

【 論 文 】

임의의 지점에 대한 일사에측에 관한 연구

A Study on the Estimating Solar Radiation for Arbitrary Areas

조덕기 \* 이태규 \* 조서현 \* 최영희 \* 오정무 \*  
D.K. Jo T. K. Lee S. H. Cho Y. H. Chea P. C. Auh

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 latitude, percentage of possible sunshine, and cloud cover.

Particularly, the single linear equation proposed by Page & Garg shows reliable results for estimating the global radiation with average deviation of -1 to 3% from the measured values.

1. 서 론

태양에너지 사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양열 및 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 일사자료가 매우 절실히 요구된다. 그러나 일사량측정네트웍이 일부지역에만 국한됨에 따라 우리나라 전지역에 대한 일사량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

일반적으로 일사량 자료가 없는 지역에서는 기상조건이 비슷한 근접지방의 측정자료를 사용하는 것이 통상적이나 그렇지 못한 지역에서는 그 지역의 일조시간이나 운량 등을 이용하여 일사량을 예측하는 방법이 유효하게 사용되고 있다.

즉, 태양으로 부터 지구표면에 도달되는 복사에너지는 대기권을 통과하는 사이에 전리층과 오존층에 흡수되며, 또한 대기중의 구름이나 수증기, 이산화탄소, 먼지 등에 의해 상당량이 흡수되거나 산란되어 실제로 지표면에 도달되는 일사량은 대략 47%인 것으로 알려져 있다.

이와같이 일사량은 대기상태 및 지형적인 특성에 의해 크게 달라짐에 따라 많은 학자들은 일사와 관련된 기상매개변수사이에 함수관계가 있을 것으로 간주하여 이 들간의 상관관계를 오래전 부터 연구하여 왔다.

따라서 본 연구의 목적은 일사량을 측정하지 못하는 특정한 지역에 대하여 기존 네트웍에서 측정된 일사자료와 관련 기상매개변수와 의 상관관계를 유도하여 각 지역에서의 일사

\* 정회원 : 한국동력자원연구소

량을 예측하는데 있다.

## 2. 일사에측해석의 이론적 배경 및 동향

1922년 초기에 Ångstrom<sup>1,2)</sup> 이 최초로 월평균 일일 청명일사량에 대한 월평균 일일 수평면일사량의 비를 그 지방의 일조율과의 관계식으로 제시하면서 일사량을 이론적으로 예측하기 위한 연구가 시작되었다.

$$\frac{H}{H_c} = a + b \frac{n}{N} \dots\dots\dots(2-1)$$

여기서,

- H : 월평균 일일 수평면일사량 (MJ/m<sup>2</sup>·day)
- H<sub>c</sub> : 월평균 일일 청명일사량 (MJ/m<sup>2</sup>·day)
- n : 월평균 일일 일조시간 (h)
- N : 월평균 일일 가조시간 (h)
- a, b : 기후지역상수

그러나, Page 와 Garg<sup>3)</sup> 등은 윤량이 0 ~ 0.1 인 청명일의 일사량을 기준으로 한 식 (2-1) 대신에 대기권의 일사량을 기준으로 한 다음의 상관관계식을 제시하였다.

$$\frac{H}{H_o} = a + b \frac{n}{N} \dots\dots\dots(2-2)$$

여기서 H<sub>o</sub>는 월평균 일일 대기권의 일사량으로서 다음 식에 의해 계산할 수 있으며, 월별에 따른 통산일 및 일적위 값을 Table 2-1 에 제시하였다.

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

G<sub>sc</sub> : 태양상수(1,353 W/m<sup>2</sup>)

n : 통산일

δ : 일적위

$$= 23.45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

φ : 해당지역의 위도

ω<sub>s</sub> : 일몰시간각

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

월평균 일일 가조시간 역시 해당지역의 위도와 일적위를 사용하여 다음 식으로부터 계산한다.

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \dots\dots\dots(2-4)$$

Table 2-1 Recommended Average Day for Each Month [from Klein (1976)] and Values of n by Months

Month	n for ith Day of Month	Date	n, Day of Year	δ, Declination
1	i	17	17	-20.9
2	31 + i	16	47	-13.0
3	59 + i	16	75	- 2.4
4	90 + i	15	105	9.4
5	120 + i	15	135	18.8
6	151 + i	11	162	23.1
7	181 + i	17	198	21.2
8	212 + i	16	228	13.5
9	243 + i	15	258	2.2
10	273 + i	15	288	- 9.6
11	304 + i	14	318	-18.9
12	334 + i	10	344	-23.0

전천을 하나로 하여 육안으로 본 구름의 면적과의 비로 표시되는 윤량치를 이용한 윤량과 일사량의 상관관계에 대해서도 Norries<sup>4)</sup>를 위시한 많은 학자들에 의해 연구되어 경험적인 상관관계가 여러번 재검토되었으며, 윤량으로 해석하는 식이 다음과 같이 제시되었다.

$$\frac{H}{H_o} = a + bC \dots\dots\dots(2-5)$$

여기서 C는 월평균 일일 윤량을 표시한다. 또한, 다양한 기후형태에 따라 서로 다른 값

을 갖게되는 기후지역상수 a, b을 Löff등 4)은 Köppen의 기후구분에 의거 제시하였다.

