



CEA 모델을 활용한 아파트 에너지 사용량 및 태양광 잠재량 분석 - 혼합형 아파트 구조를 대상으로 -

Analysis of Apartment Energy Usage and Potential Using the City Energy Analyst Model - For the Mixed Type Apartment Structure -

백지원* · 최요한** · 장누리*** · 서자유**** · 박찬*****

Ji Won Back* · Yo Han Choi** · Nu Ri Jang*** · Ja Yoo Seo**** · Chan Park*****

* Graduate Student, Dept. of Landscape Architecture, General Graduate School, Univ. of Seoul, South Korea (jwbaek97@uos.ac.kr)

** Coauthor, Graduate Student, Dept. of Landscape Architecture, General Graduate School, Univ. of Seoul, South Korea (yohan0711@uos.ac.kr)

*** Coauthor, Graduate Student, Dept. of Landscape Architecture, General Graduate School, Univ. of Seoul, South Korea (jangnuri@uos.ac.kr)

**** Coauthor, Postdoc, Dept. of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, Univ. of Seoul, South Korea (liberty46@hanmail.net)

***** Corresponding author, Professor, Dept. of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, Univ. of Seoul, South Korea (Chaneparkmomo7@uos.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study is to derive energy demand and solar power generation potential through CEA(City Energy Analyst) modeling for mixed type apartments in Gangnam-gu, where energy consumption is high. **Method:** For urban building energy modeling, EPW(EnergyPlus Weather) files were used to analyze the building energy demand and potential after installation of solar panels through CEA modeling. In the case of building energy and solar panels, solar radiation and energy-use types are derived for each building through the Solar Radiation and Schedule model in the CEA model. **Result:** The cooling and heating energy of buildings in the study site is greatly affected by ambient temperature and humidity, and it was found that there was a large fluctuation by season due to changes in solar radiation due to dynamics with surrounding buildings and building structure. The study site had a mixed type apartment structure, so it was found that the potential for solar power was high when mainly installed on the east wall. Using the results of this study, it is expected to be used as preliminary data for stakeholders in future decision-making and research by presenting the necessity of research on building energy structure in cities for efficient building energy consumption and solar power generation.

KEYWORD

탄소중립
온실가스
건물에너지
태양광 에너지
탄소 배출량Carbon Neutral
Greenhouse Gas
Building Energy
Solar Energy
Carbon Emission

ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 25, 2021

Final revision received Jan. 3, 2022

Accepted Jan. 7, 2022

© 2022. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 지구 온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위해서 탄소 순배출량이 '0'이 되는 탄소중립 사회로의 전환이 필요해 2050 탄소중립 추진전략을 발표했다. '대한민국 탄소중립 전략(2020)'을 통해 5대 기본방향을 구축하였고, 국가 전반의 녹색 전환을 위한 정책·사회·기술·혁신 방향을 제시하였다. 1) 깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대, 2) 에너지 효율의 혁신적인 향상, 3) 탄소 제거 등 미래기술의 상용화, 4) 순환 경제 확대로 산업의 지속가능성 제고, 5) 탄소 흡수 수단 강화를 5가지 기본방향으로 제안하였다. 기본적으로 에너지 공급, 산업, 수송, 건물, 폐기물, 농축수산, 흡수 부문별 비전 및 전략을 구축하였다. 이를 통해 녹색금융 전략을 마련하고, 통합·융합적 기술정책의 수립과 기후·에너지와 같은 기술혁신으로 2050 탄소중립 사회를 위한 능동적 대응체계를 구축할 계획이다[1].

건축물 부문은 전 세계 에너지 소비의 약 30%, 에너지 관련 온실

가스 배출의 20% 정도를 차지하고 있다[2]. 우리나라도 건물부문이 국내 전체 에너지 소비 중 약 20%를 차지[3]하는 만큼 국가 온실가스 감축 목표 달성에 중요하다[4]. 2019년 국토교통부에서 발표한 자료에 따르면 2018년 전국 건축물 동수는 총 719만 동이며, 총 연면적은 375,413천㎡이며, 매년 건축물의 동수와 연면적은 증가하는 추세를 보이고 있다[5]. 건물부문 총 에너지 소비량은 이러한 건축물의 연면적 확대와 함께 증가하고 있으며, 폭염·한파 등과 같은 이상기후 현상 심화 등으로 증가하고 있다[1]. 정부는 건물부문의 2050 탄소중립을 위해 건물에너지 효율 개선을 중요한 실천전략으로 제시하고 있고, 이를 위해 건물부문의 재생에너지 설치 확대, 스마트에너지 관리 시행, 제로에너지빌딩화 등을 계획하고 있다[7]. 이미, 2030년 감축목표 달성과 관련하여, 「녹색건축물 조성 지원법」 제정되었으며, 이를 실천하기 위한 수단으로 2020년 10월 8일부터 신축 건물의 경우 제로에너지건축물의 단계적 의무화를 추진하고 있고, 기존 건물의 경우 그린리모델링 혹은 자급자족의 재생에너지 설치 의무화를 통해 에너지 효율 개선을 실천화하기 위해 계획을 추진하고 있다[5].

건물의 온실가스 배출은 그 나라의 주거환경은 물론 국민 개개인의 생활 방식과 밀접한 연계를 지니고 있고[6], 재생에너지 등의 잠재량은 태양에너지와 관련이 있어 이러한 계획이 실천되기 위해서

는 건물부문의 에너지소비패턴과 재생에너지 잠재량 등에 대한 이해가 필요하다.

