

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

최적화 알고리즘 및 최소 입력변수 기반 건물 디지털 트윈 모델의 보정 및 성능 평가

Calibration and Performance Evaluation of Building Digital Twin Models based on Optimization Algorithm and Minimal Input Variables

○하나경*

Ha, Na-kyeong

안태겸*

An, Tae-Gyeom

장예준**

Jang, Ye-Jun

채영태***

Chae, Young-Tae

키워드 : 디지털 트윈 모델, 전력 사용량, 중형 오피스, 보정 알고리즘, 다차원 공간

Keywords : Digital Twin model, Energy consumption, Calibration, Medium office, Nelder-Mead

최근 건물에너지 활용에 대한 관심이 증가함에 따라 디지털 트윈(Digital Twin) 모델을 활용한 건물에너지 분야 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 디지털 트윈 모델은 건물의 복잡한 물리적, 운영적 특성을 반영하기 위해 대상 건물에 다수의 센서 설치가 요구되며 장기간에 걸친 데이터 수집을 통한 에너지 소비 특성 분석이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 Nelder-mead 알고리즘을 활용하여 건물의 연면적과 전력 사용량으로 실제 건물의 에너지 사용량과 소비 특성을 파악할 수 있는 보정기법을 제안하고자 하며 이를 통해 센서 의존도를 해소하고 디지털 트윈 모델의 실효성을 검증하고자 한다.

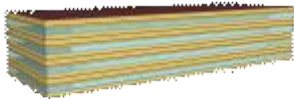


그림1. 실제 연면적을 적용한 디지털 트윈 모델

분석 대상 건축물은 국내 안성시 소재 공공기관 사무용 건축물로 여름철 대표일의 시간별 전력 사용량 데이터를 활용하여 디지털 트윈 모델 보정을 수행했다. 외피의 열성능이 냉방부하와 상관관계가 높으며, 내부 발열 요인이 실제 건물 운영 행태에 따라 가장 큰 차이를 발생시키는 요소이기 때문에 (ASHRAE Fundamentals 2017; Hong et Al. 2020) 모델 보정 과정에서는 건축재료 성능과 조명 및 기기 부하를 조정 변수로 설정했다. 본 연구에서는 표 1과 같은 여섯 가지 변수를 선정하여 실제 건물과 시뮬레이션 건물의 전력 사용량 데이터 오차를 검토하고자 했다.

* 가천대 건축공학전공 대학원 석사과정

** 가천대 건축공학전공 학사과정

*** 가천대 건축공학전공 교수, 건축학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering,
Gachon University, ychae@gachon.ac.kr)

본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [RS-2025-0231181].

표1. Nelder-Mead 기법의 조정 변수 개요

변수	초기값	최적화 값	범위
벽체 열 전도율 (W/m·K)	0.049	0.111	0.005~0.3
창호 열관류율(W/m²·K)	3.23	3.116	0.2~7
창호 SHGC	0.39	0.9	0.05~0.9
냉방 설정온도(°C)	24	22.89	15~35
조명 부하 계수(W/m²)	10.76	5.38	5.38~21.5
장비 부하계수(W/m²)	10.76	5.38	5.38~21.5

본 실험에서는 성능 지표의 개선 폭이 일정 기준 이하로 유지될 경우 해당 시점 값을 최적값으로 간주했다. 모델의 성능을 검증하기 위해 ASHRAE Guideline 14에서 제시한 기준을 참고하여 시간별 데이터의 신뢰성 확보 조건인 CV(RMSE) 30%를 충족하도록 했다.

표2. 보정 전후 모델 성능 비교

구분	CV(RMSE)(%)	NMBE(%)
초기 모델	90.64	53.16
보정된 모델	21.7	-3

초기 모델은 계측값과 비교했을 때 주간 시간에 부하 패턴의 차이가 크게 나타나며, 시간별 전력 총량에서 평균 절대오차가 약 109.79kWh의 과대 예측이 나타났다. 반면, Nelder-Mead 기반 보정 모델은 계측값의 전력 사용량 변동 패턴을 더 정밀하게 재현하였으며, CV(RMSE) 값이 초기 모델 대비 76.06% 개선되었다.

본 연구에서 사용한 전력 사용량 데이터는 건물 용도에 따라 상이하나 대체로 일정한 패턴을 보이지 않기에 단독으로는 안정적인 예측이 어렵다. CV(RMSE)값이 ASHRAE Guideline에서 제시하는 신뢰성 기준을 충족하나 추가 연구를 통해 모델의 예측 성능을 향상시킬 필요가 있다. 건물의 부하 특성을 파악하는 모델과 결합하여 활용할 경우 일정 수준 이상의 예측 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 다양한 계절 및 건물 유형에 관한 연구 진행을 통해 본 보정기법의 범용성과 실효성을 더욱 검증하고자 한다.