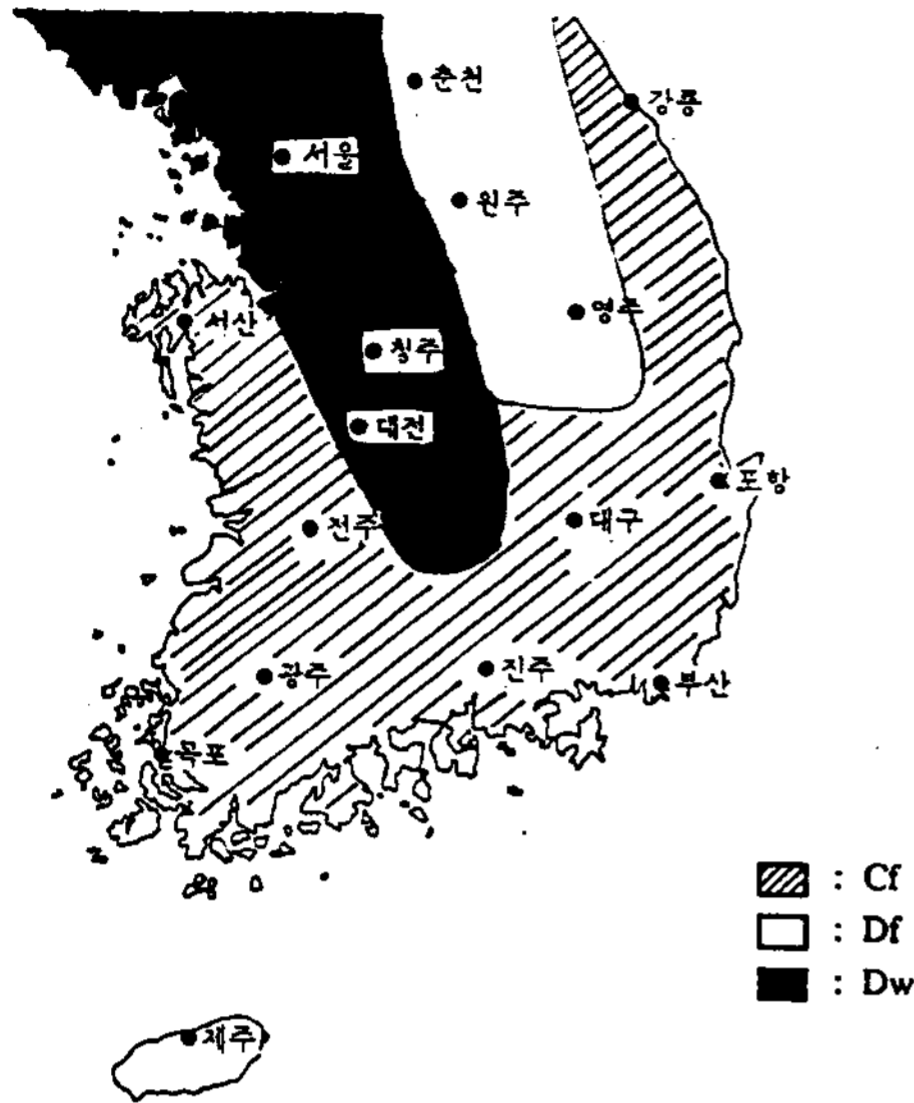


Fig. 2-1 Köppen's Climate Classification in Korea

Köppen의 기후구분에 의한 우리나라의 기후구는 Fig. 2-1에서 보는 바와 같이 지역별로 온대다우기후구 (Cf), 아한대다우기후구 (Df) 및 아한대하우기후구 (Dw)에 속하며, 이에 따른 기후지역상수값은 Table 2-2에 나타난 바와 같다.

한편, Masson<sup>5)</sup>은 월평균 일일 일조시간에 대한 월평균 일일 수평면일사량과의 관계를 곡선함수로 제시하였으며, 이 곡선함수의 경향은 월평균 일일 일조시간이 7시간 보다 크거나 같을 경우에는 직선함수 관계를 갖게 된다. 이 결과를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$H = 60 + (1406.2S^2 + 7426.6S)^{\frac{1}{2}} \dots (2-6)$$

여기서,

H : 월평균 일일 수평면일사량 (ly/day)

S : 월평균 일일 일조시간 (h)

Table 2-2 Climate Region Constants by Löff

Climate Classification	Sunshine Rate (%)		Empirical Constant		Remarks
	Range	Average	a	b	
Mesothermal forest climate, constantly moist (Cf)	11-49	36	0.22	0.57	warmth, rainfall all through the year
	45-71	59	0.38	0.26	
	47-68	59	0.26	0.50	
	60-75	67	0.48	0.09	
Microthermal snow forest climate, constantly moist (Df)	40-72	58	0.30	0.34	coolness, rainfall all through the year
Microthermal snow forest climate, dry season in winter (Dw)	55-81	67	0.36	0.23	coolness, rainfall through the summer

$$* \frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N}$$

또 한편으로는 Sabbagh 등<sup>5)</sup>은 두개의 임의의 상수와 월평균 일일 일조시간 그리고 가조시간을 사용하는 상관관계를 다음과 같은 대수식으로서 제시하였다.

$$H = (A + B \ln n) S \dots\dots\dots (2-7)$$

$$H = (A' + B' \ln n) N \dots\dots\dots (2-8)$$

여기서,

$$A = 42, \quad B = 12$$

$$A' = 35, \quad B' = 11$$

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 5, 4, 3, 2, 1$$

( 1월부터 12월까지의 순차적인 값임 )

그후 이같은 일사량과 기상매개변수와의 관계식은 계속 제시되어 왔다. 그러나 지금까지 소개된 일사예측을 위한 해석방법들 중에서, 기후조건이 유사한 지역에서 실측된 과거의 표준 수평면일사량 통계자료를 이용하여 일사와 일조의 상관관계를 도출하여 해당지역의 일사량을 예측하는 Page & Garg의 상관식을 적용하는 것이 실제값과의 편차를 적게하고 신뢰도가 높은 상관관계를 나타내어 현재까지 가장 타당성이 있는 것으로 받아들여지고 있다.

### 3. 우리나라 전지역에 적합한 일사예측 상관식 도출

우리나라 일사량 측정은 1972년 부터 중앙기상대에서 농업용의 목적으로 측정되어 오다가 최근 대체에너지 활용에 따른 태양에너지 이용의 중대성이 인식되어 지역에 따른 정확한 일사량 자료가 필요하게 되었다.

일반적으로 표준기상자료로 이용하기 위해서는 측정기간이 최소 10년, 그리고 보다 신뢰도가 높은 자료를 확보하기 위해서는 약 30년, 정도임을 감안한다면 우리나라 일사량 자료는 다소 미흡한 실정이다.

특히 1972년부터 1981년까지의 일사량자료는 측정장비의 관리와 측정기술의 미비, 장

비의 노후화에 따라 그 오차가 심해 1982년부터 한국동력자원연구소(KIER)와 중앙기상대가 공동으로 일사측정네트웍을 구성하여 연구측정하고 있다.

