

국내 운량과 일조시간에 의한 태양광에너지 예측에 관한 연구

조덕기*, 윤창열*, 김광득*, 강용혁*

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

A Study on the Estimating Solar Radiation in Korea 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

It is necessary to estimate the regression coefficients in order to predict the daily global radiation on a horizontal surface. Therefore many different equations have proposed to evaluate them for certain areas. 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. 서 론

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 일사량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

일반적으로 일사자료가 없는 지역에서는 기상조건이 유사한 지방의 측정자료를 사용하는 것이 통상적이거나, 그렇지 못한 지역에서는

그 지역의 일조율이나 운량 등 관련 기상자료를 이용하여 일사량을 예측하는 방법이 매우 유효하게 널리 사용되고 있다. 즉, 태양으로부터 지구표면에 도달되는 복사에너지는 대기권을 통과하는 사이에 전리층과 오존층에 흡수되며, 또한 대기중의 구름이나 수증기, 이산화탄소, 먼지 등에 의해 상당량이 흡수되거나 산란되어 지표면에 도달되고 있다. 이와 같이 일사량은 일조시간 중에서 해가 구름이 가리지 않은 시간수인 일조시간과 햇빛을 차단하는 역할을 하는 구름의 양인 운량에 의해 크게 달라짐에 따라 많은 학자들은 일사량과 이들 관련 기상매개변수사이에 함수관계가 있을 것으로 간주하여 이들 간의 상관관계¹⁾를 오래 전부터 연구하여 왔다.

따라서 본 논문에서는 일사량을 측정하지 않는 지역들에 대하여 이들 근접지역에서 측정된 일사자료와 운량, 일조시간과의 상관관계를 유도하여 일사량을 예측하고자 하였으며, 또한 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여, 그 지역 측정자료의 질적수준을 평가하는 보편으로도 이용하고자 하였다.

2. 일사에측 이론적 배경

1922년 초기에 분광학자인 Angstrom에 의해 최초로 월평균 1일 청명일사량에 대한 수평면 전일사량의 비를 그 지방의 월평균 1일 일조율 즉, 월평균 1일 가조시간에 대한 일조시간의 비와의 관계식으로 식 (1)²⁾과 같이 제시되면서 부터 일사량을 이론적으로 예측하기 위한 연구가 시작되었다. 가조시간은 일출시각부터 일몰시각까지의 시간수를 이며, 일조시간은 가조시간 중에서

해가 구름이 가리지 않은 시간수이며, 또한 청명일사량은 하늘에 구름이 완전히 덮은 상태를 운량 1로 보고, 운량이 0 ~ 0.1 사이인 하늘이 청명한 상태인 날에 지표면에 입사한 수평면 전일사량이다.

$$\frac{H}{H_c} = a' + b' \frac{n}{N} \quad (1)$$

여기서, H : 월평균 1일 수평면 전일사량
 H_c : 월평균 1일 청명일사량
 n : 월평균 1일 일조시간
 N : 월평균 1일 가조시간
 n/N : 일조율
 a', b' : 경험적 상수

그러나, 위 식은 청명일이라는 개념이 명확하지 않아 최근에 와서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 Page(1964) 및 Garg(1967)와 같은 학자들은 청명일사량 대신에 대기권밖 일사량을 근거로 한 관계식으로 식 (2)²⁾와 같이 유도하였다.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (2)$$

여기서, H₀ : 월평균 1일 대기권밖 일사량
 H/H₀ : 일사율
 a, b : 개정된 경험적 상수

이며, 월평균 1일 대기권밖 일사량²⁾은 다음 식 의해 산출할 수 있다.

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

1) H.P. Garg, Treatise on Solar Energy, John Wiley New York, 1982.
 2) Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

여기서 G_{sc} : 태양상수 ($1,353 \text{ W/m}^2$)
 n : 통산일(通算日)
 ϕ : 해당지방의 위도
 δ : 일적위
 $= 23.45 \sin(360 \cdot 284d / 365)$
 ωS : 일몰시간각
 $\cos \omega S = -\tan \phi \tan \delta$

