

태양광 발전소 건설부지 평가 및 선정을 위한 선형회귀분석 기반 태양광 발전량 추정 모델

허재¹ · 박범수¹ · 김병일² · 한상욱*

¹한양대학교 건설환경공학과 · ²안동대학교 토목공학과

Multiple Linear Regression Analysis of PV Power Forecasting for Evaluation and Selection of Suitable PV Sites

Heo, Jae¹, Park, Bumsoo¹, Kim, Byungil², Han, SangUk*

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

²Department of Civil Engineering, Andong National University

Abstract : The estimation of available solar energy at particular locations is critical to find and assess suitable locations of PV sites. The amount of PV power generation is however affected by various geographical factors (e.g., weather), which may make it difficult to identify the complex relationship between affecting factors and power outputs and to apply findings from one study to another in different locations. This study thus undertakes a regression analysis using data collected from 172 PV plants spatially distributed in Korea to identify critical weather conditions and estimate the potential power generation of PV systems. Such data also include solar radiation, precipitation, fine dust, humidity, temperature, cloud amount, sunshine duration, and wind speed. The estimated PV power generation is then compared to the actual PV power generation to evaluate prediction performance. As a result, the proposed model achieves a MAPE of 11.696(%) and an R-squared of 0.979. It is also found that the variables, excluding humidity, are all statistically significant in predicting the efficiency of PV power generation. According, this study may facilitate the understanding of what weather conditions can be considered and the estimation of PV power generation for evaluating and determining suitable locations of PV facilities.

Keywords : Multiple Regression Analysis, Photovoltaic Power Generation, Meteorological Factors, Solar Energy

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경

2017년 산업통산자원부에서 발표한 재생에너지 3020 이행계획¹⁾에 따르면 태양광 발전을 통하여 2030년 기준 36.5GW 발전을 목표로 하고 있다. 하지만, 국내의 경우 높은 비율의 산악지형, 미국 및 중국과 비교하여 상대적으로 좁은 국토 등으로 인해 국내에서 태양광 발전소 설치 부지는

한정되어 있으며(Jang & Kim, 2018), 또한 지역에 따라 태양광 발전량이 크게 차이가 나는 등의 어려움이 있다. 따라서 태양광 발전의 보급 확대를 위해 적합한 부지의 확보가 선행적으로 해결되어야 한다.

전술된 부지 확보와 지역에 따른 발전량 상이와 같은 문제를 해결하기 위하여 최근 태양광 발전 생산 효율 및 경제성이 높은 적지를 탐색하고 해당 지역에서 잠재적으로 생산될 수 있는 태양광 발전량을 정확하게 예측하기 위한 연구가 진행되고 있다(Yang & An, 2018). 예를 들어, 태양광 발전량 예측 연구는 서포트 벡터 회귀(Support Vector Regression) 모델을 기반으로 탐색지역의 대지 조건(대지면적, 경사, 방향각) 및 기상조건(평균기온, 태양복사에너지, 상대 습도) 등을 일정 시간 주기(예, 1분, 15분, 1시간)로 수집한 데이터를

* Corresponding author: Han, SangUk, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Republic of Korea 04763

E-mail: sanguk@hanyang.ac.kr

Received October 30, 2019; revised -

accepted November 12, 2019

1) 산업통산자원부 (2017). 재생에너지 3020 이행계획.

사용하여 특정 시간(예, 0-60분, 1-2시간 이후, 1일 이후, 월별)의 태양광 발전량을 예측하는 것이 주를 이루었다(Kim et al., 2019). 하지만 시간에 따른 태양광 발전량 예측 방식은 동일한 시간 범위의 방대한 데이터가 요구됨에 따라 경제적, 기술적, 또는 제도적 제약에 의해(Zaharim et al., 2009) 정확한 시계열(Time Series) 데이터 수집이 어렵거나 누락된 데이터가 발생하며, 그로 인해 예측 정확도 결과에 부정적인 영향을 미치는 문제점이 발생하였다(Mellit et al., 2006).