따라서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 일조율 그리고 운량등에 따른 상관관계를 도출하여 일사관측이 수행되지 않는 지역에 적용할뿐만 아니라, 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여 해당지역 측정자료의 질적수준을 평가하는 데도 사용할 수 있도록 하였다. 뿐만아니라 우리나라 전지역을 대상으로 적용될 수 있는 상관식을 다양한 수식모델로서 제시하고자 한다.

예측기법에 적용되는 인자로서는 대기권외일사량, 수평면일사량, 가조시간, 일조시간, 운량 등의 입력자료로서 전국 15개지역을 선정하여 일사측정기간과 동일한 1982.1-1988.12까지의 7년간의 평균자료<sup>6-7)</sup>를 이용하였으며, 네트웍에서는 이들 인자의 관측을 위해 미국 Eppley 일사계와 적분장치로 수평면일사량을, 그리고 Jordan 일조계를 사용하여 일조시간을 관측하였고, 운량은 목측에 의해 관측되었다.

또한, 월별 일평균 대기권외일사량과 가조시간의 산출은 식(2-3)과 식(2-4)에서 계산된 값을 취하였다.

일반적으로 기후지역상수  $a, b$  값은 표준치의 일차함수로 나타나는데 일사량측정네트웍에서 측정된 수평면일사량과 일조시간, 운량등의 기상자료를 기초로 최소자승법을 사용하여 다음식과 같이 산출할 수 있다.

$$\text{즉, } \sum_{i=1}^N [aX(i) + b - Y(i)]^2 \text{의 식이 최소}$$

로 되는  $a, b$ 를 구하는 것으로서,

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

$$\dots\dots\dots (3-1)$$

Table 3-1 Selected Station for Simulation

No	Selection Station	Location			Remarks
		Lat. (N)	Long. (E)	Height(m)	
101	Chunchon	37°54'	127°44'	74.0	C.M.O.'S Meteorological Station
105	Kangnung	37°45'	128°54'	26.0	"
108	Seoul	37°34'	126°58'	85.5	C. M. O.
114	Wonju	37°20'	127°57'	149.8	C.M.O. 'S Meteorological Station
129	Sosan	36°46'	126°28'	19.7	"
131	Chongju	36°38'	127°26'	59.0	"
133	Taejon	36°18'	127°24'	77.1	"
138	Pohang	36°02'	129°23'	5.6	"
143	Taegu	35°53'	128°37'	57.8	"
146	Chonju	35°40'	127°09'	51.2	"
156	Kwangju	35°08'	126°55'	70.9	"
159	Pusan	35°06'	129°02'	69.2	"
165	Mokpo	34°47'	126°23'	53.4	"
184	Cheju	33°31'	126°32'	22.0	"
192	Chinju	35°12'	128°06'	21.5	"
272	Yongju	36°50'	128°37'	170.0	"

Table 3-2 Climate Region Constants for Insulation - Sunshine Regression equation

Month Curve Fit		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Simple	a	0.1804	0.1881	0.2603	0.2996	0.3142	0.2729	0.2253	0.2236	0.2472	0.2791
	b	0.5205	0.5151	0.3994	0.3253	0.3058	0.3593	0.4245	0.4745	0.3884	0.3863	0.3722	0.4626
Pdyno- mial	a	0.1463	0.0906	-0.2429	0.1298	0.1171	0.1632	0.0661	0.0508	0.1644	0.3162	0.2790	0.2226
	b	0.6627	0.9091	2.3258	0.9330	1.0316	0.8323	1.2985	1.2909	0.7363	0.2543	0.2970	0.3067
	c	-0.1379	-0.3785	-1.8065	-0.5348	-0.6581	-0.4884	-1.1118	-0.9234	-0.3507	0.1148	0.0718	0.1490
Logari- thmic	a	0.6553	0.6682	0.6404	0.6000	0.5967	0.5797	0.5926	0.6455	0.5830	0.6355	0.5909	0.5925
	b	0.5614	0.5820	0.4850	0.3800	0.3572	0.3623	0.4355	0.4859	0.4171	0.4307	0.4020	0.5275
Expone- ntial	a	0.2362	0.2432	0.2923	0.3293	0.3362	0.3041	0.2476	0.2602	0.2810	0.3197	0.2943	0.2298
	b	0.5227	0.5116	0.3865	0.2921	0.2824	0.3359	0.4955	0.4919	0.3753	0.3353	0.3551	0.4860

\* Simple :  $\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N}$

Logarithmic :  $\frac{H}{H_0} = a \times \left(\frac{n}{N}\right)^b$

Polynomial :  $\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} + c \left(\frac{n}{N}\right)^2$

Exponential :  $\frac{H}{H_0} = a \times 10^{(b \times \frac{n}{N})}$

Table 3-3 Climate Region Constants for Insolation - Cloudcover Regression Equation

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Curve Fit													
Simple	a	0.6701	0.6855	0.6771	0.6447	0.6471	0.7197	0.7729	0.7399	0.5901	0.6191	0.5950	0.5960
	b	-0.4492	-0.4468	-0.3795	-0.3211	-0.3051	-0.4310	-0.5424	-0.4840	-0.2663	-0.2628	-0.3053	-0.3748
Polynomial	a	0.6512	0.6235	0.5575	0.7210	0.4512	0.7392	0.6113	0.4082	0.3606	0.6820	0.5946	0.5837
	b	-0.3624	-0.1842	0.0605	-0.6239	0.4291	-0.4934	-0.0793	0.5911	0.5636	-0.5515	-0.3038	-0.3110
	c	-0.0922	-0.2601	-0.3940	0.2940	-0.6779	0.0491	-0.3269	-0.8543	-0.7251	0.3151	-0.0016	0.0736
Logarithmic	a	0.3214	0.3272	0.3549	0.3800	0.3894	0.3339	0.2707	0.3120	0.3638	0.4106	0.2654	0.3149
	b	-0.4252	-0.4583	-0.4425	-0.3383	-0.3373	-0.6022	-0.9903	-0.6855	-0.2871	-0.2339	0.2758	-0.3213
Exponential	a	0.7295	0.7563	0.7364	0.6478	0.6821	0.8175	1.0689	0.8896	0.5868	0.6327	0.6145	0.6214
	b	-0.4466	-0.4407	-0.3634	-0.2919	-0.2816	-0.4213	-0.6277	-0.4996	-0.2373	-0.2313	-0.2919	-0.3922

