

태양광 발전 입지분석 및 잠재발전량 예측 시뮬레이터 개발

노재구, 박윤식, 박성호, 황영미, 송종협, 정현성
한국전력공사

Development of Simulator for Location Analysis and Power Generation Capacity Prediction of Solar Power Plants

Jae-koo Noh, Yun-sik Park, Sung-ho Park, Young-mi Hwang, Jong-hyeub Song, Hyun-sung Jung
Korea Electric Power Corporation

Abstract - 국내 탄소중립 및 온실가스 감축 정책에 따라 전국적으로 태양광 발전사업이 급속도로 증가 추세에 있다. 현재의 태양광 발전 분포와 신규 태양광 접속신청 현황을 볼 때 태양광 발전이 유리한 지역으로 편중이 심화되어 가고 있으며, 이로 인해 전력 회사는 전압 유지기준 초과 및 계통 여유용량 부족으로 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 전력회사의 선제적인 전력설비 보강계획을 지원하고자 전국 태양광 현황, 지역별 계통 여유정보와 더불어 지리·환경적 요소, 법령 등을 고려한 태양광 발전 입지분석과 입지별 잠재발전량 예측 시뮬레이터를 개발하였다.

표와 투자비 검토 지표를 도출하였다.

〈표 1〉 태양광 입지분석을 위한 데이터 정의

데이터 항목	출처
태양광 발전 현황(상업운전, 연계예정, 의향조사), 설비현황(변전소 위치, 여유용량), 태양광 발전실적	한전 업무시스템 (송전이용, 전력구매계약, 영업배전정보 등)
기상(일사량, 기온 등), 지형정보, 토지 특성정보, 토지이용현황, 공시지가 등	기상청, 공공데이터 포털, 통계청 등

1. 서 론

2050년 탄소중립을 위한 파리기후변화 협정에 따라 우리나라의 NDC(Nationally Determined Contributions), 즉 국가 온실가스 감축목표는 2018년 총배출량 대비 40% 감축을 목표로 하고 있다. 태양광, 풍력 등 재생에너지의 공용망 신청현황을 볼 때 2016년 10월 이후 2020년까지 31GW 이상이 신규 접속을 신청했으며, 지속적인 증가 추세로 공용망 포화로 인한 계통접속에 지연이 발생하고 있다. 계통 설비 신설 및 보강에는 발전소 건설 대비 그 이상의 장시간이 필요하고 설비 투자비도 그만큼 많이 증가할 수밖에 없다. 또한 태양광 발전의 경우 대부분 지가가 싸며, 일조량이 좋은 호남지역에 집중되어 있어 발전량 증가에 따른 전압 유지기준 초과 현상도 발생하고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 사전에 대응할 수 있도록 전국 태양광 발전의 상업 운전 중인 현황과 연계 신청분 및 발전사업 의향 조사 결과를 토대로 향후 신규 태양광 발전의 증가 및 계통연계가 예상되는 지역을 제시함으로써 설비 증설이 필요한 지역을 예측하였다. 그리고 신규 접속의 계통 분산을 유도하기 위해 입지 가능한 토지를 기준으로 입지를 분석하고 월별 발전량을 예측하는 시뮬레이터를 개발하여 발전사업자를 위한 컨설팅 서비스의 근간을 마련하였다.

발전효율과 관련된 지표로는 일사량, 경사도, 가용면적을 사용하였고, 투자비 검토를 위한 지표로는 공시지가, 인접도로와의 거리(선로연계 용이성), 주거지와의 거리(민원 영향도)를 사용하였다.



〈그림 1〉 태양광 발전현황(좌, '20년) 및 전망(우, '28년)

2. 본 론

2.1 태양광 발전 입지분석

태양광 발전 입지분석을 위해 기본적으로 일사량, 일조시간과 같은 태양광 발전 효율과 관련된 기후와 관련된 요소뿐만 아니라 지리적, 환경적, 경제적 요소 및 법제도, 민원 등을 고려해야 한다[1].

2.1.1 데이터 정의

전국에 걸쳐 태양광 발전소의 지역별 입지를 분석하기 위해 <표1>과 같이 태양광 발전 현황정보와 계통접속이 가능한 인근 변전소의 여유용량 데이터를 수집하였다. 태양광 발전 현황에는 주소(위치), 용량, 연계(희망)연도, 연계(희망) 변전소 등의 데이터를 포함하고 있어 <그림1>과 같이 GIS 상 전국의 태양광 발전의 규모를 파악할 수 있게 하였다.