3. 일사에측 상관식 산출

예측기법에 적용되는 인자로서는 해당지역 수평면 전일사량과 운량, 일조시간으로 표 1에서

표 1. 일사에측 시물레이션을 위한 선정지역 명세

지역명	지역번호	위도	경도	고도
춘천	101	37° 54'	127° 44'	74.0m
강릉	105	37 45	128 54	26.0
서울	108	37 34	126 58	85.5
원주	114	37 20	127 57	149.8
서산	129	36 46	126 28	19.7
청주	131	36 38	127 26	59.0
대전	133	36 22	127 22	67.2
포항	138	36 02	129 24	2.5
대구	143	35 53	128 37	57.8
전주	146	35 49	127 09	51.2
광주	156	35 10	126 53	70.3
부산	159	35 06	129 02	69.2
목포	165	34 49	126 22	36.5
제주	184	33 31	126 32	22.0
진주	192	35 12	128 06	21.5
영주	272	36 52	128 31	209.5

보는바와 같이 전국 주요 16개 지역을 선정하여 이들 지역에서 1982.1 ~ 2010.12 기간 동안에 측정된 28년간의 1일 데이터(49,056개)³⁾를 이용하였다. 또한 이들 인자 중 수평면 전일사량은 한국에너지기술연구원 측

정네트워크에서 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 사용하였다.

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 시도하였다. 이 모형은 n개의 데이터에 대하여,

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

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

으로 표현된다.

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

$$H = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (5)$$

여기서, H : 해당 관측지 월별 1일 수평면 전일사량

X_1 : 해당 관측지 월별 1일 일조율

X_2 : 해당 관측지 월별 1일 운량

3) 기상청, “기상년·월보”, 1982 ~ 2010.

