

# 기상 데이터와 디지털 트윈을 활용한 태양광 발전 예측 및 이상 탐지

양정현, 박상욱\*  
강원대학교, \*강원대학교

980917@kangwon.ac.kr, \*sanguk@kangwon.ac.kr

## Solar power forecasting and anomaly detection using weather data and digital twins

Yang Jng Hyun, Park Sang uk\*  
Kangwon Univ., \*Kangwon Univ.

### 요약

본 연구는 강원대학교 삼척캠퍼스의 태양광 발전과 기상 데이터를 활용하여 디지털 트윈과 기계학습을 결합한 새로운 예측 및 관리 방법론을 제시한다. 2020년부터 2023년까지 수집된 데이터를 바탕으로, LSTM, GRU, Transformer 등의 시계열 예측 모델을 분석하였으며, 이 중 LSTM 모델이 6.64724%의 NMAE로 가장 높은 예측 성능을 보였다. Unity를 사용해 구축된 디지털 트윈은 실시간으로 태양광 발전 시스템을 모니터링하고, 기상 데이터의 누락 문제를 해결하는 데 기여한다. 이 방법론은 발전량 예측과 시스템의 이상 상태 감지를 효과적으로 수행할 수 있게 하며, 태양광 발전 시스템의 운영 및 관리 효율성을 향상시킨다. 이 연구는 태양광 발전 시스템의 예측 및 관리를 혁신적으로 개선함으로써, 신재생 에너지 산업의 지속 가능한 발전에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

### I. 서론

전 세계적으로 신재생 에너지에 대한 관심이 증가함에 따라, 태양광 발전은 지속 가능한 에너지 해결책으로서의 중요성을 더욱 확립하고 있다. 태양광 발전은 화석 연료 의존도를 줄이고, 온실가스 배출 감소에 중요한 역할을 하고 있다. 최근에는 이상 기후 현상이 빈번해지면서 기후 변화와 환경 지속 가능성에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이러한 배경에서, 최근 2023년 12월 2일에 열린 제 28차 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP 28)에서는 한국을 포함한 118개국이 2030년까지 재생에너지 용량을 세 배로 증가시키겠다는 약속을 발표했다.[1]

그러나 태양광 발전량 예측은 기상 조건, 장비 성능 등 다양한 외부 요인에 의해 복잡해지고 있으며, 이는 발전 효율성과 시스템 안정성에 영향을 미치고 있다. 이러한 상황은 에너지 산업에서 발전량 예측과 이상 탐지의 정확성을 향상하기 위한 연구의 중요성을 강조한다. 그렇기 때문에 현재 시행하고 있는 제도 중 하나인 재생에너지 발전량 예측 제도를 살펴보면, 변동성이 큰 재생 에너지의 발전량을 예측해 정확도에 따라 정산금을 지급하고 있다.[2,3]

본 연구에서 제안하는 디지털 트윈 기술과 기계학습의 결합은 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 방법론을 제시한다. 디지털 트윈은 실제 태양광 발전 시스템의 정교한 디지털 복제본을 만들어, 실시간 데이터를 통해 발전량을 예측하고 시스템의 이상 상태를 감지하는 역할을 한다. 이를 통해 기상 변화나 장비 고장과 같은 예측 불가능한 상황에서도 발전량 예측의 정확도를 향상하고 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다. 또한, 이러한 통합적인 접근 방식은 데이터 기반 의사결정과 발전 시스템 최적화에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.[4]

본 연구는 강원대학교 삼척캠퍼스의 태양광 발전 데이터와 기상자료개방포털에서 취득한 기상 데이터를 사용하여, 디지털 트윈과 기계학습을 통합하는 방법론을 개발하고, 이를 통해 발전량 예측의 정확성을 향상하며 발전 시스템의 이상 상태를 효과적으로 감지하는 방안을 제시한다. 이러한 연구는 태양광 발전 시스템의 관리와 운영을 최적화하는 데 중요한 기여를 할 것이며, 신재생 에너지 분야의 지속 가능한 발전에도 중요한 영향을 미칠 것이다. 그림 1은 본 논문의 전체적인 아키텍처를 나타낸다.

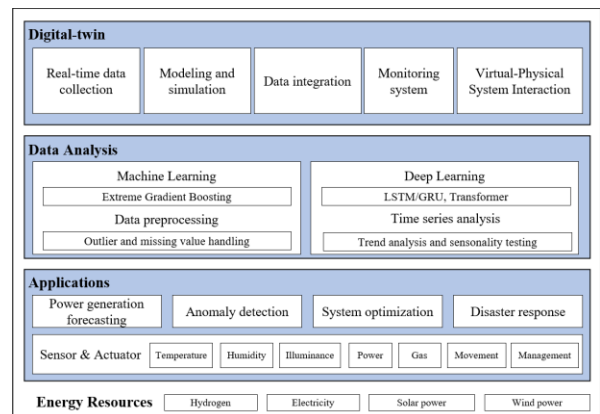


그림 1. 전체 시스템 아키텍처

### II. 본론

본 연구에서 사용된 데이터는 2020-01-01부터 2023-03-31까지의 강원대학교 삼척캠퍼스에 설치된 태양광 패널로 얻을 수 있는 발전량과 기상자료개방포털에

