



기상관측데이터를 활용한 일사예측모델 개발

Modelling of Solar Irradiance Forecasting using Local Meteorological Data

정민희*

Chung, Min Hee*

*School of Architecture & Building Science, Chung-Ang Univ., South Korea (mhloveu@cau.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The prediction of solar radiation is essential for the prediction of solar PV generation. In this study, we present a prediction model of solar radiation from data observed at Meteorological Administration and present basic data for the development of solar radiation prediction model through meteorological parameters provided in future weather forecasts. **Method:** The regression model is presented for one - year observation weather data in Seoul area. At first, the weather variables that will affect the insolation was selected by literature reviews. Secondly, correlation analysis is performed on the selected meteorological variables. Thirdly, a multiple regression analysis is performed using the solar radiation, and a prediction model of solar radiation is presented. Finally, the reliability of the prediction model is verified by comparing the predicted model with the weather observation data. **Result:** A regression equation model is presented for observational weather data. Variables with the greatest influence on the solar irradiation were sunshine duration> continued sunshine duration> average wind speed> cloud cover> precipitation duration> minimum relative humidity> precipitation> maximum temperature. The reliability of the proposed regression equation was 0.907 and CVRMSE was 15%.

KEYWORD

일사량
기상데이터
회귀모델Solar Irradiance
Meteorological Data
Regression Model

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 10, 2017
Final revision received Dec 7, 2017
Accepted Dec 12, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

기후변화협약 규제 대응, 유가 불안정에 의한 에너지 안보 문제에 의해 신재생에너지의 중요성이 재인식되면서 신재생에너지는 높은 초기투자에 의한 부담에도 불구하고 미래 주요 에너지 공급원으로 주목받고 있다. 탄소배출 저감이라는 국제적 패러다임에 맞추어 우리나라 역시 신재생에너지원의 이용 확대를 위한 보급지원 사업 실시하고 있다. 그 중 태양에너지는 신재생에너지원 중 가장 중요한 에너지원 중의 하나로, 초기 비용 감소, 건물의 에너지 수요 대응, 기타 신재생에너지원에 비해 적용 및 사용의 편의성 등에 의해 주목받고 있다.

현재 태양광 발전 시스템에 의해 생산된 에너지는 자가수용 혹은 전력회사에 판매로 한정되어 있어 생산자가 생산된 에너지 운영을 결정하는데 한계가 있다. 해외에는 이미 전력관련 회사와 에너지 서비스 회사 등이 인터넷 플랫폼을 통한 생산전력의 개인간 거래 서비스 제공 관련 사업이 실시됨으로써 인터넷 플랫폼을 통해 개인과 개인간 전력 공유시스템이 개발되고 있는 실정이다. 이러한 생산 전력의 개인 간 전력거래 시에는 장기간이 아닌 단기간 동안의 에너지 생산량을 예측할 수 있어야하며 이를 통해 사용자가 에너지 거래 유무를 판단할 수 있어야한다.

태양광발전시스템의 에너지 생산량은 태양광 패널 표면에 입사한 일사량에 의해 직접적으로 영향받는다. 또한 일사량은 시간에 따른 고도와 방위각 등 태양의 위치와 강수여부, 운량 등과 같은 기상상태에 의해 영향을 받게 된다. 즉, 일사량의 예측은 태양광 발전 시스템의 생산량 예측에 필수적이다. 심진효 등(2010)은 실측된 일사량 데이터가 없는 지역의 일사량을 예측하고자 운량, 날짜, 해당지역의 위도, 경도를 이용하였다. 예측 일사량 값은 월평균 일사량 값으로 운량 역시 월평균 운량이 사용되었다. 조덕기 등(2011)은 태양광발전시스템 설치지역의 일사량 예측에 활용하기 위하여 일사자료와 일조시간과의 상관관계를 이용하여 해당 지역의 일사량을 예측하고자 하였다. 일사량 상관식은 지역의 위도, 경도, 고도 등과 일조시간을 활용하였다. 또한 직달일사량 예측을 위해 조덕기 등(2012)은 인공위성의 모델링을 통하여 한반도 내의 16개소 지역의 월별 일사량을 예측하여 실측지와 비교분석하였다. 이를 통해 최적의 태양열발전단지 선정을 위해 참고 자료로 활용하기 위한 것으로 인공위성에서 스캔하는 표적 내의 하늘의 구름 상태를 일사량 계산식에 활용하여 예측하였다. 지금까지 연구에서 제시된 일사량 예측은 대부분 기상관측 자료 중 특징요소만을 활용하여 일사량의 예측 모델을 제시하였으며 기상관측 자료를 통한 일사량 예측에 관한 연구는 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 기상청에서 관측되는 데이터를 통해 일간 일사량의 예측 모델을 제시하며, 향후 기상예보에서 제공하는 기상변수를 통한 일사예측모델 개발의 기초 자료를 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 태양광발전시스템의 생산량 예측에 활용하기 위하여 기상데이터를 활용한 일사예측모델을 제시하고자 한다. 이를 위해 기상데이터는 기상청에서 관측된 데이터를 활용하며, 2016년 서울 지역의 데이터를 대상으로 분석하였다.