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

월	지역 상수	지역															
		춘천	강릉	서울	원주	서산	청주	대전	포항	대구	전주	광주	부산	목포	제주	진주	영주
1월	β_0	4.0123	3.78878	4.08755	4.33557	3.7074	3.88566	3.29374	3.71766	4.01253	3.72289	4.26788	4.91116	4.46887	5.0843	4.78962	3.20074
	β_1	-0.12098	-0.07519	-0.17265	-0.12889	-0.01501	-0.07752	-0.04438	-0.12887	-0.13029	-0.08311	-0.09254	-0.20303	-0.08007	-0.2625	-0.15879	-0.05477
	β_2	0.7595	0.84828	0.7225	0.83808	0.94959	0.87588	0.9645	0.92663	0.79851	0.87762	0.89465	0.76565	0.92726	0.89387	0.8905	0.89918
	R^2	0.7916	0.83018	0.7225	0.80085	0.81041	0.80507	0.82024	0.85329	0.77593	0.80686	0.78207	0.72181	0.82818	0.826	0.83202	0.90978
2월	β_0	4.32894	3.33196	4.78913	4.81698	4.20869	5.33219	3.92766	3.3957	5.22851	3.65962	6.05262	6.09833	5.10642	4.56083	6.94453	4.0192
	β_1	-0.05961	0.06605	-0.12461	-0.07162	-0.01024	-0.16719	-0.01249	0.00403	-0.14137	0.01917	-0.21874	-0.27141	-0.08557	-0.13837	-0.23253	0.01931
	β_2	1.03666	1.17202	0.97439	1.09914	1.17842	1.01821	1.22379	1.25759	0.97048	1.13242	1.06206	0.97055	1.19889	1.25656	0.97663	1.05864
	R^2	0.79828	0.81841	0.7936	0.82849	0.84823	0.83843	0.85996	0.86667	0.79161	0.81025	0.82219	0.73902	0.83706	0.86714	0.80248	0.81061
3월	β_0	6.06735	4.25297	6.60001	6.02189	4.87031	4.89886	5.34509	4.75548	5.06421	5.2496	7.14373	4.53396	4.53396	5.30775	4.21735	5.49924
	β_1	-0.11469	0.05454	-0.23942	-0.09927	-0.00657	-0.0422	-0.06211	-0.02237	-0.04056	-0.08609	-0.22867	0.00831	0.00831	-0.11887	0.12987	-0.07575
	β_2	1.24713	1.44361	1.16255	1.35681	1.44152	1.35178	1.4143	1.46403	1.32818	1.35618	1.31118	1.43395	1.43395	1.49627	1.56361	1.29918
	R^2	0.85409	0.85683	0.80945	0.85287	0.87903	0.8181	0.89096	0.88508	0.84928	0.87459	0.8518	0.79359	0.79359	0.88807	0.89088	0.87683
4월	β_0	7.35869	5.08324	8.34327	7.53422	5.88709	6.94011	6.61491	6.23477	6.01109	6.6959	9.57706	6.51726	6.99003	6.60692	6.44664	5.77393
	β_1	-0.13446	0.10396	-0.31636	-0.1367	5.54E-04	-0.1473	-0.09182	-0.07846	-0.04529	-0.10863	-0.36279	-0.13728	-0.03375	-0.09645	-0.03879	-0.03518
	β_2	1.36884	1.61736	1.29147	1.464	1.5954	1.42283	1.54516	1.57037	1.48708	1.44417	1.34661	1.55243	1.63392	1.59361	1.63276	1.5598
	R^2	0.84794	0.87001	0.83722	0.86594	0.9	0.8571	0.88923	0.89544	0.88202	0.8728	0.86918	0.81739	0.90776	0.90095	0.90287	0.93288
5월	β_0	10.52949	4.52691	8.89012	9.32314	6.31756	8.6506	8.99863	7.85747	7.99571	7.33389	9.8348	9.37275	6.24752	6.28613	9.03648	6.76793
	β_1	-0.36791	0.26396	-0.31644	-0.23936	0.02546	-0.19912	-0.21652	-0.143	-0.1589	-0.06862	-0.31498	-0.32655	0.11603	0.03529	-0.19925	-0.02856
	β_2	1.33022	1.77656	1.40503	1.49978	1.67559	1.44187	1.434	1.56177	1.4882	1.52501	1.4522	1.42581	1.77719	1.73045	1.55881	1.61983
	R^2	0.86208	0.90029	0.8607	0.87734	0.89115	0.8757	0.83081	0.88138	0.8705	0.87634	0.89048	0.83652	0.92293	0.90672	0.87588	0.92104
6월	β_0	10.70779	6.35214	10.6133	10.40283	8.12459	11.2006	11.07905	9.81604	9.45405	8.5452	9.83242	9.14665	8.15963	8.53998	8.2568	8.49612
	β_1	-0.32822	0.10563	-0.43978	-0.24599	-0.06814	-0.36248	-0.37455	-0.24884	-0.21238	-0.13065	-0.26738	-0.27238	-0.0464	-0.12216	-0.09544	-0.08828
	β_2	1.39808	1.70826	1.32828	1.49635	1.60319	1.29084	1.34895	1.45004	1.42276	1.50428	1.5198	1.50677	1.70391	1.61328	1.69061	1.59722
