

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 3, 2000

경험적 예측모형을 통한 임의의 지점의 일사예측

조덕기*, 전일수*, 이태규*, 오정무*

*한국에너지기술연구소

Estimating Solar Radiation for Arbitrary Areas Using Empirical Forecasting Models

D.K.Jo*, I.S.Chun*, T.K.Lee*, C.M.Auh*

*Korea Institute of Energy Research

Abstract

It is necessary to estimate the regression coefficients in order to predict the monthly mean 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 any area over Korea by estimating the regression coefficients taking into account percentage of possible sunshine, and cloud cover.

Particularly, the multiple linear regression model proposed shows reliable results for estimating the global radiation with average deviation of -1 to 3% from the measured values.

1. 서 론

최근에 태양에너지사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양열 및 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 해당지역에 대한 정확한 일사자료가 매우 절실히 요구되고 있다. 그러나 일사측정 지역이 일부지역에만 국한됨에 따라 우리 나라 전지역에 대한 일사량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

일반적으로 일사자료가 없는 지역에서는 기상조건이 유사한 지방의 측정자료를 사용하는 것이 통상적이나, 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 대기상태 및 특성에 의해 크게 달라짐에 따라 많은 학자들은 일사량과 관련 기상매개변수(氣象媒介變數) 사이에 함수관계가 있을 것으로 간주하여 이들간의 상관관계를 오래 전부터 연구하여 왔다.

따라서, 본 논문에서는 일사량을 측정하지 않는 지역들에 대하여 이들 근접지역에서 측정된 일사자료와 관련 기상매개변수와의 상관관계를 유도하여 지역상수(地域常數)를 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. 일사예측과 관련된 이론적 배경

1922년 초기에 분광학자인 Angstrom에 의해 최초로 월평균 1일 청명일사량(淸明日射量)에 대한 수평면 전일사량(全日射量)의 비를 그 지방의 월평균 1일 일조율 즉, 월평균 1일 가조시간에 대한 일조시간의 비와의 관계식⁴⁾으로 식 (1)과 같이 제시되면서 부터 일사량을 이론적으로 예측하기 위한 연구가 시작되었다.

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

여기서, H : 월평균 1일 수평면 전일사량
 H_c : 월평균 1일 청명일사량
 n : 월평균 1일 일조시간(日照時間)
 N : 월평균 1일 가조시간(可照時間)
 n/N : 일조율(日照率)
 a', b' : 경험적 상수(常數)

이다.

그러나, 위 식은 청명일(淸明日)이라는 개념이 명확하지 않아 최근에 와서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 Page(1964) 및 Garg(1967)와 같은 학자들은 청명일일사량 대신에 대기권밖 일사량을 근거로 한 관계식⁵⁾으로 식 (2)와 같이 유도하였다.

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

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

이다. 그런데, 월평균 1일 대기권밖 일사량⁵⁾은 식 (3)에 의해 산출할 수 있다.

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

여기서, G_{sc} : 태양상수 (1,353 W/m²)

d : 통산일(通算日)

ϕ : 해당지방의 위도

δ : 일적위 = 23.45 sin(360. 284d/365)

ω_s : 일몰시간각 $\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$

이다.

이때, 해당일의 1일 최대 가조시간 N' 는 해당 지방의 위도와 일적위를 통하여 산출할 수 있으며, 그 산출식⁵⁾은 식 (4)와 같다.

$$N' = \frac{5}{12} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

또한, 전천을 하나로 하여 육안으로 본 구름의 면적과의 비로 표시되는 운량치를 이용한 일사량 예측방법 역시 많은 학자들에 의해 연구되어 월평균 1일 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비와 월평균 1일 운량과의 경험적인 상관관계⁵⁾를 식 (5)와 같이 제시하였다.

$$\frac{H}{H_o} = a'' + b'' C \quad (5)$$

여기서, C : 월평균 1일 운량치

a'', b'' : 운량을 기초로 한 상수

이다.

3. 우리 나라 주요지역에 대한 일사예측 상관식 산출

최근 대체에너지 활용에 따른 태양에너지 이용의 중대성이 인식되어 지역에 따른 정확한 일사

자료가 요구되고 있다. 그러나 일반적으로 신뢰성이 높은 자료를 확보하여 표준기상자료로 이용하기 위해서는 측정기간이 30~40년 정도임을 감안한다면, 우리 나라의 일사량 자료는 상당히 미흡한 실정이다. 또한 일사측정 지역이 일부지역에만 국한되어 있어 우리 나라 전지역에 대한 일사량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

따라서, 우리 나라 주요지역에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상매개변수와의 상관관계를 도출하여 일사량 관측이 수행되지 않은 지역들에 적용할 뿐만 아니라 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여 해당지역 측정자료의 질적 수준을 평가할 수 있도록 하였다. 예측기법에 적용되는 인자로서는 대기권밖 일사량, 수평면 전일사량, 일조율, 운량 등의 입력자료로서 표 1에서 보는바와 같이 전국 주요 16개지역을 선정하여 이들 지역에서 '82. 1~'99. 12 기간동안에 측정된 18년간의 평균자료를 이용하였다.

