

기계학습을 기반한 일사량 예측 기법의 연구동향 분석

한태규¹, 김의년¹, 소다영¹, 하휘명², 문지훈¹¹ 순천향대학교 빅데이터공학과² LG 에너지솔루션¹ {gksxorb159, eui20n, dayeong, jmoon22}@sch.ac.kr² hwmhkr@lgensol.comA Literature Survey of Machine Learning-Based
Solar Irradiance Forecasting MethodsTaegyu Han¹, Euinyun Kim¹, Dayeong So¹, Hwimyeong Ha², and Jihoon Moon¹¹ Dept. of Big Data Engineering, Soonchunhyang University² LG Energy Solution, Ltd.

요 약

태양광 발전은 지속 가능한 발전을 위한 신재생 에너지 및 참여형 소비자를 통해 에너지 거래가 가능한 스마트 그리드의 주요 기술로 많은 주목을 받고 있으며, 효율적인 태양광 발전 시스템 운영을 위해서는 단기 일사량 예측이 필수적이다. 그러나 기상청의 동네예보는 기온, 습도, 풍속, 하늘 상태와 달리 일사량에 대한 예측값을 제공하지 않는다. 따라서 국내 여러 기관에서 독립변수와 종속변수 간의 비선형 관계를 고려할 수 있는 기계학습을 기반의 일사량 예측 모델을 개발하여 우수한 예측 성능을 도출하였다. 본 논문은 최근 국내 기관에서 개발한 6 건의 기계학습 기반의 일사량 예측 연구사례를 분석하였다. 2018 년부터 2022 년까지 SCIE/KCI 급 논문 4 편과 등록된 특허 2 건의 사례를 심층 분석한 결과, 의사결정 나무 기반의 앙상블 학습 및 심층 학습(Deep Learning) 기반의 예측 모델이 만족스러운 성능을 도출하였다. 또한, 앙상블 학습 기반의 예측 모델은 변수 중요도를 통해 주요 독립변수를 파악할 수 있어, 향후 에너지 관리자가 인공지능에 관한 도메인 지식이 부족할지라도 일사량 예측 모델을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다.

I. 서 론

최근 기후 변화 및 에너지 위기 문제가 제기됨에 따라 이산화탄소(CO₂) 배출량을 줄이기 위해 신재생 에너지(Renewable Energy) 관련 사업이 활발히 진행되고 있다. 특히 신재생 에너지 중에서도 지속 가능한 에너지인 태양광 발전(Photovoltaic)은 풍력보다 설치 면적이 작고 유지 보수 비용과 소음이 적다는 장점이 있다. 따라서 태양광 발전에 관련된 여러 기술이 많은 주목을 받고 있으며, 현재 국내에서도 태양광 발전 시장이 지속해서 커지고 있다.

최적의 태양광 발전 시스템 운영을 위해서는 사전에 정확한 단기 태양광 발전량을 예측하는 것이 중요하며, 태양광 발전량 예측 모델의 주요 요인인 일사량 정보를 수집하는 것이 필수적이다. 그러나 기상청의 동네예보는 기온, 습도와 같은 요인의 예측값은 제공하나, 일사량에 대한 예측값은 제공하지 않는다. 따라서 정확한 단기 일사량 예측 모델이 요구되며, 국내 여러 기관에서 기계학습을 기반으로 일사량 예측 모델들을 보고하였다.

본 논문은 2018 년부터 2022 년까지 기계학습 기법을 이용한 일사량 예측 모델 구성의 국내 사례를 소개한다. 표 1 은 일사량 예측에 관한 국내 사례를 요약한 것이다. 본 연구를 통해 태양광 발전 시스템에서 일사량 예측 모델을 구성하는 데 참고할 수 있으며, 에너지 분야와 인공지능 분야의 융합을 통해 지속 가능한 발전을 실천하기 위한 방안을 제공하는 것을 목적으로 한다.

Table 1. Summary of Solar Irradiance Forecasting Approaches.

Authors	Year	Region	Machine Learning Techniques
Jeong and Chae [1]	2018	Yongin	ANN, SVM, RF
Park et al. [2]	2020	Jeju	LightGBM
Moon and Hwang [3]	2022	Daejeon	Conditional Random Forest
Shin and Kim [4]	2018	Yeongam	DNN, RNN, LSTM
Kim and Lee [5]	2019	South Korea	CNN
Jung et al. [6]	2021	Jeju	Attention LSTM

II. 본 론

의사결정 나무 기반의 앙상블 학습 기법은 테이블 형식의 데이터에서 우수한 성능 도출 및 변수 중요도를 통한 모델 해석이 용이하여 예측 모델을 구성하는 데 주로 사용되었다. 예를 들어, Jeong and Chae[1]는 랜덤 포레스트(Random Forest, RF), SVM(Support Vector Machine), 인공 신경망(Artificial Neural Network, ANN)을 이용하여 일사량 예측 모델을 구성하였다. 다음으로 모의실험을 통해 예측 모델들 간의 성능을 비교하였으며, 랜덤 포레스트가 일사량 예측에 가장 우수한 성능을 도출하였다. 또한, 변수 중요도를 통해 습도, 풍속, 기온 등이 일사량 예측 모델 구성에 중요한 변수임을 확인하였다. Park 등[2]은 랜덤 포레스트, GBM(Gradient Boosting Machine), XGBoost(eXtreme Gradient Boosting), LightGBM(Light GBM) 등 의사결정 나무 기반의 앙상블 학습 기법과 심층 학습 기법을 이용하여 일사량 예측 모델을 구성하였다. 다음으로 제주도를 대상으로 모델들의 예측 성능을 비교하였으며, LightGBM 이 가장 우수한 일사량 예측을 수행하였으며, 변수 중요도를 통해 습도가 가장 중요한 요인임을 확인할 수 있었다. Hwang and Moon[3]은 대전시의 일사량을 예측하기 위해, 2018 년 6 월 대전의 기상 요인 데이터를 수집하였다. 다음으로 데이터 부족 문제를 해결하기 위해 시계열 교차 검증을 적용한 조건부 랜덤 포레스트 모델을 구성하였다. 제안한 모델은 RMSE(Root-Mean-Square-Error) 측면에서 의사결정 나무, GBM, 랜덤 포레스트보다 우수한 성능을 도출하였으며, 예측 시점별로 변수 중요도를 계산하여 강수량의 학습 유무에 따라 변수 중요도가 달라짐을 확인하였다.