	R^2	0.8681	0.89706	0.86042	0.85865	0.88933	0.84952	0.83061	0.84684	0.87167	0.86999	0.87755	0.8382	0.89756	0.8653	0.87381	0.86646
7월	β_0	10.81123	4.80073	9.16101	10.26601	8.76526	10.07769	9.56786	8.33448	9.18052	10.13839	9.16518	7.3192	8.40692	8.44946	7.82378	9.11663
	β_1	-0.40932	0.22465	-0.36013	-0.30739	-0.15717	-0.31439	-0.25587	-0.14171	-0.21408	-0.32956	-0.21575	-0.08317	-0.08171	-0.06247	-0.08105	-0.19585
	β_2	1.47416	1.75317	1.40384	1.59209	1.5462	1.36254	1.47865	1.50511	1.41244	1.39795	1.50747	1.53119	1.6374	1.50204	1.6776	1.60461
	R^2	0.8295	0.86566	0.79878	0.85174	0.8612	0.83481	0.83407	0.86475	0.85383	0.82698	0.82545	0.83141	0.87396	0.85793	0.87204	0.88517
8월	β_0	9.1552	6.86319	8.02624	9.7071	8.63598	6.94655	9.33128	5.96009	8.56425	7.83068	6.75144	6.41931	6.83862	8.3135	8.51605	10.21508
	β_1	-0.25125	-0.05911	-0.23208	-0.28279	-0.19438	-0.07687	-0.27014	0.05379	-0.20325	-0.13749	7.68E-04	-0.02682	0.05207	-0.16874	-0.15912	-0.37603
	β_2	1.40527	1.54574	1.29	1.43562	1.39473	1.46516	1.38001	1.582	1.33429	1.41888	1.53599	1.4715	1.57568	1.46348	1.51291	1.37359
	R^2	0.85294	0.88568	0.80246	0.87065	0.8856	0.87262	0.8493	0.8676	0.86364	0.84631	0.84183	0.81433	0.89697	0.87842	0.88	0.86734
9월	β_0	6.7038	4.85352	6.35526	8.04592	6.616	6.34575	7.1396	4.93419	5.60643	7.26629	5.95304	4.36697	5.95304	7.10758	6.37928	7.00503
	β_1	-0.1107	0.0504	-0.12982	-0.20419	-0.04522	-0.05263	-0.12491	0.02253	0.00556	-0.10431	0.05916	0.085	0.05916	-0.17587	-0.02145	-0.06725
	β_2	1.29879	1.45489	1.22669	1.32014	1.30431	1.28797	1.28365	1.49581	1.35248	1.19678	1.46719	1.46438	1.46719	1.38862	1.48392	1.30408
	R^2	0.8375	0.88878	0.81506	0.85092	0.86776	0.84555	0.85496	0.87208	0.86182	0.82452	0.90254	0.85418	0.90254	0.87751	0.88848	0.85645
10월	β_0	4.59908	2.73991	4.52968	4.5209	3.97642	3.6485	4.21417	2.98785	4.23003	3.62527	5.64632	4.13723	4.52996	4.87173	4.42157	4.15162
	β_1	-0.01919	0.1566	-0.04148	0.05496	0.09105	0.08679	0.06132	0.17078	0.06586	0.11531	-0.05391	0.0495	0.08304	-0.03731	0.07907	0.09957
	β_2	1.145	1.3078	1.04608	1.22229	1.23456	1.21798	1.20678	1.3144	1.11516	1.23285	1.10306	1.17518	1.26931	1.2714	1.31827	1.14681
	R^2	0.77054	0.87536	0.75327	0.78142	0.82983	0.80681	0.77219	0.86339	0.7921	0.81232	0.76783	0.76398	0.85646	0.85159	0.84547	0.81851
11월	β_0	3.14402	3.14454	3.80977	4.10029	3.83617	3.58579	3.59087	2.29849	2.47857	2.9603	5.24708	3.66184	4.55131	4.12406	3.42281	3.49987
	β_1	-0.02947	-0.0345	-0.12309	-0.09355	-0.0372	-0.06793	-0.03764	0.08716	0.09737	0.02236	-0.17108	-0.03665	-0.07821	-0.09864	0.0425	-0.04371
	β_2	0.97283	0.9836	0.80844	0.93176	0.97618	0.94586	0.98043	1.10665	0.99553	0.99494	0.85844	0.92759	0.94491	1.03779	1.09488	0.89509
	R^2	0.85095	0.88162	0.79416	0.83204	0.41913	0.82703	0.81524	0.84704	0.81887	0.83783	0.81251	0.76009	0.78711	0.87607	0.84419	0.82042
12월	β_0	3.835	4.02523	3.82376	3.59789	3.59879	2.82855	3.22523	2.59612	3.45286	3.35326	4.35541	3.60344	3.7986	3.77092	3.9585	3.78531
	β_1	-0.13529	-0.11885	-0.13688	-0.07131	-0.0377	-0.02386	-0.03376	0.03134	-0.04549	-0.04717	-0.11765	-0.06822	-0.03785	-0.12663	-0.05034	-0.11052
	β_2	0.68704	0.7018	0.59912	0.80016	0.82881	0.84431	0.86714	0.9251	0.74794	0.80577	0.74854	0.77059	0.84699	0.92118	0.87234	0.70896
	R^2	0.83801	0.83386	0.73469	0.84168	0.78766	0.8104	0.82842	0.81606	0.74082	0.82497	0.75713	0.77945	0.85403	0.86859	0.84219	0.88046

