



국내 총량기반 에너지 모델링 방법 개선을 위한 에너지 변수 영향력 평가 - 기후데이터 및 외피구성에 따른 열적 특성 차이를 중심으로 -

A Study of Influential Energy Variables on Total Building Energy Performance for Improving Code-Compliant Simulations

- Focused on Thermal Characteristics Based on Weather Data and Envelope Configurations -

김철*

Chul Kim*

* Assistant Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (chulkim@pknu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: In recent years, global building codes and standards have been strengthened to regulate total building energy performance and to improve the energy efficiency of buildings. Therefore, this study analyzes the thermal characteristics due to different building envelopes and weather data depending on climate zones using a reference house model to improve the total energy evaluation systems in Energy-Conservative Design Standards. **Method:** To achieve the objectives of this study, this study first investigated domestic energy modeling standards for residential buildings and developed a baseline model for evaluating the impact of building envelope configurations and weather data in the same climate zones. The simulations were performed in EnergyPlus to quantify the weather-dependent loads, such as heating and cooling energy consumption, in code-compliant simulations. **Result:** The study identified that the use of different weather data for the same climate zone due to different building sites resulted in significant variations in annual heating and cooling energy consumption as well as heat gains and loss on building exterior surfaces (i.e., roof, walls, slabs). The impact of weather data and envelope configuration differences was greater in wood-frame single-family houses and on heating energy consumption in simulation models. The results of this study will be used as a reference to improve total building performance evaluation models for code-compliance using building energy performance simulations.

KEYWORD

주거용 건물
총량적 평가모델
기후데이터
외피구성

Residential Building
Total Building Energy Performance Evaluation
Weather Data
Envelope Configuration

ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 18, 2026
Final revision received Feb. 09, 2026
Accepted Feb. 12, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 기후변화에 따른 세계적인 노력의 일환으로 세계 각국은 온실가스 감축을 위한 국가적 목표(NDCs)를 발표하고 있다[1]. 이에 정부는 건설부문의 온실가스 감축을 위해 제로에너지 건축물 도입 계획을 발표하였으며 2050년까지 모든 신축건물에 대해 넷제로 에너지 의무화를 달성할 계획이다[2]. 건축분야에서 이러한 정책적 방향을 규제하기 위한 대표적인 제도는 “건축물의 에너지절약설계기준[3]”로 기준 충족을 위해 EPI에 기반한 규범적 방법과 시뮬레이션 평가에 기반한 총량적 성능 평가방법(연간 총에너지 사용량 기반 평가방법)을 허용하고 있다. 현재 “건축물의 에너지절약설계기준”은 총량적 평가과정에서는 시뮬레이션 평가를 위해 기후지역(중부1, 중부2, 남부, 제주)과 단열기준을 제공하고 있으며 기후지역에 따른 차별화된 단열설계가 요구되고 있다[3]. 하지만 총량적 모델링 과정에서 기후지역별로 동일한 단열 기준 적용시 도시별로 다른 기후데이터 사용과 외피구성 방법에 따른 에너지 사용량의 오차에 대해서는 확인되지 않은 측면이 있다.

따라서 본 연구는 국내 제도에 기반한 건축물의 에너지 총량적 평가모델 개선을 위해 단독주택 모델을 대상으로 건축물의 외피구성 및 기후지역에 따른 열적 특성을 분석하였다. 이를 위해 1) 국내 주거시설을 위한 총량적 에너지 모델링 적용대상 및 단열기준을 분석하고, 2) 외피구성 및 기후지역에 따른 모델링 평가를 위한 레퍼런스 모델을 구성하였다. 이를 바탕으로 3) 기후지역별 기후데이터에 따른 냉난방도일 분석과 건축물의 외피구성 및 기후데이터가 총량적 평가과정에서 냉난방 에너지 사용량에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구의 결과는 국내 총량적 평가 제도에 따른 시뮬레이션에 기반한 에너지 모델링 평가 과정에서 체계적인 성능평가 과정을 도출하기 위한 평가사례 및 고려사항을 도출함으로써 국내 주거시설의 온실가스 감축과 그린 리모델링 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

2. 국내 주거시설의 건물 에너지 설계기준

2.1. 국내 총량적 평가모델 적용대상

국내 주거용 건물의 에너지 설계기준은 크게 “건축물의 에너지절약설계기준”과 “에너지절약형 친환경주택의 건설기준[4]”으로 구성된다. “건축물의 에너지절약설계기준”은 500m² 이상의 건축물을 대상으로 에너지절약계획서 제출을 요구(제3조)하며, 총량적 성능

Table 1. Targets for total building energy evaluation codes and criteria

Code	Contents	Detached houses	Apartments	Non-residential buildings
Building Energy Conservative Design Standard [3]	EPI target buildings	Exceptions	≥500m ² of total gross area	≥500m ² of total gross area
	Insulation requirements	Insulation criteria in Tables 1 to 3		
	HVAC system	Section 2.2 Mechanical equipment design requirements		
Zero energy certification system [6]	Section 5 Total energy use regulation system	Not applicable	Not applicable	Applicable
	Certification target buildings	Applicable	Applicable	Applicable

Table 2. Domestic regional U-value requirement (unit: W/m²·K)

		Central 1	Central 2	Southern	Jeju
Exterior walls directly exposed to outdoor air	Residential	≤0.150	≤0.170	≤0.220	≤0.290
	Non-residential	≤0.170	≤0.240	≤0.320	≤0.410
Exterior walls indirectly exposed to outdoor air	Residential	≤0.210	≤0.240	≤0.310	≤0.410
	Non-residential	≤0.240	≤0.340	≤0.450	≤0.560

을 기반으로 평가할 경우 “제5장 건축물 에너지 소비 총량제”에 따라 평가하거나 적용 예외(제4조)에 따라 제로에너지건축물 인증평가로 대체될 수 있다. 주거시설의 경우 제5장 에너지 소비 총량제에서 평가대상으로 하지 않기 때문에 제로에너지건축물 인증평가에 따라 평가될 수 있다[3]. “에너지절약형 친환경주택의 건설기준[4]”의 경우 주택법 제15조 제1항[5]에 따른 주택건설사업계획 승인이 필요한 대규모 주택 사업을 대상으로 하며, 단독주택과 같은 소형주택의 경우 건축허가만 진행되므로 대상으로 하지 않는다. 따라서 총량적 평가기준으로써 공동주택이나 단독주택을 평가할 경우 현행 제도에서는 제로에너지건축물 인증제도[6]에서만 평가가 가능하며, 공동주택에 비해 단독주택은 시뮬레이션 기반 총량적 평가 제도에 대한 제도적 근거는 상당히 부족하다고 볼 수 있다(Table 1.).

