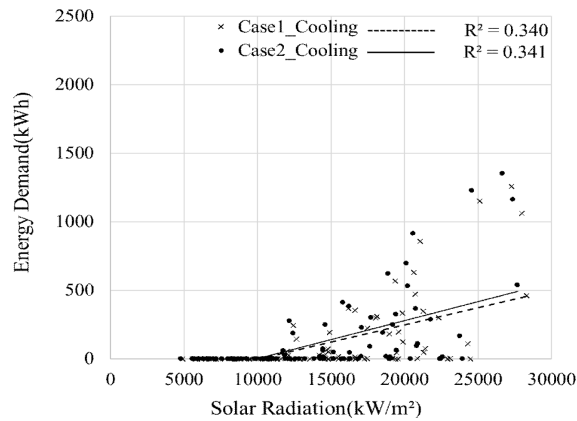


Fig. 9. Cooling energy demand by solar radiation

의 값은 높은 상관성을 보인다고 하며, 0.4~0.7 사이의 값은 낮은 상관성을 보인다고 해석한다[18].

3.4.1 외기온도별 에너지 요구량 비교

각 지역별 데이터를 외기온도에 따라 취합한 냉난방 에너지 요구량에 대한 상관관계를 분석하였다. Fig. 6은 난방 에너지 요구량과의 상관성을 나타내며, Fig. 7은 냉방 에너지 요구량과의 상관성을 나타낸다. 난방 에너지 요구량이 냉방 에너지 요구량에 비해 외기온과의 연관성이 크다. 또한, 평지붕형태에서가 외기와 직접 면하므로 냉난방 에너지 요구량 모두 높은 상관성을 보였다.

3.4.2 일사별 에너지 요구량 비교

각 지역의 데이터를 일사량에 따라 취합한 냉난방 에너지 요구량에 대해 상관관계를 분석하였다. 외기온과 달리, 일사량은 지붕의 형태와 상관없이 상관성이 떨어지며, 난방 에너지 요구량이 냉방 에너지 요구량보다는 높은 상관성을 보임을 알 수 있었다. Fig. 8, 9는 각각 난방과 냉방 에너지 요구량과 일사량의 상관성을 보여준다.

Table 12. Correlation analysis of energy demand by regions

Region (IECC Climate Zone)	Roof Type	Ambient temperature – Heating energy demand	Solar radiation – Heating energy demand	Ambient temperature – Cooling energy demand	Solar radiation – Cooling energy demand
Chicago(5A)	Gable	-0.969	-0.831	0.647	0.547
	Flat	-0.968	-0.856	0.747	0.658
New York(4A)	Gable	-0.962	-0.843	0.695	0.595
	Flat	-0.963	-0.849	0.709	0.615
Newark(4A)	Gable	-0.969	-0.856	0.747	0.658
	Flat	-0.968	-0.853	0.663	0.551
Los Angeles(3B)	Gable	-0.857	-0.722	0.625	0.251
	Flat	-0.855	-0.736	0.628	0.249
Phoenix(2B)	Gable	-0.773	-0.747	0.936	0.767
	Flat	-0.773	-0.747	0.936	0.767
Houston(2A)	Gable	-0.862	-0.801	0.861	0.799
	Flat	-0.868	-0.812	0.868	0.811

3.4.3 지역별 에너지 요구량 상관관계분석

Excel Correl함수의 상관관계는 +1 또는 -1에 가까울수록 상관관계가 크며 Equation (1)을 사용하여 X, Y 두 속성간의 상관계수를 분석하였고 식은 다음과 같다.

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})\sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Table 12은 X를 지역별 외기, 일사와 Y를 냉난방 에너지 요구량으로 하여 분석한 Correl함수의 상관계수를 정리한 표이다.

PNNL 표준주택모델의 지붕의 형태(박공지붕, 평지붕)를 달리하고 6개의 지역으로 분류하였다. 대부분의 지역이 난방 에너지 요구량이 외기와 상관성이 컸으며, 냉방 에너지 요구량과 상관성이 높은 지역이 존재했다. Houston과 Phoenix이며, 평균기온이 높고 일사량이 큰 지역이라 냉난방 에너지 요구량과 외기온과 일사량에 대한 상관성이 컸을 것으로 사료된다. 한편, 디자인 형태와 기상데이터와의 상관성에는 동일한 경향을 보이지는 않았으며, 외기온도와 일사량 외의 냉난방 부하의 요소별 검토(현열, 잠열 등)가 추가로 진행되어야 할 것이다. 추후 보다 정확한 분석을 위해 요소별 영향도 분석을 실시할 예정이다.

4. 결 론

본 연구에서는 표준주택모델을 이용하여 건물의 지붕의 형태와 층수의 차이가 표준부하에 정량적으로 어떤 차이를 보이는지 분석하고 지역별 외기조건들과 냉난방 에너지 요구량의 상관성에 대해서 분석하였다.