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

표 3. 전국 주요지역의 월별 연평균 1일 수평면 전일사량 값 (1982-2010)

(단위 : kWh/m²/day)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	2.12	2.88	3.70	4.61	5.06	5.01	4.07	4.23	3.81	3.04	2.10	1.82	3.54
강릉	2.37	2.98	3.65	4.63	5.02	4.64	3.99	3.84	3.59	3.18	2.40	2.17	3.54
서울	2.00	2.77	3.51	4.38	4.72	4.38	3.29	3.62	3.55	3.06	2.06	1.73	3.26
원주	2.13	2.87	3.64	4.59	5.01	4.85	3.98	4.17	3.78	3.20	2.19	1.9	3.53
서산	2.30	3.15	3.98	4.87	5.32	4.99	4.07	4.39	4.06	3.46	2.31	1.98	3.74
청주	2.24	3.04	3.74	4.69	5.17	4.81	4.06	4.17	3.81	3.3	2.25	1.94	3.60
대전	2.28	3.12	3.91	4.85	5.14	4.75	4.17	4.34	3.86	3.42	2.40	2.05	3.69
포항	2.47	3.15	3.8	4.76	5.12	4.70	4.09	4.15	3.5	3.29	2.59	2.32	3.66
대구	2.33	3.05	3.86	4.72	5.07	4.67	4.07	3.99	3.56	3.28	2.43	2.17	3.60
전주	2.12	2.82	3.60	4.57	4.89	4.53	3.93	4.01	3.68	3.29	2.27	1.88	3.47
광주	2.32	3.13	3.92	4.81	5.13	4.60	4.10	4.28	3.90	3.54	2.53	2.10	3.70
부산	2.59	3.28	3.84	4.63	5.01	4.61	4.21	4.42	3.63	3.45	2.70	2.39	3.73
목포	2.31	3.16	4.05	5.00	5.32	4.90	4.50	4.90	4.16	3.74	2.61	2.09	3.90
제주	1.46	2.35	3.40	4.54	5.03	4.68	4.92	4.60	3.74	3.33	2.23	1.50	3.48
진주	2.70	3.42	4.11	4.88	5.14	4.61	4.28	4.34	3.85	3.68	2.79	2.51	3.86
영주	2.25	3.01	3.83	4.88	5.30	4.87	4.18	4.27	3.99	3.34	2.37	2.08	3.70
평균	2.25	3.00	3.77	4.71	5.10	4.75	4.12	4.22	3.78	3.36	2.40	2.04	3.62

표 5. 전국 주요지역의 월별 연평균 1일 운량 값 (1982-2010)

(단위 : 1/10)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	40	39	47	45	53	61	74	65	58	48	48	43	52
강릉	35	41	50	50	56	68	75	69	62	44	39	33	52
서울	38	39	46	45	52	61	74	64	53	39	41	39	49
원주	40	43	49	48	54	63	74	66	59	44	45	41	52
서산	49	44	47	47	52	62	73	60	52	40	47	49	52
청주	44	42	47	45	50	61	71	61	55	41	45	42	50
대전	44	42	46	46	50	61	70	60	54	40	43	42	50
포항	32	38	46	45	50	63	67	61	60	42	35	28	47
대구	35	38	47	46	50	63	69	63	59	40	37	31	48
전주	46	45	48	45	50	62	70	60	54	39	44	45	51
광주	52	49	52	49	53	66	73	62	57	41	47	49	54
부산	34	39	48	49	53	65	68	59	58	41	35	28	48
목포	56	50	51	48	52	64	69	57	53	40	45	52	53
제주	73	66	61	54	56	68	62	58	60	50	56	65	61
진주	35	39	49	50	54	68	72	64	61	45	41	32	51
영주	35	39	47	46	50	62	72	63	55	40	39	33	48
평균	43	43	49	47	52	64	71	62	57	42	43	41	51

표 4. 전국 주요지역의 월별 연평균 1일 일조시간 값 (1982-2010)