2.2. 국내 총량적 평가 기준의 기후지역

최신 “건축물의 에너지절약설계기준”의 별표1에 따르면, 지역별 건축물 부위의 열관류율 적용을 위한 기후지역은 4가지로 중부1, 중부2, 남부, 제주 지역으로 구분된다(Table 3.)[3]. 기후지역은 기후지역에 따라 단열기준(Table 2.)이 다르게 적용된다는 점에서 건축물의 설계과정에서 실제 성능에 큰 영향을 미치며, 에너지절약설계 기준 제 5장의 건축물의 에너지소비총량제[3]나 제로에너지 인증제도[6]에 따른 시뮬레이션을 이용한 총량적 평가과정에서 1차에너지 소요량 결정에 영향을 미치는 주요 변수로서 작용할 수 있다. 그럼에도 불구하고 국내 총량적 평가를 위한 기후존 설정방식이나 지역별 기후데이터 활용에 대한 총량적 모델 방법 연구는 아직까지 충분하

Table 3. Domestic climate zones for building energy code compliance

Climate zones	Regions
Central 1	Gangwon Special Self-Governing Province (excluding Goseong, Sokcho, Yangyang, Gangneung, Donghae, and Samcheok), Gyeonggi-do (Yeoncheon, Pocheon, Gapyeong, Namyangju, Uijeongbu, Yangju, Dongducheon, Paju), Chungcheongbuk-do (Jecheon), Gyeongsangbuk-do (Bonghwa, Cheongsong)
Central 2	Seoul Metropolitan City, Daejeon Metropolitan City, Sejong Special Self-Governing City, Incheon Metropolitan City, Gangwon Special Self-Governing Province (Goseong, Sokcho, Yangyang, Gangneung, Donghae, Samcheok), Gyeonggi-do (excluding Yeoncheon, Pocheon, Gapyeong, Namyangju, Uijeongbu, Yangju, Dongducheon, Paju), Chungcheongbuk-do (excluding Jecheon), Chungcheongnam-do, Gyeongsangbuk-do (excluding Bonghwa, Cheongsong, Uljin, Yeongdeok, Pohang, Gyeongju, Cheongdo, Gyeongsan), Jeonbuk Special Self-Governing Province, Gyeongsangnam-do (Geochang, Hamyang), Daegu Metropolitan City (Gunwi).
Southern	Busan Metropolitan City, Daegu Metropolitan City (excluding Gunwi), Ulsan Metropolitan City, Gwangju Metropolitan City, Jeollanam-do, Gyeongsangbuk-do (Uljin, Yeongdeok, Pohang, Gyeongju, Cheongdo, Gyeongsan), Gyeongsangnam-do (excluding Geochang, Hamyang).
Jeju	Jeju

지 않은 실정이다.

2.3. 총량평가에서 외피구성 및 기후데이터의 영향

건물 에너지 시뮬레이션에서 특히 냉·난방 에너지 성능은 외피 구조에 따른 열적 특성과 기후데이터 선택(기후지역, 도시 등)에 상당히 민감도가 있다. 특히 총량적 평가과정에서 기후 의존적 부하요소(weather dependent loads)에 해당하는 냉난방 부하에 큰 영향을 미치게 된다. 선행연구에서 Dodoo et al.[7]과 Hacker et al.[8]는 건축물의 외피 구성(예: 콘크리트, 목구조 등)의 차이가 열용량 차이에 영향을 미치며, 냉난방에도 영향을 미칠 수 있음을 보고하였다. 실제로, 미국 ASHRAE Standard 90.1-2022의 Section 5 [9]에서는 건축물의 기후지역별 단열 기준 제시시 건축물의 외피구성 재료 및 구조에 따라 다른 열관류율을 요구하고 있다.

한편, 기후데이터의 선택과 관련하여 Moradi et al.[10]은 대표기상년(TWY)과 일련의 실제기상년(AWY)에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 건물의 열적 특성에 따라 기상데이터의 차이가 냉난방 결과에 미치는 영향을 평가하였으며, TWY 데이터 사용 모델이 주요 에너지 요구량을 2%~11% 과소평가했다고 보고하였다. 또한, Kočí et al.[11]의 연구에서는 건물 에너지 시뮬레이션에서 설계용 기상연도(예: TRY)와 최근 관측기상 연도들을 비교하여 최근의 지구 온난화 경향이 건축물의 난방수요 감소/냉방수요 증가로 나타남을 분석하였다. 이러한 결과는 건축물의 총량적 평가과정에서 사용되는 표준 기상파일이 기후 변화로 변화하면, 더워지는 지방에서는 냉방에 대한 과소평가가 생길 수 있음을 나타낸다. 이러한 결과는 유사하게 기후데이터의 선택의 결과로 시뮬레이션의 결과 차이를 나타낼 수 있음을 확인한다.

현행 국내 제도의 총량적 평가 모델링 과정에서 기후데이터 및 외피구성에 따른 별도의 모델링 기준이 없으며 기후데이터의 경우 ECO2 사용시 66개의 내장된 기후데이터를 활용하고 없는 지역은 모델러의 엔지니어링적 판단에 따라 가까운 지역의 데이터를 활용하도록 하고 있다. 하지만 이러한 방식은 선행연구를 볼 때, 선택된 기후데이터에 따른 차이가 총량적 평가과정에 결과값에 유의미 영향을 줄 수 있음을 의미하므로 따라서 현재 총량적 평가에 사용되는 기후지역 내 기후데이터 활용에 따른 결과값의 영향을 평가함으로써 향후 기후지역 분류를 개선하고 평가과정에서 기후데이터 사용에 따른 민감도를 파악할 필요가 있다.

