

어린이집 실내온도 예측을 위한 DNN과 LLM 기반 모델의 성능 비교 연구

A Comparative Study on the Performance of DNN and LLM-Based Models for Indoor Temperature Prediction in Daycare Center

○배 강 우*
Bae, Kang Woo*

함 유 진**
Ham, Yu Jin**

문 진 우***
Moon, Jin Woo***

Abstract

This study compares the indoor temperature prediction performance of a Deep Neural Network (DNN) and Large Language Models (LLM) using IoT sensor data collected from a daycare center in Jincheon-gun, Korea. The DNN model was trained on December 2025 - January 2026 data, while Llama 3.3 70B and GPT-4o mini were applied in a zero-shot manner without additional training. Short-term (10-minute ahead) and long-term (3-hour ahead) predictions were evaluated using MAE, RMSE, MAPE, and CvRMSE. The results indicated that LLM-based models outperformed the DNN across both prediction horizons, suggesting that zero-shot LLMs offer a cost-effective and immediately deployable alternative for indoor temperature prediction in daycare centers.

키워드 : 실내환경, 심층신경망, 대규모 언어 모델, 예측 모델

Keywords : Indoor Environmental, DNN, LLM, Prediction Model

1. 서 론

1. 연구의 목적 및 방법

최근 실내 환경 관리에 대한 관심이 높아지면서 어린이집과 같은 영유아 보육시설에서의 쾌적한 열환경 유지의 중요성이 부각되고 있다. 영유아는 성인에 비해 체온 조절 능력이 취약하여 실내온도의 급격한 변동이 건강에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로, 세밀한 온도 예측 및 관리가 필수적이다. 기존의 실내온도 예측 연구는 심층신경망(DNN) 등 데이터 기반 머신러닝 모델을 중심으로 이루어져 왔으나, 이러한 모델은 특정 환경의 대규모 데이터로 학습되어 새로운 공간에 적용할 경우 일반화 성능이 저하되거나 재학습을 위한 데이터 수집 및 성능 확보에 상당한 시간이 소요된다는 한계가 있다. 최근에는 대규모 언어 모델(LLM)의 시계열 데이터 처리 능력이 발전하면서, 별도의 모델 가중치 학습 없이 사전 훈련된 지식만으로 (Zero-shot) 온도 예측이 가능한 새로운 접근법이 주목받고 있다. 따라서 본 연구는 실제 어린이집 실측 데이터를 기반으로 기존 DNN 모델과 Zero-shot 기반 LLM 모델의 실내온도 예측 성능을 비교·분석하고, 향후 보육시설 실내 환경 자동제어 시스템 구축을 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

본 연구는 충청북도 진천군 소재 'A' 어린이집 1개 보육실의 IoT 센서 실측 데이터를 활용하였다. 2025년 12월부터 2026년 1월까지의 데이터를 학습, 2026년 2월 데이터를 통해 두 모델의 테스트를 수행하였다. 예측 성능은 단기(10분 후) 및 장기(3시간 후) 실내온도 대상으로 하였으며, 평가지표로는 RMSE, MAE, MAPE, 그리고 CvRMSE를 사용하여 비교·평가하였다.

2. 예측 모델 설정

2.1 예측 모델 개요

실내온도 예측 모델 구축 및 성능 평가는 크게 세 단계로 진

행되었다. 첫째, 실증 대상인 'A' 어린이집에 구축된 IoT 센서를 통해 예측에 필요한 환경 데이터를 수집하고, 분석의 신뢰도를 높이기 위해 결측치 및 이상치 제거 등의 데이터 전처리를 수행하였다. 둘째, 전처리된 데이터를 바탕으로 DNN 기반 예측 모델을 학습시키고, LLM 기반 모델의 Zero-shot 예측을 위한 프롬프트 환경을 구성하였다. 마지막으로, 단기(10분) 및 장기(3시간) 예측 시나리오에 따라 두 모델의 결과를 도출하고 통계적 평가지표를 활용하여 그 성능을 객관적으로 비교·분석하였다.

2.2 데이터 수집 및 모델 구성

데이터는 'A' 어린이집 1개 보육실에 설치된 IoT 센서를 통해 수집되었으며, 10분 단위 평균값으로 리샘플링 하였다. 2025년 12월부터 2026년 1월까지의 데이터를 학습, 2026년 2월 데이터를 테스트에 활용하였다. 입력 변수는 피어슨 및 스피어먼 상관분석을 통해 선정하였다. 분석결과 실외온도, 복도온도, 실내 CO₂ 농도, 설정온도, FCU(처음 등장하는 약어이고, 표 1과 맞춰야 하지 않나? HVAC) 및 바닥 난방 설정값이 유의미한 상관관계를 나타내어 최종 입력 변수로 선정하였다. 또한, 온도의 시간적 연속성을 반영하기 위해 10분, 30분, 1시간, 3시간 전의 실내온도 Lag 변수를 추가로 구성하였다. 선정된 변수는 결측값 및 이상치 제거 후 min-max normalization을 적용하여 0과 1 사이로 정규화하였다.