(단위 : Hrs/day)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	5.4	5.6	6.4	7.0	7.2	6.4	4.7	5.5	5.7	5.6	4.5	4.8	5.7
강릉	5.9	5.6	6.1	6.6	6.8	5.3	4.5	4.8	5.1	6.1	5.5	5.9	5.7
서울	5.1	5.3	6.1	6.6	6.9	5.8	3.9	5.0	5.7	6.4	4.9	4.9	5.6
원주	4.9	5.1	5.8	6.6	6.7	5.6	4.1	5.1	5.3	5.9	4.6	4.7	5.4
서산	4.9	5.5	6.6	7.1	7.6	6.2	4.6	6.0	6.1	6.6	4.8	4.5	5.9
청주	5.3	5.6	6.5	7.3	7.6	6.3	5.0	5.8	5.7	6.5	5.1	5.1	6.0
대전	5.2	5.4	6.4	7.1	7.4	6.2	4.9	5.8	5.7	6.5	5.1	5.0	5.9
포항	6.0	5.7	6.2	6.9	7.2	5.9	5.1	5.5	4.9	6.3	5.9	6.1	6.0
대구	6.2	6.0	6.6	7.2	7.4	5.9	4.9	5.3	5.1	6.6	5.7	6.1	6.1
전주	4.8	5.1	6.1	6.9	7.0	5.6	4.4	5.3	5.4	6.3	5.0	4.5	5.5
광주	5.1	5.4	6.3	6.9	7.2	5.5	4.7	5.6	5.5	6.7	5.3	5.0	5.8
부산	6.4	5.9	6.3	6.8	7.2	5.8	5.3	6.5	5.3	6.8	6.3	6.6	6.3
목포	4.6	5.1	6.0	6.7	7.0	5.6	5.1	6.6	5.8	6.8	5.4	4.6	5.8
제주	2.3	3.4	5.2	6.3	6.8	5.6	6.3	6.3	5.2	5.8	4.1	2.7	5.0
진주	6.1	5.9	6.4	6.7	6.8	5.2	4.7	5.4	5	6.5	5.7	6.1	5.9
영주	6.2	6.2	7.2	7.8	8.3	7.2	5.5	6.1	6.1	7.0	5.7	5.9	6.6
평균	5.2	5.4	6.2	6.8	7.1	5.8	4.8	5.6	5.4	6.4	5.2	5.1	5.8

또한, $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 는 미지의 모수이며, ε 는 측정 오차로서 $N(0, \sigma^2)$ 의 분포에 따르고 오차항 간에는 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 2에서 보는바와 같이 우리나라 주요지역과 그 인접지역에서 공히 적용할 수 있는 기후지역 상수 β_1, β_2 값을 중회귀모형식으로 월별로 제시하였다.

4. 시뮬레이션 결과와 측정일사량과의 비교분석

우리나라 주요 지역별로 임의의 기간의 수평면 전일사량을 예측하기 위한 시뮬레이션을 일사-일조시간, 운량에 의한 방법을 적용

표 6. 우리나라 주요 지역별 예측치와 실측치와의 비교

(단위 : kWh/m²/day)