심층 학습(Deep Learning)은 연속된 층(Layer)에서 점진적으로 의미 있는 표현을 학습하는 데 장점이 있어 일사량 예측을 포함한 에너지 분야에 널리 활용되었다. Shin and Kim[4]은 영암 태양광 발전량 예측을 위해 DNN(Deep Neural Network), RNN(Recurrent Neural Network), LSTM(Long Short-Term Memory) 등을 이용한 일사량 예측 모델을 개발하였으며, 모의실험에서 LSTM 이 DNN, RNN 보다 더욱 정확한 일사량 예측을 수행하였다. Kim 등[5]은 2011 년부터 2017 년까지 국가기상위성센터에서 제공하는 표면도달일사량 이미지를 수집하였다. 다음으로 CNN(Convolutional Neural Network)을 이용하여 Poling 과정으로 추출된 적외선 위성 데이터를 통해 구름의 이동경로와 일사량을 예측하였다. 제안한 모델의 예측 오차율과 적중률은 각각 0.58%, 98%로 일사량 예측에서 이미지 데이터의 활용 방안을 제시하는데 큰 기여를 하였다. Hwang 등[6]은 제주도 두 지역을 대상으로 기상자료개방포털에서 2011 년부터 2018 년까지 총 8 년간 기상 요인 데이터를 활용하여 주의 집중 메커니즘(Attention Mechanism)을 적용한 LSTM 모델을 구성하였다. 주의 집중 메커니즘은 인코더(Encoder)와 디코더(Decoder)로 구성되어 있으며, 인코더는 입력으로부터 벡터를 생성하며, 디코더는 인코더가 출력한 벡터를 입력으로 하여 종속변수를

출력한다. 디코더 부분에서 인코더와의 유사도를 값으로 출력하여 높은 유사도를 갖는 벡터에 집중적으로 학습하므로 정확한 예측 성능을 기대할 수 있다[6]. 모의실험에서 주의 집중 메커니즘을 적용한 LSTM 모델(ATT-LSTM)은 SNN, DNN, LSTM 모델들보다 RMSE 와 MAE(Mean Absolute Error) 측면에서 우수한 성능을 도출할 수 있음을 확인할 수 있었다.

III. 결 론

본 논문은 태양광 발전량 시스템의 효과적인 운영 계획을 수립하기 위해 기계학습 기반의 일사량 예측 모델 구성에 관한 사례를 소개하였다. 대표적으로 테이블 형식의 데이터 셋에서 주로 활용되는 의사결정 나무 기반의 앙상블 학습과 심층 학습을 적용한 사례를 분석하였다. 앙상블 학습 기법은 우수한 예측 성능을 도출할 수 있을 뿐만 아니라 변수 중요도를 통해 어떤 독립변수가 모델 구성에 중요한지를 해석할 수 있다는 장점이 있으며, 심층 학습은 이미지와 같이 테이블 형식이 아닌 데이터에서도 특징을 추출하여 정확한 일사량 예측을 수행할 수 있음을 확인하였다.

향후 앙상블 학습과 심층 학습의 장점을 결합한 하이브리드 모델을 구성하여 강건하고 해석할 수 있는 일사량 예측을 수행하여 태양광 발전 시스템 또는 스마트 그리드의 에너지 관리자에게 인공지능 모델의 신뢰성을 확보하여 산업 응용을 가능하게 하고자 한다. 또한, 해외 우수한 연구사례를 심층적으로 분석하여 국내 일사량 예측에 적용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

Acknowledgement

본 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW 중심대학사업의 연구 결과로 수행되었음(2021-0-01399).

참 고 문 헌

- [1] J.-H. Jeong and Y.-T. Chae, "Improvement for Forecasting of Photovoltaic Power Output using Real Time Weather Data based on Machine Learning," *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 25, No. 1, pp. 119-125, 2018.
- [2] J. Park, J. Moon, S. Jung, and E. Hwang, "Multistep-ahead solar radiation forecasting scheme based on the light gradient boosting machine: A case study of Jeju Island," *Remote Sensing*, Vol. 12, No. 14, p. 2271, 2020.
- [3] 황인준, 문지훈. 해석 가능한 단기 일사량 예측 장치 및 방법. 대한민국 특허등록. 제 10-2443741-0000 호, 2022.
- [4] D.-H. Shin and C.-B. Kim, "Short Term Forecast Model for Solar Power Generation using RNN-LSTM," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 3, pp. 233-239, 2018.
- [5] I.-J. Kim and S.-K. Lee, "A Study on the Design of Testable CAM using MTA Code," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 68P, No. 2, pp. 106-111, 2019.
- [6] 황인준, 정승민, 문지훈, 박성우. 일사량 예측 장치 및 방법. 대한민국 특허등록. 제 10-2347164-0000 호, 2021.