본 연구는 기 설치된 태양광 발전소의 월별 거래량을 바탕으로 시간대에 상관없이 기상조건(강수량, 미세먼지, 습도, 온도, 운량, 일조시간, 풍속, 태양복사에너지) 자료를 사용하여 태양광 발전량을 추정하고자 한다. 발전량 추정을 위해 회귀분석방법이 사용되며, 발전량에 영향을 미치는 주요 변수들을 통계적으로 분석하고, 또한 실측값과 추정값 간의 비교분석을 통해 추정값의 신뢰를 확인하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 다중선형회귀분석방법을 통해 독립 변수인 강수량, 미세먼지, 습도, 온도, 운량, 일조시간, 풍속, 태양복사에너지가 종속변수인 태양광 발전량에 미치는 영향 및 추정값을 도출하고 전국 발전소 172곳 기준 실측값과 추정값을 상관관계기법으로 비교 분석한다.

연구 수행 방법은 다음과 같다. 첫째로 선행연구 고찰을 통해 국내 태양광 발전량 예측에 관한 연구동향 파악 및 문제점을 파악하고, 연구 목적을 설정한다. 둘째, 독립변수 및 종속변수와 관련된 데이터를 수집 및 가공한다. 셋째, 수집된 데이터를 기반으로 다중회귀분석을 실시한다. 마지막으로 실험에서 나온 결과값을 바탕으로 기상조건만으로 태양광 발전량을 적절히 예측하였는지 분석한다.

2. 선행연구 고찰

태양광 발전소의 예상 발전량은 발전 사업의 경제성 및 타당성 분석을 위한 주요 지표로 사용되어 왔다(IFC, 2019). 예를 들어, Charabi et al. (2011)과 Aly et al. (2017)은 태양광발전소를 평가하는데 고려되는 다양한 경제적, 기술적, 사회적 지표들의 가중치를 조사한 전문가 설문을 통해 발전량과 직접적으로 연관된 태양복사에너지가 각각의 연구에서 54.5%와 69.6%의 높은 가중치를 보이는 것으로 보고하였다. 따라서 태양광 발전소의 발전량을 정확하게 예측하기 위한 다양한 예측 모델 및 모델링 기법이 연구되었다(Table 1). 예를 들어, Noh et al. (2013)은 경험식에 따른 태양광 발전량 예측 및 모니터링 시스템 구축을 위하여 기상예보 데이터(일사량, 온도)와 태양전지 데이터(태양전지의 용량, 모듈

온도, 손실 계수)를 사용하여 시간대(일간, 주간, 월간)에 따른 발전량을 계산하였다. Song et al. (2014)은 기상요소(풍속, 풍향, 기온, 습도 및 기압)와 예측 날짜의 날짜(일), 시간을 사용하여 인공 신경망 알고리즘 기반 일사량을 추정하였다. 또한 태양전지 어레이의 출력전력(PPV)은 일사량에 비례한다는 경험식을 통해 발전량 예측 모델을 간접적으로 제시하였다. Cha et al. (2014)은 기상요소(일사량, 일조시간, 운량)와 지형요소(위도, 해발고도)를 사용하여 발전 효율에 대한 퍼지 예측 모델을 개발하였다. 또한 예측된 발전효율을 발전량 경험식에 대입하여 최종적으로 태양광 발전량을 추정하였다. Lee and Kim (2016)은 기상정보(자외선, 운량, 습도, 온도, 풍향, 풍속, 태양고도)를 사용하여 서포트 벡터 회귀(Support Vector Regression)모형에 따른 일사량 예측을 선행하였으며, 예측된 일사량으로부터 SVR모형에 따른 일일 발전량을 예측하였다. Yang and An (2018)은 하루 평균 발전소에서 발전하는 시간과 대지조건(대지면적, 입지특성, 주 방향각, 용도지역), 기상조건(평균풍속)간의 상관관계 및 유의성 분석 및 태양광 발전 적지분석에 관해 연구하였다. 이러한 기존 연구들은 다양한 모델과 설명변수를 사용하여 시계열에 따른 태양광 발전량을 추정하는데 초점을 맞추고 있다. 하지만 우리나라 기준으로 어떠한 설명변수가 태양광발전에 영향을 미치는지에 대한 연구가 거의 진행되고 있지 않으며, 미세먼지와 같은 환경오염과 태양광 발전량간의 상관관계 및 정량적인 분석이 미흡한 실정이다. 또한 이전에는 국내 설치된 태양광 발전소 개수나 데이터 관측 기간이 시계열 분석을 하는데 충분하지 않아 태양광 발전량 추정에 문제가 될 수 있었다. 따라서 지리적, 환경적 요인에 크게 영향을 받는 태양광 발전의 특성을 고려하여 국내에서 수집된 자료를 바탕으로 다양한 환경 변수들이 발전량에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

