

# LSTM 모델을 이용한 대학교 건물의 기간별 에너지 사용량 예측

## Periodic Energy Consumption Prediction in University Buildings Using LSTM Models

○정 봉 훈\*

Jeong, Bonghoon

○김 하 성\*\*

Kim, Hasung

○나 후 승\*\*\*

Na, Hooseung

김 태 연\*\*\*\*

Kim, Taeyeon

### Abstract

This research focused on uncovering the variability in energy consumption patterns of school buildings across three operational periods and aimed to develop a time-series forecasting model that can accurately predict these patterns. Using LSTM(Long Short-Term Memory)-based models, the annual hourly energy consumption of Y University's lecture and research buildings in Seoul was predicted, segmenting into four different time periods: the entire duration, weekdays during the semester, weekdays outside the semester, and holidays. All models achieved a CVRMSE value below 30%, with the period-segmented models outperforming the model for the overall period, demonstrating superior performance of customized prediction models tailored for specific operational periods. The findings emphasize the need to consider operational periods when establishing energy consumption strategies for buildings and suggest the necessity for further research across various building types.

키워드 : 건물 에너지 소비, 운영 기간 분석, 장단기 기간 메모리 모델

Keywords : Building Energy Consumption, Operational Period Analysis, LSTM(Long Short-Term Memory Model)

### 1. 서론

UN 산하의 IPCC 제6차 보고서에 따르면 지구 온도 상승을 산업화 이전 대비 1.5°C로 제한하기 위해 전 세계 온실가스 순 배출량을 2019년 대비 43% 감축해야 한다고 한다. 이에 따라, 전 세계적으로 온실가스 배출 감소가 필수적이다. 특히 건물 부문은 전체 온실가스 배출과 에너지 소비의 상당 부분을 차지하고 있다. 서울시의 건물 에너지 소비 분석 결과, 대학교 건물들은 높은 에너지 소비를 기록하고 있어, 이러한 다기능적인 대학 건물들의 에너지 사용 패턴을 정밀하게 분석하고 예측하는 작업이 에너지 절약과 효율 향상에 있어 매우 중요한 단계임을 보여준다.

건물의 에너지 소비는 시간에 따라 변동하는 패턴을 갖고 있으며, 이러한 패턴을 이해하는 것은 에너지 소비의 효과적인 분석에 도움을 준다. 시계열 데이터 분석은 이러한 시간에 따른 패턴의 변화를 고려하여, 과거의 데이터 흐름을 통해 미래의 에너지 소비 추세 예측에 유용하다. 연구에서는 시계열 분석 기법으로, 시간대별 변화를 포착하고 미래의 에너지 소비를 예측하는 방식을 이용했다. 특히, 학기 중 평일과 학기가 아닌 평일, 그리고 휴일에 따라 에너지 사용 패턴이 크게 달라진다는 것을 고려하여, 세 개의 기간을 명확히 구분하여 분석해서 모델을 만들었고 에너지 사용을 더 정확하게 예측할 수 있었다.

\* 연세대 건축공학과 박사과정

\*\* 연세대 건축공학과 석사과정

\*\*\* 연세대 건축공학과 박사후 연구원, 공학박사

\*\*\*\* 연세대 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei University, tkim@yonsei.ac.kr)

이 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. 과제번호:20202020800030

### 2. 연구 방법

연구는 건물의 에너지 사용 패턴이 시간에 따라 변한다는 가정을 바탕으로, 서울시 서대문구에 있는 Y 대학교의 강의실 및 연구실, 연구 중심, 그리고 강의 중심의 건물을 대상으로 운영 기간에 따른 에너지 예측 모델을 개발했다. 2022년 5월부터 2023년 4월까지 COVID-19 사회적 거리두기 조치가 해제된 이후 1년 동안 시간당 에너지 사용량을 수집했다. 다음으로 세 개 기간으로 건물 운영 기간을 구분해서 모델을 세분화하는 방식을 채택했다. 이러한 접근법은 건물의 에너지 소비가 건축적 요소들만이 아닌, 거주자의 활동과 같은 동적 요소들에 의해 시간대별로 영향을 받음을 고려한 것이다.

건물 에너지 사용량 분석 결과, 학기 중인 평일에는 교육 및 연구 활동이 활발하여 학교 건물의 에너지 사용량이 증가하는 반면, 학기가 아닌 평일에는 건물 사용이 줄어들지만, 냉난방 기기 사용으로 인해 여전히 에너지 소비가 상승하는 경향을 보였다. 또한 휴일에는 거주자의 활동 패턴이 변함에 따라 에너지 사용량에 감소가 나타났다. 이러한 분석을 통해, 시기별로 에너지 사용 패턴에 변동이 있는 것을 명확히 확인할 수 있었다.



그림 1. Y 대학교의 건물 유형

건물 에너지 사용량을 예측할 때는, 건물 외피와 같은 고정된 특성도 중요하지만, 거주자의 재실 상태와 날씨 조건에 따라 변화하는 조명, 난방, 냉방, 환기, 그리고 기기 사용량 같은 내부적 요소들도 고려해야 한다. 연구에서는 날씨 변수로서 외부 온도, 상대습도, 바람 속도, 그리고 일사량을 사용하였다. 재실자의 수와 같이 직접적으로 측정하기 어려운 변수의 영향을 파악하기 위해 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반의 시계열 예측 모델을 개발하여, 시간에 따른 재실자 정도를 고려한 예측 모델을 학습하였다. 이는 재실자의 수와 같은 측정하기 어려운 변수들을 효과적으로 모델에 통합함으로써, 에너지 소비 예측이 가능함을 보여준다. 또한, 전체 기간 모델과 세분화된 기간 모델의 성능을 비교함으로써, 기간별 분류가 에너지 사용량 예측의 정확도를 개선하는지에 대해 검증했다.