Table 1. 일사예측 시뮬레이션을 위한 선정지역 명세

지역	구분	위도	경도	고도(m)	비고
춘천		37° 54'	127° 44'	76.8	강원도
강릉		37 45	128 54	25.9	
원주		37 20	127 57	49.8	
서울		37 34	126 58	85.5	경기도
서산		36 46	126 30	25.9	충청도
청주		36 38	127 27	57.4	
대전		36 22	127 22	68.3	
포항		36 02	129 23	1.9	경상도
대구		35 53	128 37	57.6	
부산		35 06	129 02	69.2	
진주		35 12	127 07	21.3	
영주		36 52	128 31	210.2	
전주		35 49	127 09	53.5	전라도
광주		35 10	126 54	70.5	
목포		34 49	126 23	7.9	
제주		33 30	126 32	20.0	제주도

또한, 이들 인자중 수평면 전일사량은 미국 Eppley사에서 제작한 수평면일사계³⁾와 동사의 적분기록장치, 그리고 Handar사의 데이터수집장치에 의해 관측되었으며, 기타 관련 기상자료는 동 기간 동안에 기상청에서 발행한 “기상년·월보” 자료¹⁾를 사용하였다. 그 외에 대기권밖 일사량과 가조시간의 산출은 식 (3)과 식 (4)에서 계산된 값을 취하였으며, 우리 나라 주요 지역의 월별 연평균 1일 대기권밖 일사량 값을 산출하여 표 2에 제시하였다.

한편, 일반적으로 일조율, 즉 일조시간을 가조시간으로 나눈 값과 운량에 의한 일사예측 방법에서 지역상수 a, b 값은 표준치의 일차함수로 나타나며, 각 측정지역에서 관측된 수평면 전일사량, 일조시간, 운량 등의 기상자료를 기초로 최소자승법(最小自乘法)을 사용하여 다음 식과 같이 산출할 수 있다.

즉, $\sum_{i=1}^N [a X(i) + b - Y(i)]^2$ 의 식이 최소가 되는 a, b를 구하는 것으로서,

$$a = \{N \sum X(i)Y(i) - [\sum X(i)][\sum Y(i)]\} / \{N \sum [X(i)]^2 - [\sum Y(i)]^2\} \quad (6)$$

$$b = \frac{1}{N} [\sum Y(i) - \sum X(i)] \quad (7)$$

이다.

또한, R은

$$R = \frac{\{\sum [X(i) - \bar{X}] - [\sum Y(i) - \bar{Y}]\}}{\sqrt{\{\sum [X(i) - \bar{X}]^2 \sum [Y(i) - \bar{Y}]^2\}}} \quad (8)$$

이며, R이 1에 가까울 수록 회귀식이 실측치와 거의 일치하는 a, b 값들을 계산함을 나타낸다.

따라서, 윗식들을 토대로 표 1에서 나타난 지역들을 위도나 기상조건이 상호 비슷한 지역들끼리 서로 묶어 도(道)로 구분하여 각 해당지역 도에서 공히 적용할 수 있는 기후지역상수 a, b 값을 일조율과 운량에 의한 방법의 상관관계식을 이용하여 표 3과 표 4에 각각 월별로 제시하였다.

또한, 본 논문에서는 대기권밖 일사량에 대한 해당 측정지의 지표면에 입사하는 수평면 전일사량의 비, 즉 일사율을 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주는 여러 독립변수, 즉 하늘을 덮고 있는 구름의 양(운량)이나, 일조율, 즉 태양 일출시간부

Table 2. 우리 나라 주요 지역의 월별 연평균 1일 대기권밖 일사량 (단위 : kcal/m².day)