Table 1. Summary of previous studies on PV output forecasting

Author	Forecasting model	Forecasting time horizon	Variables
Noh et al., 2013	Empirical method	Daily, Weekly, Monthly	Capacity, radiation, module temperature, outdoor temperature, average temperature, loss coefficient
Song et al., 2014	Neural network algorithm	Daily, Monthly	Wind speed, wind direction, temperature, humidity, prediction days and time
Cha et al., 2014	Fuzzy prediction model	Daily	radiation, sunshine time, amount of cloud, latitude, altitude
Lee and Kim, 2016	Support regression model	Daily	amount of cloud, wind speed, sky condition, relative humidity, temperature, wind direction, radiation, precipitation probability
Yang and An, 2018	Multiple linear regression	Annual	land area, land use, main aspect angle

3. 조사 자료의 수집 및 특성

본 연구에서는 전국에 기 설치된 태양광 발전소 거래량의 데이터와 기상조건을 고려하여 어떤 변수가 발전량에 영향을 미치는지에 대한 상관관계를 분석, 회귀분석모형을 통해 태양광 발전량 추정, 그리고 추정 발전량과 실제 발전소 데이터와의 비교분석을 하고자한다.

3.1 조사 자료 수집

본 연구에서 태양광 발전량 회귀분석 모델의 종속변수인 발전 효율 데이터 수집은 한국전력거래소에 제공하는 데이터를 사용하였다. 해당 자료는 2013년 1월~2018년 3월 기준 전국에 있는 태양광 발전소 172곳에서 수집하였다. 수집된 자료는 각 발전소별로 기록된 월별 거래량과 그에 상응하는 설명변수인 월별 기상조건 데이터 각각을 하나의 데이터로 취급하였다. 예를 들어, <Fig. 1>과 같이 한국전력거래소에 제공받은 전국 발전소 위치를 위도, 경도 참조체계를 바탕으로 구글어스(Google Earth) 와 GIS (Geographic Information System) 소프트웨어를 이용하여 찾았으며, 해당 위치를 기준으로 Jung et al. (2019)에서 제시한 모델을 사용하여 독립 변수 중 하나인 태양복사에너지(Solar Radiation)를, 그리고 기상청에서 제공하고 있는 전국단위의 강수량, 미세먼지, 습도, 온도, 운량, 일조시간, 풍속과 같은 기상 조건의 독립 변수 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 1개의 발전소의 1개월을 하나의 데이터로 규정하여 총 6251개의 데이터로 정리하여 분석에 활용하였다.