연구의 진행과정은 다음과 같다. 첫째, 관측기상데이터와 일사량 예측에 관한 고찰을 실시하여 기상관측 변수 중 일사량에 영향요인이 될 변수를 선정하도록 한다. 둘째, 선정된 기상변수를 대상으로 상관관계분석을 실시하여 다중공선성 문제가 되는 변수를 제거한다. 셋째, 일사량을 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시하여 일사량의 예측모델을 제시하도록 한다. 마지막으로, 예측된 모델을 기상관측데이터와의 비교를 통하여 예측모델의 신뢰도를 검증한다.

2. 기상관측요소 및 일사량

2.1. 기상관측요소

기상청에서 실시하는 지상관측은 종관기상관측장비(ASOS, Automated Synoptic Observing System)에 의한 자동관측과 수동관측으로 실시된다. 지상 부근의 대기상태를 실시간으로 관측하는 장비인 종관기상관측장비에 의해 기온, 습도, 풍향, 풍속, 기압, 강수량, 일조, 일사 지면온도, 초상온도, 지중온도를 자동으로 관측한다. 적설, 구름, 기타 일기현상 등은 매 정시 또는 3시간 간격으로 수동관측된다.

기온은 측정 높이에 따라 그 측정값이 변동되므로, 지면 위 1.2~1.5m정도의 높이에서 공기의 온도를 측정한다. 풍향은 방향과 크기를 갖는 벡터량으로 표시되지만, 이중 수평성분이 수직성분보다 매우 크므로 일반적으로 수평성분만을 대상으로 관측하며 지면으로부터 10m높이에서의 공기의 흐름을 관측한다. 강수량은 비, 눈, 우박 등을 액체성 강수뿐만 아니라 고체성 강수를 포함하는 것으로 고체성 강수의 경우 용해시킨 물의 깊이로 측정한다. 일사는 전천일사계에 의해 자동으로 관측되는 일사량을 1시간 단위로 관측한다. 일조 시간 일출부터 일몰시간을 포함한 가조시간과 구름이나 안개 등에 차단되지 않고 지표면에 연속적으로 비친 시간을 측정하는 합계일조시간으로 구분하여 측정한다. 구름은 운형, 운량, 운고에 관하여 목측 수동으로 관측되며 특히 운량은 전천공 중 구름으로 덮인 부분의 비율을 나타내고 있다. 그 외 기상현상, 시정, 지면온도, 최저초상온도, 깊이에 따른 지중온도 등이 관측되고 있다.

일사량은 계절 및 시간에 따른 태양 고도와 방위각에 따라 지구에 도달하는 일사량이 결정되지만, 대기권의 기상상태에 따라 지표면에 도달하는 일사량은 변동될 수 있다. 이 중 <Table 1>과 같이 일사량에 영향을 미칠 수 있는 기상변수로 기온, 습도, 강수, 풍속, 가조시간 및 합계일조시간, 평균전운량을 선정하였다. 기상관측데이터 중 풍향, 운형, 운도, 시정, 지면온도, 지중온도 등은 지표면에 도달하는 일사량에 미치는 영향이 적을 것으로 판단하여 본 연구에서는 제외하도록 하였다.

Table 1. Observed Weather Variables

Division	Observed Weather Variables
Selected Variables	Min/Max/Average Temperature, Min/Average Humidity, Precipitation Duration, Precipitation, Max/Average Wind Speed, Sunshine Duration, Continued Sunshine Duration, Cloud Cover
Excluded Variables	Wind Direction, Cloud Type, Cloud Height, Visible Range, Ground-surface Temperature, Soil Temperature, Atmospheric Pressure

2.2. 태양광 발전시스템 생산량 예측을 위한 일사량 예측

지표면에 도달하는 일사량을 예측하는 모델에는 여러 방법이 있지만 그 중 간단한 모델로 ASHRAE에서 제시하는 방법으로 직달일사(E_b)(식 (1))와 확산일사(E_d)(식 (2))를 구한 후 합하여 전일사량을 구하는 방식이 있다.