김민경(2013)은 서울시 기후·에너지 DB와 과세대장 자료(2010년)를 이용하여 서울시 주거용 건물의 전력 소비량을 추정하였다[8]. 최민석 외(2017)는 신축 아파트의 경우 에너지 효율 향상 정책의 시행 효과가 나타난 것을 밝혔고[9], 석주현 & 박기현(2017)연구에서는 기후변동이 건물에너지 소비에 민감하게 영향을 주는 것을 확인하였다[10]. 이처럼 건축물 에너지 사용과 관련된 연구가 다양한 방식으로 전개되었으나, 난방, 냉방, 온수, 기타 사용 등 개별건축물의 에너지 사용 특성에 맞는 연구가 미흡하였다. 윤종호(2016)가 현 수준에서 구현 가능한 제로에너지주택이 에너지 자립을 이룰 수 있다고 실험적으로 입증하였지만[11], 사람이 살아가는 데 필요한 서비스를 충족 받으면서, 건물부문의 탄소중립을 달성해 나가기 위해서는 보다 심층적으로 냉방, 난방, 온수 등의 수요를 건축물의 유형 및 형태, 계절 및 시간별로 추정하고, 건물 부분에서 공급받을 수 있는 재생에너지 총량을 파악하는 것이 중요하지만, 이러한 구체적 데이터를 제시한 연구는 미비하다고 생각된다.

이에 큰 틀에서 두 가지 목적으로 연구를 진행하였다. 첫째, 상세한 건물에너지 소비량 추정모델 중 하나인 CEA(City Energy Analyst) 모델을 서울의 대표 건물 유형인 아파트에 적용하고자 하였다. CEA 모델이 국내 적용 가능성이 상당히 크다고 판단되나 국내에서는 CEA 모델을 활용한 건물에너지 수요량 및 태양광 패널 발전 잠재량을 도출한 논문은 없어 본 연구에서 실험적으로 이 모델을 다루었다. 둘째, 건물에너지에 영향을 미치는 요인들을 확인하고자 하였다. 건물에너지의 상당 부분을 차지하는 냉·난방 에너지의 수요량과 친환경 에너지로 아파트에 많이 보급된 태양광 에너지의 잠재량을 파악하였다. 이 연구를 통해 건물에너지 모니터링을 위한 기술 제안과 건물에너지 효율을 높이기 위한 설계방향을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구 방법

2.1. 연구대상지

건물부문의 탄소중립 전략에서는 2025년까지 공공건축물(500㎡ 이상), 민간 건축물(1,000㎡ 이상), 공공주택 30세대 이상이 의무적으로 제로 에너지건축물로 지정되어야 한다는 탄소중립 정책 목표를 지향하고 있다²⁾. 국토교통부(2020)에 따르면 우리나라 전체 가구 중 아파트 거주비율은 51.1%로 광역시 58.7%, 수도권 51.7% 비중을 차지한다[13]. 그 중 서울시 다세대주택 및 아파트에 거주 비중이 각각 26.4%, 58.8%로 전국에서 가장 높다³⁾. 이에 대표적인 건축물인 아파트를 연구대상으로 한정하고, 다양한 건축 형태를 보인 강남구의 한 지역 아파트를 대상으로 하였다.

우리나라의 아파트 구조는 크게 판상형, 탑상(타워)형, 혼합형으로 세 가지로 구분되어 있다. 판상형의 경우 2000년대 이전 일자형으로 배치된 형식의 가장 보편적인 평면구조를 가진 아파트이다. 보통 남향을 향해 ‘-’, ‘ㄱ’자 형태로 배치되기 때문에 채광이 좋고 일



Fig. 1. Site Map

조량이 풍부해 겨울에는 따뜻하고 여름에는 시원하고, 발코니와 주방 창문을 열면 맞바람이 들어와 환기가 잘 된다는 장점이 있다[14]. 단점으로는 모든 동이 한 방향으로 지어져 뒷동의 일부 세대는 조망권 확보가 어렵거나 사생활 노출 문제가 발생한다[15]. 또한 구조상 용적률을 최대한 활용하기 어려워 최근에 판상형 아파트에 대한 활용도는 떨어지고 있다[16]. 타워형 구조의 아파트는 탑을 쌓듯이 위로 쪽 뻗은 구조로, 주로 초고층 주상복합아파트에 많이 사용되고 있다. ‘Y’, ‘X’, ‘ㄷ’자 평면구조를 가졌고, 양면 설계가 가능해 시야가 탁 트인 파노라마 조망권을 확보할 수 있어 4방향 모두 일조권 확보가 가능하면서 용적률도 최대한 확보할 수 있다는 장점이 있다[14]. 단점으로는 전 세대가 남향으로 지어진 것이 아니기 때문에 일부 세대에서 채광과 통풍이 잘 이루어지지 않고 복잡한 설계 및 인테리어가 요구되는 공간이 많아 분양가가 비싸다. 혼합형 구조는 2010년대 이후 유행하고 있는 아파트 구조로 판상형의 장점과 타워형의 장점을 혼합한 아파트 구조이다. 주로 ‘L’, ‘V’자 구조로 배치되어 있어 채광과 통풍에 유리하다는 장점이 있다. 하지만 아파트의 배치 구조 상 한 방향을 바라보고 있기 어려워 동별로 채광과 통풍의 정도 차이가 발생하는 단점이 있다. 이러한 동별 채광 차이는 태양광 발전 에너지를 관찰하기 적합한 구조이다. 본 연구대상지가 이러한 특성이 혼합되어 있는 단지로 생각되어 선정하였다. 대상지는 1단지, 2단지로 구분되며 1단지는 1278세대, 2단지는 330세로 총 약 1,600세대로 아파트가 구성되어 있다.