3. 주거용 레퍼런스 모델 구성 및 분석 케이스

본 연구에서는 “건축물의 에너지절약설계기준” 등의 에너지 총량적 평가모델에서 주거용 건물 모델링시 외피구성 및 기후데이터에 따른 냉난방 특성을 분석하기 위해 단독주택 모델을 이용한 검토

Table 4. Single family reference model description

Categories		Description	
Building area		- Single story house - Area: 368.39m ²	
Envelope configuration	Concrete structure	- Ext Walls (stucco+concrete 150mm+glasswool+drywall) - Roof (Asphalt shingle+concrete 150mm+glasswool) - Slab-on-grade (XPS+plywood+carpet)	
	Wooden structure	- Ext Walls (stucco+sheathing consol +OSB+glasswool+drywall) - Roof (Asphalt shingle+OSB)+attic floor (drywall+glasswool) - Slab-on-grade (XPS+plywood+carpet)	
	Insulation	- Ref. Energy Conservative Design Standard (2025), Annex Table 3. Insulation thickness for climate zones	
Windows		WWR 12.16% (33.01m ²)	U-value* (C1: 0.9, C2: 1.0, S: 1.2; J: 1.6 W/m ² K)
HVAC system	Type & efficiency	- Type: Heatpump (air) - Cooling SEER: 13.15Btu/W-h - Heating HSPF: 8.35Btu/W-h - Heating & cooling capacity 10,284.9W	
Internal loads	Occupant density	0.027 (people/m ²)	
	Lighting power density (LPD)	14 (W/m ²)	
	Equipment power density (EPD)	5 (W/m ²)	

*Note: C1: Central region 1, C2: Central region 2, S: Southern region, J: Jeju region

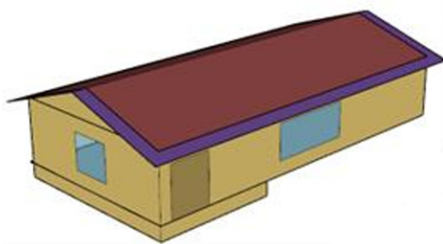


Fig. 1. DOE single family prototype model

를 수행하였다. 이를 위해 미국 에너지부(DOE)의 단독주택(single family house) prototype model을 대상 모델[12]로 EnergyPlus ver. 23.1에서 수정하여 국내 최신 “건축물의 에너지절약설계기준[3]”의 기후지역별 단열 두께 기준(별표 3) 적용시 기후데이터와 외피구성에 따른 냉난방 해석(site energy)에 미치는 결과를 시뮬레이션 분석하였다(Table 4., Fig. 1.).

또한, 기후존별 기후데이터 사용에 따른 성능평가를 위해 기후지역은 “건축물의 에너지절약설계기준” 별표 7에서 냉난방설비 용량 계산을 위한 설계 외기온/습도 정보를 제공하는 6대 광역시를 포함 4개 기후지역 17개 지역(중부1 지역: 춘천, 중부2 지역: 서울, 인천, 대전, 강릉, 수원, 전주, 서산, 청주, 남부 지역: 대구, 부산, 울산, 광주, 진주, 포항, 목포, 제주 지역: 제주)을 대상으로 최신 epw 파일 [13]을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4. 분석결과

4.1. 기후데이터에 따른 냉난방도일 분석

건축물의 에너지 총량적 평가모델에서 기후지역 내 도시별 기후데이터 사용에 따른 냉난방 특성을 이해하기 위해 냉난방도일 분석을 수행하였다. 냉난방도일은 건축적 요인을 제외한 기후적 측면에서 냉방 및 난방에 대한 요구량을 이해할 수 있다는 측면에서 유용한 지표로 활용될 수 있다. “건축물의 에너지절약설계기준” 별표 3의 기후지역에 따라 별표 7의 지역에 대한 냉난방도일을 분석한 결과

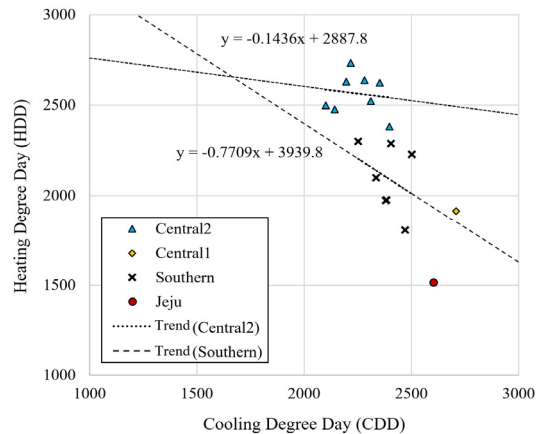


Fig. 2. Degree day-based climate region distributions

Table 5. Degree days by climate zone

Climate zones	n	Heating degree days			
		Avg.	S.D.	Max	Min
Central 1	1	1,918	-	-	-
Central 2	8	2,565	113	2,736	2,383
Southern	7	2,098	186	2,301	1,807
Jeju	1	1,516	-	-	-
Climate zones	n	Cooling degree days			
		Avg.	S.D.	Max	Min
Central 1	1	2,707	-	-	-
Central 2	8	2,249	103	2,397	2,100
Southern	7	2,390	83	2,502	2,253
Jeju	1	2,603	-	-	-

중부2와 남부지역 지역별 기후데이터의 냉방도일(CDD), 난방도일(HDD)가 클러스터를 형성하는 것을 확인하였다(Fig. 2., Table 5.).

중부1과 남부는 상대적으로 난방도일의 분포 범위가 유사했으며, 냉방도일의 경우 중부1과 제주에서 범위의 유사성이 보였다. 별표 7에서 중부1과 제주1 지역은 1개 지역으로만 설계조건을 제공하여 해당 지역의 일반적 특성 분석에는 한계가 있으나 이를 대표지역으로 가정할 시, 현행 기후지역의 설정은 냉난방도일 외의 엔지니어링적 검토 조건이 고려된 것으로 보이며, 동일 기후 지역 내에서도 상당한 냉난방도일의 차이(중부2 HDD: ±113, CDD: ±103, 남부 HDD: ±186, CDD: ±83)가 확인되었다.

