

객관적인 건물 에너지 벤치마킹을 위한 에너지 사용량 정규화

유영서, 김덕우*, 이동혁**, 박철수

서울대학교, *한국건설기술연구원, **한국산업기술시험원

youngseo.yoo@snu.ac.kr, *deukwookim@kict.re.kr, **dhyi@ktl.re.kr, cheolsoo.park@snu.ac.kr

Normalization of heating and cooling energy use for objective building energy benchmarking

Young-Seo Yoo, Deuk-Woo Kim*, Dong-Hyuk Yi**, Cheol-Soo Park

Seoul National Univ., *Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, **System & Energy Division in Korea Testing Laboratory

요약

건물 에너지 벤치마킹 도구로 많이 사용되는 EUI(Energy Usage Intensity, kWh/m².yr)는 건물 운영스케줄, 재실자 수, 냉난방 설정온도 및 기후 등에 영향을 받으므로, 건물 에너지 성능을 평가하는 객관적 지표로 인정되기에는 부족한 점이 있다. 따라서, 상술한 요인들에 의한 영향을 배제하기 위한 '에너지 정규화' 방법이 필요하다. 본 연구에서는 인공신경망 모델을 이용하여 대표적인 운영인자인 운영스케줄, 재실밀도, 기기밀도, 설정온도와 기후에 따른 에너지 예측 모델을 구축하고, 이를 통해 정규화 계수를 계산하여 운영 조건 및 기후에 대해 정규화된 EUI를 도출하여, 객관적인 건물 에너지 벤치마킹 도구로 제안하고자 한다.

I. 서론

건물 에너지 성능의 객관적 벤치마킹을 위해서는 건물의 운영 조건(재실자, 설정온도 등) 및 외부 환경(기후)이 통제된 상태에서, 건물을 구성하는 각 설계 요소(건물 형태, 구조체 물성치, 설비시스템 등)의 조합에 따라 소비되는 에너지 사용에 대한 수준을 평가해야 한다. 현재 건물 에너지 벤치마킹의 도구로 널리 활용되는 EUI(Energy Usage Intensity, kWh/m²/yr)는 단위 바닥면적 당 에너지사용량을 나타내며, EUI는 운영 조건과 같은 요인에 의해 변화하는 특성이 있다. 즉, 에너지 성능이 동등한 건물이라 할지라도 운영시간이 길거나, 또는 덥거나 추운 지역에 위치한 건물의 EUI 값은 증가하게 된다.

따라서, EUI는 건물 에너지 성능 벤치마킹 도구로 볼 수 없으며, 이를 위해 운영 조건 및 기후에 대한 건물 에너지 정규화가 필요하다. '정규화'란 순수한 '성능 수준'을 추정하기 위해, 상술한 다른 인자들(운영 조건, 기후 등)에 의한 편향을 없애는 것으로 설정하였다. 본 연구에서는 인공신경망 모델을 이용하여 운영스케줄, 재실밀도, 기기밀도, 설정온도와 기후에 따른 에너지 예측 모델을 구축하고, 이를 통해 정규화 계수를 도출하여 정규화된 EUI를 계산하는 프로세스를 제안하고자 한다.

II. 정규화 프로세스

그림 1은 정규화 프로세스를 보여준다. EnergyPlus를 이용하여 표준건물에 대한 모델링을 수행한 뒤, Latin hypercube sampling을 이용하여 운영 시작 시각(7시~10시), 운영시간(8시간~14시간), 재실밀도(0.075인/m²~0.25인/m²), 기기밀도(2.7W/m²~16.1W/m²) 및 설정온도(난방 18.5°C~21.5°C, 냉방 24.5°C~27.5°C)에 대한 50개 표본을 생성하였다(범위: [1]). 그리고, 상술한 운영 인자들의 표본을 건물에 입력하고, 108개 국내 기상 데이터와 조합하여 총 9,000번의 시뮬레이션을 수행하였다(50개 운

영 표본 × 108개 기상 데이터=9,000). 대리모델(surrogate model)로서, 상술한 운영 인자들과 외기온도 기반 도일(degree-days)을 입력변수로 하고, 연간 난방 및 냉방 EUI(kWh/m²/yr)를 출력변수로 하는 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN) 모델을 구축하였다.

본 연구에서 제안하는 정규화 계수는 표준 운영 조건과 실제 운영 조건으로부터 예측된 건물 에너지사용량 간 비율로 정의되며, 이는 건물의 운영 조건 외에 설계나 구조체 물성치 등이 동일하다면, 에너지사용량은 건물의 운영 조건에 의해서만 변화한다는 가정을 전제로 한다. 정규화 계수 도출을 위해, ANN 모델에 평가 대상 건물의 실제 운영 조건에 따라 예측된 EUI_{actual}과 표준 운영 조건에 따라 예측된 EUI_{standard} 간 비율을 계산하고, 이를 건물의 실제 EUI_{measured}에 나눠줌으로써 정규화된 EUI_{normalized}를 도출하였다(그림 1의 녹색 상자). 즉, 정규화된 EUI_{normalized}는 건물별 운영 조건을 보정하여, 동등한 조건에서 발생하는 에너지사용량에 해당된다.