DNN 모델은 3개의 은닉층(128-64-32 뉴런)으로 구성되었으며, 활성화 함수는 ReLU, 최적화 알고리즘은 Adam, 손실 함수는 MSE를 적용하였다. 각 은닉층에는 학습 안정화를 위한 배치 정규화(Batch Normalization)와 과적합 방지를 위한 드롭아웃(Dropout, rate=0.2)을 적용하였으며, 검증 데이터 손실값이 10회 이내에 개선되지 않으면 학습을 조기 종료하는 Early Stopping 알고리즘을 적용하였다.

LLM 기반 모델은 별도의 파인튜닝 없이 zero-shot 방식으로 적용하였다. 예측 시점 기준 직전 60분 동안의 센서 데이터를 구조화된 텍스트 형태로 직렬화하여 프롬프트로 입력하였다. 이를 통해 모델이 사전 학습된 지식과 문맥 내 학습(In-context Learning)을 통해 실내온도를 예측하도록 하였다. 적용 모델은 Open-souce 모델인 Llama 3.3 70B와 상용 대형언어 모델인 GPT4o mini를 병행 활용하였다.

* 중앙대 대학원 박사과정

** 중앙대 대학원 학석사과정

*** 중앙대 건축학과 교수, 공학박사

(교신저자 : gilerbert73@gmail.com)

이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00217322))

2.3 실증지 개요

‘A’ 어린이집은 충청북도 진천군에 위치하며, 본 연구에서는 1개 보육실을 대상으로 선정하여 실측을 수행하였다. 어린이집과 보육실에는 실내온도, 실외온도, CO₂ 농도, 복도온도, 냉난방 설정온도 등을 측정하는 IoT 환경 센서가 설치되어 있으며, 측정된 데이터는 실시간으로 DB에 저장된다. 대상 건축물 및 해당 보육실의 개요는 표 1과 같다.

표 1. ‘A’ 어린이집 개요

Information	Details
Location	‘A’ Daycare Center, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do
Target	1 Classroom
Occupant schedule	A maximum of 16 people / 09:00 ~ 16:00
Variables	- Indoor temperature [°C] - Corridor temperature [°C] - Outdoor temperature [°C] - FCU set temperature [°C] - CO₂ concentration [ppm] - Floor heating setpoint [°C]

3. 예측 모델 성능평가 및 분석

3.1 실내온도 예측 모델 성능평가 결과

구축된 세 가지 예측 모델(DNN, Llama 3.3 70B, GPT-4o mini)의 성능평가는 2026년 2월 데이터를 활용하여 수행되었다. 성능평가 지표로는 비율오차(MAPE) 및 모든 평가지표는 값이 0에 가까울수록 모델의 예측 성능이 우수함을 의미하며, 구체적인 성능평가 결과는 표 2와 같다.

표 2. 예측모델 성능평가 결과

Model	Horizon	MAE	RMSE	MAPE	CvRMSE
DNN	10min.	0.25 °C	0.42 °C	1.06%	1.85%
	3hr.	2.06 °C	2.96 °C	8.62%	13.11%
Llama 3.3 70B	10min.	0.07 °C	0.16 °C	0.34%	0.75%
	3hr.	1.22 °C	1.71 °C	5.27%	7.91%
GPT4o mini	10min.	0.08 °C	0.17 °C	0.39%	0.83%
	3hr.	1.31 °C	1.85 °C	5.69%	8.55%

3.2 실내온도 예측 모델 결과 분석

단기(10분 후) 예측결과, Llama 3.3 70B와 GPT-4o mini는 각각 MAE 0.07°C, 0.08°C, CvRMSE 0.75%, 0.83%로 DNN(MAE 0.25°C, CvRMSE 1.85%) 대비 약 3배 우수한 예측 정확도를 보였다. 그림 1(a)와 같이 세 모델 모두 실제 온도 변화 패턴을 전반적으로 잘 추종하였으나, LLM 기반 모델이 실측값에 더욱 정밀하게 근접하는 양상을 나타냈다.