$$E_b = E_o \exp[-\tau_b m^{ab}] \tag{1}$$

$$E_d = E_o \exp[-\tau_d m^{ad}] \tag{2}$$

$$E_o = E_{sc} [1 + 0.033 \cos(360^\circ \frac{(n-3)}{365})] \tag{3}$$

$$m = 1 / [\sin\beta + 0.50572(6.07995 + \beta)^{-1.6364}] \tag{4}$$

$$ab = 1.219 - 0.043\tau_b - 0.151\tau_d - 0.204\tau_b\tau_d \tag{5}$$

$$ad = 0.202 - 0.852\tau_b - 0.007\tau_d - 0.357\tau_b\tau_d \tag{6}$$

where, E_b = Beam normal irradiance

E_d = Diffuse horizontal irradiance

E_o = Extraterrestrial normal irradiance

m = Air mass

τ_b, τ_d = Beam and diffuse optical depths

ab, ad = Beam and diffuse air mass exponents

E_{sc} = Solar constant ($\approx 1,367W/m^2$)

n = The day of year (1 for January 1, 32 for February 1, etc.)

β = Solar altitude

지표면에 도달하는 일사량은 계절에 따른 태양고도각과 대기의 상태에 의해 결정된다. 대기의 상태는 기상상태에 따라 달라질 수 있으므로 대기권의 기상조건에 의해 지표면에 도달하는 일사량의 차이가 발생할 것으로 판단된다.

태양광 발전시스템의 생산량은 수평면 일사량을 기본으로 하여 태양광 패널의 설치 방위와 경사각도에 따른 일사량에 의해 그 생산량이 결정난다. 따라서 수평면 일사량 예측은 태양광발전시스템의 생산량 예측에 필수적이다.

Table 2. Correlation Coefficient

	Solar Irradiance	Average Temperature	Minimum Temperature	Maximum Temperature	Precipitation Duration	Precipitation	Maximum Wind Speed	Average Wind Speed	Minimum Relative Humidity	Average Relative Humidity	Sunshine Duration	Continued Sunshine Duration	Cloud Cover
Solar Irradiance	1.000												
Average Temperature	.432	1.000											
Minimum Temperature	.353	.990	1.000										
Maximum Temperature	.509	.991	.967	1.000									
Precipitation Duration	-.450	.037	.081	-.011	1.000								
Precipitation	-.276	.114	.141	.081	.690	1.000							
Maximum Wind Speed	.015	-.201	-.194	-.204	.294	.190	1.000						
Average Wind Speed	-.064	-.277	-.257	-.290	.307	.166	.797	1.000					
Minimum Relative Humidity	-.524	-.299	.377	.210	.535	.394	-.030	-.007	1.000				
Average Relative Humidity	-.396	.362	.429	.291	.567	.411	.017	-.047	.905	1.000			
Sunshine Duration	.590	.824	.807	.827	.063	.160	.015	-.103	.138	.219	1.000		
Continued Sunshine Duration	.843	.056	-.026	.143	-.520	-.333	.043	-.008	-.677	-.559	.162	1.000	
Cloud Cover	-.543	.254	.313	.180	.508	.331	-.039	.004	.659	.585	.143	-.828	1.000

3. 통계기법을 활용한 일사량 예측 모델

3.1. 연구방법

일사량은 관측지점의 위도에 따라 달라지므로, 본 연구에서는 2016년 1월 1일부터 12월 31일까지의 1년의 기상데이터를 대상으로 통계기법 중 하나인 다중회귀분석을 실시하였다. 통계에 활용된 데이터는 기상청 서울관측소에서 관측된 2016년 일 기상자료를 수집하여 분석하였다. 일사량과 밀접한 관련이 있을 것으로 예상되는 요소로 가조시간, 합계일조시간, 평균전량을 선정하였으며, 나머지 요소는 일사량에 직접적인 상관성은 낮지만 대기의 기상상태를 결정짓는 요인으로 작용할 수 있으므로 온도, 습도, 강수여부, 강수지속시간, 풍속 등을 독립변수로 선정하였다. 또한 일사량은 관측지점의 위도에 따라 차이가 발생하나, 본 연구에서는 제외하였다. 위도에 따른 일사량 예측은 통계기법을 활용한 일사량 예측모델의 신뢰도가 검증된 후 추후 진행하고자 한다.