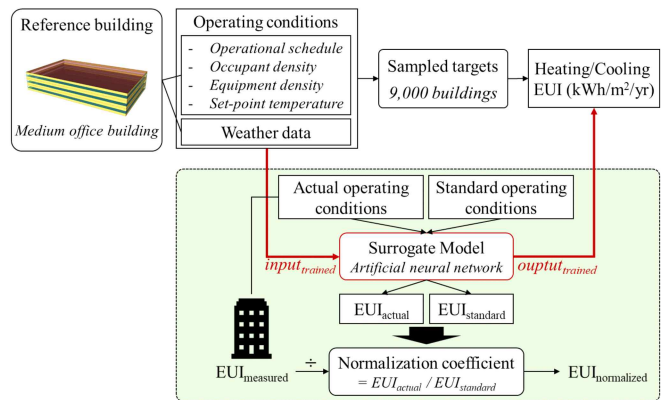


그림 1. 정규화 프로세스

III. 사례연구

표준건물은 미국 에너지부에서 개발한 중형 사무소 건물을 수정하여 사용하였다. 표준건물은 지상 3층으로 층별 1개 실(zone)로 구성되어 있고, 연면적 및 창면적비는 각각 4,500m² 및 33%이다(그림 1 참조). 국내 건축물의 에너지절약설계기준[2]을 참고하여 외벽, 바닥, 지붕의 열관류율을 각각 0.482W/m²·K, 1.817W/m²·K, 1.817W/m²·K로 설정하였다. 창호 열관류율은 2.0W/m²·K, 유리 SHGC는 0.38, 조명밀도는 8.1 W/m² 및 침기율은 0.5ACH로 설정하였다. 열원 및 공조시스템은 'ideal loads air system'으로 설정하였다. 그리고, 표준건물을 이용하여 2장에서 설명한 것과 같이 ANN 모델을 구축하였으며, 학습데이터 중 2,700개의 데이터셋을 통해 ANN 모델의 정확도를 검증하였다. ANN 모델의 Coefficient of the variation of the root mean square error(CVRMSE)가 난방 및 냉방 에너지에 대해 각각 3.7% 및 8.8%로 나타나, 적합한 것으로 판단하였다.

정규화 방법의 유효성을 검증하기 위해, 위에서 도출한 운영 조건이 다른 9,000개 건물을 이용하여, 정규화 계수를 도출하고 난방 및 냉방 EUI_{normalized}를 계산하였다. 참고로, 표준 운영 조건은 시작 시간 9시, 운영 시간 8시간, 재실밀도 0.16인/m², 기기밀도 8.61W/m², 난방 및 냉방 설정 온도 20℃ 및 26℃로 설정하였고 [1], 표준건물에 표준 운영 조건을 입력하여 도출된 EUI를 건물의 성능에 대응되는 참값 (EUI_{true})으로 간주하였다. 그리고, 운영 조건에 따라 계산된 EUI를 측정된 EUI_{measured}로 간주하였다. 그림 2의 (a), (b)는 난방 EUI_{true}와 9,000개 건물별 운영 조건에 따라 계산된 난방 EUI_{measured} 및 정규화된 난방 EUI_{normalized} 간 절대값 오차를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 난방 EUI_{true}와의 오차는 난방 EUI_{measured}의 경우, 평균 12.3kWh/m²/yr 및 표준편차 9.8kWh/m²/yr로 나타났으며, 난방 EUI_{normalized}의 경우, 평균 1.5kWh/m²/yr 및 표준편차 1.3kWh/m²/yr로 나타났다. 마찬가지로, 그림 3의 (a), (b)는 냉방 EUI_{true}와 9,000개 건물별 운영 조건에 따라 계산된 냉방 EUI_{measured} 및 정규화된 냉방 EUI_{normalized} 간 절대값 오차를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 냉방 EUI_{true}와의 오차는 냉방 EUI_{measured}의 경우, 평균 12.9kWh/m²/yr 및 표준편차 11.0kWh/m²/yr로 나타났으며, 냉방 EUI_{normalized}의 경우, 평균 4.0kWh/m²/yr 및 표준편차 2.7kWh/m²/yr로 나타났다.