2.2. 에너지 시뮬레이션

1) CEA(City Energy Analyst) 모델

도시 건물에너지 수요량을 예측하기 위해서 CEA 모델을 사용하였다. CEA는 2016년 취리히 연방공과대학교(University of Zurich)에서 개발한 도시 건물에너지 모델링 (Urban Building Energy Modeling, UBEM) 및 저탄소 고효율 도시 설계를 위한 오픈소스 프로그램이다. 도시 설계 옵션과 에너지 인프라 계획의 효과, 균형 및 시너지를 연구할 수 있다는 장점을 가진 모델이다[17]. 도시 내 건물의 기기 및 조명, 건물 외벽의 특징, 냉·난방 제어 전략을 포함한 건물의 HVAC(Heating, Ventilatiion & Air Conditioning) 시스템을 반영하고 재생에너지 및 폐열 에너지 자원을 구현해 연구대

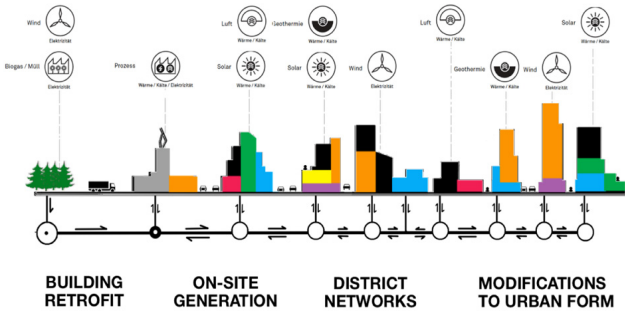


Fig. 2. City Energy Analyst Model Flow Chart [17]

상지의 에너지 자원이 어떻게 조성되어 있는지 등 대상지의 특성을 잘 반영하는 특징을 갖고 있다. 국외에서는 CEA 모델을 활용해 도시 계획 시 지속가능한 개발 및 의사결정을 지원하기 위해 모델을 사용한다. CEA 모델이 기상자료, 건물의 외벽, 높이, 에어컨, 난방 등을 사용해 에너지 수요량 측정이 가능하고, 태양광 패널의 출력을 추정해 주기 때문이다[18]. Jimeno A. et al(2016)는 CEA(City Energy Analyst) 연구를 통해서 지구(District) 규모에서 도시설계 옵션을 사용할 수 있고, 신뢰할 수 있는 정보를 바탕으로 의사결정을 지원하는데 적합하다는 결론을 도출하였다[18].

2) 입력데이터

입력데이터 작업 중 전처리 과정에서는 Open Street Map에서 제공하는 지도를 활용하여 대상지를 불러온 후, Data Helper를 통해 건물, 지형, 도로에 관한 데이터를 생성하여 세부적인 값들을 직접 조정하였다. 모델 내 건물, 인프라, 지역 자원 및 지형에 대한 정보를 포함하여 입력하였다[17]. 대상지 면적, 높이, 창과 벽 비율, 차광 시스템 유형, 점유 유형, 내부 시스템, 건설 연도 및 리노베이션과 같은 건물의 특성이 포함하였다[18]. 모델에서 제공하는 건물, 지형, 도로가 현재 상황과 맞지 않는 경우 서울시 건축물대장, 네이버 지도 및 부동산을 활용해 실제 아파트 구조와 최대한 유사하게 재구성하였다(Fig. 3). 또한, 에너지 네트워크, 하수관로, 도로, 토양 및 수역의 특징과 층화에 대한 정보도 포함하였다[17]. 시뮬레이션 시 필요한 기상 데이터의 경우 기상청에서 제공하는 AWS 데이터를 활용해 상대습도, 대기압, 입사량, 풍향, 풍속, 반사율, 강수 및 강우량 등을 활용하였다.

건물의 용도는 아파트임을 고려해 복합주택으로 선정, 재질은 철근콘크리트조로 시뮬레이션하였다. 건물 시뮬레이션 프로그램 중 하나인 EnergyPlus에서 표준 기상 데이터를 적용하기 위해서는 EPW(EnergyPlus Weather) 형태의 파일로 제공되어야 하고, 표준 기상 데이터에서 중점적으로 이용한 건구 온도, 상대습도, 풍속, 수평면 전 일사량 데이터 이외에도 Table 1.과 같은 데이터들이 요구된다[18]. 본 연구에서는 “Climate. OneBuilding. Org” 웹사이트에서 제공하는 EPW 데이터의 최신 자료인 2017년 자료를 바탕으로 건물 기상 데이터를 적용하여 1월에서 12월의 에너지를 시뮬레이션하였다⁴⁾.