지역 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
춘천	3910.2	5075.7	6703.6	8312.9	9412.0	9848.7	9609.2	8697.5	7237.6	5546.7	4163.2	3555.3	6839.4
강릉	3931.8	5095.6	6719.0	8321.5	9414.1	9847.4	9609.5	8703.6	7250.6	5565.2	4184.4	3575.2	6851.5
서울	3958.3	5119.9	6737.9	8332.0	9416.5	9845.7	9609.7	8710.9	7266.5	5587.8	4210.4	3602.1	6866.5
원주	3992.0	5150.7	6761.8	8345.3	9419.5	9843.5	9610.0	8720.0	7286.5	5616.5	4243.3	3636.2	6885.4
서산	4076.1	5227.5	6821.0	8377.9	9426.5	9837.4	9610.0	8742.4	7336.2	5687.7	4325.6	3721.4	6932.5
청주	4092.9	5242.8	6832.7	8384.3	9427.8	9836.1	9609.9	8746.8	7346.1	5701.9	4342.0	3738.5	6941.8
대전	4143.1	5277.8	6859.5	8398.9	9430.6	9833.1	9609.7	8756.7	7368.5	5743.3	4379.5	3777.2	6964.8
포항	4179.2	5321.3	6892.8	8416.8	9434.0	9829.0	9609.1	8768.8	7396.2	5774.6	4426.3	3826.1	6989.5
대구	4203.2	5343.0	6909.3	8425.7	9435.6	9826.9	9608.7	8774.8	7410.0	5794.6	4449.3	3850.4	7002.6
전주	4210.3	5349.5	6914.3	8428.4	9436.0	9826.3	9608.6	8776.6	7412.2	5800.7	4456.6	3857.7	7006.4
광주	4305.9	5436.0	6979.8	8463.1	9441.6	9817.1	9606.3	8799.7	7468.6	5880.5	4549.9	3954.9	7058.6
부산	4313.1	5442.4	6984.7	8465.7	9442.0	9816.4	9606.1	8801.4	7472.7	5886.4	4556.9	3962.2	7062.5
목포	4358.4	5483.2	7015.5	8481.8	9444.3	9811.7	9604.7	8811.9	7498.2	5924.1	4601.0	4008.4	7086.9
제주	4539.0	5645.1	7136.4	8543.7	9450.9	9790.7	9596.7	8851.8	7597.9	6072.9	4776.8	4192.5	7182.9
진주	4301.2	5431.6	6976.6	8461.4	9441.4	9817.6	9606.5	8798.5	7465.9	5876.5	4545.2	3950.1	7056.0
영주	4059.3	5212.2	6809.2	8371.4	9425.1	9838.7	9610.1	8738.0	7326.4	5673.5	4309.1	3704.4	6923.1

Table 3. 우리 나라 지대별 지역상수 값 (일서울-일조울)

(단위: x 0.00001)

지대(道)	월 상수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		경기도 강원도	a	18181	21760	24439	25269	21021	21140	18998	21958	22351	28531
b	49991		45339	38797	37914	45149	43446	45294	41027	42952	33005	48666	47117
R	76920		65098	58373	61898	71215	79032	77851	73699	73810	56649	71921	74009
충청 남북도	a	16098	12778	11931	17517	18376	16583	17208	17224	19008	21066	20796	13359
	b	58833	64960	64659	53099	51282	54680	53227	54063	51646	49270	46925	60626
	R	71342	81514	64404	70468	58696	78966	85781	83472	87115	76302	65728	69359
경상 남북도	a	15020	14536	21249	26895	27780	21941	20400	21741	18466	25640	26076	28683
	b	56803	58742	48147	37306	34519	43207	44952	44960	53853	40919	38210	33167
	R	61325	72745	65455	62339	54769	70430	76359	84193	81130	65370	65079	46757
전라 남북도 제주도	a	14043	16372	13771	25327	20391	18064	18019	16393	21301	17827	20428	18566
	b	59806	56920	61695	39995	49023	55005	54664	57961	48286	55351	46022	47316
	R	90179	84231	77447	58456	67102	85555	87511	88135	81664	80812	85744	83661

* $H/H_0 = a + b * n/N$

Table 4. 우리 나라 지대별 지역상수 값(일서울-운량)

(단위: x 0.00001)