장기(3시간) 예측에서도 Llama 3.3 70B(MAE 1.22°C, CvRMSE 7.91%)와 GPT-4o mini(MAE 1.31°C, CvRMSE 8.55%)가 DNN(MAE 2.06°C, CvRMSE 13.11%)의 성능을 크게 상회하였다. 그림 1(b)와 같이 DNN은 후반부 구간에서 예측값이 실제 값으로부터 크게 이탈하는 경향이 관찰되었다. 이는 DNN이 학습 데이터의 분포에 의존하는 지도학습 방식으로 구축되어, 학습 구간(12월~1월)과 온도 패턴이 상이한 테스트 구간(2월)에서 일반화 성능이 저하된 것으로 판단된다. 반면 LLM 기반 모델은 방대한 사전학습을 통해 습득한 시계열 패턴 인식 능력을 바탕으로, 학습 데이터(가중치 업데이트) 없이도 직전 60분간의 환경 데이터를 문맥으로 활용하여 안정적인 장기 예측 성능을 유지한 것으로 해석된다.

두 LLM 모델간의 성능을 비교해 보면, Llama 3.3 70B가 단기 및 장기 예측 모두에서 GPT-4o mini 대비 소폭 우수한 성능을 나타냈다. 특히 Llama 3.3 70B는 Open-souce 기반 모델임에도 상용 대형언어모델인 GPT-4o mini와 동등 이상의 추론 성능을 보여, 실내 환경 예측 분야에서의 비용 효율적 활용 가능성을 시사한다.

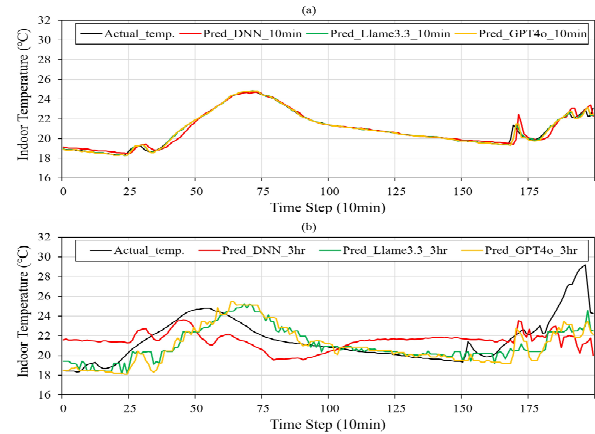


그림 1 (a) 10분 후 실내온도 예측 성능, (b) 3시간 후 실내온도 예측 성능

4. 결 론

본 연구에서는 ‘A’ 어린이집 실측 데이터를 기반으로 기존의 DNN과 LLM 기반 실내온도 예측 모델의 단기(10분 후) 및 장기(3시간 후) 예측 성능을 비교·분석하였다.

성능평가 결과, 단기 예측에서 Llama 3.3 70B는 MAE 0.07°C, CvRMSE 0.75%로 DNN(MAE 0.25°C, CvRMSE 1.85%) 대비 약 3배 우수한 성능을 나타냈으며, 장기 예측에서도 LLM 기반 모델(CvRMSE 7~9%)이 DNN(CvRMSE 13.11%)을 상회하였다. 특히 DNN은 학습 데이터와 패턴이 상이한 구간에서 일반화 성능이 저하된 반면, LLM은 안정적인 성능을 유지하였다. 이를 통해 Open-source 모델인 Llama 3.3 70B가 상용 대형언어모델인 GPT-4o mini와 동등 이상의 성능을 입증하였다. 이는 향후 보육 시설 등에 실내 환경 예측 시스템을 도입할 때 비용 효율적이고 안전한 활용이 가능함을 시사한다.

향후 연구에서는 다양한 공간 및 환경 조건에서의 교차 검증과 few-shot 방식 적용을 통해 예측 정확도를 고도화 할 예정이다. 궁극적으로는 본 예측모델을 냉난방 자동제어 시스템과의 연계하여, 영유아 보육환경 쾌적성 향상 및 에너지 절감에 기여하고자 한다.

참고문헌

- 최영재, 최은지, 조혜운, & 문진우. (2021). 학교시설 실내공기질 환경 개선을 위한 실내 미세먼지 (PM_{2.5}) 예측모델 개발. KIEAE Journal, 21(1), 35-40.
- Tian Xing, Kailai Sun, Qianchuan Zhao, MITP-Net: A deep-learning framework for short-term indoor temperature predictions in multi-zone buildings, Building and Environment, Vol. 239, 2023
- 정용기, 김태원, 배강우, & 문진우. (2024). 실내 온도 예측을 위한 물리 정보 신경망·도메인 지식 통합모델 개발. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 44(2), 507-508.