

운량과 일조시간에 의한 태양자원 예측

조덕기*, 윤창열*, 김광득*, 강용혁*

*한국에너지기술연구원(dokkijo@kier.re.kr / yuncy@kier.re.kr / kdkim@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

Solar Radiation Estimation Using Cloud Cover and Hours of Bright Sunshine

Jo, Dok-Ki*, Yun, Chang-Yeol*, Kim, Kwang-Deuk*, Kang, Young-Heack*

*Korea Institute of Energy Research(dokkijo@kier.re.kr / yuncy@kier.re.kr / kdkim@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

Abstract

In this work a new correlation has been made to predict the solar radiation for 16 different areas over Korea by estimating the regression coefficients taking into account cloud hours of bright sunshine.

Particularly, the multiple linear regression model proposed shows reliable results for estimating the global radiation on a horizontal surface with monthly average deviation of -0.26 to $+0.53$ % and each station annual average deviation of -1.61 to $+1.7$ % from measured values.

Keywords : 수평면 전일사량 (Global Radiation on Horizontal Surface), 운량 (Cloud Cover), 일조시간(Hours of Bright Sunshine), 중회귀모형 (Multiple Linear Regression Model)

1. 서론

최근에 태양에너지사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 해당지역에 대한 정확한 일사자료가 매우 절실히 요구되고 있다. 그러나 일사측정 지역이 일부지역에만 국한됨에 따라 우리나라 전 지역에 대한 일사량에 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

따라서 일사량을 측정하지 않는 지역들에

대하여 이들 근접지역에서 측정된 일사자료와 일조시간과의 상관관계를 유도하여 지역 상수를 산출하고, 이 상수를 미측정 지역에 적용하여 해당지역의 일사량을 예측하고자 하였으며, 또한 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여, 그 지역 측정자료의 질적수준을 평가하는 보편으로도 이용하고자 하였다.

2. 일사예측 상관식 산출

예측기법에 적용되는 인자로서는 해당지역 수평면 전일사량과 운량, 일조시간으로 표 1에서 보는바와 같이 전국 주요 16개 지역을 선정하여 이들 지역에서 '82.1 ~ 2010.12 기간 동안에 측정된 28년간의 1일 데이터(30,660개)를 이용하였다.

또한, 이들 인자 중 수평면 전일사량은 한국에너지기술연구원 측정네트워크에서 미국 Eppley사에서 제작한 수평면일사계와 동사의 적분기록장치, 그리고 Vaisala사의 데이터수집장치에 의해 관측되었다. 또한 태양의 직사광이 지표면에 비친 시간인 일조시간과 하늘을 덮고 있는 구름의 양인 운량 관련 기상자료는 동 기간동안에 발행한 “기상년·월보” 1일 자료를 사용하였으며, 그 외에 대기권밖 일사량은 식 (3)에서 계산된 값을 취하였다.

월평균 1일 대기권밖 일사량은 다음 식 의해 산출할 수 있다.

$$H_0 = 24 \times 3600/\pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360d/365)] \times [\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + 2 \pi \omega_s / 360 \cdot \sin \phi \sin \delta] \quad (3)$$

여기서 G_{sc} : 태양상수 ($1,353 \text{ W/m}^2$)

d : 통산일(通算日)

ϕ : 해당지방의 위도

δ : 일적위

$$= 23.45 \sin(360 \cdot 284d/365)$$

ω_s : 일몰시간각

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$$

본 논문에서는 지표면에 입사되는 수평면 전일사량을 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주는 여러 독립변수, 즉, 태양이 구름이나 안개 등에 차단되지 않고 지표면에 비치는 시간인 일조시간과 하늘을 덮고 있는 구름의 양(운량)을 선택하는 중회귀모형의 도출을 시

도하였다. 이 모형은 n 개의 데이터에 대하여,

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (4)$$

$[\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)]$ 이고, 서로 독립]
 $i=1, 2, \dots, n$

으로 표현된다.

먼저 중회귀모형의 두 개 독립변수에 대한 회귀분석을 고려해 보면, 종속변수 y 와 두 개의 독립변수 x_1 과 x_2 사이에 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$H = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad (5)$$

H : 해당 관측지의 월별 1일 수평면 전일사량

x_1 : 해당 관측지의 월별 1일 일조율

x_2 : 해당 관측지의 월별 1일 운량

으로 표현된다. 또한 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 미지의 모수이며, ε 는 측정오차로서 $N(0, \sigma^2)$ 의 분포에 따르고 오차항간에는 상호 독립이라고 가정한다.