지대(道)	월 상수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		경기도 강원도	a	66227	60804	59549	60680	61147	71978	72479	65618	64595	59713
b	-52408		-33052	-29809	-30239	-30634	-49245	-51686	-51686	-37099	-28913	-42831	-43279
R	69216		57730	44916	49613	44781	75567	72148	72148	65497	58729	69063	65498
충청 남북도	a	71080	68354	65899	66843	61008	76494	78450	73313	66767	64780	62958	61925
	b	-53705	-44571	-40239	-40614	-28490	-55938	-59162	-52125	-40820	-36025	-40535	-40961
	R	62425	73872	51500	59252	38364	74636	84387	74709	82843	68278	67640	53161
경상 남북도	a	71544	71211	63498	60919	58989	73820	67034	68442	67495	60136	58703	57146
	b	-62226	-54325	-33215	-26741	-24440	-51182	-42703	-43790	-42124	-24810	-27246	-25081
	R	63793	71818	44050	52292	40789	68050	71505	75183	65156	46609	54385	40174
전라 남북도 제주도	a	73352	68516	65251	58623	57670	64140	69999	71621	63985	66122	61223	61171
	b	-58571	-46960	-39024	-23486	-22125	-35623	-45720	-48582	-35592	-38854	-36491	-41140
	R	77406	72928	61472	44039	40190	56671	77628	67022	69222	65346	76296	70292

* $H/H_0 = a + b * C$

터 일몰까지의 시간인 가조시간에 대한 태양이 구름이나 안개 등에 차단되지 않고 지표면에 비치는 시간인 일조시간의 비등을 선택하는 중회귀 모형의 도출을 시도하였다. 이 모형은 n개의 데이터에 대하여,

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (9)$$

[$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 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.

$$H/H_0 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (10)$$

여기서, H/H₀: 해당 관측지의 월평균 1일 일사율

x_1 : 해당 관측지의 월평균 1일 일조율

x_2 : 해당 관측지의 월평균 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 (10)을 토대로 해당 지역의 지표면에 입사하는 수평면 전일사량을 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주는 독립변수로 운량과 일조율을 선택하여 독립변수와 종속변수간의 관련성을 함수의 형태로서 표 1에서 보는바와 같이 위도나 기상조건이 상호 비슷한 지역들끼리 서로 묶어 도(道)로 구분하여 각 해당지역 도별로 표 5와 같이 월별로 중회귀모형식으로 제시하였다.

그러나, 일사율과 일조율 및 운량에 대한 경험적인 상수 값은 표 3, 표 4에서 보는바와 같이 일사율과 운량에 대한 상관관계보다는 일사율과

Table 5. 우리 나라 지대별 지역상수 값 (일사율-일조율, 운량) (단위: x 0.00001)

지대(道)	상수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
경기도 강원도	β_0	30830	31908	33007	34696	23765	42218	36662	32690	31104	46867	35019	25744
	β_1	38704	35262	32508	30824	43348	28353	33109	33115	35480	14832	31646	39372
	β_2	-16510	-10851	-10626	-11626	-03328	-22409	-18346	-11314	-08910	-18522	-18929	-09818
	R^2	60908	43858	35742	40612	50871	66747	62780	55570	55305	36517	54717	55500
충청 남북도	β_0	20938	20936	21074	14329	14575	31816	42528	31052	30934	18781	44663	09713
	β_1	54522	56239	56074	56097	54547	42110	32732	43070	39619	51657	22351	64290
	β_2	-05746	-07605	-09480	03178	03964	-15235	-25263	-14668	-11060	02156	-25143	04065
	R^2	51049	66836	42220	49714	34597	63193	75658	71216	76814	58251	48955	48209
경상 남북도	β_0	48009	40100	25208	34597	31122	45174	35994	31174	21424	21190	21182	30561
	β_1	25698	34044	45277	30576	31856	27185	32241	37406	51347	45152	43338	31185
	β_2	-40145	-27200	-04806	-08031	-03695	-25117	-15518	-09927	-03130	04686	05015	-02082
	R^2	43268	56494	43098	40064	30198	53935	60410	71788	65913	43050	42592	21895
전라 남북도 제주도	β_0	12897	07480	23092	30180	16093	09761	14001	04299	18043	18023	01866	20029
	β_1	60772	64707	53408	35705	53046	61457	58340	67691	51449	55161	47818	45987
	β_2	01277	09031	-09530	05046	04341	08575	03846	12995	03174	-00205	01781	-01659
	R^2	81329	71330	61151	34673	45374	74050	76662	78704	66785	65307	73547	70016

* $H/H_0 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$

일조율에 대한 상관관계가 보다 높게 나타났다.

이와 같은 원인은 측정기기에 의한 일조관측과는 달리 운량관측은 관측자의 목측에 의해 이루어지기 때문에 이러한 목측은 각기 다른 관측관점에 따라 상당한 차이를 나타내어 어떤 특정한 시간에 존재하는 국부적인 운량과 일사량 사이에 직접적인 상관관계 성립에 상당한 어려움을 갖게 된다. 따라서 일조율이 운량보다는 일사율과 보다 직접적인 상관관계를 갖는 것으로 분석된다.