$$b = \frac{1}{N} [\sum Y(i) - a \sum X(i)] \dots\dots (3-2)$$

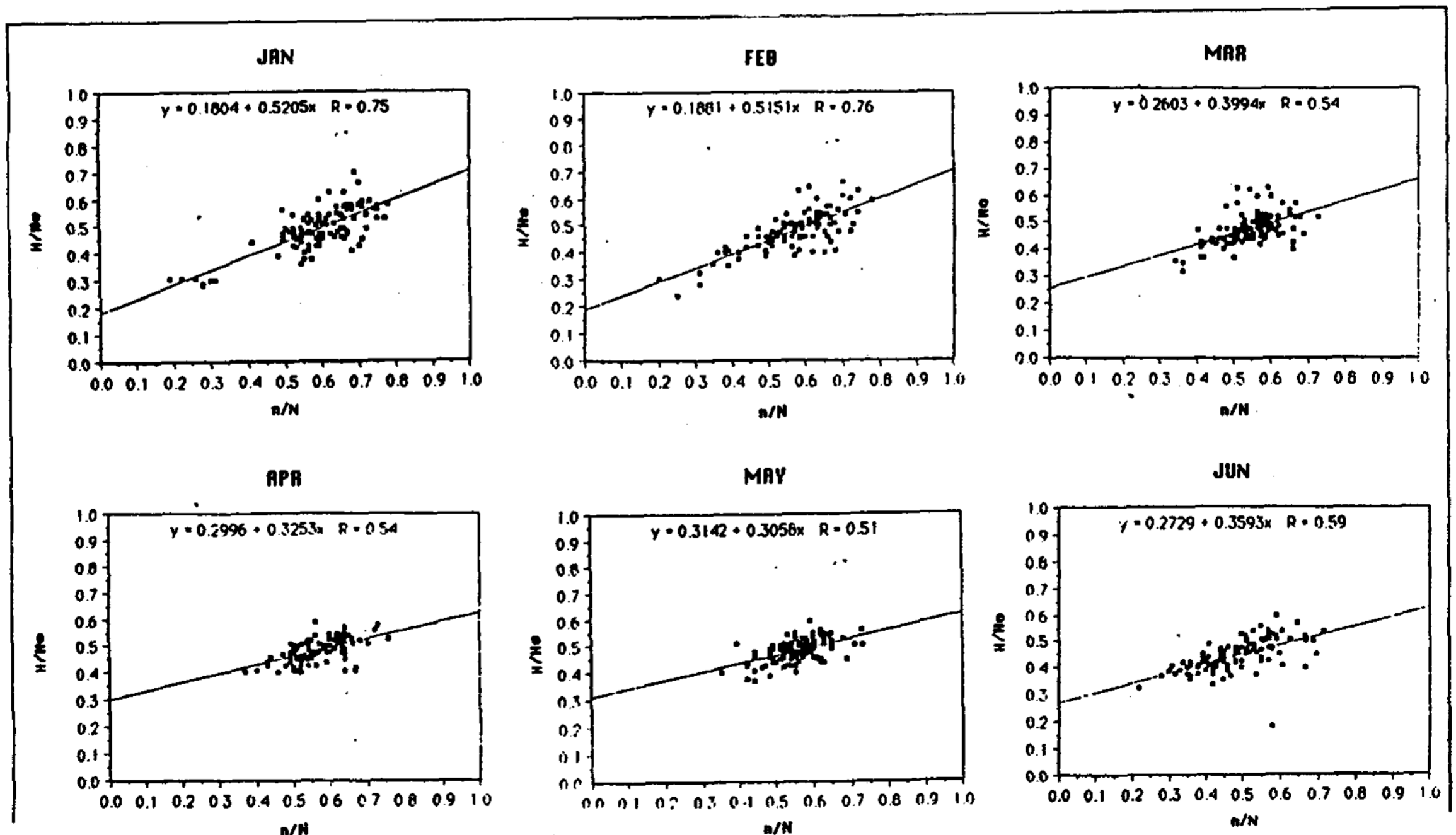
이다.

또 R은

$$R = \frac{\sum [X(i) - \bar{X}] [Y(i) - \bar{Y}]}{\sqrt{\{\sum [X(i) - \bar{X}]^2\} \{\sum [Y(i) - \bar{Y}]^2\}}} \dots\dots (3-3)$$

이며, R이 1에 가까울 수록 회귀식이 실측치와 일치하게 하는 a, b 값들을 계산함을 보

여준다. 따라서 윗식을 토대로 Table 3-1에 나타난 바와같이 선정된 각 지역을 대상으로 수식모델로서 구분하여 우리나라 전지역에서 공히 적용될 수 있는 기후지역상수 a, b 값을 일사-일조 및 일사-운량과의 상관관계식들을 이용하여 Table 3-2와 Table 3-3에 각각 월별로 제시하였으며, 또한 일사율과 일조율 그리고 운량에 대한 상관그래프를 Fig.3-1 과 Fig.3-2에 나타내었다.