통계기법은 SPSS Statistic 23을 통해 분석되었으며 기상요소에 따른 일사량 예측을 검증하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 분석에 사용된 독립변수들간의 강한 상관관계를 나타내는 다중공선성 문제를 검토하기 위하여 상관관계 분석을 실시하여 독립변수들 간에 Pearson 상관계수가 0.9를 넘는 독립변수를 회귀분석에서 제외하였다. 이 변수들 중 종속변수와 상관계수가 가장 높은 독립변수를 제외한 나머지 독립변수를 분석에서 제외하였다. 1차적으로 정리된 독립변수를 대상으로 다중회귀분석을 실시하였으며, 회귀분석 방법은 독립변수 9개항을 모두 독립변수로 설정하고 이 중 기여도가 낮은 독립변수를 제거하는 후진제거방식을 채택하였다. 제거 기준은 유의확률이 0.1이상이 되면 제거되는 것으로 설정하였다.

3.2. 통계분석 결과

선정된 독립변수들간의 다중공선성 분석을 위해 변수들간의 상관관계를 분석한 결과는 <Table 2>와 같다. 독립변수들간 Pearson상관

계수 0.9를 넘는 변수는 최소온도, 최고온도, 평균온도, 최소습도, 평균습도로 나타났다. 다중공선성 문제를 해결하기 위해 최소온도, 최고온도, 평균온도 중 일사량과 상관계수가 가장 높은 최고온도를 제외한 나머지 독립변수는 분석대상에서 제외하였다. 또한 최소습도와 평균습도 중 평균습도도 동일한 이유로 분석에서 제외하였다.

Table 3. Variables Entered/Removed

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Maximum Temperature, Minimum Relative Humidity, Precipitation Duration, Precipitation, Maximum Wind Speed, Average Wind Speed, Sunshine Duration, Continued Sunshine Duration, Cloud Cover	-	Enter
2	-	Maximum Wind Speed	Backward (criterion: Probability of F-to-remove >= .100)

Table 4. Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.972	.945	.944	1.41732	
2	.972	.945	.944	1.41648	1.646

<Table 3>은 초기에 입력된 독립변수와 후진제거방식에 의해 제거된 독립변수를 나타내며 최고 풍속이 제거되었다. 이에 따라 일사량에 영향을 미치는 요소로는 최고온도, 최소상대습도, 계속강수시간, 일일강수량, 평균풍속, 가조시간, 합계일조시간, 운량 등 총 8개의 기상요소가 선정되었다. <Table 4>를 보면 결정계수(R^2)과 조정된 결정계수(Adjusted R^2)가 각각 0.945, 0.944로 매우 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. Durbin-Watson 값¹⁾을 확인한 결과 1.646으로 2에 근접하여 잔차(residual)간의 상관관계가 없어 회귀모형에 적합한 것으로 나타나고 있다. 분석분석(ANOVA)은 종속변수인 일사량의 분산과 독립

1) Durbin-Watson값은 데이터들의 1차 자기상관을 나타내는 지표로, 0~4의 범위를 가진다. 0은 양의 자기상관, 2는 독립, 4는 음의 자기상관을 나타내며, 정확한 기준은 없으나 보통 1.5~2.5사이이면 독립으로 판단하며, 1보다 작거나 3보다 큰 자기상관이 있어 회귀모형에 적합하지 않은 것으로 판단한다.

변수인 기상관측요소의 관계를 사용하여 선형회귀분석의 성능을 평가하고자 하는 방법이다. 결과는 <Table 5>와 같다. 후진제거법에 의해 최고 풍속이 제거되면서 F값이 683.664에서 769.965으로 커지므로 잔차들에 의해 설명되는 변동보다 회귀선에 의해 설명되는 변동이 크다는 의미로 회귀식에 대한 의미가 더욱 유의해진 것을 알 수 있다. 또한 유의확률이 0.000으로 0.05보다 작으므로 회귀모델이 적합한 것을 알 수 있다.

Table 5. ANOVA

Model	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	12360.033	9	1373.337	683.664	.000
Residual	713.120	355	2.009		
Total	13073.153	364			
2 Regression	12358.874	8	1544.859	769.965	.000
Residual	714.279	356	2.006		
Total	13073.153	364			

Table 6. Coefficients of The Final Model

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Collinearity Statistic	
	B	Std. Error				Tolerance	VIF
(Constant)	-13.269	.914		-14.523	.000		
Maximum Temperature	.035	.014	.064	2.489	.013	.225	4.436
Precipitation Duration	-.089	.031	-.058	-2.815	.005	.362	2.760
Precipitation	-.036	.010	-.063	-3.612	.000	.504	1.983
Average Wind Speed	.281	.127	.032	2.216	.027	.729	1.372
Minimum Relative Humidity	-.053	.008	-.132	-6.806	.000	.406	2.466
Sunshine Duration	1.472	.078	.440	18.946	.000	.284	3.521
Continued Sunshine Duration	1.112	.047	.714	23.699	.000	.169	5.911
Cloud Cover	.228	.055	.111	4.114	.000	.212	4.710