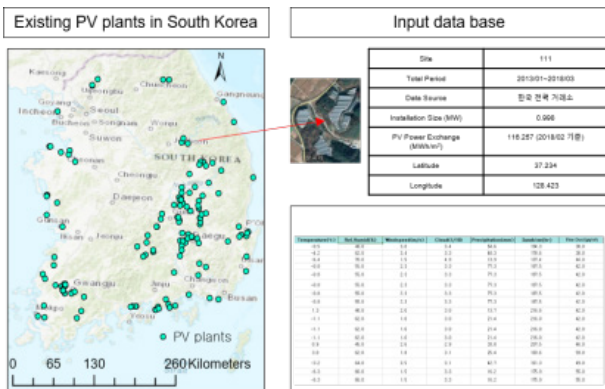


Fig. 1. Overview of data organization with sample data

3.2 조사 자료의 특성

본 연구에서 사용된 데이터는 전국 태양광 발전소의 월별 거래량을 기준으로 수집되었으며 발전소별 설비용량을 포함하고 있다. 해당 데이터에는 발전소 상황에 따라 누락되거나 이상값이 포함되어 있어 3 Sigma rule을 사용하여 제거하였다. 예를 들어, 발전소의 첫째 달 자료는 정확한 가동 시작날

Table 2. variables for developing an estimation model of PV outputs

Division	Title of explanatory variable	Characteristics
Dependent variables	Generation efficiency	PV outputs / Capacity (h) Comparison of amount of facilities to monthly PV outputs
	Precipitation	Monthly cumulative precipitation (mm)
independent variables	Fine dust	Monthly average of daily fine dust concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Humidity	Monthly average of daily relative humidity (%)
	Temperature	Monthly average of daily temperature ($^{\circ}\text{C}$)
	Amount of wind	Average monthly for cloud area across the sky of an observation site (1~10)
	Sunshine time	Monthly average of cumulative shine time (hr)
	Wind speed	Monthly average of 24 hours of wind speed (m/s)
	Solar radiation	Mwh/m ²

짜가 기록되어 있지 않아 잠재적으로 이상치로 간주될 수 있어 제거되었다. 또한 종속변수인 발전량을 포함한 모든 변수들은 <Table 2>와 같이 모델의 신뢰성과 성능을 높이기 위해 수집된 데이터를 가공 및 재정의하였다.

자세히 설명하면, 발전량은 적은 에너지에 집중되어 있어 <Fig. 2(a)>의 히스토그램과 같이 좌편향된 경향을 보이고 있음이 관찰되었고, 또한 발전량과 설비용량 유의관계가 매우 큰 경향을 보임에 따라 다른 설명변수와 발전량간의 유의관계를 파악하는데 편향된 결과를 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기상조건과 태양광 발전의 유의성을 평가를 위해 발전량 값을 그대로 사용하지 않고 발전량을 설비용량으로 나눈 발전 효율값을 종속변수로 사용하였다. <Fig. 2(b)>과 같이 발전효율은 편향되지 않는 분포를 보이는 것으로 나타난다.

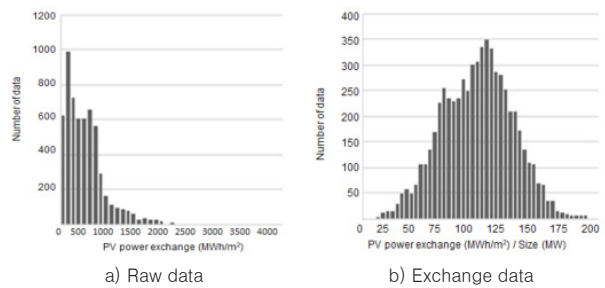


Fig. 2. A histogram of PV generation output

설명변수 중 하나인 태양복사에너지의 경우 Jung et al. (2019) 연구 방법을 차용하여 맑은 날의 복사에너지를 시간별로 추정하였다. 적용 모델은 그림자 효과와 같은 지형조건을 반영하기 위하여 수치표고모델을 사용하여 태양의 위치에 따른 음영 효과를 반영하여 추정하며, 본 연구에서는 시간별로 산출된 태양복사에너지를 월별로 합산한 값을 입력값으로 사용하였다. 수집한 태양복사에너지의 기본 단위는

kWh/m²으로 다른 데이터와의 단위 크기 차이가 매우 커 회귀분석 시 MWh/m²으로 단위를 변경하였다. 다른 설명 변수인 기상 자료의 경우 강수량, 미세먼지, 습도, 온도, 운량, 일조시간, 풍속은 각 자료의 수집된 시간이 상이하여 각기 다른 시간을 월평균 단위로 일치시켰다.