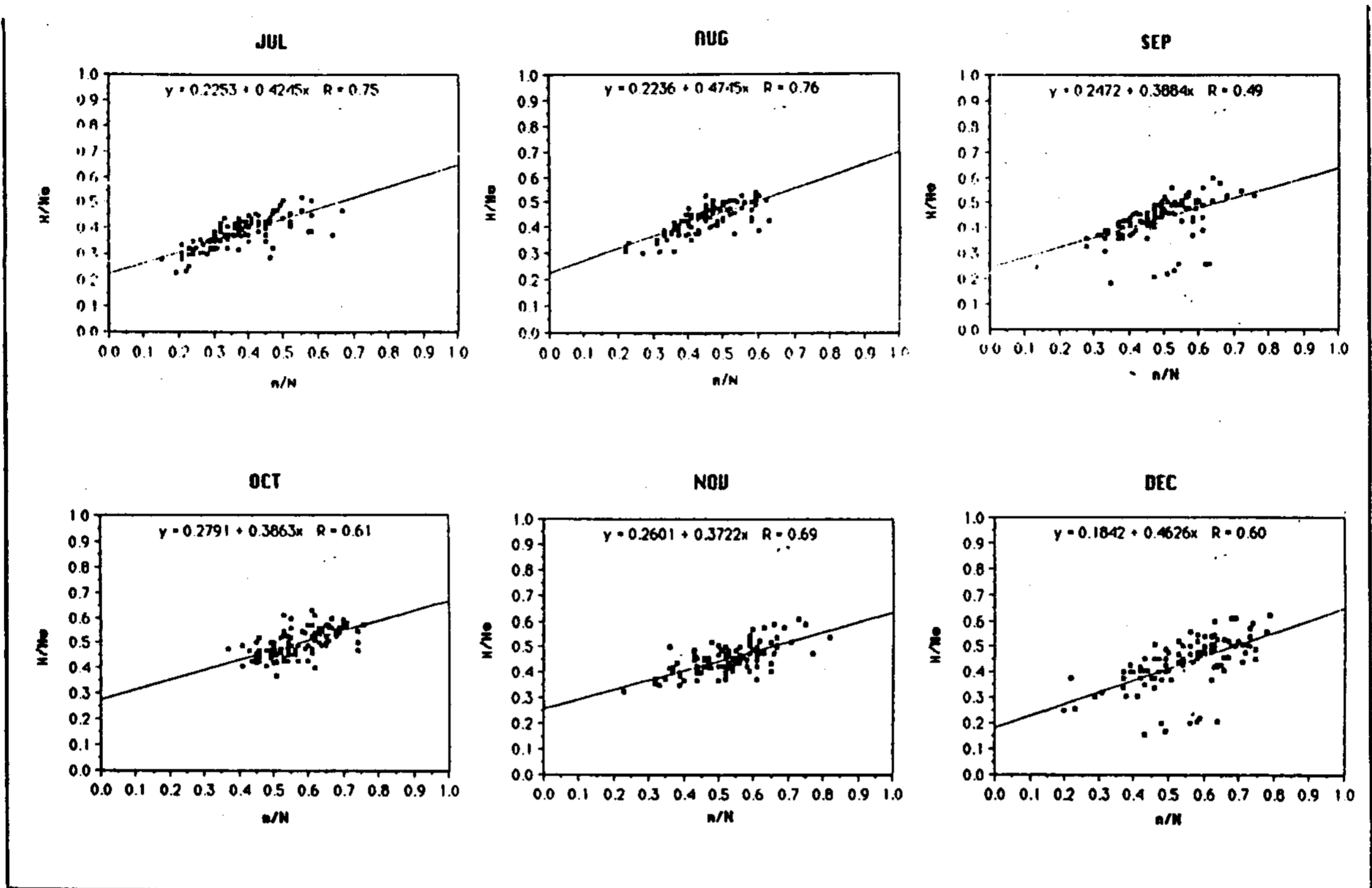
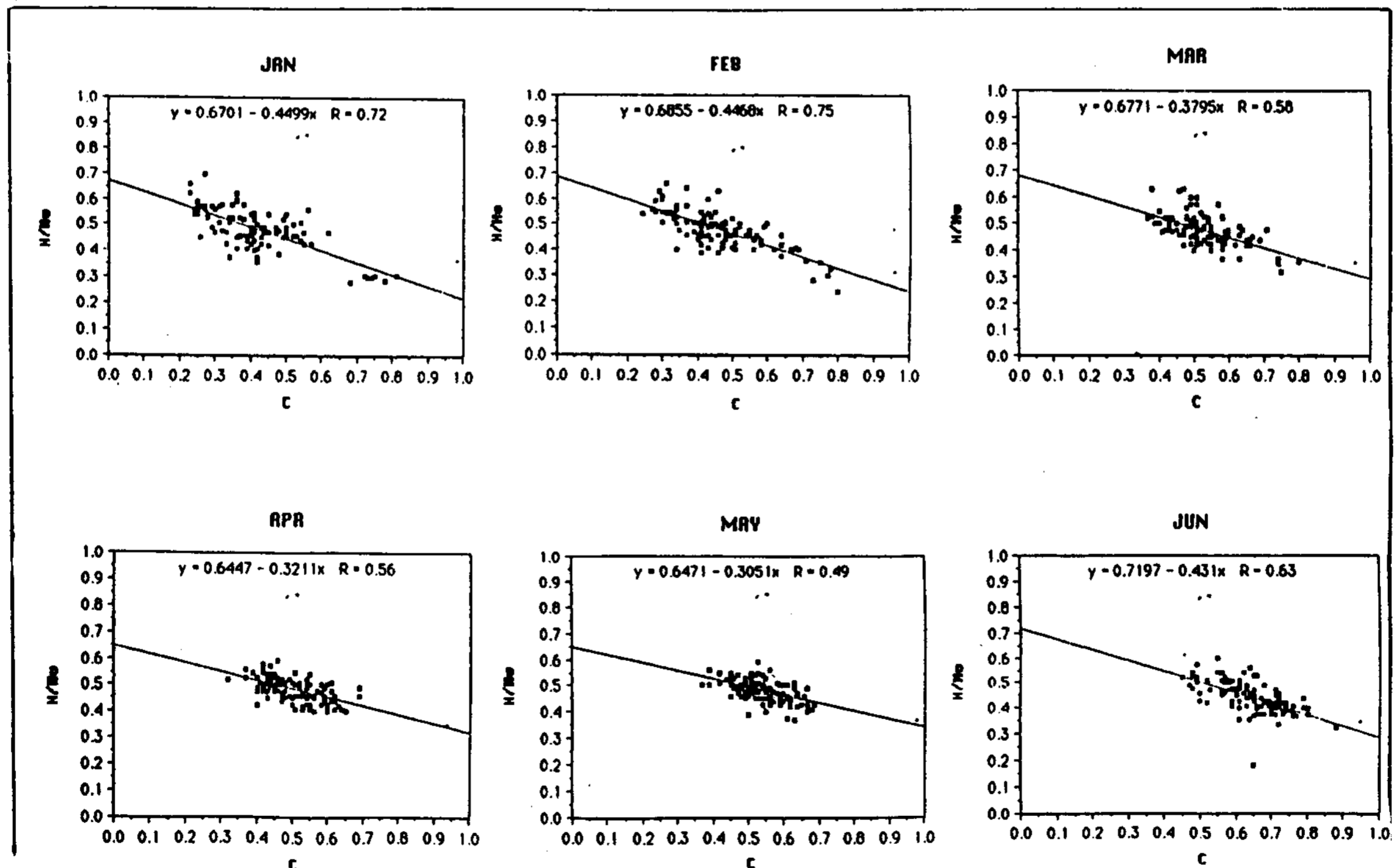