다중회귀분석한 결과는 <Table 6>과 같고, 식 (7)과 같은 회귀식을 얻을 수 있었다.

$$Y = -13.269 + 0.035X_1 - 0.089X_2 - 0.036X_3 + 0.281X_4 - 0.053X_5 + 1.472X_6 + 1.112X_7 + 0.228X_8 \quad (7)$$

- where, Y = Solar Irradiance(MJ/m²)
 X₁ = Maximum Temperature(°C)
 X₂ = Precipitation Duration(hour)
 X₃ = Precipitation(mm)
 X₄ = Average Wind Speed(m/s)
 X₅ = Minimum Relative Humidity(%)
 X₆ = Sunshine Duration(hour)
 X₇ = Continued Sunshine Duration(hour)
 X₈ = Cloud Cover(1/10)

일간 일사량에 대한 회귀식 (7)을 보면 기상관측요소 중 일사량에

미치는 영향력이 큰 변수는 가조시간>합계일조시간>평균풍속>평균전운량>강수 계속시간>최소상대습도>일강수량>최고기온 순으로 나타났다. 최고기온, 평균풍속, 가조시간, 합계일조시간, 평균전운량은 일사량과 양의 상관관계를 가지며, 강수계속시간, 일강수량, 최소상대습도는 음의 상관관계를 나타낸다. 특히 영향력이 높은 일조시간, 가조시간, 최소상대습도, 전운량의 경우 t-검정결과 유의확률이 0.000으로 나타나, 일사량에 매우 유의한 변수들임을 알 수 있다. Fig.1~8은 영향력이 큰 변수별로 일사량과 기상변수의 결정계수 R²을 나타낸 그래프이다.

가조시간과 합계 일조시간은 일사량과 직접적인 영향력이 있으며, 특히 합계 일조시간은 태양이 구름이나 다른 기상상태에 의해 막히는 것 없이 지속적으로 태양이 수평면을 비추는 시간을 의미하는 것으로 합계 일조시간이 길다는 것은 대기가 맑아 구름이나 강수나 강설 등에 의해 지장을 받지 않는다는 것이다. 앞선 <Table 2>에 나타난 바와 같이 합계 일조시간과 평균 전운량과의 상관계수는 -0.828로 그 상관관계가 매우 높음을 알 수 있다. 합계 일조시간은 관측자료를 통해 얻을 수 있으나, 기상예보 자료에서는 이를 미리 추정할 수 없으므로 운량 정보를 통해 유추할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 일조시간은 매 시간 태양의 고도각과 방위각을 계산을 통해 예측할 수 있으므로 태양의 남중고도, 혹은 일출일몰시간을 통해 유추할 수 있을 것이다. 평균 풍속, 전운량, 최고기온은 일기 예보에서 제시하는 항목으로 일기예보의 정확성에 따라 일사량 모델의 정확성이 달라질 것으로 예상된다. 그러나 강수 계속시간의 경우 본 연구에서는 관측데이터를 통해 일사량을 예측한 것으로, 일기예보에서 예측할 수 없으므로 이에 대한 수정이 필요할 것으로 판단된다.