지역	구분 \ 월	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘천	예측치	2.13	2.91	3.73	4.63	5.06	5.04	4.06	4.25	3.79	3.04	2.11	1.81	3.55
	실측치	2.12	2.88	3.70	4.61	5.06	5.01	4.07	4.23	3.81	3.04	2.10	1.82	3.54
	오차 (%)	0.5	1.0	0.8	0.4	0	0.6	-0.2	0.5	-0.5	0	0.5	-0.5	0.3
강릉	예측치	2.37	2.99	3.67	4.63	5.04	4.63	4.01	3.86	3.58	3.19	2.40	2.17	3.55
	실측치	2.37	2.98	3.65	4.63	5.02	4.64	3.99	3.84	3.59	3.18	2.40	2.17	3.54
	오차 (%)	0	0.3	0.5	0	0.4	-0.2	0.5	0.5	-0.3	0.3	0	0	0.3
서울	예측치	1.99	2.78	3.51	4.38	4.73	4.44	3.31	3.59	3.56	3.09	2.08	1.74	3.27
	실측치	2.00	2.77	3.51	4.38	4.72	4.38	3.29	3.62	3.55	3.06	2.06	1.73	3.26
	오차 (%)	-0.5	0.4	0	0	0.2	1.4	0.6	-0.8	0.3	1.0	1.0	0.6	0.3
원주	예측치	2.21	2.94	3.69	4.65	5.04	4.89	4.05	4.17	3.92	3.30	2.27	1.96	3.59
	실측치	2.13	2.87	3.64	4.59	5.01	4.85	3.98	4.17	3.78	3.20	2.19	1.90	3.53
	오차 (%)	3.8	2.4	1.4	1.3	0.6	0.8	1.8	0	3.7	3.1	3.7	3.2	1.7
서산	예측치	2.31	3.12	3.96	4.88	5.30	5.00	4.11	4.36	4.17	3.20	2.34	1.99	3.73
	실측치	2.30	3.15	3.98	4.87	5.32	4.99	4.07	4.39	4.06	3.46	2.31	1.98	3.74
	오차 (%)	0.4	-1.0	-0.5	0.2	-0.4	0.2	1.0	-0.7	2.7	-7.5	1.3	0.5	-0.3
청주	예측치	2.20	3.01	3.64	4.60	5.07	4.78	4.02	4.09	3.73	3.26	2.26	1.91	3.55
	실측치	2.24	3.04	3.74	4.69	5.17	4.81	4.06	4.17	3.81	3.30	2.25	1.94	3.6
	오차 (%)	-1.8	-1.0	-2.7	-1.9	-1.9	-0.6	-1.0	-1.9	-2.1	-1.2	0.4	-1.5	-1.4
대전	예측치	2.26	3.09	3.88	4.87	5.17	4.91	4.19	4.34	3.88	3.43	2.40	2.04	3.71
	실측치	2.28	3.12	3.91	4.85	5.14	4.75	4.17	4.34	3.86	3.42	2.40	2.05	3.69
	오차 (%)	-0.9	-1.0	-0.8	0.4	0.6	3.4	0.5	0	0.5	0.3	0	-0.5	0.5
포항	예측치	2.49	3.11	3.78	4.75	5.13	4.78	4.24	4.18	4.17	3.31	2.60	2.32	3.74
	실측치	2.47	3.15	3.80	4.76	5.12	4.70	4.09	4.15	3.50	3.29	2.59	2.32	3.66
	오차 (%)	0.8	-1.3	-0.5	-0.2	0.2	1.7	3.7	0.7	19.1	0.6	0.4	0	2.2
대구	예측치	2.38	3.05	3.76	4.65	5.07	4.68	4.08	4.00	3.56	3.28	2.45	2.19	3.6
	실측치	2.33	3.05	3.86	4.72	5.07	4.67	4.07	3.99	3.56	3.28	2.43	2.17	3.6
	오차 (%)	2.1	0	-2.6	-1.5	0	0.2	0.2	0.3	0	0	0.8	0.9	0
전주	예측치	2.13	2.81	3.61	4.58	4.93	4.60	3.91	4.01	3.74	3.30	2.29	1.91	3.49
	실측치	2.12	2.82	3.60	4.57	4.89	4.53	3.93	4.01	3.68	3.29	2.27	1.88	3.47
	오차 (%)	0.5	-0.4	0.3	0.2	0.8	1.5	-0.5	0	1.6	0.3	0.9	1.6	0.6
광주	예측치	2.32	3.09	3.92	4.83	5.14	4.63	4.06	4.28	3.89	3.54	2.59	2.09	3.7
	실측치	2.32	3.13	3.92	4.81	5.13	4.6	4.10	4.28	3.90	3.54	2.53	2.10	3.7
	오차 (%)	0	-1.3	0	0.4	0.2	0.7	-1.0	0	-0.3	0	2.4	-0.5	0
부산	예측치	2.54	3.16	3.76	4.66	4.96	4.62	4.16	4.42	3.60	3.41	2.67	2.36	3.69
	실측치	2.59	3.28	3.84	4.63	5.01	4.61	4.21	4.42	3.63	3.45	2.70	2.39	3.73
	오차 (%)	-1.9	-3.7	-2.1	0.6	-1.0	0.2	-1.2	0	-0.8	-1.2	-1.1	-1.3	-1.1
목포	예측치	2.30	3.13	4.01	5.03	5.37	4.90	4.51	4.88	4.19	3.75	2.64	2.08	3.9
	실측치	2.31	3.16	4.05	5.00	5.32	4.90	4.50	4.90	4.16	3.74	2.61	2.09	3.9
	오차 (%)	-0.4	-0.9	-1	0.6	0.9	0	0.2	-0.4	0.7	0.3	1.1	-0.5	0
제주	예측치	1.46	2.31	3.40	4.58	5.09	4.72	4.89	4.61	3.78	3.37	2.21	1.52	3.5
	실측치	1.46	2.35	3.40	4.54	5.03	4.68	4.92	4.60	3.74	3.33	2.23	1.50	3.48
	오차 (%)	0	-1.7	0	0.9	1.2	0.9	-0.6	0.2	1.1	1.2	-0.9	1.3	0.6
진주	예측치	2.69	3.44	4.09	4.88	5.17	4.66	4.23	4.32	3.89	3.72	2.80	2.54	3.87
	실측치	2.70	3.42	4.11	4.88	5.14	4.61	4.28	4.34	3.85	3.68	2.79	2.51	3.86
	오차 (%)	-0.4	0.6	-0.5	0	0.6	1.1	-1.2	-0.5	1.0	1.1	0.4	1.2	0.3
영주	예측치	2.50	3.06	3.89	5.00	5.56	5.56	4.72	4.44	4.17	3.33	2.50	2.22	3.91
	실측치	2.25	3.01	3.83	4.88	5.3	4.87	4.18	4.27	3.99	3.34	2.37	2.08	3.70
	오차 (%)	11.1	1.7	1.6	2.5	4.9	14.2	12.9	4	4.5	-0.3	5.5	6.7	5.7
평균	예측치	2.27	3.00	3.77	4.73	5.11	4.80	4.16	4.24	3.85	3.35	2.41	2.05	3.65
	실측치	2.25	3.00	3.77	4.71	5.10	4.75	4.12	4.22	3.78	3.36	2.40	2.04	3.62
	오차 (%)	0.9	0	0	0.4	0.2	1.1	1.0	0.5	1.9	-0.3	0.4	0.5	0.8