Fig. 3-1 Relationship between  $H/H_o$  and  $n/N$  for monthly records in KIER solar radiation measurement network



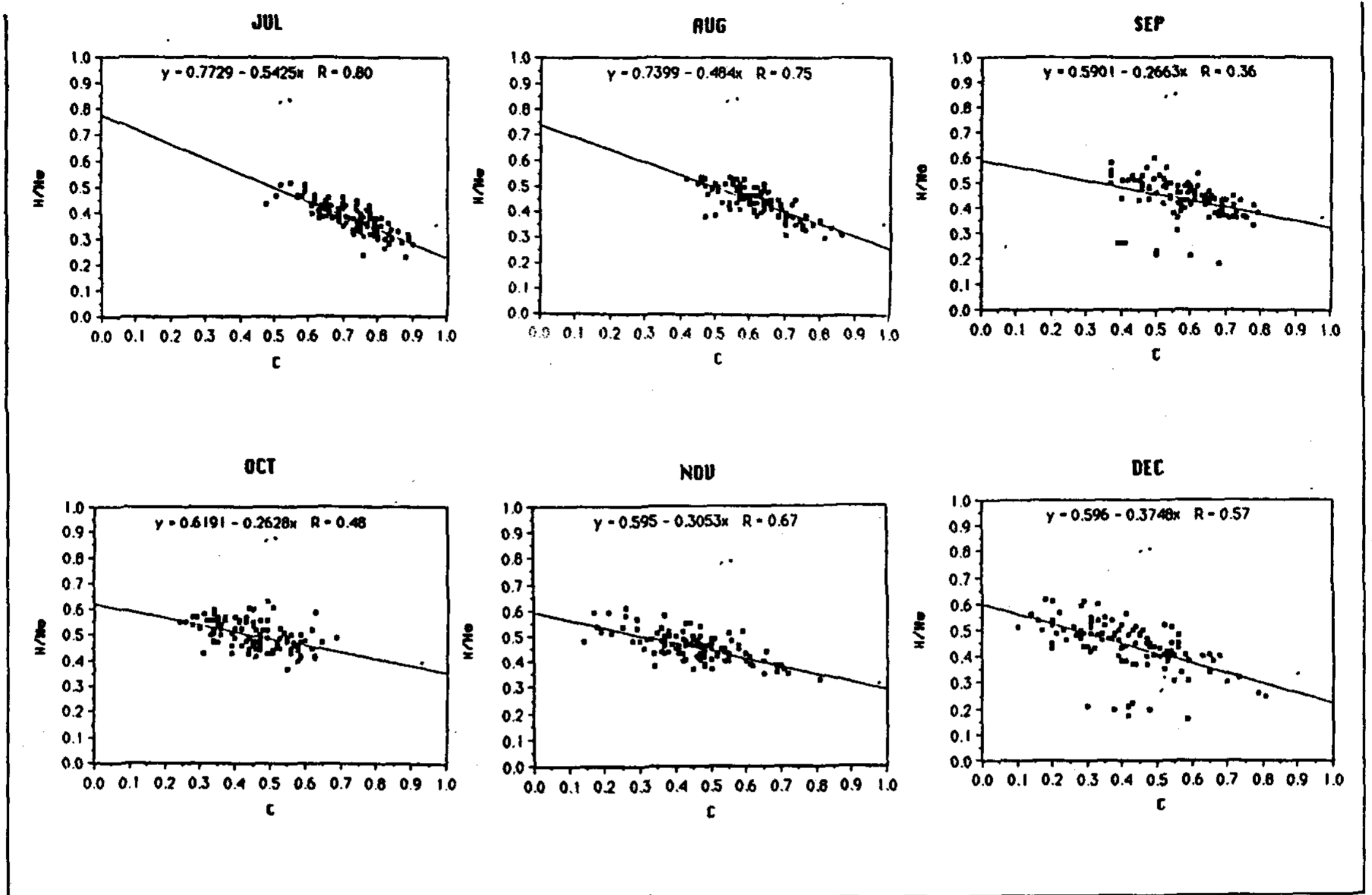


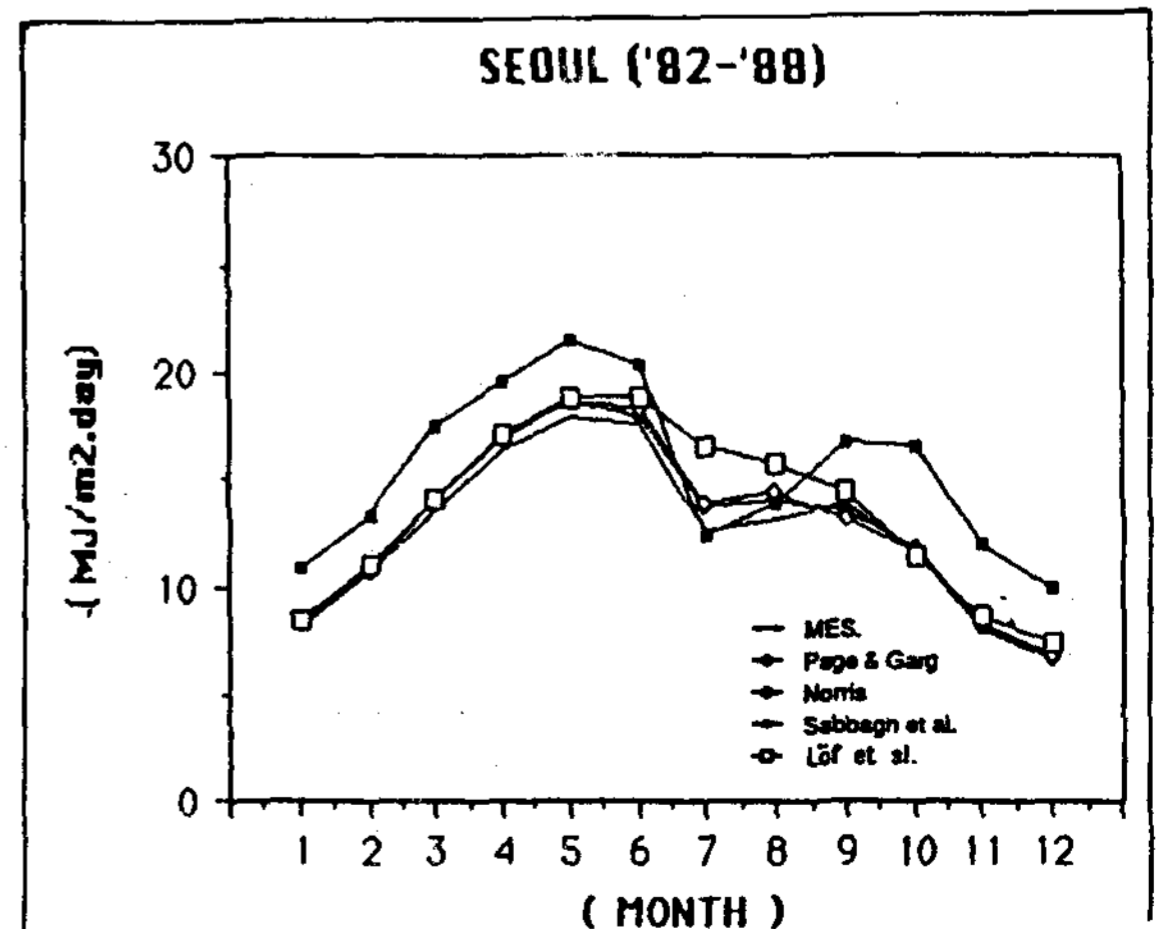
Fig. 3-2 Relationship between  $H/H_o$  and  $C$  for monthly records in KIER solar radiation measurement network

#### 4. 시뮬레이션에 의한 측정일사량과의 비교분석

일사량 예측을 위한 시뮬레이션은 여러 해석 기법중 Page & Garg 그리고 Norries, Sabbagh 등, Lof 등의 기법을 적용하였으며, 우리나라 주요 5개지역 (서울, 강릉, 대전, 광주, 부산)을 대상으로 하여 측정일사량과 비교하였다. 위에서 제시된 각 기법을 사용한 값들과 실측치가 지역별로 Fig.4-1에 비교되었다.