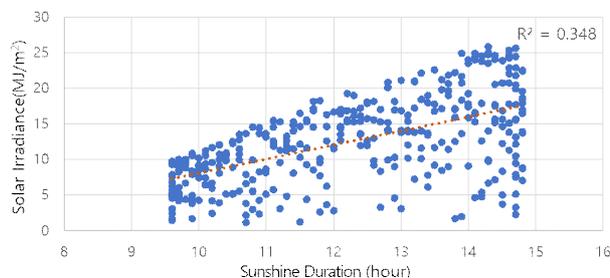


Fig. 1. Relationship of Solar Irradiance with Sunshine Duration

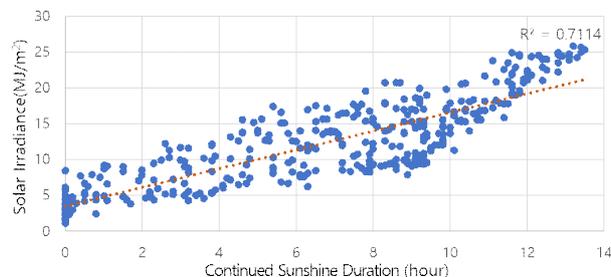


Fig. 2. Relationship of Solar Irradiance with Continued Sunshine Duration

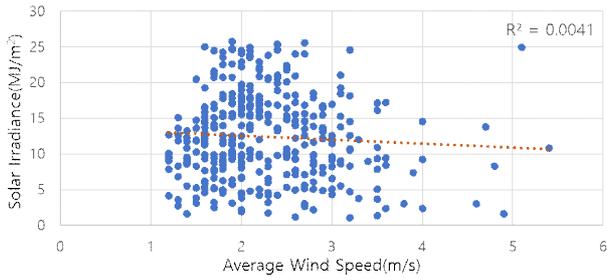


Fig. 3. Relationship of Solar Irradiance with Average Wind Speed

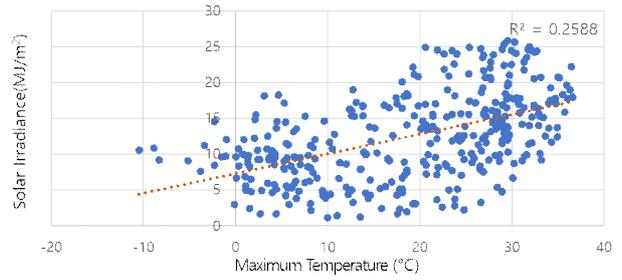


Fig. 8. Relationship of Solar Irradiance with Maximum Temperature

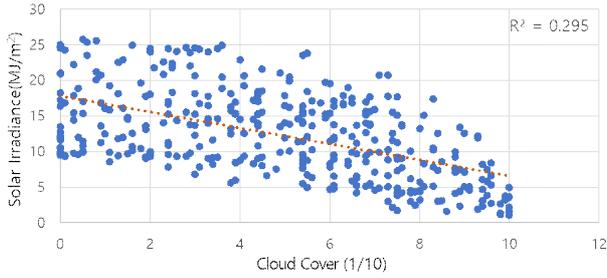


Fig. 4. Relationship of Solar Irradiance with Cloud Cover

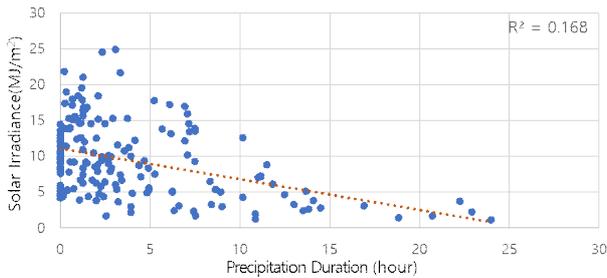


Fig. 5. Relationship of Solar Irradiance with Precipitation Duration

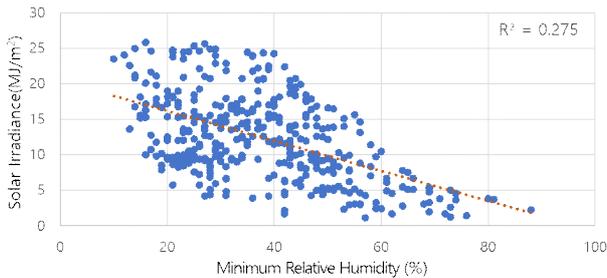


Fig. 6. Relationship of Solar Irradiance with Minimum Relative Humidity

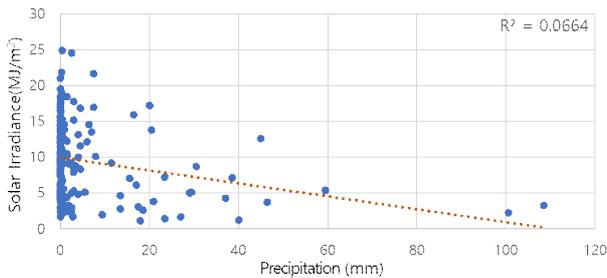


Fig. 7. Relationship of Solar Irradiance with Precipitation

최소 상대습도는 구름의 형성이나 대기 중 수증기 입자로 인해 일사가 산란되는 정도를 유추할 수 있다. 즉, 최소 상대습도가 낮다는 것은 대기가 건조하여 빛이 산란되거나 확산되는 양이 적고, 직달일사의 형태로 수평면에 도달할 수 있다는 것으로 유추할 수 있다. 관측 데이터를 통한 회귀분석에서는 일사량과 상관계수가 높은 최소 상대습도가 채택되었지만, <Table 2>에 나타난 것과 같이 최소상대습도와 평균상대습도는 상관계수가 0.905로 매우 높은 상관관계를 나타내므로 예보된 평균습도로 대체가능할 것이다.