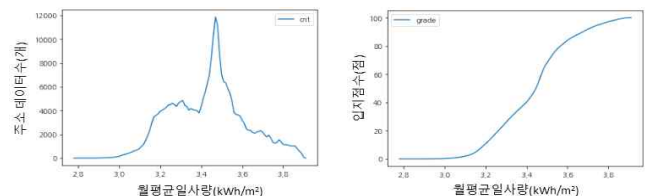
그리고 지리적으로 유리한 발전소 입지의 우선순위를 정하기 위하여 전국의 모든 주소 데이터를 대상으로 하여 발전효율 지

2.1.2 입지점수 생성

전국 모든 주소에 대하여 6개의 지표별 각각의 데이터 분포를 확인하고, 누적분포에 따라 상대적인 입지점수를 계산하였다.

$$Location\ Score(m) = \frac{\sum_{i=1}^m n(I_m)}{n(X)} \times 100$$

수치형 지표값(X)에 대해 정렬하고, 지표데이터(X)에서 중복을 제거한 각각의 지표데이터(I)에 대한 데이터 개수를 구해 m 번째까지의 누적합을 계산한 뒤 전체 지표의 개수로 나누어 X_m 지표의 점수를 산출하였다.



〈그림 2〉 입지(주소)별 일사량 지표에 대한 입지점수

<그림 2>은 전국 각 주소별로 제일 가까운 일사량 관측 데이터(천리안 위성 데이터)를 사용하여 각 일사량값에 속하는 주소 데이터 개수와 입지점수를 나타낸 그래프이다.

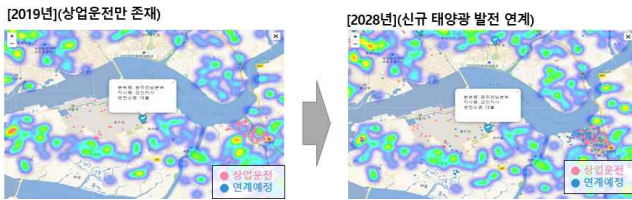
2.2 태양광 입지별 잠재발전량 예측 모델 개발

국내에서 태양광 발전소를 설치할 수 있는 토지 관련 모든 지목에 대해서는 기본적으로 제한은 없다. 하지만 개발을 위해서는 관련 지자체의 개발허가가 필요하고, 상수원보호구역, 개발제한구역, 문화재보존·보호구역, 군사보호구역 등의 용도가 있는 토지의 경우 인허가가 제한되어 있어 관련 기관의 개발허가를 받기 위해 심의를 통과해야 하나 사실상 어렵다. 산지나 농지의 경우 전용 부담금이 부과되고 녹지나 산림보호구역의 경우 개발을 강력히 규제하고 있다[2].

본 연구에서는 상업 운전 중인 발전소의 주소별 지목을 고려했을 때 입지가 가능한 토지를 기준으로 주소상 면적 대비 최대 잠재발전량을 산출하고 월별 발전량을 예측하는 모델을 개발하였다.

2.2.1 입지 가능 지역 분석

태양광 발전의 입지가 가능한 토지의 지목을 전, 답, 대, 임야, 잡종지, 과수원, 목장용지, 염전 등으로 한정하고 분석을 수행하였다. 단, 주거, 상업, 공장 등 용도로 이미 사용 중인 지역은 제외하였다. 상업 운전 중인 발전소 및 연계 예정인 발전소를 표시하고 설치가 가능지역을 시뮬레이션하여 히트맵으로 표현한 시스템을 <그림3>과 같이 구현하였다.



<그림 3> 태양광 입지가능지역 분석 화면

2.2.2 입지별 잠재발전량 예측모델 개발

태양광 연간 월별 잠재발전량을 예측하기 위해 월별 발전실적을 보유한 63,090호의 2019년~2020년 데이터를 이용하여 예측 모델을 개발하였다. 발전효율에 영향을 미치는 일사량 및 중관 기상관측 데이터를 독립변수로 사용하여 월발전량과의 상관관계 분석하였다. 월일사량 합계는 0.83, 월최대지면온도가 0.72로 순으로 높은 상관관계를 나타냈다.

예측 알고리즘으로는 XGBoost Regressor를 사용하였다. 약한 학습기를 결합하여 성능을 높이는 부스팅(Boosting) 앙상블 알고리즘으로 Greedy 알고리즘을 사용하여 최적의 상황을 판단하여 예측모델을 학습한다. 학습이 빠르고, 병렬처리가 가능하며, 과적합이 잘 일어나지 않는 장점이 있다[3].