4. 데이터 분석 결과

4.1 발전에 영향을 미치는 요인 분석

발전효율을 종속변수로 하고, 강수량, 미세먼지, 습도, 온도, 운량, 일조시간, 풍속, 태양복사에너지를 독립변수로 회귀분석을 실시한 결과, <Table 3>의 분산분석 결과와 같이 F-Value는 2087.428이고, F-Value에 대한 유의확률은 .000이다. 따라서 본 연구의 다중선형회귀분석식은 종속변수 발전효율을 설명하는데 유용하다고 판단할 수 있다. 또한 오차항의 독립성을 검증해 표현하는 Durbin-Watson은 일반적으로 1에서 3사이의 값을 보이면, 잔차의 독립성에 큰 문제가 없다고 판단하는데, 본 연구의 Durbin-Watson 값은 1.429로 나타나 잔차의 독립성에 충족된다고 판단할 수 있다.

Table 3. Result of variance analysis

Model	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F	p-value
Regression	3380276.801	8	422534.600	2087.428	.000 ^a
Residuals	1263295.798	6241	202.419		
Total	4643572.599	6249			

* Dependent variables: Generation efficiency
Prediction values: (constant), solar radiation, Amount of cloud, fine dust, humidity, precipitation, sunshine time, wind speed, temperature

<Table 4>의 회귀분석 결과표를 보면, 유의확률 유의수준 0.05에서 유의한 변수는 태양복사에너지, 온도, 풍속, 운량, 강수량, 일조시간, 미세먼지인 것으로 분석되었다. 또한 독립변수가 종속변수에 미친 영향력을 나타내는 표준화 계수 베타(β)에서는 일반적으로 양수 1에 가까울수록 독립변수가 종속변수에 긍정적이고 큰 영향을 미친다고 판단하며, 음수 1에 가까울수록 독립변수가 부정적이고 큰 영향을 미친다고 판단한다. 본 연구의 결과에서는 0.911인 태양복사에너지와 0.236인 일조시간이 종속변수인 발전효율에 긍정적이고 높은 영향을 미친 것으로 판단된다. 반면 상대적으로 영향을 많이 미치는 운량을 포함하여 온도, 풍속, 강수량, 미세먼지, 습도는 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

본 연구결과에서 독립 변수인 태양복사에너지와 일조시간이 종속 변수인 발전 효율과 양의 상관관계를 보이는데, 이러한 결과값은 태양복사에너지량, 일조시간량이 높은 지역일수록 발전효율이 높으며, 해당 변수들을 태양광 발전부지

로서 적합한 지역임을 판단하는 근거로 삼는 기존 연구결과를 뒷받침한다고 볼 수 있다(Garni & Awasthi, 2017).

운량, 미세먼지, 강수량은 태양에너지가 지표면에 도달하는데 저해되는 요인으로서 기존 연구 결과에 따르면 입자가 작은 미세먼지는 태양광 패널 성능에 영향을 미쳐 발전 효율에 부정적인 영향을 미치며(Darwish et al., 2015; 한진목 et al., 2018), 운량과 강수량은 햇빛을 차단하여 태양광 발전의 에너지원인 태양에너지가 감소돼 발전량 감소에 직접적인 영향을 미친다(Şahin et al., 2013). 본 연구 결과값은 운량, 미세먼지, 강수량과 같은 요인이 태양광 발전에 부정적인 영향을 준다고 언급하는 기존 연구를 뒷받침한다고 판단할 수 있다.