4.2. 외피구성 및 기후데이터의 냉난방 부하 영향

주택 모델을 이용해 외피 구성에 따른 기후데이터별 냉난방 에너지 소요량 분포를 분석한 결과 콘크리트 주택 모델의 경우(Fig. 3., Table 6.) 난방 EUI 발생량은 중부1 지역은 9.6kWh/m2y, 중부2 지역은 10.3 ± 1.06kWh/m2y, 남부 지역은 9.0 ± 1.41 kWh/m2y, 제주 지역은 6.6kWh/m2y로 확인되었다. 냉방 EUI의 경우 중부1 지역은 9.9kWh/m2y, 중부2 지역은 11.3±0.48kWh/m2y, 남부 지역은 9.5±0.19kWh/m2y, 제주 지역은 11.5kWh/m2y로 나타났다. 난방 EUI는 중부1과 남부가, 냉방 EUI는 중부1과 남부가 중부2와 제주가 평균량에서 유사성을 보였다. 동일 기후 지역 내 도시에 따른 기후데이터 차이로 발생한 냉난방 EUI 차이는 냉방(±0.19~±0.48kWh/m2y)보다는 난방(±1.06~±1.41kWh/m2y)에서 폭 넓게 나타나 난방에너지 소비량이 더 큰 영향을 받는 것으로 확인되었다.

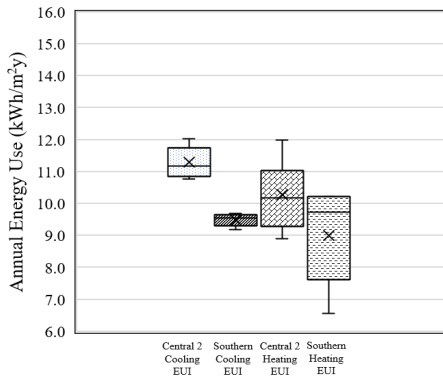


Fig. 3. RC structure: annual EUI distribution

Table 6. RC structure house: EUI differences by weather data

Climate zones	n	Annual heating EUIs (kWh/m2y)					
		Avg.	S.D.	Max	Min	Max Δ	Max Δ (%)
Central 1	1	9.6	-	-	-	-	-
Central 2	8	10.3	1.06	12.0	8.9	3.10	30.2%
Southern	7	9.0	1.41	10.2	6.6	3.65	40.6%
Jeju	1	6.6	-	-	-	-	-
		Annual cooling EUIs (kWh/m2y)					
Central 1	1	9.9	-	-	-	-	-
Central 2	8	11.3	0.48	12.0	10.8	1.25	11.1%
Southern	7	9.5	0.19	9.7	9.2	0.50	5.3%
Jeju	1	11.5	-	-	-	-	-

콘크리트 주택의 경우 동일 기후 존 내에 기후데이터 차이로 인한 최대 차이는 난방 EUI에서 중부2: 3.1kWh/m2y, 남부: 3.65kWh/m2y로 동일 기후 지역 최소값 발생 지역 대비 30.2%~40.6%가 더 크게 산출되었으며, 냉방 EUI의 경우 중부2: 1.25kWh/m2y, 남부: 0.5kWh/m2y로 동일 기후 지역에서 최소값 발생 지역 대비 5.3%~11.1%가 더 크게 산출될 수 있는 것으로 나타났다.

한편, 목구조 주택 모델(Fig. 4., Table 7.)의 경우 난방 EUI 발생량은 중부1 지역은 10.3kWh/m2y, 중부2 지역은 11.1±1.10kWh/m2y, 남부 지역은 9.8±1.58kWh/m2y, 제주 지역은 7.1kWh/m2y로 확인되었다. 냉방 EUI의 경우 중부1 지역은 10.4kWh/m2y, 중부2 지역은 11.8±0.54kWh/m2y, 남부 지역은 10.1±0.24kWh/m2y, 제주 지역은 12.0kWh/m2y로 나타났다. 기후지역에 따른 EUI값의 유사성은 목구조 역시 콘크리트 구조와 유사하게 난방 EUI는 중부1과 남부가, 냉방 EUI는 중부1과 남부가 중부2와 제주가 평균량에서 유사성을 나타내었다. 또한, 동일 기후 지역 내 도시에 따른 기후데이터 차이로 발생한 냉난방 EUI 차이는 냉방(±0.24~±0.54kWh/m2y)보다는 난방(±1.10~±1.58kWh/m2y)에서 큰 것으로 나타났으며, 기후데이터 활용에 따른 차이는 콘크리트 구조(냉방 ±0.19~±0.48 kWh/m2y, 난방±1.06~±1.41kWh/m2y)보다 목구조(냉방 ±0.24~±0.54kWh/m2y, 난방±1.10~±1.58kWh/m2y)에서 상대적으로 큰 것으로 나타나 목구조 주택의 에너지 해석에서 외피구성 및 재료에 따른 기후데이터의 영향이 다르게 작용할 수 있는 것으로 확인되었다.

또한, 목구조 주택에서 동일 기후 존 내에 기후데이터 차이로 인한 최대 EUI의 격차는 냉방보다는 난방에서 더 큰 영향을 주는 것으로 확인되었다. 난방 EUI의 경우 중부2: 3.44kWh/m2y, 남부:

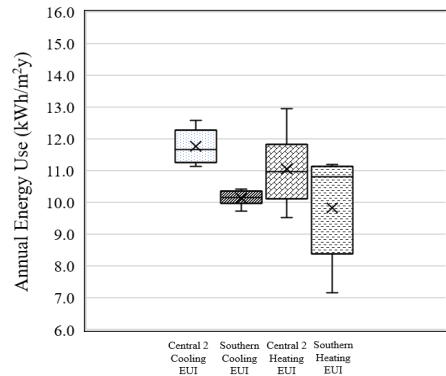


Fig. 4. Wooden structure: annual EUI distribution

Table 7. Wooden structure: EUI differences by weather data

Climate zones	n	Annual heating EUIs (kWh/m2y)					
		Avg.	S.D.	Max	Min	Max Δ	Max Δ (%)
Central 1	1	10.3	-	-	-	-	-
Central 2	8	11.1	1.10	13.0	9.5	3.44	31.0%
Southern	7	9.8	1.58	11.2	7.2	4.04	41.0%
Jeju	1	7.1	-	-	-	-	-
		Annual cooling EUIs (kWh/m2y)					
Central 1	1	10.4	-	-	-	-	-
Central 2	8	11.8	0.54	12.6	11.1	1.46	12.4%
Southern	7	10.1	0.24	10.4	9.7	0.70	6.9%
Jeju	1	12.0	-	-	-	-	-

Table 8. Total building envelope heat gain and loss (kWh/m²y)
a) RC residential structure