4. 일사량 예측 모델의 신뢰성 검증

일사량 예측 회귀식의 신뢰성을 검증하기 위하여 2017년 1월 1일부터 10월 31일까지 관측된 기상데이터를 대상으로 하였으며, 이 중 일부 관측항목이 빠진 데이터는 제외하고 유효데이터 300일을 대상으로 회귀식에 적용하여 오차를 비교검증하였다.

예측모델과 관측모델의 정확도 검증을 위해 본 연구에서는 ASHRAE에서 제시하고 있는 CVMSE값을 활용하였다. CVMSE는 건물의 에너지 절약을 위해 시뮬레이션 분석할 경우 관측값과 예측값의 정확도 비교에 사용되는 것으로 ASHRAE Guideline 14-2014에 따르면 시계열 데이터에 대해서는 CVMSE ±30% 이내, 월간 데이터에 대해서는 ±15% 이내를 적정기준으로 제시하고 있다. 기존 연구에서는 예측 모델의 정확성 평가에서 활용되는 값의 경우 정확한 범위가 나와있지 않은 경우가 많아 본 연구에서는 ASHRAE에서 제시한 값을 활용하여 정확도를 검증하는데 사용하였다. 또한 본 연구에서 예측된 데이터는 일간 데이터로 ASHRAE에서는 일간데이터에 관한 기준은 제시하고 있지 않아, 두 기준을 모두 참고하였다. CVMSE는 오차에 의한 제공근으로 예측값과 실측값의 다양성에 대한 정규 측정치로 식 (8)에 의해 구할 수 있다.

$$CVMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} / \bar{y} \times 100 \quad (8)$$

where, CVMSE = The coefficient of variation (CV) of the root mean-square error (RMSE)

y_i = Observed value

\hat{y}_i = Regression model's predicted value

\bar{y} = Arithmetic mean of the sample of observations

n = Number of data points or periods

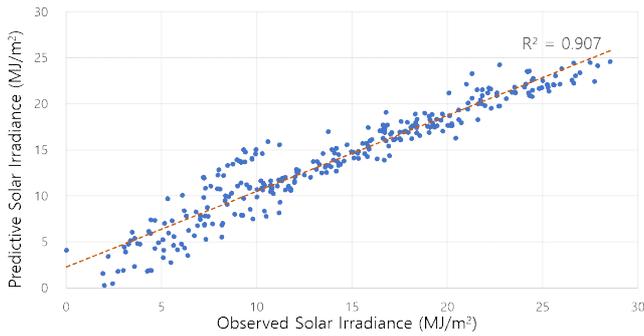


Fig. 9. Predictive and Observed Solar Irradiance Comparison.

관측값과 예측값을 비교한 결과는 Fig. 9와 같으며, 이 때 결정계수 R^2 은 0.907으로 두 값들 간의 상관관계가 적합하다고 판단하였다. CVRMSE 값은 15%로 시계열 데이터 기준을 만족하고 있으며, 월간 데이터 기준 적용 시 기준값을 만족하기는 하나, 분석데이터의 표본 수 증가 및 독립변수인 기상관측요소의 재검토 등 예측식의 정확도 향상을 위한 최적화 과정이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 향후 태양광발전시스템의 생산량 예측에 활용하기 위하여 관측기상데이터를 활용한 일사예측모델을 제시하고자, 서울지역의 1년간 관측된 기상데이터를 이용하여 일사예측모델을 제시하였다.

온도, 습도, 강수여부, 강수지속시간, 풍속, 가조시간, 운량 등 기상관측요소 12개를 대상으로 상관관계 분석을 실시하여 다중공선성 문제를 일으키는 최소온도, 평균온도, 평균습도 등 3개의 변수를 제거한 후 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 방법은 9개의 독립변수를 모든 변수를 대상으로 입력하고 후진제거하는 방식으로 진행하였다. 그 결과 최고풍속은 예측값에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 제거되었다. 남은 8개의 변수를 대상으로 회귀식 모형을 제시하였다.

일사량에 영향력이 큰 변수는 가조시간>합계일조시간>평균풍속>평균전운량>강수 계속시간>최소상대습도>일강수량>최고기온순으로 나타났다. 제시된 회귀식을 관측된 기상요소를 통해 신뢰도 검증을 실시한 결과 결정계수는 0.907, CVRMSE는 15%로 신뢰도가 확보된 것으로 판단되었다. 그러나 더 높은 정확성을 높이기 위해서는 더 많은 데이터를 활용하여 일사량 예측 모델을 최적화해야 할 것이다.