서 삼척 지역의 기상 데이터를 수집하고, 전처리 과정을 거쳐 분석에 적합한 형태로 변환했다. 이 과정에서 결측치 처리를 포함하여 데이터의 정확도와 일관성을 확보했다. 이후 LSTM(Long short-Term Memory), GRU(Gated Recurrent Unit), Transformer 세 가지 시계열 예측 모델을 적용했으며, 여기서 LSTM 모델이 가장 높은 성능을 보였다. LSTM 모델은 시간에 따른 데이터 변화를 효과적으로 학습하여, 복잡한 시계열 데이터에서도 좋은 성능을 보이고 있다.(그림 2, 3)

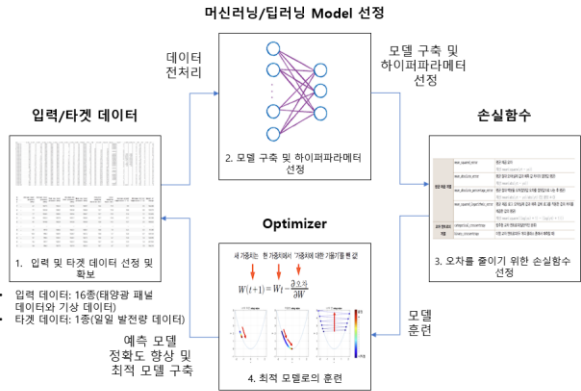


그림 2. 인공지능 기반 태양열 발전량 예측 프로세스

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm (LSTM)	(None, 24, 50)	11200
dropout (Dropout)	(None, 24, 50)	0
lstm_1 (LSTM)	(None, 50)	20200
dropout_1 (Dropout)	(None, 50)	0
dense (Dense)	(None, 2)	102

-----  
 Total params: 31502 (123.05 KB)  
 Trainable params: 31502 (123.05 KB)  
 Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)  
 -----

그림 3. LSTM 모델 구조

모델 성능은 전력거래소의 재생에너지 발전예측제도에서 제시한 발전량 예측에 사용되는 예측지표[5]인 Normalized Mean Absolute Error(NMAE)로 평가되었고, LSTM 모델의 NMAE 결과는 6.4724%로 나타났다.

$$NMAE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{S} \right|, A_t \geq 0.1 \times S$$

그림 4. 전력거래소의 재생에너지 발전예측에서 제시한 NMAE

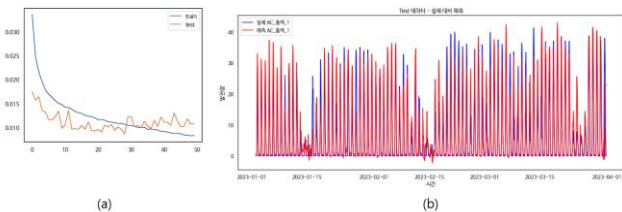


그림 5. 인공지능 기반 태양열 발전량 예측 그래프, (a) LSTM 훈련과정 그래프, (b) Test 데이터셋에 LSTM 적용한 예측 그래프

다음으로, 본 연구에서는 Unity 프로그램을 사용하여 구축된 디지털 트윈을 태양광 발전 시스템에 적용하고자 한다. 이 디지털 트윈은 실제 태양광 발전 시스템의 디지털 복제본을 만들어내며, 실시간으로 시스템의 상태와 효

율성을 지속적으로 모니터링하고 관리할 수 있다. 통신 시스템은 API 와 Socket 을 활용하여 Unity 환경 내에 구축된 디지털 트윈과 실제 장비 간의 데이터 연동을 가능하게 한다. 이를 통해 장비의 동작 상태, 발전량, 기타 센서 데이터 등이 실시간으로 반영되고 시각화 된다.