Fig. 3. Site Open Street Map

Table 1. EnergyPlus EPW Input Data Information [19]

Input Data	Unit
Year	
Month	1-12
Day	
Hour	1-24
Minute	1-60
Data Source and Uncertainty Flags	
Dry bulb temperature	°C
Dew point temperature	°C
Relative humidity	%
Atmospheric Station pressure	Pa
Extraterrestrial Horizontal Radiation	Wh/m ²
Extraterrestrial Direct Normal Radiation	Wh/m ²
Horizontal Infrared Radiation Intensity	Wh/m ²
Global Horizontal Radiation	Wh/m ²
Direct Normal Radiation	Wh/m ²
Diffuse Horizontal Radiation	Wh/m ²
Zenith Luminance	Cd/m ²
Wind Direction	0-90-180-270
Wind Speed	m/s
Total Sky Cover	Okta
Opaque Sky Cover	Okta
Visibility	km
Ceiling Height	m
Present Weather Observation	
Present Weather Codes	
Precipitable Water	
Aerosol Optical Depth	0.001~100,µm
Snow Depth	cm
Days since Last snowfall	
Albedo	
Liquid Precipitation depth	mm
Liquid precipitation quantity	hr

3) 에너지 수요량 및 태양광 발전 잠재량 계산

CEA 모델 내 Solar Radiation 및 Schedule 모델을 통해 대상지 내 건물 동마다 시간대별 태양 복사량 및 전기 사용량 유형을 도출하였다. 해당 결과값을 수요 모델에 적용하여 건물별 에너지 사용량이 도출하였다. 에너지 수요량은 크게 면적당 냉방 에너지, 난방 에너지, 온수 에너지, 전기 에너지 수요량 총 4개로 구분하여 월별 및 시간대별 수요량을 파악하였다. 또한 태양 복사량을 고려하여 건물별 태양광 발전 설치 방향에 따른 발전량을 도출하였다. 냉·난방시스템의 경우

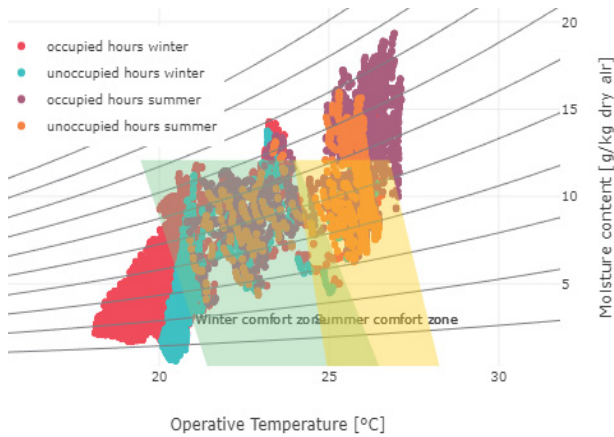


Fig. 4. Comfortable Section by Building Temperature and Humidity

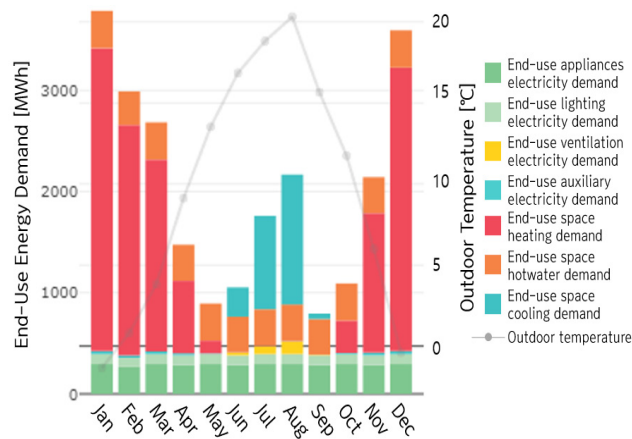


Fig. 5. Energy Demand for Buildings per Month

아파트 관리비를 참고해 냉방시스템은 세대별 개별 시스템을, 난방 시스템은 지역난방 시스템을 적용해 시뮬레이션 하였다. 냉방시스템의 경우 외부 기온이 24°C 이상일 때, 난방시스템은 외부 기온이 18°C 이하로 떨어졌을 때 사용하는 것으로 시뮬레이션 하였다[10]. 입력한 기상 조건에 따라 건물별 냉·난방 수요량이 나타났으며 계절을 고려하여 건물별로 에너지 사용 여부를 산정하였다. 1년 중 에너지 사용이 적은 기온 및 습도를 쾌적 구간으로 나타내어 냉·난방 에너지를 사용하지 않는 구간을 설정하였다(Fig. 4).

태양광 발전은 대상지 건물별로 태양광 잠재 발전 가능량을 방위(동, 서, 남, 북, 지붕) 및 월별로 나타내었다. 옥상의 시간당 태양 일사량은 F_u 등의 반구형 뷰셰이드 알고리즘으로 모델을 통해 추정하였다[21]. 알고리즘은 지형 장애물(건물, 지형), 대기 효과, 위도 및 표고, 계절 등의 복사량 변화 등을 모델링한다. 모델의 정확도를 높이기 위해 무균상 투과율, 흐림 수준 및 일광 절약 기간과 같은 매개변수를 로컬 기상 데이터를 활용해 보정하였다. 분석을 위해 2m × 2m 사이즈의 패널 k개의 직사각형 표면에서 지붕 상단 영역을 이산화하고 수평면의 중심부에서 태양 일사량을 계산하였다[18]. 또한 태양광 발전을 통해 얻은 에너지 효율을 확인해 탄소 배출량을 계산하였다. 계산은 KEPCO의 CO₂ 배출 계산기 중 가정 월별 난방류 수치를 입력하여 계산한다⁵⁾. 본 연구에서는 대상지 아파트의 명확한 결과값을 도출하기 위해 주변 건