일반적으로 발전 효율에 직접적인 영향을 미치는 태양광 모듈 온도는 태양광 패널 부지의 온도와 풍속에 의존적인 경향을 보인다(Huld & Amillo, 2015). 본 연구결과와 유의성은 전술된 경향을 잘 나타내는 것으로 보인다. 반면에 습도의 경우 기존 많은 연구에서 태양광 발전과 습도는 높은 유의성을 보인다고 설명하였지만 본 연구에서는 둘 사이의 유의관계가 통계적으로 큰 것으로 나타나지는 않았다.

4.2 발전량 추정 및 비교 분석

<Table 4>에서 나타난 회귀분석을 위해 식 (1)과 같은 회귀모델식이 도출되었다.

Table 4. The result of parameters and variables in PV power output estimating model

Explanatory variables	Nonstandardized Coefficients		Std. Coefficient			
	Model	B	Std. Error	β	t	p-value
Generation efficiency	Solar radiation	0.496	0.009	0.911	55.953	0.000
	Temperature	-0.536	0.051	-0.185	-10.429	0.000
	Wind speed	-3.061	0.284	-0.076	-10.771	0.000
	Amount of cloud	-6.362	0.324	-0.314	-19.651	0.000
	Precipitation	-0.033	0.003	-0.108	-11.726	0.000
	Sunshine time	0.144	0.009	0.236	15.920	0.000
	Fine dust	-0.139	0.022	-0.053	-6.173	0.000
	Humidity	-0.018	0.025	-0.008	-0.724	0.469
	(constant)	49.327	2.943		16.758	0.000

* Dependent variables: Generation efficiency
R = 0.853, R² = 0.728, R² change = 0.728,
Standard error of estimated value = 14.227, Durbin-Watson = 1.429

$$y = 0.496x_1 - 0.536x_2 - 3.061x_3 - 6.362x_4 - 0.033x_5 + 0.144x_6 - 0.139x_7 - 0.018x_8 + 49.327 \quad (1)$$

여기서, y는 발전효율, x₁은 태양복사에너지, x₂는 온도, x₃는 풍속, x₄는 운량, x₅는 강수량, x₆는 일조시간, x₇는 미세먼지, x₈는 습도, 그리고 49.327은 상수이다.

본 연구의 목적인 발전량 추정을 위해 회귀모델을 통해 도

출된 식 (1)을 사용하여 추정된 발전 효율을 <Table 2>에서 전술된 발전효율 계산 식 (2)을 역으로 계산하여 예측 발전량으로 전환하였다. 여기서 E 는 발전효율, P_g 는 발전량, F_f 는 설비용량이다.

$$E = \frac{P_g}{F_f}(h) \quad (2)$$

<Table 5>는 앞서 계산된 예측 발전량과 실제 발전량을 4개의 평가방식으로 비교 분석한 결과값이다. 본 연구는 수집된 자료를 정규분포식과 같은 전처리과정을 거치지 않고 회귀분석에 바로 사용하였는데 이와 같은 방식은 실제 데이터의 단위를 그대로 사용하기 때문에 결과값이 크게 나오는 특징이 있다. 따라서 결과값 크기(Scale)에 의존적인 MSE 평가 방식을 보정한 RMSE, nRMSE, MAPE를 사용하여 추정된 발전량을 평가하였다. 본 연구에서 제시된 회귀모델을 사용하여 추정된 값과 실제 발전량 값의 차이를 나타내는 RMSE 값은 48.261(MW), RMSE값을 (최대-최소)값으로 나눈 값인 nRMSE값은 1.592%, 절대 오차를 실제 값으로 나눈 백분율로 나타낸 MAPE값은 11.696%, 그리고 데이터의 잔차의 제곱 합을 의미하는 결정계수 R^2 은 0.979로 평가됐다. <Fig. 3>의 결과와 같이 회귀분석에 사용된 설명변수들이 종속변수의 변량을 잘 설명하는 것으로 나타났으며, 종속변수 값의 크기(Scale)가 클수록 상대적으로 큰 오차를 보이는 경향을 알 수 있다.