3. 시뮬레이션에 의한 측정일사량과의 비교분석

각 지대별에 따른 임의의 지역의 수평면 전일사량을 예측하기 위한 시뮬레이션은 여러 해석기법중 일조율과 운량, 그리고 일조율 및 운량에 의한 방법을 적용하여 지대별로 주요 1개 지역씩 선정하여 '99.1 ~ '99.12 기간에 측정된 실측일사량과 비교하였으며, 그 비교결과는 표 6과 그림 1, 그림 2에 각각 제시하였다.

일조율과 운량에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 표 6에서 보는바와 같이 일조율에 의한 방법은 연평균 오차가 -1.1 ~ +0.5% 범위로 나타났으며, 운량에 의한 방법은 0 ~ +2.4% 정도의 범위에서, 그리고 일조율 및 운량에 의한 방법은 -1.3 ~ +0.6% 정도의 범위로 나타나 세 방법 모두 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

한편, 각 지대별에 따른 주요지역에 대하여 일조율과 운량, 그리고 일조율 및 운량에 의한 시뮬레이션 예측치를 실측치와 비교하여 보면, 일조율에 의한 방법은 목포지역에서는 전년을 통하여 비교적 실측치와 근접한 값을 나타내었으나, 강릉, 서산, 진주지역은 하절기에 실측치와의 편차가 높게 나타나는 경향을 보였다.

또한, 운량에 의한 방법은 전지역에서 공히 하절기에 실측치에 비해 높게 나타나, 하절기에는

특정한 시간에 존재하는 국부적인 운량과 일사량 사이에 직접적인 상관관계의 성립에 상당히 어려움을 갖는 것으로 나타났으며, 따라서 일조율에 의한 방법이 운량에 의한 방법보다는 하절기에 보다 일사량과의 상관관계가 성립하는 것으로 나타났다. 반면에 일조율 및 운량에 의한 방법은 일조율에 의한 방법과 전지역에서 거의 같게 실제 값과의 편차를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서 일사예측의 이론적인 배경 및 연구동향에 대한 고찰을 통하여 우리 나라 전지역을 대상으로 적용할 수 있는 경험적 상수값을 위도나 기상조건이 상호 비슷한 지역들끼리 서로 묶어 지대(道)로 구분하여 어느 임의의 지점에서도 공히 적용할 수 있는 기후지역상수(氣候地域常數)를 도출하였으며, 각 지대별로 산출된 상수값을 각 지대에서 선정된 1개 표준지역에 적용하여 실측치와 예측기법에 의한 시뮬레이션치와 비교 분석하였다.

이에 대한 연구결과로서,

첫째, 일조율에 의한 방법은 연평균 오차가 -1.1 ~ +0.5% 범위로 나타났으며, 운량에 의한 방법은 0 ~ +2.4% 정도의 범위에서, 그리고 일조율 및 운량에 의한 방법은 -1.3 ~ +0.6% 정도의 범위로 나타나 세 방법 모두 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

둘째, 운량에 의한 방법은 전지역에서 공히 하절기에 실측치에 비해 높게 나타나, 일조율에 의한 방법이 운량에 의한 방법보다는 하절기에 보다 일사량과의 상관관계가 성립하는 것으로 나타났으며, 반면에 일조율 및 운량에 의한 방법은 일조율에 의한 방법과 전지역에서 거의 같게 실제 값과의 편차를 나타내었다.

그러나, 지금까지 수집된 일사관련 기상자료의

Table 6. 각 지대별에 따른 예측치와 실측치와의 비교(일사-일조) (단위: kcal/m².day)

구분	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
		강릉	예측치	2155	2610	2987	3734	4397	4195	3175	2943	2873	2554	2042
실측치	2181		2664	3015	3777	4357	4293	3227	2766	2635	2516	2016	1899	2946
오차(%)	-1.2		-2.0	-0.9	-1.1	+0.9	-2.3	-1.6	+6.4	+9.0	+1.5	+1.3	-1.2	+0.5
서산	예측치	1822	2366	2763	4092	4289	4477	3510	3789	3081	2442	1846	1404	2990
	실측치	1849	2367	2986	3903	4367	4596	3846	3605	2900	2387	1878	1589	3023
	오차(%)	-1.5	0	-7.5	+4.8	-1.8	-2.6	-8.7	+5.1	+6.2	+2.3	-1.7	-11.6	-1.1
진주	예측치	2356	2870	2803	3977	4549	3787	3134	3337	3023	2168	2264	2061	3065
	실측치	2444	3029	2744	4011	4644	3815	3020	3086	2907	2568	2434	2231	3080
	오차(%)	-3.6	-5.2	+1.0	-0.8	-2.0	-0.7	+3.8	+8.1	+4.0	+1.9	-7.0	-7.6	-0.5
목포	예측치	2051	2737	2598	4221	4858	4579	3673	3799	3100	2751	2215	1901	3207
	실측치	1973	2797	2762	4269	4988	4465	3497	3700	3058	2750	2219	1882	3197
	오차(%)	+4.0	-2.1	-5.9	-1.1	-2.6	+2.6	+5.6	+2.7	+1.4	0	-0.2	+1.0	+0.3