* 오차 : [(예측치/실측치-1) × 100]

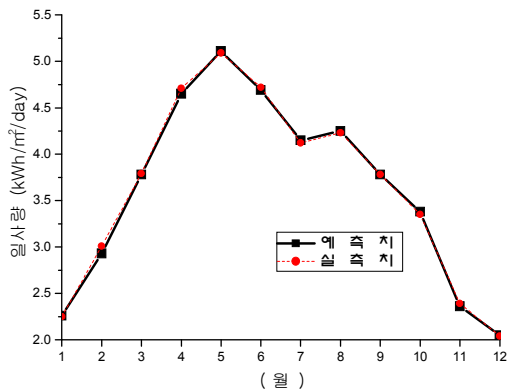


그림 1. 우리나라 주요 16개 지역의 월별 일평균 수평면 전일사량 예측치와 실측치

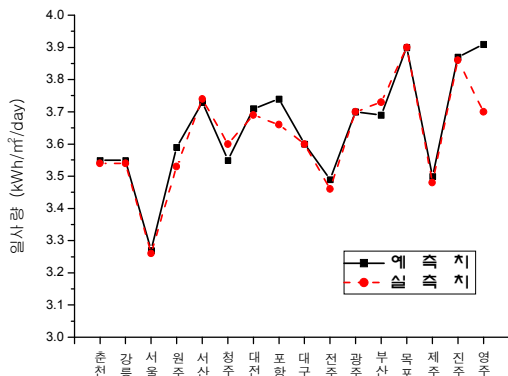


그림 2. 우리나라 주요 16개 지역의 연평균 1일 수평면 전일사량 예측치와 실측치

하여 주요 16개 지역을 선정하여 1982 ~ 2010 년도에 측정된 실측일사량과 비교하였으며, 그 비교결과를 표 6과 그림 1과 그림 2에 제시하였다.

일사-일조시간, 운량에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 우리나라 주요 16개 지역에서의 연평균 월별 오차가 -0.3 ~ +1.9% 범위로 나타났으며, 지역별 연평균 오차는 -1.4~+5.7% 범위로 나타나 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었으나, 고산지역인 죽령이 위치한 영주와 해안지역인 포항은 타 지역에 비해 안개로 인한 오차가 다소 높게 나타내었다.

5. 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 태양광시스템 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 -0.3 ~ +1.9% 범위로 나타났다. 지역별 연평균 오차는 -1.4~+5.7% 범위로 나타나 실측치와 근접한 값을 나타내었다.

그러나, 앞으로는 본 연구를 바탕으로 일사와 일조시간의 관계뿐 만아니라 일조시간과 운량, 온도, 습도 등에 변화에 일사량의 변동형태 등 각종 기후 조건과의 관련성에 대한 규명이 필요하다.

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 ~ 2010.