물을 제외한 후 시뮬레이션하였다. 모델에서 도출된 에너지 수요량은 서울시 공동주택통합정보마당에서 제공하는 월별 관리비를 통해 비교분석하였다⁶⁾. 관리비 중 개별세대 사용료의 세대 전기료, 세대 가스료, 세대 난방비, 세대 급탕비, 기타사용료를 계산해 모델에서 도출한 결과값과 비교하였다. 냉·난방 에너지는 2017년 개편된 KEPCO 주택용 전력(고압)으로 설정해 요금을 계산하였고, 사용량을 기준으로 누진세를 적용해서 관리비를 산정하였다⁷⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 건물에너지 수요량

대상지 전체의 에너지 수요량은 총 28,745MWh로 이는 전력 사용량, 온수 에너지 사용량, 난방 에너지 사용량, 냉방 에너지 사용량의 합한 결과이다. 계절별 냉·난방 수요량에 따라 에너지 수요량이 크게 차이를 보였다. 전기 수요량(전기 기기, 조명, 환기 장치, 예비 전력)의 경우 연중 내내 일정하지만, 겨울철 예비 전력(30MWh) 및 여름철 환기 장치(70MWh)로 인해 수요량이 소폭 증가한다. 온수 보일러 수요량 또한 매월 약 354MWh로 일정하다. 냉방 에너지의 경우 여름철(6~8월)에 집중되어 있으며, 300~1,250MWh의 수요량을 보이며, 전체 사용 에너지의 약 21~51%를 차지한다. 난방 에너지의 경우 주로 겨울철(11~3월)에 집중되어 1,736~3,364MWh의 수요량을 보인다. 난방 에너지의 경우 특히 겨울철 에너지 수요량의 약 60~80%를 차지하였다. 건물에서 사용된 에너지원을 고려할 때 연간 총 1,809.08tonCO₂의 온실가스가 배출될 것으로 산출되었다. 이러한 결과를 참고할 때, 아파트에서는 주로 냉·난방 에너지에 의해 온실가스가 배출될 것으로 보이며, 냉·난방 에너지 효율화 및 공급 에너지원을 변경(전기보일러, 수열에너지 등)하여 온실가스 감축량을 저감할 수 있을 것으로 보인다.

모델에서 도출된 냉방비는 6~8월은 평균 142,205원, 난방비는 평균 101,310원이었다. 대상지 관리비 고지서를 바탕으로 분석한 결과 냉방비는 2017년 6~8월의 평균 119,912원으로 나타났다. 난방비의 경우 관리비 내용 중 2017년 01~3월과 11월 세대별 평균 난방비는 91,445원으로 도출되었는데, 실제 계산된 관리비와 비교해보니 냉방 에너지는 22,293원 난방 에너지는 9,865원 차이를 보였지만, 일정부분 실체를 반영함을 확인할 수 있었다. 에너지 시뮬레이션 결과 각 세대의 냉·난방 부하에 미치는 요인은 세대의 향, 평면 형태 및 창 면적 등 다양한 디자인 요소에 의해 복합적으로 영향을 받아 냉·난방 에너지 차이가 나타난 것으로 파악되었다[21].

전기 수요량 및 온수 보일러 수요량은 면적당 일정한 것으로 나타났으며, 건물의 향 및 형태에 따라 냉·난방 에너지 수요량의 차이를 보였다(Fig. 6.). 면적당 냉·난방 에너지 수요량은 건물의 면적 및 높이, 주변 건물과의 영향으로 인한 태양 복사량 변화 등으로 인해 변화하였다. 1단지 A동(3,704m²)의 경우 면적당 에너지 총 수요량이 가장 높았고, 해당 건물은 주변 건물보다 낮은 높이로 인해 태양 복사량의 양이 감소하여 난방 에너지 수요량이 증가한 것으로 도

Table 2. Monthly Solar Power Generation Potential

(Unit: kWh)

Index	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
East Wall	83,065	57,092	71,957.2	66,534.5	62,472.6	53,937.2	48,845.8	55982	54255.6	72,684.7	51,815	72,635.9
West Wall	66,814.8	53,742.8	55,273.1	49,113.8	45,653.4	41,195.7	39,859.9	41,991.3	44237.7	53,383.2	55,692.8	68,470.1
South Wall	263,004	184,259	160,762	121,822	99,935.5	84,818.7	91,417	102,553	122,712	179,528	207,432	270,222
Roof Top	35,242.6	33,883.6	49,850.2	66,908.2	89,271.9	90,742.4	82,996.8	71,392.6	51404.3	36,723.4	29,178.7	30,625.5