또한 향후 기상예보데이터를 통한 일사량 검증 모델 제시에 본 연구에서 제시된 독립변수를 기초로 예측 모델을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 연구에는 서울 이외의 지역의 기상데이터를 포함하여 장기간의 관측 기상데이터를 기초로 하여 신뢰도가 높은 예측 모델을 제시하기 위한 최적화 과정이 진행될 것이다.

Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded

by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(NRF-2017R1C1B2011791)

Reference

- [1] Huang, Jing, Davy, Rovert, "Predicting Intra-hour Variability of Solar Irradiance using Hourly Local Weather Forecasts", Solar Energy, Vol. 139, 2016
- [2] Akarlan, Emre, Hocaoglu, Fatih Onur, "A Novel Method Based on Similarity for Hourly Solar Irradiance Forecasting", Renewable Energy, Vol. 112, 2017
- [3] Murata, Akinobu, Ohtake, Hideaki, Oozeki, Takashi, "Modeling of Uncertainty of Solar Irradiance Forecasts on Numerical Weather Predictions with the Estimation of Multiple Confidence Intervals", Renewable Energy Vol. 117, 2018
- [4] Neelamegam, Premalatha, Amirtham, Valan Arasu, "Prediction of Solar Radiation for Solar Systems by using ANN models with Different Back Propagation Algorithms", Journal of Applied Research and Technology, Vol. 14, 2016
- [5] 안주호, 임제무, "PLS 회귀분석을 이용한 북촌한옥마을 이미지 영향요인 분석-내외국인 관광객 비교분석을 중심으로", 대한건축학회논문집 계획계, 제 29권 제 11호, 2013 // (An, Juh-Ho, Won, Jai-Mu, "An Analysis on the Affecting Factors of the Image of Bukchon Hanok Viliage Using PLS Regression Analysis- Focus on Comparative Analysis for Korean and Foreign Visitors" Journal of the Architectural Institute of Korea Planning& Design, Korea, Vol.29, No. 11, 2013)
- [6] 문용준, 노광철, 오명도 "다중회귀분석을 통한 PMV 모델의 단순화", 설비공학논문집, 제 19권 제 11호, 2007 // (Moon, Young-Jun, Noh, Kwang-Chul, Oh, Myung-Do, "Simplification of PMV through Multiple Regression Analysis", Korean Journal of Air-Conditioning and Refregeration Engineering, Korea, Vol.19, No. 11, 2007)
- [7] ASHARE, ASHRAE Handbook- Fundamentals, 2009
- [8] ASHARE, ASHRAE Guideline 14-2014, Measurement of Energy, Demand, and Water Saving, 2014
- [9] 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/>
- [10] 김진효, 김민휘, 권오현, 석유진, 정재원, "우리나라 지역별 청명도 예측 모델을 이용한 월평균 수평면 일사량 산출", 한국태양에너지학회 논문집, 제 30권, 제 2호, 2010// (Kim, Jin-Hyo, Kim, Min-Hwi, Kwon, Oh-Hyun, Seok, Yoon-Jin, Jeong, Jae, Weon, "Gemeration of Montyl Averaged Horizontal Radiation Based on a Reginoal Clearness Estimating Model" Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No. 2, 2010)
- [11] 조덕기, 윤창열, 김광득, 강용혁, "국내 태양광시스템 설치지역을 위한 일조시간에 의한 일사예측에 관한 연구" 한국태양에너지학회 논문집 제31권 제4호, 2011// (Jo, Dok-Ki, Yun, Chang-Yeol, Kim, Kwang-Deuk, Kang, Young-Heack, "A Study on the Estimating Solar Radiation Using Hours of Bright Sunshine for the Installation of Photovoltaic System in Korea" Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.31, No. 4, 2011)
- [12] 조덕기, 윤창열, 김광득, 강용혁, "법선면 직달일사량 예측기법을 이용한 한반도에서의 태양열발전단지 건설을 위한 최적지 선정에 관한 연구" 한국태양에너지학회 논문집, 제 32권 제 3호, 2012 // (Jo, Dok-Ki, Yun, Chang-Yeol, Kim, Kwang-Deuk, Kang, Young-Heack, "A Study on the Estimating Direct Normal Insolation Using Horizontal Global Inzolation for Solar Thermal Generation System Installation in Korea", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No. 3, 2012)