(일사-운량) (단위: kcal/m².day)

구분	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
		강릉	예측치	2130	2543	2940	3766	4372	4178	3190	2960	2962	2615	1992
실측치	2181		2664	3015	3777	4357	4293	3227	2766	2635	2516	2016	1899	2946
오차(%)	-2.3		-4.5	-2.5	-0.3	+0.3	-2.7	-1.1	+7.0	+12.4	+3.9	-1.2	-1.6	0
서산	예측치	1847	2432	2930	4205	4650	4498	3616	3538	3041	2640	1847	1619	3072
	실측치	1849	2367	2986	3903	4367	4596	3846	3605	2900	2387	1878	1589	3023
	오차(%)	-0.1	+2.7	-1.9	+7.7	+6.5	-2.1	-6.0	-1.9	+4.9	+10.6	-1.7	+1.9	+1.6
진주	예측치	2516	3071	3063	4114	4716	4031	3240	3248	2838	2761	2210	2049	3155
	실측치	2444	3029	2744	4011	4644	3815	3020	3086	2907	2568	2434	2231	3080
	오차(%)	+2.9	+1.4	+10.4	+2.6	+1.6	+5.7	+7.3	+5.2	-2.4	+7.5	-9.2	-8.2	+2.4
목포	예측치	1921	2578	2798	4076	4736	4581	3693	3828	3277	2904	2129	1842	3199
	실측치	1973	2797	2762	4269	4988	4465	3497	3700	3058	2750	2219	1882	3197
	오차(%)	-0.9	-7.1	+1.3	-4.5	-5.1	+2.6	+5.6	+3.5	+7.2	+5.6	-4.1	-2.1	+0.1

(일사-일조, 운량) (단위: kcal/m².day)

구분	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
		강릉	예측치	2178	2610	2966	3720	4409	4213	3169	2910	2876	2589	2042
실측치	2181		2664	3015	3777	4357	4293	3227	2766	2635	2516	2016	1899	2946
오차(%)	-0.1		-2.0	-1.6	-1.5	+1.2	-1.9	-1.8	+5.2	+9.1	+2.9	+1.3	-0.2	+0.6
서산	예측치	1821	2370	2802	4082	4247	4497	3554	3725	3060	2435	1841	1391	2985
	실측치	1849	2367	2986	3903	4367	4596	3846	3605	2900	2387	1878	1589	3023
	오차(%)	-1.5	+0.1	-6.1	+4.6	-2.7	-2.2	-7.6	+3.3	+5.5	+2.0	-2.0	-12.5	-1.3
진주	예측치	2476	2985	2802	4009	4587	3884	3133	3299	3004	2617	2270	2062	3094
	실측치	2444	3029	2744	4011	4644	3815	3020	3086	2907	2568	2434	2231	3080
	오차(%)	+1.3	-1.5	+1.0	0	-1.2	+1.8	+3.7	+6.9	+3.3	+1.9	-6.7	-7.6	+0.5
목포	예측치	2052	2748	2598	4218	4820	4506	3673	3793	3090	2752	2217	1903	3198
	실측치	1973	2797	2762	4269	4988	4465	3497	3700	3058	2750	2219	1882	3197
	오차(%)	+4.0	-1.8	-5.9	-1.2	-3.4	+0.9	+5.0	+2.5	+1.0	+0.1	-0.1	+1.1	0