Climate zones	n	Opaque surface total heat gain & loss (kWh/m ² y)					
		Heat gain Avg.	Heat gain S.D.	Max Δ (%)	Heat loss Avg.	Loss gain S.D.	Max Δ (%)
Central 1	1	10.8	-	-	-15.4	-	-
Central 2	8	10.9	0.86	2.7	-14.7	0.75	2.1
Southern	7	11.1	0.92	2.4	-24.3	2.22	6.1
Jeju	1	9.5	-	-	-14.2	-	-
Windows total heat gain & loss (kWh/m ² y)							
Central 1	1	251.2	-	-	-57.9	-	-
Central 2	8	255.7	3.07	9.3	-60.0	2.09	6.2
Southern	7	253.8	5.10	15.0	-61.4	4.36	11.5
Jeju	1	223.9	-	-	-67.5	-	-

b) Wooden residential structure

Climate zones	n	Opaque surface total heat gain & loss (kWh/m ² y)					
		Heat gain Avg.	Heat gain S.D.	Max Δ (%)	Heat loss Avg.	Loss gain S.D.	Max Δ (%)
Central 1	1	21.3	-	-	-15.5	-	-
Central 2	8	24.7	1.70	4.3	-14.7	0.71	2.2
Southern	7	26.0	1.92	5.8	-23.2	0.30	0.9
Jeju	1	24.4	-	-	-13.7	-	-
Windows total heat gain & loss (kWh/m ² y)							
Central 1	1	251.3	-	-	-57.7	-	-
Central 2	8	255.7	3.07	9.3	-59.7	2.10	6.3
Southern	7	253.6	5.14	15.2	-60.9	4.33	11.4
Jeju	1	223.5	-	-	-66.6	-	-

4.04kWh/m²y로 동일 기후 지역에서 최소값 발생 지역 대비 31.0%~41.0%가 더 크게 산출되었으며, 냉방 EUI의 경우 중부2: 1.46kWh/m²y, 남부: 0.7kWh/m²y로 동일 기후 지역에서 최소값 발생 지역 대비 6.9%~12.4%가 더 크게 계산되는 것으로 나타났다.

4.3. 외피구성 및 기후데이터의 외피요소별 열획득 영향

주거용 주택 모델의 기후데이터의 지역별 다양성 및 건축물의 외피 구성에 따른 외피 구성요소(opaque surface (외벽, 지붕, 바닥면)과 windows (창문))의 열획득에 미치는 영향을 분석하였다. 재료에 따라 콘크리트 외피의 경우 목구조보다 열용량이 크기 때문에 동일 단열기준을 적용시에도 열획득량에 차이가 발생한다. 본 절에서는 외피 구성요소에 따른 연간 열획득 및 열손실량을 분석하였다(Table 8).

EnergyPlus 분석결과 외벽과 지붕, 슬래브(opaque surface)를 통한 연간 열획득량 차이는 콘크리트 구조(9.5~11.1kWh/m²y)가 목구조(21.3~26.0kWh/m²y)에 비해 절반 이하로 작은 것으로 확인되었다. 외피구성에 따른 외벽과 지붕, 슬래브에서의 열획득량의 차이는 동일 기후존 내에서도 외벽구성 재료에 따라 차이(콘크리트 중부2 ±0.86kWh/m²y, 남부 ±0.92kWh/m²y)가 상이했으며, 목구조가 콘크리트 구조 대비 더 큰 결과값의 차이(콘크리트 중부2 ±1.70 kWh/m²y, 남부 ±1.92 kWh/m²y)를 나타내었다. 연간 열손실량의 차이는 콘크리트 구조(-14.2~24.3kWh/m²y), 목구조(-13.7~-23.2kWh/m²y) 평균값이 나타났으며 동일 기후존 내에서도 외벽구성 재료에 따른 표준편차는 콘크리트 중부2 ±0.75kWh/m²y, 남부 ±2.22 kWh/m²y로 상대적으로 유사한 분포를 나타내었다. 한편, 창문의 경우 콘크리트와 목조에 따른 재료적 차이가 없으므로 거의 동일한 값으로 유지되었으나 열획득량에서 동일 기후존 내에 기상데이터에 따른 차이는 중부2

±3.07kWh/m²y, 남부 5.10~5.14kWh/m²y, 벽체 등과 비교할 때 낮은 열성능으로 인해 더 크게 발생하였다. 또한, 열손실량의 측면에서 콘크리트 구조 -57.9~67.5kWh/m²y (±2.09~4.36kWh/m²y), 목구조 -57.7~66.6kWh/m²y (±2.10~4.33kWh/m²y)로 부재의 특성상 벽체보다 큰 열손실이 확인되었다.

따라서 주거 모델의 총량평가 과정에서 외피요소별 열획득량은 기후데이터에 따라 에너지절약설계기준의 동일 기후지역이라도 하더라도 상당한 차이가 있는 것으로 볼 수 있으며, 이러한 차이는 목구조와 남부지역에서 더 크게 발생할 수 있는 것으로 판단된다.

4.4. 기후데이터 및 외피구성의 최대 열획득량 영향

본 절에서는 주거용 콘크리트 및 목조 모델을 대상으로 건축물의 외피구성과 기후데이터 선정에 따른 기후지역별 1년 중 최대 냉방 열획득량 및 분포를 에너지 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

콘크리트 주택의 최대 냉방열 획득은 기후지역에 따라 발생일의 차이는 있으나 17.5~18.7W/m²으로 나타났으며, 최소 획득 발생지역과 최대 발생지역과의 차이는 최대 45.6%까지 큰 폭의 차이가 예상되었다. 최대 냉방열 획득은 기후지역에 따라 19.1~20.2W/m²로 기후지역별 최대 격차는 11.1~13.9%가 발생하여 최대 냉방 열획득 산출에서 더 큰 영향을 미쳤다(Fig. 5., Table 9.). 반면, 목조 주택 모델의 경우 최대 냉방열 획득은 기후지역에 따라 발생일의 차이는 있으나 18.0~20.2W/m²으로 나타났으며, 최소 획득 발생지역과 최대 발생지역과의 차이는 최대 42.6%까지 차이가 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한, 최대 냉방열 획득은 기후지역에 따라 21.9~22.7W/m²로 기후지역별 최대 격차는 11.7~13.0%가 발생하여 주택 모델에서 기후데이터와 외피구성의 차이는 최대 열획득 산출에서 냉방보다 냉방 열획득 결과에 더 큰 영향을 미쳤다(Fig. 6., Table 10.).