Table 5. results of performance evaluation by regression

Evaluation Metric	Value
RMSE (MW)	48.261
nRMSE (%)	1.592
MAPE (%)	11.696
R^2	0.979

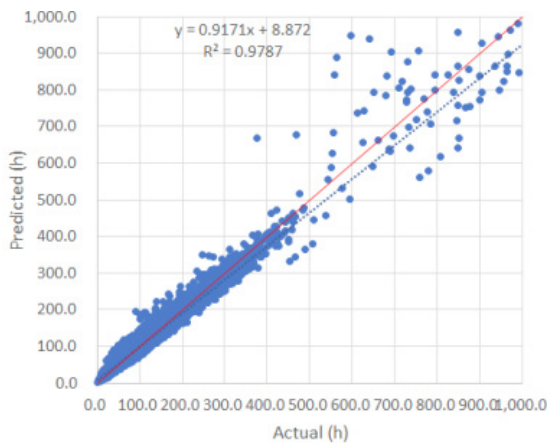


Fig. 3. Plots of predicted values against actual values

5. 결론

본 연구에서는 실제 전국 발전소의 기상조건을 이용한 회귀분석을 실시하여 태양광 발전량에 영향을 주는 인자들을 분석함과 동시에 태양광 발전량을 추정하고 실제 발전량과 비교 분석하였다. 특히 본 연구에서는 독립변수 중 습도를 제외한 태양복사에너지, 온도, 풍속, 운량, 강수량, 일조시간, 미세먼지와 종속 변수인 발전효율간 유의미한 상관관계가 있는 것을 파악하였으며, 회귀분석으로 추정된 발전량을 실제 발전소에서 생산된 발전량과 비교 분석하여 RMSE 48.261h, nRMSE 1.592, MAPE 11.696, R^2 0.979 값이 계산되었다.

위의 결과를 통해 제안한 태양광 발전량 추정모델을 활용하여 기상조건을 고려하여 발전량 추정할 수 있음을 확인하였다. 또한 시계열 분석을 사용하지 않고 발전량 추정이 가능하다는 것을 보여 관측된 데이터에 누락이나 이상치가 존재하여도 발전량을 예측 가능성을 보여줬다. 하지만 본 연구의 발전량 데이터는 한국전력거래소에서 거래량을 기반으로 하고 있어 실제 발전소에서 기 설치된 인근 지역에서 사용된 나머지를 거래하는 경우와 같이 실제 발전량과 본 연구의 거래된 발전량 자료와 다를 수 있어 실제 관측데이터를 본 연구 회귀모델에 추가한다면 더욱 정확한 예측 모델의 설계가 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통기술촉진연구사업의 지원으로 수행되었습니다(19CTAP-C141728-02). 그리고 자료 수집 및 분석 방법 등 연구를 수행함에 있어 많은 조언을 해주신 정재훈 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

References

Aly, A., Jensen, S.S., and Pedersen, A.B. (2017). "Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis." *Renew Energy*, 113, pp. 159-75.

Al Garni, H.Z., and Awasthi, A. (2017). "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia." *Applied Energy*, 206, pp. 1225-1240.

Cha, W.C., Park, J.H., Cho, U.R., and Kim, J.C. (2014). "Design of generation efficiency fuzzy prediction model using solar power element data." *The Transaction of The Korean Institute of Electrical*