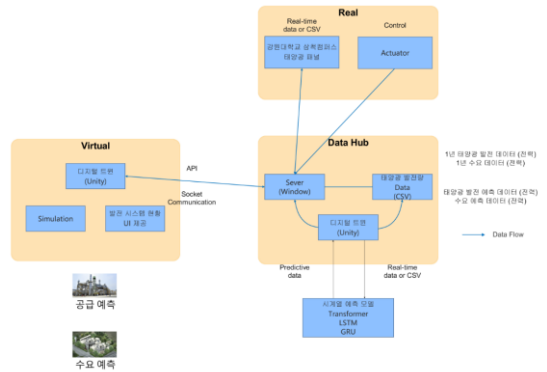


그림 6. 태양광 발전 시스템과 디지털 트윈 연계성을 나타낸 Data Flow

본 연구에서 중점을 둔 문제 중 하나는 태양광 발전량 예측 시 기상 데이터의 누락 및 최신화 문제이다. 특히 일사량, 일조량, 기압 등 중요한 기상 데이터가 기상청의 제공 자료에서 자주 빠지는 경우가 많다. 이 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 디지털 트윈 기술을 활용하여 실제 기상 조건을 정밀하게 재현하고, 이를 디지털 환경에 저장하고 한다. 이렇게 재현된 데이터는 태양열 모듈에 문제가 발생하여 발전량에 누락이 생겼을 때, 이를 보완하고 정확한 발전량 예측을 가능하게 합니다. 기계학습을 활용한 시계열 분석을 통해 이 데이터를 처리하면, 현재 측정된 6.4724%의 NMAE 보다 더 낮은 오차율을 달성할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 접근은 태양광 발전 예측의 정확도를 크게 향상시킬 뿐만 아니라, 시스템의 전반적인 신뢰성과 효율성을 증진시킬 것이다.

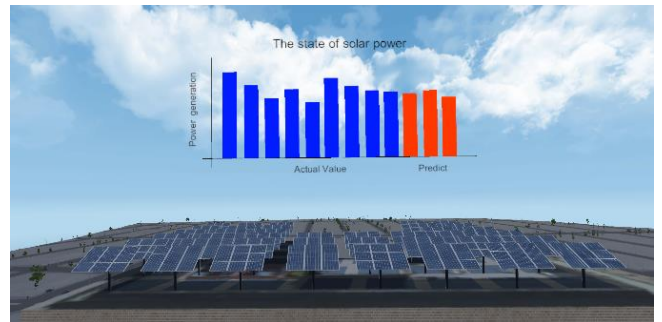


그림 7. 디지털 트윈에 적용한 태양광 발전 현황 및 예측 모델 적용

추가로 디지털 트윈을 활용하면 사용자가 태양광 발전량에 대해 즉각적으로 대응할 수 있는데, 기존의 이상 탐지 방법은 센서 데이터에 의존하지만, 디지털 트윈은 3D 모델링을 통해 더 빠른 대응이 가능하며 이는 시스템의 안정성을 높이고, 발전 효율을 극대화하는 데 기여한다.

### III. 결론

본 연구를 통해, 강원대학교 삼척캠퍼스의 태양광 발전 시스템에 대한 디지털 트윈과 기계학습을 통합한 접근 방식을 제안한다. 이 연구는 신재생 에너지, 특히 태양광 발전의 예측 정확도와 시스템 효율성을 개선하는 데 중요한 기여를 한다. Unity 를 활용한 디지털 트윈 구축을 통해, 실시간으로 태양광 발전 시스템을 모니터링하고 관리할 수 있으며, 이는 시스템 안정성과 발전 효율을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다.

본 연구 결과는 태양광 발전량 예측의 정확성을 향상하는 데 중요한 지표가 된다. 또한, 예측 모델을 활용하여 장비의 이상 상태를 빠르고 정확하게 감지할 수 있게 된다. 이러한 발전은 태양광 발전 시스템의 운영과 관리를 최적화하며, 신재생 에너지 분야에서 지속 가능한 발전을 위한 새로운 기회를 제공한다.

결론적으로, 본 연구는 디지털 트윈과 기계학습을 통한 혁신적인 접근 방식이 태양광 발전 시스템의 예측 및 관리를 어떻게 향상할 수 있는지를 보여주며, 이는 장기적으로 신재생 에너지 산업의 발전에 크게 기여할 것이다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 2023 년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (2022RIS-005)

## 참 고 문 헌

- [1] 외교부 기후환경과학외교국. (2023 년 12 월 13 일). 제 28 차 유엔기후변화협약 당사국총회 폐막. 외교부.  
[https://www.mofa.go.kr/www/brd/m\\_4080/view.do?seq=374485](https://www.mofa.go.kr/www/brd/m_4080/view.do?seq=374485)
- [2] 김백진, 정승환, 김민석, 김중근, & 김성신. (2021). 계절별 기상조건에 기반한 태양광 발전량 예측에 관한 연구. 한국지능시스템학회 논문지, 31(2), 102-108.
- [3] 김은성. (2020 년 09 월 18 일). 재생에너지 발전량 예측제도 도입. 산업통상자원부.  
[https://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs\\_cd\\_n=81&bbs\\_seq\\_n=163324](https://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=81&bbs_seq_n=163324)
- [4] 김탁곤. (2023). 풍력발전기 디지털트윈 개발을 위한 드라이브트레인 시뮬레이션 모델의 기계학습 연구. 한국시뮬레이션학회 논문지, 32(3), 33-41.
- [5] 김상진, 유재혁, 장병훈, & 우성민. (2022). 머신러닝 기반의 예측 시장 참여를 위한 태양광 발전량 예측 알고리즘 및 수익성에 관한 연구. 한국태양에너지학회 논문집, 42(6), 173-183.