모델 개발에 사용한 특징 데이터로는 각 월별 월평균기온, 월평균최대기온, 월평균최소기온, 월최대기온, 월최소기온, 월강수량합계, 월평균풍속, 월평균우량, 월일조시간합계, 월일조율, 월일사량합계, 월평균지면온도를 사용하였다. 일부 누락 데이터는 선형보간하고 발적실적 및 장기간 누락 데이터는 제외한 총 100,872개의 데이터를 전처리하고 MinMaxScaler(0-1)로 정규화하였다. 80:20(80697:20175)으로 훈련 데이터와 테스트 데이터를 나누고 예측값은 월발전량을 용량으로 나눈 1kW당 발전량, 즉 발전시간으로 하여 모델을 학습시켰다.

XGBoost 모델 학습 시 학습 손실(loss)를 줄여주는 변수 중요도(Feature Importance)를 계산해 주는데, 여기서는 월일사량합계, 월일조시간합계, 월평균우량, 월평균지면온도, 월최대기온 순으로 나타났다.

모델 성능평가 지표로는 결정계수(R²)와 설명분산점수, MAE (Mean Absolute Error)와 MSE(Mean Squared Log Error)를 사용하였고 그 결과는 <표2>와 같다.

$$R^2 = 1 - \frac{(\text{Sum of Squared Residuals})}{(\text{Total Variance})}$$

$$\text{Explained Variance Score} = 1 - \frac{(\text{Sum of Squared Residuals} - \text{Mean Error})}{(\text{Total Variance})}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|, \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

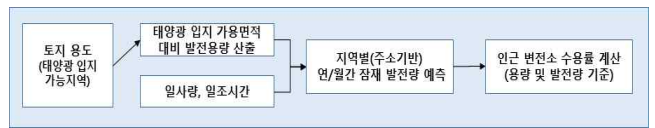
<표 2> 태양광 월별 잠재발전량 예측 모델 성능

R2(결정계수)	설명분산점수	MAE	MSE
0.79	0.79	8.80	139.01

예측 모델의 테스트 결과 발전실적 데이터가 현저하게 값이 작은 이상값에 의해 오차가 많이 발생할 수 있음을 확인하였다. 시뮬레이터에서는 해당 지역의 잠재발전량을 예측하는 것이 목적이므로 정상적인 발전상황을 고려하여 사용하였다.

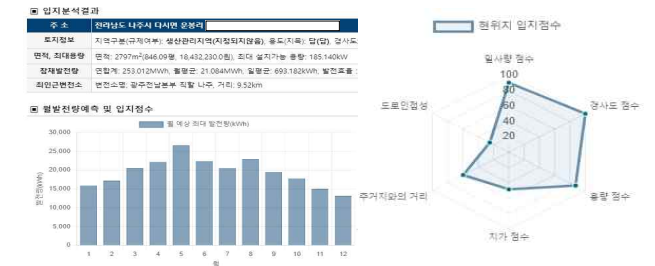
2.2.3 시뮬레이터 개발

태양광 입지별 잠재발전량 예측 시뮬레이션 절차는 <그림4>와 같다. 특정 지역의 주소에 설치 가능 면적(고정식 기준, 1kW 당 토지 평면 기준 약 13~16m²)으로 계산하고, 월별 발전시간 예측값을 곱하여 잠재발전량을 계산하였다. 그리고 나서 최근 발전소의 여유용량 대비 수용 가능 여부를 판단하였다.



<그림 4> 태양광 입지별 잠재발전량 예측 시뮬레이션 절차

특정 주소에서의 잠재발전량 예측과 입지지표별 점수산출 시뮬레이션 결과는 <그림 5>와 같이 시각화하여 보여주도록 구현하였다.



<그림 5> 태양광 발전 입지분석 시뮬레이터

3. 결 론

본 연구에서는 신규 태양광 발전 가능지역에 대해 예상 발전량을 예측하는 모델을 개발하였다. 이를 활용하여 GIS 기반의 태양광 발전 현황, 입지분석, 잠재발전량 예측 시뮬레이션 기능을 제공하는 시각화 프로토타입을 개발하였다.

본 연구성과물은 후속 과제에 수행 중인 중장기 태양광 발전 연계 용량 예측 연구와 더불어 계통포화가 발생할 지역과 시기를 예측하여 제시함으로써 신설 발전소가 필요한 시기와 위치 등을 판단하기 위한 기초자료로 활용될 것이다. 한전의 공정관리절차서 상 발전소 건설 용지 확보 등 행정 소요 기간을(21개월 이상) 단축할 수 있을 것으로 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이기림 외, "GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석", Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 18(4), 1-13, 2015
- [2] 이영준 외, "환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영: 주요 재생에너지원별 현황 및 환경적 가용 입지 분석", 한국환경정책·평가연구원 사업보고서, 2019
- [3] Tianqi Chen, Carlos Guestrin, XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, KDD16, 2016