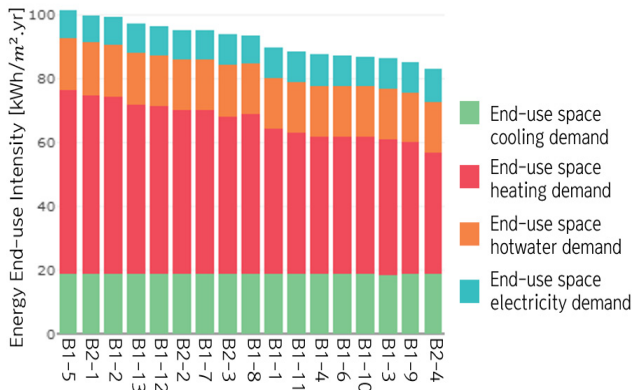


Fig. 6. Energy Demand for Buildings per Year

출되었다. 반대로 단지 내 외곽에 치한 2단지의 B동(28,539.9m²)의 경우 면적당 에너지 총수요량이 가장 작은 것으로 나타났다. 외곽부에 있는 동은 태양 복사량을 가장 많이 받아 겨울철 난방 에너지가 적게 소모되며, 여름철에도 바람의 흐름이 좋아 여름철 열 배출이 원활하기 때문으로 판단된다.

3.2 태양광 발전 잠재량

아파트 동 전체적으로 태양광 패널을 동쪽으로 설치했을 때 1월에 최대 83MWh 발전 잠재량이 있다. 서쪽과 남쪽은 12월에 각각 68MWh, 270MWh의 발전량을 보였다. 건물의 옥상에 설치될 때 6월달에 90MWh 발전량을 보이며 연구대상지에는 남쪽 벽면에 태양광 패널을 설치했을 때 발전 잠재력이 높게 도출되었다(Fig. 7., Table 1.). 태양광을 옥상 및 벽에 설치되었을 때 에너지 효율이 가장 높게 도출된 단지는 2단지이며 특히 C동이 503.918MWh 발전량을 나타내며, 이를 탄소 배출량으로 환산하면 214tCO₂로 계산되었다. 연구대상지에 가장 효율적으로 태양광 패널을 설치하였을 때 1년간 태양광 발전 잠재량은 약 3,445MWh로 약 1418.28tCO₂의 탄소 배출량을 저감할 수 있다.

대상지의 경우 태양광 패널을 설치할 때 단지 내 남쪽에 위치한 동은 동쪽 벽면에 설치하는 것이 에너지를 효율적으로 이용 가능하다. 특히 2단지의 ‘ㄱ’자 형태의 아파트는 옥상 및 서쪽에 설치하는 것보다 동쪽에 설치하는 것이 가장 효과적으로 나타났다. 해당 동은 배치 특성에서 ‘ㄱ’자 모양으로 건물이 배치되었고 근처에 주변의 높은 층수의 건물이 없다는 특징이 있기 때문에 동쪽이 유리하게 나타났다. 또한 중앙에 위치하는 건물은 단지 내 다른 동 건물에 가려져 햇빛을 많이 받지 못해 발전량이 ‘0’으로 나타났다. 단지 내 ‘ㄷ’자 모양으로 3개의 건물의 용적률에 의해서 각기 다른 층수로 한 개의 동을

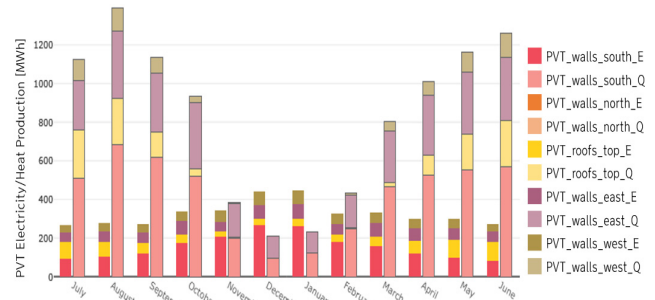


Fig. 7. Monthly Solar Power Potential

이루고 있는데, 층수가 달라 음영지역이 발생하였고 태양광 에너지 효율이 떨어졌다. 음영지역은 태양광 패널 벽면 설치를 자제해야 하며 옥상에 설치해서 에너지 효율성을 높이는 대안이 가장 좋을 것으로 나타났으며, 설치 비용까지 절감할 수 있을 것으로 보인다. 단지 내 건물 방향이 서쪽으로 되어 있는 동의 경우 서쪽벽에 설치하는 것이 가장 좋은 결과값을 도출하였다. 해당 동은 단지 내 가장 외곽으로 떨어져 있거나 동, 북, 남쪽에 다른 동들로 둘러싸인 특징이 있어 서쪽이 유리하게 나타났다.

동별로 태양광 패널의 차이를 보이는 이유는 아파트 배치, 동별 층수 차이 등 빛을 받을 수 있는 시간적인 차이와 같은 이유 때문이다. 특히, 우리나라는 4계절이 뚜렷하고 지역적으로 여름과 겨울철에는 폭우 및 폭설과 같이 햇빛 에너지를 받지 못한다는 특징이 있어 이 점을 고려해 잠재적인 태양광 에너지 발전량을 도출해야 한다. 동일 세대는 2~3개의 향을 가지고 있으므로 태양광 패널 설치 시 향에 따른 설치 위치를 사전에 판단하고 적용할 때 태양광 패널의 효과는 계절별로 적게는 32%, 많게는 80%까지 에너지 효율을 높일 수 있다. 태양광 패널을 활용할 때, 아파트 전기 공급의 탈탄소화에 기여할 수 있으며, 지열, 수열, 미활용 에너지(발전폐열, 소각폐열 등) 활용은 냉·난방으로 사용되는 기존 화석연료 시스템의 저탄소화를 유도해 에너지효율 개선 효과(Passive+ Active)를 이끌어 낼 수 있을 것으로 예상된다[1]. 또한 아파트에 태양광 패널을 설치할 때 남사면일수록 태양을 받을 수 있는 면적이 넓어져 벽면에 설치하는 것이 잠재력을 높일 수 있다. 건물 벽면에 패널을 설치할 때 건물별 입사량을 사전에 예측해 적절한 위치에 설치해야 하고, 음영에 따른 발전성능을 고려한다. 하지만, 건물 벽면 전체를 창호와 패널로 구성한다면 경관수준에 대해서는 다소 부정적인 평가를 받을 수 있으므로 이런 점을 충분히 고려한 후 아파트에 태양광 패널을 설치해야 할 것이다.