본 논문의 해석결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

1. 지붕형태에 따라 에너지 요구량의 차이가 발생했다. 최대부하는 2층 형태, 1층 형태에서 각각 10.9%, 23.9% 차이를 나타냈다. 또한, 연평균 냉난방 에너지 요구량은 2층 형태에서 9.4%, 1층 형태에서 12.3% 차이를 나타냈다.

2. Base case 비교하여 지붕의 형태를 평지붕으로 변경했을 시, 연간 냉난방 에너지 요구량이 각각 난방 2.8%, 냉방 2.3% 증가하였다. 층을 1층으로 변경했을 시, 난방 에너지 요구량은 0.13 kWh/m²로 0.14%의 차이 밖에 보이지 않으나, 냉방 에너지 요구량은 9.1% 감소하였다.

3. 냉난방 에너지 요구량은 일사량보다 외기온도와의 상관관계가 높았다. 외기와의 면하는 비율이 높은 1층 형태의 건물과 평지붕 형태가 다른 디자인 형태에 비해 비교적 상관성이 컸다. 디자인 형태가 동일할 때, Climate zone에 따라 월별 냉난방 에너지가 비슷하게 요구되었다.

본 연구에서는 표준 부하 모델을 이용한 부하 해석에 있어 해석 모델의 설계 조건 변화가 냉난방 에너지 요구량에서는 적지 않은 오차로 나타날 수 있음을 확인하였으며, 지역별 기후 요소와 에너지 요구량과의 상관관계를 파악하였다. 동일한 표준 모델을 이용함에 있어서도 해석 모델 구축 방법에 따라 적지 않은 오차를 발생할 수 있으며 검증에 있어 면밀한 검토가 필요하다. 향후, 추가적인 설계 인자와의 상관관계 분석하여 국내 표준 부하 모델 구축을 위한 기초 자료를 마련할 예정이다.

References

1. International Organization for Standardization (2007). Energy performance of buildings – calculation of energy use of space heating and cooling.
2. ASHRAE Standard 90.1-2004 (2004). Energy standard for buildings except low-rise residential buildings.
3. ASHRAE Standard 90.2-2004 (2004). Energy-efficient design of low-rise residential buildings.
4. ASHRAE Standard 55-2013 (2013). Thermal environmental conditions for human occupancy
5. ASHRAE Guideline 14-2002 (2002). Measurement of energy and demand savings.
6. Augenbroe, B. J., Heo, Y. S., Kim, S. H., Li, Z., McManus, S., & Zhao, F. (2008). Lessons from an advanced building simulation course, The third national conference of IBPSA-USA, Berkeley, California.
7. De Wilde, P., & Prickett, D. (2009). Preconditions for the use of simulation in M&E engineering. Proceedings of the 11th IBPSA Conference. 27-30. Glasgow. Scotland. 414-439.
8. Seo, D., Rho, B., & Ihm, B. (2014). A Research on Prototypical Apartment House Definition for Detailed Building Energy Simulation, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 16, No. 6, pp. 285-296.
9. Kim, S., Eum, J., & Kim, Y. (2017), A Regional Comparison of the Heating Energy using a Reference Model for Apartment Houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 29, No. 2, pp. 89-95.
10. Park, D., Choi, S., Hwang, D., & Oh, M. (2019). A study on the Reference Building Model for the Selection of Unit Cooling Loads for Non-residential Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 31, No. 8, pp. 370-379.
11. Mun, S., & Huh, J. (2012). Analysis on the U-factor of window and the energy demand according to the window area in residential buildings, The Society of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers of Korea Conference, 2012.6, 430-433
12. Jeong, S., Park, H., & Lee, B. (2012). A study on analysis of energy consumption of Detached house by U-value and SCs of windows and Building Orientation, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 3, pp. 96-130.
13. Lee, M., Kim, W., Lee, W., & Lee, W. (2012). A study Reduction Rates of Building Energy Demand for a Detached House according to Building Energy Efficient Methods, Journal fo the Architectural Insitute of Korea Planning & Design, Vol. 28, No. 5, pp. 275-282.
14. Kim, S., Kim, J., Kim, D., Lee, K., & Park, J. (2012). A study on the Improvement of Heating System through Experiment and Simulation in Apartment House, Journal of the Architectural Insitute of Korea Planning & Design, Vol. 28, No. 7, pp. 253-260.
15. Bae, M., & Kim, S. (2016). Evaluation and Alternative Searching Method of Building Envelope Design Parameters

- Considering Building Heating, Cooling and Lighting Energy use, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 32, No. 11, pp. 45-53.
16. U.S. Energy Information Administration (EIA), 2015 Residential Energy Consumption Survey from <https://www.eia.gov>
 17. Korea Energy Agency, from <http://www.kemco.or.kr>
 18. Raykov, D., & Marcoulides, G. (2013). Basic Statistics : An Introduction with R, ROWMAN & LITTLEFIELD PUBLISHERS, INC.