### 3. 연구 결과

ASHRAE Guideline 14-2014에 따르면, 시간별 데이터를 사용할 때 모델이 검증 기준으로 CVRMSE(Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error) 30% 이하가 되어야 한다고 한다. 연구에서는 이 기준을 적용하여 1년간의 데이터에 대해 전체 기간을 포함한 네 가지 시기별로 예측 모델을 학습했고, 예측된 에너지 사용량과 실제 에너지 사용량의 비교는 그림 2에 나타내 모델의 예측 능력을 확인할 수 있었다.

강의 및 연구실 건물, 연구 중심 건물, 그리고 강의 중심 건물에 대한 에너지 사용 예측 모델들이 표 1처럼 CVRMSE 30% 이하로 기준을 충족해 모든 모델이 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 강의 및 연구 중심 건물의 경우 전체 기간 모델의 CVRMSE가 13.95%였으며, 기간을 세분화했을 때 성능이 더 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 강의 중심 건물 모델은 전체 기간에 대해 21.98%의 CVRMSE를 보여주며, 이는 모든 시기 중 가장 높은 수치이지만 30%의 기준 아래에 있는 것을 확인했다. 연구 중심 건물의 경우, 모든 모델에서 낮은 수치를 보여주며, 역시 기간을 세분화했을 때 더 높은 성능을 보여주었다.

전체 기간에 대한 모델 대비, 기간을 세분화한 모델들에서 더 낮은 CVRMSE 수치를 관찰할 수 있었다. 이는 기간별로 나누어진 모델이 에너지 사용량을 예측하는 데 있어 더 높은 정확도를 달성했음을 나타낸다.

표1. 건물용도 별 기간에 따른 예측 모델 성능 평가(CVRMSE)

건물용도	전체 기간 (%)	학기 중 평일 (%)	학기가 아닌 평일 (%)	휴일 (%)
강의 및 연구실	13.95	7.71	11.30	10.68
연구 중심 건물	6.28	4.85	4.85	4.41
강의 중심 건물	21.98	12.27	14.02	21.79

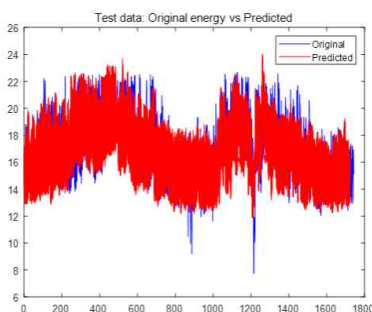
### 4. 결론

본 연구에서는 운영 기간에 따라 같은 건물 내에서도 에너지 사용 패턴이 변한다는 가설을 검증했다. 구체적인 기간으로 나누어진 모델이 전체 기간에 대한 모델보다 에너지 사용량 예측에 있어 더 낮은 CVRMSE 값을 보이며, 데이터의 감소에도 예측 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

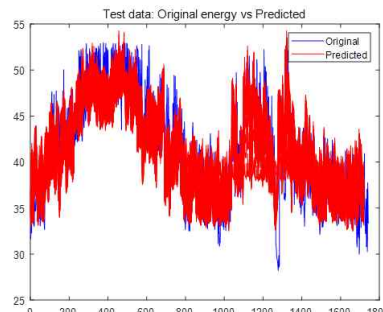
이 방법론의 보편적 적용 가능성을 평가하기 위해서는 추가로 다양한 유형의 건물들과 동일 유형의 다른 건물들에서 분석이 요구된다. 이와 같은 연구 결과는 각각의 건물에 맞춤형 에너지 소비 전략을 수립하는 데 있어 기초적인 데이터를 제공하며, 이는 효율적인 에너지 관리 방안을 마련하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

### 참고문헌

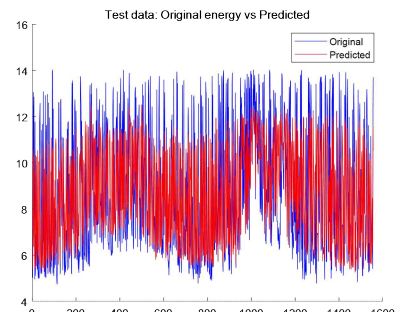
1. 정봉훈, 이주상, & 김태연. (2023). LSTM 모델을 이용한 용도별 학교 건물 에너지 사용분석. 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, 43(2), 323-324.
2. Kim, M. K., Kim, Y. S., & Srebric, J. (2020). Predictions of electricity consumption in a campus building using occupant rates and weather elements with sensitivity analysis: Artificial neural network vs. linear regression. Sustainable Cities and Society, 62, 102385.



(a). 강의 및 연구실



(b). 연구 중심 건물



(c). 강의 중심 건물

그림 2. 예측된 에너지 사용량과 실제 사용량 비교