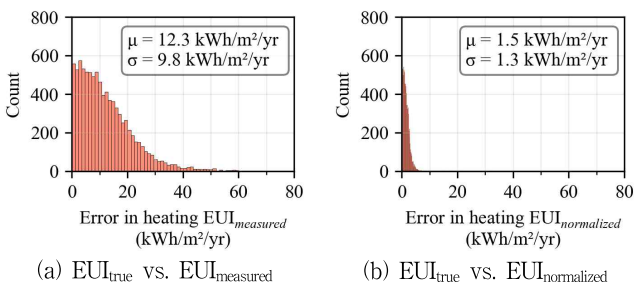


그림 2. 난방 EUI_{true}와 EUI_{measured} 및 EUI_{normalized} 간 오차 히스토그램

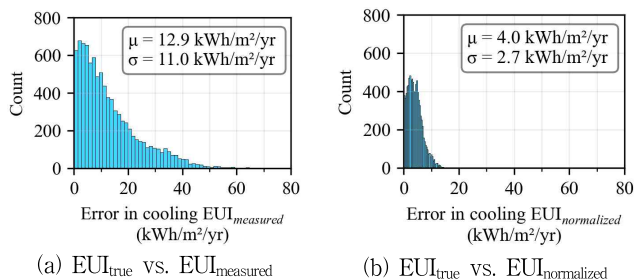


그림 3. 냉방 EUI_{true}와 EUI_{measured} 및 EUI_{normalized} 간 오차 히스토그램

난방 및 냉방 모두 EUI_{measured}의 오차가 상당하며, 이는 동일한 설계('성능')를 가진 건물일지라도 운영 조건에 따라 EUI가 변할 수 있음을 의미한다. 반면, EUI_{normalized}의 경우, EUI_{measured}보다 오차가 크게 줄어들고, 이에 따라, 동일한 설계를 지닌 건물은 유사한 EUI_{normalized}를 가지므로, 건물의 운영 조건에 큰 영향 없이 비교적 객관적인 평가가 가능하게 된다.

추가적으로, EUI_{true}, EUI_{measured} 및 EUI_{normalized} 기반 건물 에너지 벤치마킹을 수행하였다. 표준건물에 가스보일러, 원심식 냉동기 및 정풍량 시스템을 적용하고, 보일러 효율 및 냉동기 COP를 서로 다르게 설정하여 구축한 5개 건물을 평가 건물로 선정하였다 (건물 #1-#5). 단, 5개 평가 건물의 운영 조건은 모두 상이하다. 건물 #1은 보일러 효율이 95%이고 냉동기 COP가 6인 가장 좋은 건물에 대응된다. 건물 #2-#5는 건물 #1을 기준으로 보일러 효율이 5% 간격으로, 냉동기 COP가 0.5 간격으로 낮게 설계되었다. 5개 건물별 표준 운영 조건에서의 EUI_{true}, 건물별 운영 조건이 반영된 EUI_{measured}, 정규화된 EUI_{normalized}를 도출하고, 3개 값을 평가지표로 고려한 건물 에너지 벤치마킹을 수행하였다.

그림 4의 (a), (b)는 각각 난방 및 냉방에너지에 대한 벤치마킹 결과를 나타내며, EUI_{true} 기반 벤치마킹 결과는 평가 건물들을 동등한 운영 조건 하에서 평가한 이상적인 결과를 의미한다. EUI_{measured} 기반 벤치마킹 결과, 건물의 보일러 및 냉동기 성능을 반영하지 못하고, 운영 조건 차이로 인한 편향된 순위가 도출되었다. 반면, EUI_{normalized}의 경우, EUI_{true}와 유사한 벤치마킹 결과를 보였다. 이를 통해, 제안 방법에 따라 정규화된 EUI_{normalized}가 건물 운영 조건에 정규화가 되어, 좀 더 객관적인 건물 에너지 평가지표로써 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

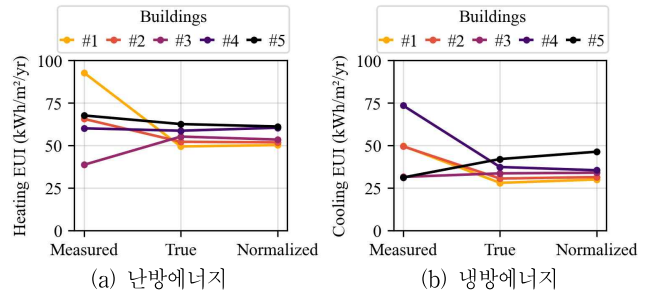


그림 4. EUI_{true}, EUI_{measured} 및 EUI_{normalized} 기반 건물 에너지 벤치마킹

IV. 결론

본 연구에서는 인공지능망을 활용하여 운영 조건에 대한 건물 에너지 정규화 계수를 도출하는 방법을 제안하였다. 사례연구를 통해 기존 EUI_{measured}보다 정규화된 EUI_{normalized}가 건물 에너지 성능을 반영한 평가 결과를 제공할 수 있음을 보였다. 추후 연구에서는 제안 방법을 실제 건물에 적용하여 연구의 범용성을 확보할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20202020800360)

참고 문헌

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2017). ASHRAE Handbook - Fundamentals, Atlanta
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023). Building Design Criteria for Energy Saving, 2023-104.