4. 결론

본 연구는 서울시 강남구 혼합형 아파트의 건물별 에너지 수요량, 동마다 효율적인 태양광 패널 설치 위치 및 설치 후 태양광 발전 잠재량을 CEA 모델링을 통해 비교하였다. 이를 통해 몇 가지 유용한 시사점을 발견하였다. 먼저, 대상지 내 건물들의 냉·난방 에너지는 주변 온도 및 습도의 영향을 크게 받으며, 주변 건물과의 역학 및 건물 구조로 인한 태양 복사량 변화로 인해 계절별로 큰 변동 폭을 보였다. 특히 면적당 에너지 수요량은 단지와 건물의 구조에 따라 차이가 나타나며, 건물 간 역학에 따른 태양 복사량 변화가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다음으로, 난방 에너지의 경우 동의 위치, 주변 건물에 대한 영향, 향에 큰 영향을 미쳤으며, 냉방 에너지는 주변 건물, 향에 대해 큰 영향을 받지 않았고, 주변의 영향보다는 기후적인 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한, 태양광 발전 잠재량 또한 건물별 태양 복사량에 따라 잠재량이 도출되며, 건물의 높이가 높을수록 단지 외곽에 위치할수록 잠재량이 많이 증가하였다.

해당 연구 결과는 단지 구조가 에너지 수요량에 영향을 미치며, 동시에 태양광 발전 잠재량을 변화시키는 요인임을 도출하였다. 본 연구에서는 실험적으로 건물의 높이 및 형태를 하나의 매트로 입력하였는데, 추가적인 모델링을 활용해 평면 형태 및 창 면적 등 다양한 디자인적 요소까지 반영한다면 실제 계산된 관리비와 근접한 결과값이 도출될 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 2050 탄소중립에 맞춰 제로에너지건축물 의무화, 태양광 설치 의무화를 앞둔 시점에서 태양광 에너지 사용량 및 잠재량을 분석 수단으로 CEA 모델 분석을 통해서 활용 가능성 등을 고찰한 측면에서 의의를 가진다. 본 연구에서는 에너지 수요량이 많을 것으로 예측되는 대단지 혼합형 아파트를 선택해 연구를 진행하였는데, 에너지 사용량 및 저감 잠재량 분석은 탄소중립의 현실적인 실천방안을 찾는 데 있어 중요하기 때문에 향후 연구에서는 단지 스케일을 벗어나 지구(District) 단위 스케일에서 에너지 수요량 및 태양광 발전 잠재량을 확인하고, 도시 밀도와 주변 건물 현황을 추가하여 보다 정교한 모델 구성해 도시차원의 탄소중립 논의에 필요한 데이터를 생산할 수 있으면 더 의미미한 논의가 진전될 수 있을 것으로 생각한다.

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구사업임(NRF-2019K1A3A1A7811297311).

Reference

[1] 대한민국 정부, (지속가능한 녹색사회 실현을 위한) 대한민국 2050 탄소중립 전략, 2020. // (The Government of the Republic of Korea, (to realize a sustainable green society)Korea's 2050 Carbon Neutral strategy, 2020.)
 [2] 김규남, 저탄소 도시를 위한 에너지 효율적인 건축물, 국토교통과학기술진흥원 Global Report, 2017. // (G.N. Kim, Energy-efficient buildings for low-carbon cities, Korea Agency fo Infrastructure Techonology Advancement Global Report, 2017.)