- Engineers*, 63(10), pp. 1423–1427.
- Charabi, Y., and Gastli, A. (2011). “PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation.” *Renew Energy*, 36(9), pp. 2554–2561.
- Darwish, Z.A., Kazem, H.A., Sopian, K., Al-Goul, M.A., and Alawadhi, H. (2015). “Effect of dust pollution type on photovoltaic performance.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, pp. 735–744.
- Han, J.M., Choi, S., Kim, S., and Jung, Y. (2018). “A study on the contamination of photovoltaic cells by fine dust in the air.” *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, 29(3), pp. 292–298.
- Huld, T., and Amillo, A. (2015). “Estimating PV module performance over large geographical regions: The role of irradiance, air temperature, wind speed and solar spectrum.” *Energies*, 8(6), pp. 5159–5181.
- International Finance Corporation (IFC) (2019). *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants: A Project Developer’s Guide*.
 <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_utility-scale+solar+photovoltaic+power+plants> [accessed 30 March 2019].
- Jang, T.M., and Kim, G.N. (2018). “A study on the Economic of photovoltaic power generation in the military free space.” *Bulletin of the Korea Photovoltaic Society*, 4(2), pp. 62–70.
- Jung, J., Han, S., and Kim, B. (2019). “Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on national highway slopes.” *Applied Energy*, 242, pp. 57–68.
- Kim, J., Kim, T., Lee, J., and Ham, K.S. (2019). “Predicting 24-hours ahead photovoltaic power output using forecast information.” *In Proceedings of the 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, pp. 1462–1464.
- Lee, K., and Kim, W.J. (2016). “Forecasting of 24hours ahead photovoltaic power output using support vector regression.” *J. Korean Inst. Inf. Technol*, 14, pp. 175–183.
- Mellit, A., Benghanem, M., and Kalogirou, S.A. (2006). “An adaptive wavelet-network model for forecasting daily total solar-radiation.” *Applied Energy*, 83(7), pp. 705–722.
- Noh, Y., Lim, Y., Yoo, W., and Kim, J. (2013). “A study on the estimating power generation for a PV solar plant using weather forecast.” *Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, pp. 161–166.
- Şahin, M., Kaya, Y., and Uyar, M. (2013). “Comparison of ANN and MLR models for estimating solar radiation in Turkey using NOAA/AVHRR data.” *Advances in Space Research*, 51(5), pp. 891–904.
- Song, J., Lee, S., and Jeong, Y. (2014). “Analysis of prediction model for solar power generation.” *Journal of Digital Convergence*, 12(3), pp. 243–248.
- Yang, I.S., and An, H.S. (2018). “Optimal location analysis in terms of efficiency for solar energy facilities.” *The Journal of the Korea Contents Association*, 18(7), pp. 656–664.
- Zaharim, A., Razali, A.M., Gim, T.P., and Sopian, K. (2009). “Time series analysis of solar radiation data in the tropics.” *European Journal of Scientific Research*, 25(4), pp. 672–678.

요약 : 최근 태양광의 발전 효율성과 경제성이 높은 발전소 부지를 확보하기 위해 특정 지역을 대상으로 태양광 발전량을 정확히 예측하기 위한 연구들이 수행되었다. 하지만 국내의 경우 기존 발전량 데이터가 부족함에 따라 정확한 발전량 추정에 문제가 발생할 수 있으며, 우리나라 기준으로 어떠한 기상조건을 나타내는 변수가 태양광 발전에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 지형 효과를 충분히 고려하여 제작된 태양복사에너지 지도와 미세면지와 같은 기상조건을 추가하여 태양광 발전량 추정 회귀모델을 제시하고, 추정된 발전량과 실제 발전량을 비교 분석하였다. 그 결과, 습도를 제외한 태양복사에너지, 온도, 풍속, 운량, 강수량, 일조시간, 미세면지가 발전 효율에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 회귀 분석모델을 통해 추정된 발전량과 실제 발전량을 비교 분석하여 RMSE는 48.261(h), nRMSE는 1.592(%), MAPE는 11.696(%), 그리고 R^2 는 0.979이 도출되었다. 이러한 결과는 국내 태양광 발전 부지를 평가함에 있어서 고려해야 하는 중요한 기상 조건 등 태양광 발전량 추정 모델을 설계하는데 활용할 수 있으며, 이를 바탕으로 태양광 발전소 건설 부지를 선정함에 있어 중요한 지표인 발전량을 정확히 추정하는데 기여할 것으로 사료된다.

키워드 : 다중선형회귀분석, 태양광 발전량, 기상요소, 태양 에너지