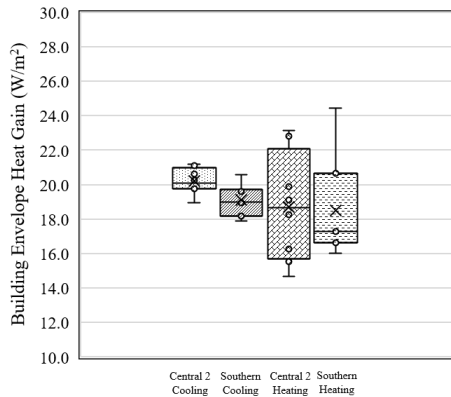


Fig. 5. RC structure: Peak sensible heat gain distribution

Table 9. RC structure: Peak sensible heat gain (W/m^2)

Climate zones	n	Peak heating heat gain (W/m^2)					
		Avg.	S.D.	Max	Min	Max Δ	Max Δ (%)
Central 1	1	17.0	-	-	-	-	-
Central 2	8	18.7	3.17	23.2	14.7	8.46	45.2%
Southern	7	18.5	3.01	24.5	16.0	8.45	45.6%
Jeju	1	17.5	-	-	-	-	-
		Peak cooling heat gain (W/m^2)					
Central 1	1	19.6	-	-	-	-	-
Central 2	8	20.2	0.75	21.2	19.0	2.25	11.1%
Southern	7	19.1	0.92	20.6	17.9	2.66	13.9%
Jeju	1	20.0	-	-	-	-	-

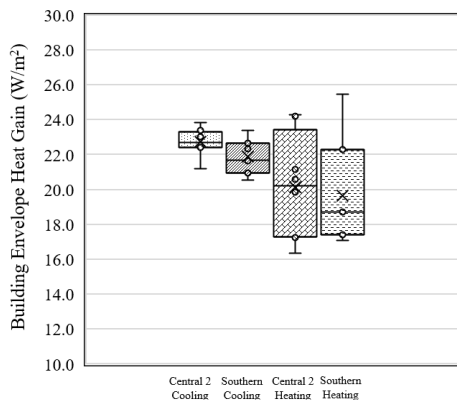


Fig. 6. Wooden structure: Peak sensible heat gain distribution

Table 10. Wooden structure: Peak sensible heat gain (W/m^2)

Climate zones	n	Peak heating heat gain (W/m^2)					
		Avg.	S.D.	Max	Min	Max Δ	Max Δ (%)
Central 1	1	18.3	-	-	-	-	-
Central 2	8	20.2	3.05	24.3	16.4	7.95	39.5%
Southern	7	19.7	3.10	25.5	17.1	8.37	42.6%
Jeju	1	18.0	-	-	-	-	-
		Peak cooling heat gain (W/m^2)					
Central 1	1	22.2	-	-	-	-	-
Central 2	8	22.7	0.79	23.9	21.2	2.66	11.7%
Southern	7	21.9	0.99	23.4	20.5	2.85	13.0%
Jeju	1	22.4	-	-	-	-	-

Table 11. Annual total cooling and heating energy use (kWh/m^2y)

a) Concrete structure

Climate zones	Avg.	S.D.	Max	Min	Max Δ	Max Δ (%)
Central 2	21.6	1.0	23.0	19.9	3.1	15.8
Southern	18.5	1.5	19.9	16.2	3.7	22.8

b) Wooden structure

Climate zones	Avg.	S.D.	Max	Min	Max Δ	Max Δ (%)
Central 2	22.9	1.1	24.5	21.0	3.5	16.8
Southern	20.0	1.7	21.6	17.4	4.2	24.4

5. 토론

5.1. 총량평가모델에서 기후데이터 활용기준의 필요성

본 연구에서는 국내 총량기반 주택의 기후데이터 및 외피구성에 따른 열적 특성을 중심으로 에너지 변수 영향력을 평가하였다. 국내 건축물의 에너지 성능을 규정하는 “건축물의 에너지절약설계기준”에서 기후지역은 설계시 외피 단열성능을 규정한다는 점에서 중요한 역할을 수행한다. 하지만 건물 위치에 따른 기후지역 및 지역별 기후데이터 사용은 “건축물의 에너지절약설계기준” 별표 1 혹은 별표 2의 단열기준에 따라 건축물 계획시 총량 평가 과정에서 1차에너지 소요량의 차이로 이어질 수 있기 때문에 추가적인 논의가 필요하다. Table 11.은 본 연구에서 콘크리트 및 목조 주거 모델의 지역별 모델에 따른 연간 냉난방에너지 소요량 차이를 분석한 것이다. 지역별 외피구성에 따른 냉난방 에너지 소요량 차이는 평균값 대비 표준편차는 콘크리트 및 목조 주택 모두 10% 이내였으나 기후지역 내 최대값과 최소값의 차이는 콘크리트 주택 모델에서 중부2 15.8%, 남부 22.8%로 큰 차이를 보였다. 또한 목조 주택 모델에서는 중부2 16.8%, 남부 24.4%로 나타나 콘크리트 및 목조 주택 모두에서 남부 지역에서 기후데이터 차이에 따른 지역별 냉난방 최대값과 최소값의 차이가 더 큰 것으로 확인되었다. 이는 현행 “건축물의 에너지절약설계기준”이나 “제로에너지건축물 인증 기준”에서 통상적인 기준준수 평가틀로써 ECO2에서 전국 시군구 226개에 대해 전국 66개 기후데이터만을 활용하고 있음을 고려할 때, 기후데이터 활용에 따른 기후지역 내 결과값 차이를 보정하거나 줄이기 위한 기후데이터 선택 기준이나 보정방법에 대한 연구가 필요하다.