[3] 에너지경제연구원, 에너지통계월보(2016.12), 2017. // (Korea Energy Economics Institute, Energy statistics monthly report(2016.12), 2017.)
 [4] 국토교통부 외, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵, 2016. // (Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MOLIT) et al., A basix roadmap for achieving the national greenhouse gas reduction goals in 2030, 2016.)
 [5] 국토교통부, 2019, 전국 건축물 총 7,191,912동/37억 5천 4백만㎡, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dt.jsp?id=95081898. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019, A total of 7,191,912 buildings/3,754 billion square meters nationwide, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dt.jsp?id=95081898.)
 [6] 법제처, 녹색건축물 조성 지원법, <https://www.moleg.go.kr/index.es?sid=a1>. // (Ministry of Government Legislation, GREEN BUILDINGS CONSTRUCTION SUPPORT ACT, <https://www.moleg.go.kr/index.es?sid=a1>.)
 [7] 환경부, 2050 탄소중립, <https://www.gihoo.or.kr/netzero/intro/intro0204.do>. // (Korea Environment Corporation, 2050 Carbon neutrality, <https://www.gihoo.or.kr/netzero/intro/intro0204.do>.)
 [8] 김민경, 서울시 주거용 건물의 전력 소비량 추정모델, 서울도시연구, 제14권 제2호, 2013, pp.179-192. // (M.K. Kim, An Estimation Model of Residential Building Electricity Consumption in Seoul, The Seoul Institute, 14(2), 2013, pp.17-192.)
 [9] 최민석 외 3인, 국가 건물에너지 통합 DB를 활용한 주거용 건물에너지 소비현황 분석 -건물용도, 지역, 규모 그리고 준공년도를 중심으로-, 부동산분석, 제3호 제1호, 2017, pp.101-118. // (M.S. Choi et al., An Analysis of Residential Building Energy Consumption Using Building Energy Integrated Database -Focused on Building Uses, Regions, Scale and the Year of Construction Completion-, Journal of Real Estate Analysis, 3(1), 2017, pp.101-118.)
 [10] 석주현, 박기현, 주거용 건물에너지 소비 요인 분석을 통한 건물에너지 정책 방안 연구, 2017, 에너지경제연구원. // (J.H. Seok, K.H. Park, A Study on the Building Energy Policy through the Analysis of Factors Consumption of Residential Building Energy, 2017, Korea Energy Economics Institute.)
 [11] 윤종호, 제로에너지건물을 위한 신재생에너지의 역할과 정량적 기여효과, 한국태양에너지학회 논문집, 제14권 제1호, 2016, pp.24-32. // (J.H. Yoon, The Role and Practical Contribution of Renewable Energy Technologies in Actual Zero Energy Building, The Magazine of Korea Solar Energy Society, 14(1), 2016, pp.24-32.)
 [12] 이상훈, 한국에서 재생에너지 확대를 위한 정책적 과제, 환경법과 정책, 12, 2014, pp.63-82. // (S.H. Lee, Policy Challenges for Promoting Renewable Energy in Korea, Environmental Law and Policy, 12, 2014, pp.63-82.)
 [13] 국토연구원, 2020년도 주거실태조사 결과, 2021. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020 Korea Housing Survey result, 2021.)
 [14] 김철희 외 3인, 시대별 아파트 단지의 미기후 분석, 한국주거학회 논문집, 2009, pp.104-108. // (C.H. Kim et al., Analysis of Microclimate in Apartment of Complex by Age: The Korean Housing Association, 2009, pp.104-108.)
 [15] 파워컨텐츠, 무조건 판상형이 좋을까? 내게 맞는 아파트 구조 선택 기준, <https://board.realestate.daum.net/gaia/do/mobile/estate/read?bbsId=power&art icleId=1923, 2021.05.17>. // (Powercontents, Is the plate type better no matter what? Criteria for choosing the right apartment structure for me, <https://board.realestate.daum.net/gaia/do/mobile/estate/read?bbsId=power&art icleId=1923, 2021.05.17>.)
 [16] 조립식 건축 클래스, 판상형/타워형/혼합형 아파트 구조 및 장단점, <https://m.blog.naver.com/lo8255ve/221820761662, 2021.05.17>. // (Prefabricated building class, Flat type/Tower type/Mixed type apartment structure and strengths and weaknesses, <https://m.blog.naver.com/lo8255ve/221820761662, 2021.05.17>.)
 [17] City Energy Analyst, Getting started, <https://city-energy-analyst.readthedocs.io/en/386-create-readthedocs-style-api-documentation/getting-started.html>.
 [18] Jimeno A. Fonseca et al, City Energy Analyst(CEA): Integrated framwork for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts, Energy and Buildings, 113, 2016, pp.202-226.
 [19] 국토교통부, 건물에너지 평가 프로그램 신뢰성 확보를 위한 대한민국 주요지역 70개소의 표준기상데이터 제작 및 글로벌화 최종보고서, 2017. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Final report on The Production and Globalization of Standard Weather Data in 70 Major Regions of Korea to Secure the Reliability of the Building

- Energy Evaluation Program, 2017.)
- [20] 서혜수, 김명선, 초고층 공동주택의 세대별 냉난방부하 시뮬레이션 결과 및 에너지 실사용량과의 비교분석, 한국태양에너지학회 논문집, 제 31권 제4호, 2011, pp.34-40. // (H.S. Suh, B.S. Kim, A Comparative Analysis of Energy Simulation Results and Actual Energy Consumption on Super High-rise Apartments, Journal of Korean Solar Energy Society, 31(4), 2011, pp.34-40.)
- [21] Fu, P., & Rich, P. M., A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry, Computers and electronics in agriculture, 37(1-3), 2002, pp.25-35.

-
- 1) 서울시 기후·에너지 DB: 필지 단위의 월별 전기, 도시가스, 지역난방 소비량 및 공간단위별(동, 자치구, 생활권) 에너지 소비량을 TOE로 환산하여 구축한 DB임.
- 2) 제로에너지건축물, https://zeb.energy.or.kr/BC/BC02/BC02_02_001.do
- 3) 통계청, 2020년 인구주택총조사, <https://www.census.go.kr/mainView.do>
- 4) Energy Plus, <https://energyplus.net/weather>
- 5) KEPCO, <https://home.kepco.co.kr/kepco/SM/C/D/SMCDPP00101.do?menuCd=FN2903040101>
- 6) 공동주택통합정보마당, <https://openapt.seoul.go.kr/portal/index.do>
- 7) KEPCO, 전기요금표, <https://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/CYEEHP00101.jsp>