Table 4-1에 나타난 바와 같이 각 상관식에 의한 예측치와 실측치를 비교하여 보면 Page & Garg의 상관관계식은 연평균 오차가  $-1 \sim +3\%$ , Norries 상관식은  $-5 \sim +4\%$  정도의 범위로 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

그러나 운량에 의한 예측보다는 일조에 의한 예측이 오차가 비교적 적게 나타나는 원인은 일사율,  $H/H_o$ 와 일조율,  $n/N$  그리고 운량,  $C$ 와의 관계에서 측정기기에 의한 일조관





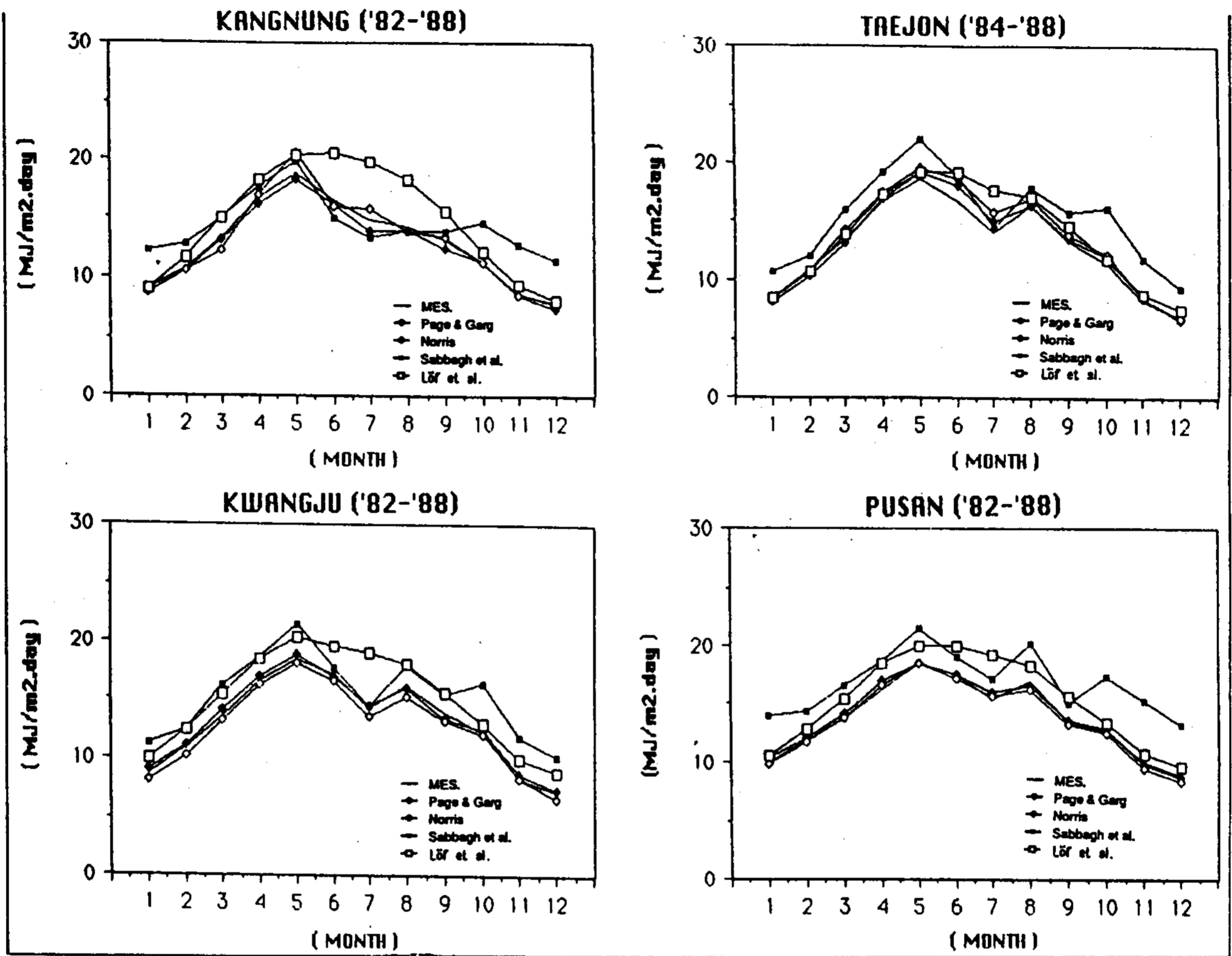


Fig. 4-1 Comparison between the monthly average observed and estimated insolation