5.2. 총량평가모델에서 건축 외피구성 방식에 따른 열관류율 모델링 방법 도입의 필요성

현재 “건축물의 에너지절약설계기준”을 포함한 주요 국내 건축물 에너지 성능 기준은 주로 콘크리트 구조물 설계를 가정하고 있다. 일례로 건축물의 성능 기준으로써 “건축물의 에너지절약설계기준”의 별표1은 모든 건축물에 대해 명목 U-value로써 기후지역별로 단일 기준을 제공하고 있다. 하지만 최근 국내 건축물의 구조 및 재료적인 활용을 보면 스틸 구조나 목구조의 사용이 늘어나고 있으며, 한식 목구조 외에서 서양식 목구조도 늘어나고 있다. 최신 에너지 절약설계기준 매뉴얼[14]에서는 이를 일부 반영하여 목구조의 U-value 산정법을 소개하고 있으나 열용량에 따른 차이는 논의되지 않고 있으며, 특히 ECO2를 이용한 평가모델에서는 입력값 및 계산과정에

Table 12. Building envelope requirements for climate zone 3 and 5

Opaque elements	Walls, above grade		Floors	
	Climate zone 3	Climate zone 5	Climate zone 3	Climate zone 5
Mass	U-0.701	U-0.513	U-0.420	U-0.321
Metal building	U-0.533	U-0.286	n/a	n/a
Steel-framed	U-0.435	U-0.315	n/a	n/a
Wood-framed & other	U-0.504	U-0.291	U-0.188	U-0.214
Steel joist	n/a	n/a	U-0.214	U-0.188

서 모델링 반영에 한계가 있다. 하지만 건축물 성능평가 과정에서 건물의 외피 구성 및 재료에 따른 열용량의 차이는 냉난방에너지 평가 결과에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에, 향후 “건축물의 에너지 절약 설계기준”의 시물레이션에 기반한 총량적 평가과정 개선을 위해 명목 U-value에 따른 현행 기준에서 건축물의 외피구성에 따른 열용량, 벽체 구성 및 디자인을 반영하기 위한 제도적 개선에 대한 논의가 필요하다고 판단된다.

국내 총량평가모델 개선을 위해 유사한 해외의 제도적 운영 사례를 살펴보면, 미국의 ASHRAE Standard 90.1-2022 [9]의 사례가 참고가 될 것으로 보인다. ASHRAE Standard 90.1-2022 [9]의 Section 5는 건축물의 외피구성 기준 제공시 mass, metal building, steel-framed, wood-framed and other로 opaque elements를 구분하여 기후지역별 외피 구성 부재(벽체, 지붕, 슬래브 등) 및 디자인 방식(지붕 예: Insulation entirely above deck, metal building, attic and other)의 U-value를 제공하고 있다. Table 12.는 참고를 위해 ASHRAE Standard 90.1-2022 [9]의 Table 5.3.3과 Table 5.3.5의 외피 성능조건의 일부를 요약한 것이다.

한국과 미국의 제도 운영상의 차이는 제도의 목적에 따라 제도 시행에 따른 설계·행정의 편의성과 최소 성능에 대한 접근 방식의 차이 등에 기인한 것으로 보이나 향후 총량적 평가 모델의 개선을 위해서는 다양한 외피 및 구조 방식에 따른 열교 발생과 국내제도에서 이를 반영할 수 있는 유효 U-value 개발이나 현재의 단일 U-value 방식에 외피 및 구조의 차이에 따른 모델링 보정 방법의 개발 및 도입이 필요할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구는 국내 “건축물의 에너지절약설계기준”의 총량적 평가 모델링 방법 개선을 위해 DOE의 프로토타입 주거 모델을 활용하여 국내 17개 지역을 대상으로 건축물의 외피구성(콘크리트 및 목조) 및 기후데이터 차이에 따른 열적 특성을 분석하였다. 분석결과 주거용 건축물에서 콘크리트 및 목조 외피구성 방식에 따른 냉난방 부하의 차이가 유의미하게 확인되었으며, 콘크리트 구조보다 목구조에서 기후존 내 기후데이터 차이에 의한 영향이 크게 나타났다. 또한, 이러한 외피방식 및 기후데이터의 사용이 냉방보다 난방에너지 평가에서 더 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한, 기후지역 내 기후데이터 활용에 따른 냉난방의 최대 오차의 차이가 확인되었으며, 특히 남부지역이 중부2지역보다 큰 것으로 나타났다. 이를 바탕

으로 볼 때 향후 국내 건축물 총량적 평가 모델을 개선하기 위해서는 기후데이터 활용 기준과 국내 건축물의 외피 방식 차이에 따른 열용량, 열교 등의 영향을 보정할 필요가 있으며, 외피방식별 별도 U-value 개발이나 보정하기 위한 모델링 방법이 제시될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구에서 검토된 건축물 에너지 성능에 대한 총량적 모델링은 현행 국내 건축물 에너지절약설계기준과 제로에너지건축물 인증제도, 그린리모델링 지원사업 과정에서 시물레이션에 기반한 평가가 요구된다는 점에 제도적 파급력이 있다. 따라서 본 연구의 결과는 국내 에너지총량평가 모델링 과정에서 체계적인 성능평가 과정을 개발하기 위한 고려사항을 도출함으로써 국내 건축부문에서 온실가스 감축과 그린 리모델링 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 국립부경대학교 자율창의학술연구비(2024년)에 의하여 연구되었음(과제번호 202416220001).

References

- [1] 법제처, 세계 각국의 온실가스 감축 목표 및 관련 법령, 2022. // (Ministry of Government Legislation, Greenhouse Gas Reduction Targets and Related Legislation of Global Nations, 2022. <https://world.moleg.go.kr/web/dta/lgs/TrendListPage.do>)
- [2] 한국에너지공단, ZEB 로드맵, 2025. // (Korea Energy Agency, ZEB roadmap, 2025. https://zeb.energy.or.kr/BC/BC00/BC00_01_001.do)
- [3] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부고시 제2025-738호, 2025. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Building Energy Conservative Design Standards, 2025.)
- [4] 국토교통부, 에너지절약형 친환경주택의 건설기준, 국토교통부고시 제2025-313호, 2025. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Construction Standards for Energy-Efficient Green Homes, 2025.)
- [5] 국토교통부, 주택법, 법률 제20048호, 2025. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Housing Act, 2025.)
- [6] 한국에너지공단, 제로에너지 인증개요, 2025. // (Korea Energy Agency, ZEB overview, 2025. https://zeb.energy.or.kr/BC/BC03/BC03_05_001.do)
- [7] A. Dodoo, L. Gustavsson, R. Sathre, Effect of thermal mass on life cycle primary energy balances of a concrete- and a wood-frame building, Applied Energy, 92, 2012, 462-472.
- [8] J.N. Hacker et al., Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change, Energy and Buildings, 40, 2008, 375-384.
- [9] ASHRAE, ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022.
- [10] A. Moradi et al., Impact of typical and actual weather years on the energy simulation of buildings with different construction features and under different climates, Energy, 270, 2023, 126875.
- [11] J. Kočí et al., Effect of applied weather data sets in simulation of building energy demands: Comparison of design years with recent weather data, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100, 2019, 22-32.
- [12] PNNL, U.S.DOE, Commercial prototype building models, Pacific Northwest National Laboratory, 2025. https://www.energycodes.gov/development/commercial/prototype_models
- [13] Repository of Building Simulation Climate Data, Climate.OneBuilding.org
- [14] 한국에너지공단, 건축물의 에너지절약설계기준 해설서, 제2025-738호 // (Korea Energy Agency, Building Energy Conservative Design Standard Manual, 2025)