따라서, 식 (5)을 토대로 해당 지역의 지표면에 입사하는 수평면 전일사량을 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주는 독립변수로 일조시간과 운량을 선택하여 독립변수와 종속변수간의 관련성을 함수의 형태로서 표 4에서 보는바와 같이 우리나라 주요지역과 그 인접지역에서 공히 적용할 수 있는 기후지역상수 β_1, β_2 값을 중회귀모형식 예를 월별로 제시하였다.

3. 시뮬레이션에 의한 예측치와의 비교분석

우리나라 주요 지역별로 임의의 기간의 수평면 전일사량을 예측하기 위한 시뮬레이션을 일사-일조시간, 운량에 의한 방법을 적용하여 주요 16개 지역을 선정하여 1982 ~ 2009년도에 측정된 실측일사량과 비교하였으

표 2. 우리나라 주요 지역별 수평면 전일사량 - 일조시간, 운량 지역상수 값

월	지역 상수	춘천	강릉	서울	원주	서산	청주	포항
		β_0	4.0123	3.78878	4.08755	4.33557	3.7074	3.88566
1월	β_1	-0.12098	-0.07519	-0.17265	-0.12889	-0.01501	-0.07752	-0.12887
	β_2	0.7595	0.84828	0.7225	0.83808	0.94959	0.87588	0.92663
	R^2	0.7916	0.83018	0.7225	0.80085	0.81041	0.80507	0.85329
	β_0	4.32894	3.33196	4.78913	4.81698	4.20869	5.33219	3.3957
2월	β_1	-0.05961	0.06605	-0.12461	-0.07162	-0.01024	-0.16719	0.00403
	β_2	1.03666	1.17202	0.97439	1.09914	1.17842	1.01821	1.25759
	R^2	0.79828	0.81841	0.7936	0.82849	0.84823	0.83843	0.86667
	β_0	6.06735	4.25297	6.60001	6.02189	4.87031	4.89886	4.75548
3월	β_1	-0.11469	0.05454	-0.23942	-0.09927	-0.00657	-0.0422	-0.02237
	β_2	1.24713	1.44361	1.16255	1.35681	1.44152	1.35178	1.46403
	R^2	0.85409	0.85683	0.80945	0.85287	0.87903	0.8181	0.88508
	β_0	7.35869	5.08324	8.34327	7.53422	5.88709	6.94011	6.23477
4월	β_1	-0.13446	0.10396	-0.31636	-0.1367	5.54E-04	-0.1473	-0.07846
	β_2	1.36884	1.61736	1.29147	1.464	1.5954	1.42283	1.57037
	R^2	0.84794	0.87001	1.29147	0.86594	0.9	0.8571	0.89544
	β_0	10.52949	4.52691	8.89012	9.32314	6.31756	8.6506	7.85747
5월	β_1	-0.36791	0.26396	-0.31644	-0.23936	0.02546	-0.19912	-0.143
	β_2	1.33022	1.77656	1.40503	1.49978	1.67559	1.44187	1.56177
	R^2	0.86208	0.90029	0.8607	0.87734	0.89115	0.8757	0.88138
	β_0	10.70779	6.35214	10.6133	10.40283	8.12459	11.2006	9.81604
6월	β_1	-0.32822	0.10563	-0.43978	-0.24599	-0.06814	-0.36248	-0.24884
	β_2	1.39808	1.70826	1.32828	1.49635	1.60319	1.29084	1.45004
	R^2	0.8681	0.89706	0.86042	0.85865	0.88933	0.84952	0.84684
	β_0	10.81123	4.80073	9.16101	10.26601	8.76526	10.07769	8.33448
7월	β_1	-0.40932	0.22465	-0.36013	-0.30739	-0.15717	-0.31439	-0.14171
	β_2	1.47416	1.75317	1.40384	1.59209	1.5462	1.36254	1.50511
	R^2	0.8295	0.86566	0.79878	0.85174	0.8612	0.83481	0.86475
	β_0	9.1552	6.86319	8.02624	9.7071	8.63598	6.94655	5.96009
8월	β_1	-0.25125	-0.05911	-0.23208	-0.28279	-0.19438	-0.07687	0.05379
	β_2	1.40527	1.54574	1.29	1.43562	1.39473	1.46516	1.582
	R^2	0.85294	0.88568	0.80246	0.87065	0.8856	0.87262	0.8676
	β_0	6.7038	4.85352	6.35526	8.04592	6.616	6.34575	4.93419
9월	β_1	-0.1107	0.0504	-0.12982	-0.20419	-0.04522	-0.05263	0.02253
	β_2	1.29879	1.45489	1.22669	1.32014	1.30431	1.28797	1.49581
	R^2	0.8375	0.88878	0.81506	0.85092	0.86776	0.84555	0.87208
	β_0	4.59908	2.79391	4.52968	4.5209	3.97642	3.6485	2.98785
10월	β_1	-0.01919	0.1566	-0.04148	0.05496	0.09105	0.08679	0.17078
	β_2	1.145	1.3078	1.04608	1.22229	1.23456	1.21798	1.3144
	R^2	0.77054	0.87536	0.75327	0.78142	0.82983	0.80681	0.86339
	β_0	3.14402	3.14454	3.80977	4.10029	3.89617	3.58579	2.29849
11월	β_1	-0.02947	-0.0345	-0.12309	-0.09355	-0.0372	-0.06793	0.08716
	β_2	0.97283	0.9836	0.80844	0.93176	0.97618	0.94586	1.10665
	R^2	0.85095	0.88162	0.79416	0.83204	0.41913	0.82703	0.84704
	β_0	3.835	4.02523	3.82376	3.59789	3.59879	2.82855	2.59612
12월	β_1	-0.13529	-0.11885	-0.13688	-0.07131	-0.0377	-0.02386	0.03134
	β_2	0.68704	0.7018	0.59912	0.80016	0.82881	0.84431	0.9251
	R^2	0.83801	0.83386	0.73469	0.84168	0.78766	0.8104	0.81606