* 오차: [(예측치 / 실측치) - 1] × 100

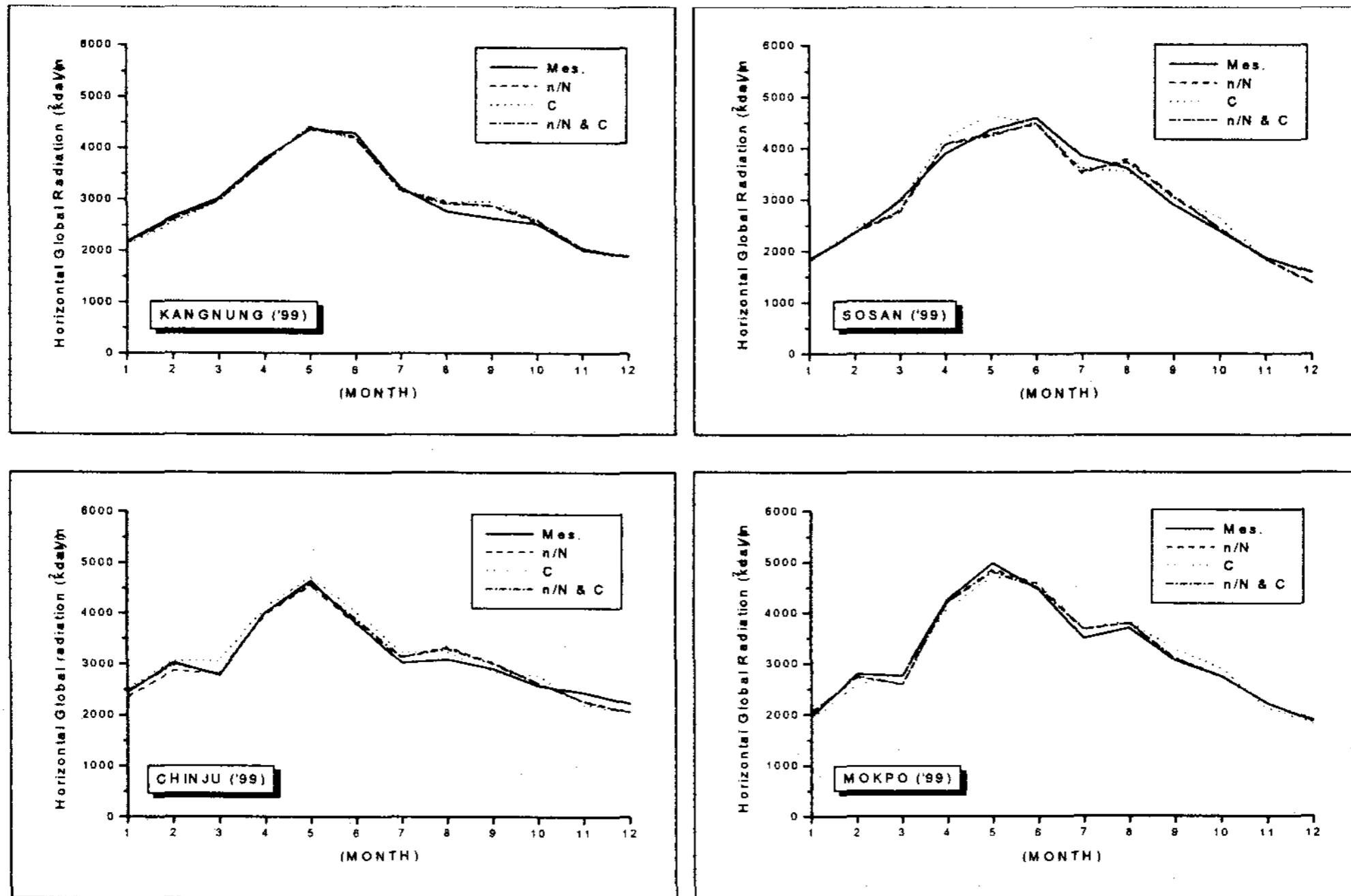


Fig. 1. 시뮬레이션에 의한 주요지역의 월별 일평균 수평면 전일사량 실측치와 예측치와의 비교

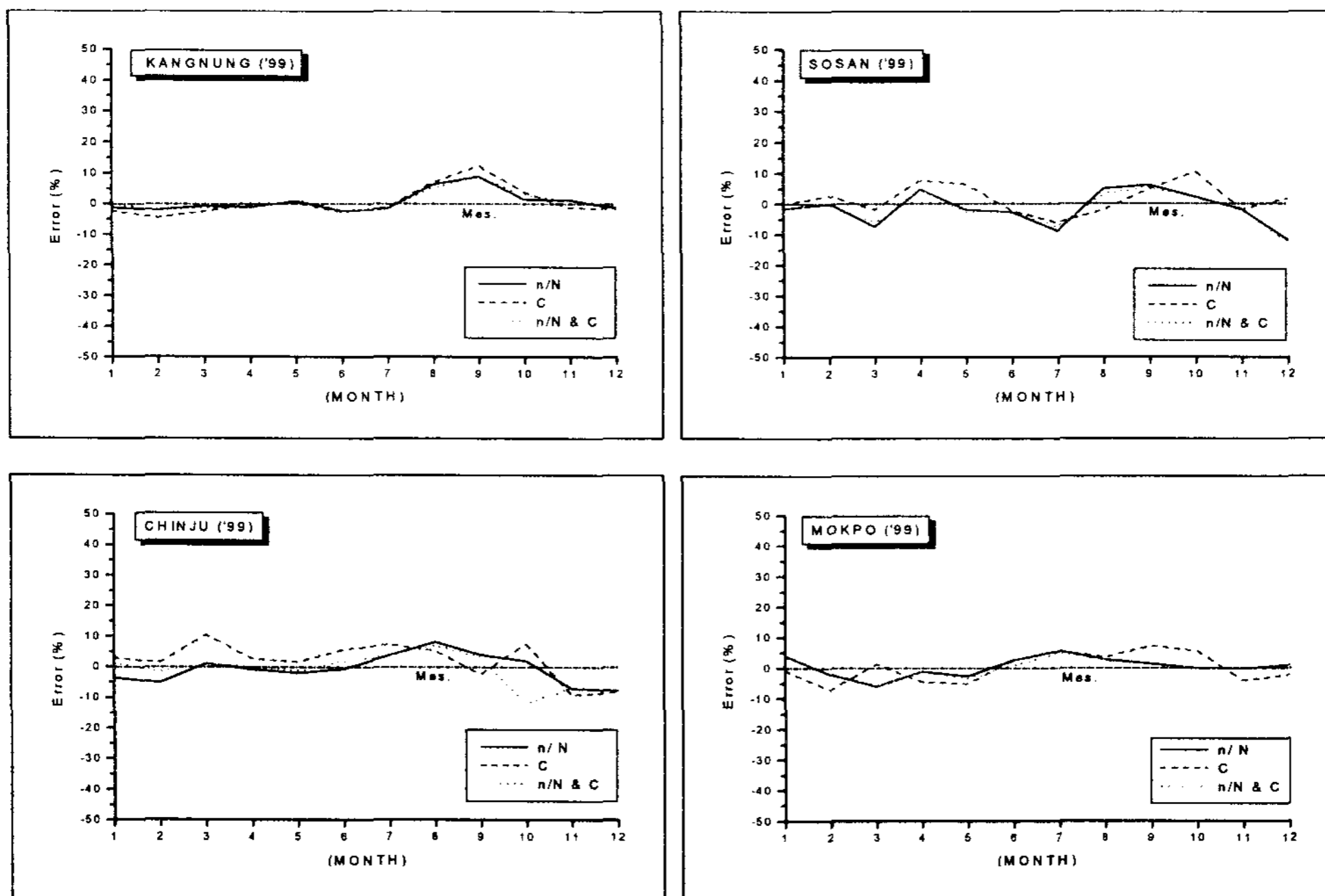


Fig. 2. 주요지역의 월별 일평균 수평면 전일사량 실측치와 예측치와의 오차율 비교

정확도에 대한 검증이 불충분하기 때문에 이러한 결과만을 가지고 우리 나라 전지역에 대한 정확한 일사량을 예측하는데는 상당한 어려움이 뒤따르고 있으며, 따라서 앞으로는 본 연구를 바탕으로 일사량과 일조율, 그리고 운량뿐만 아니라 온도나 습도, 대기혼탁도 등의 변화에 따른 일사량의 변동형태 등, 각종 기후조건과의 연관성도 규명해 나아갈 계획이다.

참 고 문 헌

1. 기상청, "기상년·월보", 1982~1999.
2. 기상청, "한국기후표(1951~1980)", 제1권 (1982), 제2권 (1983).
3. 소선섭, 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.
4. H.P. Garg, "Treatise on Solar Energy", John Wiley New York, 1982.
5. J.A. Duffie and W.A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", Wiley New York, 1980.
6. J.P. Frangi, S. Yahaya, and J. Piro, "Characteristics of Solar Radiation in the Sahel", Solar Energy Vol. 49, 1992, pp.159~166.
7. Frederick N. Onyango, "On the Estimation of Global Solar Insolation", Solar Energy Vol. 31, No. 1, 1983, pp.69~71.
8. Alfonso Solar, "Statistical Comparison for 77 European Stations of Sunshine Based Models", Solar Energy Vol. 45, No. 6, 1990, pp.365~370.