Appendix A. Simulation Result Summary

Table A-1. Thermal characteristics of RC detached houses by climate zone

Climate zones*		Annual energy use		Peak sensible heat gain		Building envelope heat gain & loss				Degree days	
		Cooling EUI (kWh/m ² y)	Heating EUI (kWh/m ² y)	Peak cooling heat gain (W)	Peak heating heat gain (W)	Opaque surface heat gain (kWh/m ² y)	Opaque surface heat loss (kWh/m ² y)	Window heat gain (kWh/m ² y)	Window heat loss (kWh/m ² y)	HDD	CDD
C1	Chuncheon	11.4	10.5	20.6	16.3	10.9	-15.2	255.2	-60.5	2,627	2,353
C2	Seoul	10.8	11.0	19.0	23.2	12.6	-15.6	253.0	-58.6	2,630	2,195
	Incheon	11.8	9.8	19.9	15.5	10.0	-13.9	257.2	-59.9	2,524	2,310
	Daejeon	11.0	8.9	21.1	19.1	11.5	-14.8	256.3	-58.4	2,478	2,143
	Gangneung	11.7	11.0	20.3	22.8	11.1	-14.9	260.5	-62.3	2,640	2,280
	Suwon	12.0	9.1	21.2	18.3	10.0	-13.5	258.5	-57.4	2,383	2,397
	Jeonju	10.8	9.9	20.0	14.7	10.6	-14.5	251.2	-59.1	2,500	2,100
	Seosan	11.0	12.0	19.8	19.9	10.8	-15.6	253.5	-63.6	2,736	2,217
	Cheongju	9.9	9.6	19.6	17.0	10.8	-15.4	251.2	-57.9	1,918	2,707
S	Daegu	9.6	9.8	19.6	20.7	10.6	-29.3	254.3	-65.1	2,231	2,502
	Busan	9.7	6.6	19.8	16.7	10.7	-23.2	259.1	-56.0	1,807	2,469
	Ulsan	9.3	7.6	18.2	17.3	10.5	-23.5	254.5	-60.0	1,976	2,381
	Gwangju	9.7	10.2	19.0	16.0	11.0	-23.5	250.4	-64.8	2,288	2,404
	Jinju	9.4	9.7	20.6	17.6	10.2	-23.3	260.2	-67.5	2,301	2,253
	Pohang	9.2	8.8	19.0	24.5	12.6	-23.6	253.1	-57.5	1,980	2,384
	Mokpo	9.6	10.2	17.9	17.0	12.2	-23.6	245.1	-59.1	2,101	2,334
J	Jeju	11.5	6.6	20.0	17.5	9.5	-14.2	223.9	-67.5	1,516	2,603

Table A-2. Thermal Characteristics of Wooden Detached Houses by Climate Zone

Climate zones*		Annual energy use		Peak sensible heat gain		Building envelope heat gain & loss				Degree days	
		Cooling EUI (kWh/m ² y)	Heating EUI (kWh/m ² y)	Peak cooling heat gain (W)	Peak heating heat gain (W)	Opaque surface heat gain (kWh/m ² y)	Opaque surface heat loss (kWh/m ² y)	Window heat gain (kWh/m ² y)	Window heat loss (kWh/m ² y)	HDD	CDD
C1	Chuncheon	10.4	10.3	22.2	18.3	21.3	-15.5	251.3	-57.7	1,918	2,707
C2	Seoul	11.8	11.2	23.0	17.4	23.2	-15.0	255.2	-60.3	2,627	2,353
	Incheon	11.2	11.6	21.2	24.3	27.3	-15.2	252.9	-58.4	2,630	2,195
	Daejeon	12.3	10.7	22.7	17.3	23.0	-13.9	257.2	-59.6	2,524	2,310
	Gangneung	11.4	9.5	23.4	20.6	23.8	-14.5	256.4	-58.2	2,478	2,143
	Suwon	12.2	11.9	22.5	24.2	25.3	-15.0	260.5	-62.0	2,640	2,280
	Jeonju	12.6	9.9	23.9	19.9	24.7	-13.4	258.5	-57.1	2,383	2,397
	Seosan	11.1	10.7	22.4	16.4	27.0	-14.9	251.3	-58.7	2,500	2,100
	Cheongju	11.5	13.0	22.7	21.2	23.4	-15.5	253.6	-63.4	2,736	2,217
S	Daegu	10.4	10.9	22.3	22.3	23.5	-23.5	254.2	-64.6	2,231	2,502
	Busan	10.2	7.2	22.7	17.7	26.7	-22.7	258.9	-55.5	1,807	2,469
	Ulsan	10.0	8.4	21.0	18.7	25.4	-23.1	254.3	-59.5	1,976	2,381
	Gwangju	10.4	11.2	21.6	17.1	25.3	-23.2	250.2	-64.3	2,288	2,404
	Jinju	10.2	11.1	23.4	18.9	24.5	-23.6	260.1	-66.9	2,301	2,253
	Pohang	9.7	9.3	21.7	25.5	27.0	-23.1	252.9	-57.1	1,980	2,384
	Mokpo	10.1	10.8	20.5	17.4	29.3	-23.1	244.9	-58.6	2,101	2,334
J	Jeju	12.0	7.1	22.4	18.0	24.4	-13.7	223.5	-66.6	1,516	2,603

*Note: C1: Central region 1, C2: Central region 2, S: Southern region, J: Jeju region