* $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2$

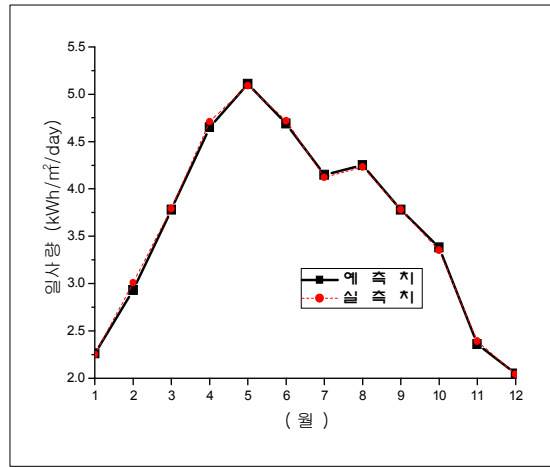


그림 1. 우리나라 주요 16개 지역의 월별 일평균 수평면 전일사량 예측치와 실측치

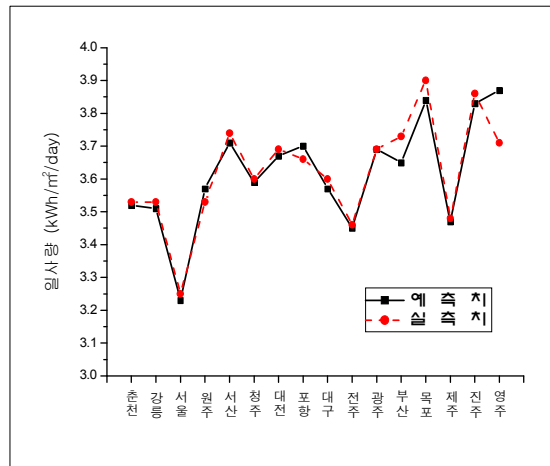


그림 2. 우리나라 주요 16개 지역의 연평균 1일 수평면 전일사량 예측치와 실측치

며, 그 비교결과를 표 3과 그림 1과 그림 2에 제시하였다.

일사-일조시간, 운량에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 우리나라 주요 16개 지역에서의 연평균 월별 오차가 -2.7 ~ +0.9% 범위로 나타나났으며, 지역별 연평균 오차는 -2.1 ~ +4.3% 범위로 나타나 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 우리나라 주요지역에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상매개변수인 일조시간, 운량과의 상관관계를 도출하여 일사량 관측이 수행되지 않은 인접 지역들에 적용할 뿐만 아니라 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여 태양광 시스템 설치를 위한 해당지역의 일사량 예측과 측정자료의 질적수준을 평가하는 보편으로도 이용하고자 하였다.

이에 대한 연구결과로서, 일사-일조시간, 운량에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 우리나라 주요 16개 지역에서의 연평균 월별 오차가 $-2.7 \sim +0.9\%$ 범위로 나타나났으며, 지역별 연평균 오차는 $-2.1 \sim +4.3\%$ 범위로 나타나 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

그러나, 앞으로는 본 연구를 바탕으로 일사와 일조시간의 관계뿐 만아니라 일조시간과 운량, 온도, 습도 등에 변화에 일사량의 변동형태 등 각종 기후 조건과의 관련성도 규명해 나아갈 계획이다.

후 기

본 연구는 국가 출연사업인 주요사업의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 : GP 2009-0051).

참 고 문 헌

1. H.P. Garg, Treatise on Solar Energy, John Wiley New York, 1982.
2. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
3. 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2009.