Table 4-1 Comparison between the monthly average observed insolation and estimated insolation by each correlation model equation

Seoul (37° 34' N)

(MJ / m<sup>2</sup> · day )

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Avr.
KIER	Mes.	8.05	10.73	13.51	16.33	17.91	17.62	12.67	13.17	13.99	11.64	7.86	6.57	12.50
	Est.	8.21	10.99	14.14	16.94	18.62	17.97	13.71	14.19	13.52	11.83	8.18	6.53	12.90
Page & Garg	Error (%)	-1.9	-2.4	-4.5	-3.6	-3.8	-1.9	-7.6	-7.2	3.4	-1.6	-3.9	0.6	-3.1
	Est.	8.50	10.72	14.12	17.02	18.62	18.28	14.02	14.44	13.19	11.72	8.24	6.75	12.97
Norri- es	Error (%)	-5.3	0.1	-4.3	-4.1	-3.8	-3.6	-9.6	-8.8	6.1	-0.7	-4.6	-2.7	-3.6
	Est.	11.03	13.31	17.51	19.57	21.59	20.42	12.52	14.04	16.87	16.52	12.05	10.04	15.46
Sabbagh et al.	Error (%)	-27.0	-19.4	-22.8	-16.6	-17.0	-13.7	1.2	-6.2	-17.1	-29.5	-34.8	-34.6	-19.1
	Est.	8.40	11.07	14.19	17.15	18.81	18.92	16.68	15.83	14.44	11.60	8.62	7.38	13.59
Lof et al.	Error (%)	-4.2	-3.1	-4.8	-4.8	-4.8	-6.9	-24.0	-16.8	-3.1	0.3	-8.8	-11.0	-8.0

Kangnung(37°45' N)

(MJ/m<sup>2</sup>·day)

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Avr.
Model														
KIER	Mes.	9.00	10.79	13.43	16.75	18.81	16.55	14.99	14.26	13.28	11.23	8.66	7.68	12.97
Page & Garg	Est.	8.69	10.59	13.30	16.23	18.31	16.24	14.03	14.01	12.44	11.25	8.40	7.33	12.57
	Error (%)	3.6	1.9	1.0	3.2	2.7	1.9	6.8	1.8	8.4	-0.2	3.1	4.8	3.2
Norri- es	Est.	8.70	10.57	12.26	17.00	20.64	16.07	15.79	13.97	13.32	11.28	8.52	7.88	12.74
	Error (%)	2.9	-2.4	-3.1	0.5	3.7	1.0	8.6	1.3	5.6	-3.3	2.4	5.8	1.8
Sabbagh et al.	Est.	12.22	12.75	15.09	17.65	19.74	15.17	13.39	13.98	13.90	14.79	12.83	11.59	14.43
	Error (%)	-26.4	-15.4	-11.0	-5.1	-4.7	9.1	7.1	2.0	-3.0	-24.1	-32.5	-33.7	-10.1
Löf et al.	Est.	9.10	11.79	15.08	18.34	20.35	20.54	19.77	18.21	15.58	12.34	9.45	8.20	14.90
	Error (%)	-1.1	-8.5	-10.9	-8.7	-7.6	-19.4	-24.2	-21.7	-13.5	-9.0	-8.4	-6.3	-13.0

Kwangju (35° 08' N)

(MJ/m<sup>2</sup>·day)

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Avr.
Model														
KIER	Mes.	8.75	10.86	13.50	16.63	18.48	17.20	14.39	16.24	13.97	12.33	8.37	7.19	13.16
Page & Garg	Est.	9.06	11.17	14.18	16.98	18.80	17.07	14.53	16.05	13.41	12.36	8.71	7.36	13.31
	Error (%)	-3.4	-2.8	-4.8	-2.1	-1.7	0.8	-1.0	1.2	4.2	-1.0	-3.9	-2.3	-1.1
Norri- es	Est.	8.02	10.10	13.16	16.27	18.08	16.52	13.60	15.28	13.15	12.07	8.27	6.67	12.60
	Error (%)	9.1	7.5	2.6	2.2	2.2	4.1	5.8	6.3	6.2	2.2	1.2	7.8	4.4
Sabbagh et al.	Est.	11.38	12.49	16.24	18.63	21.51	17.65	14.44	17.87	15.39	16.36	11.82	10.18	15.33
	Error (%)	-23.1	-13.1	-16.9	-10.7	-14.1	-2.5	-0.3	-9.1	-9.2	-24.6	-29.2	-29.4	-14.2
Löf et al.	Est.	9.92	12.40	15.50	18.56	20.38	19.64	19.12	18.04	15.61	13.07	9.92	8.82	15.08
	Error (%)	-11.8	-12.4	-12.9	-10.4	-9.3	-12.4	-24.7	-10.0	-10.5	-5.7	-15.6	-18.5	-12.7

Taejon(36°18'N)

(MJ/m<sup>2</sup>·day)

Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Avr.
Model														
KIER	Mes.	8.46	10.87	13.61	16.83	18.67	16.71	14.20	16.35	13.33	11.57	8.21	6.88	12.94
Page & Garg	Est.	8.19	10.33	13.28	17.07	19.19	18.06	15.06	16.45	13.59	12.11	8.41	6.69	13.21
	Error (%)	3.3	5.2	2.5	-1.4	-2.7	-7.5	-5.7	-0.6	-1.9	-4.5	-2.4	2.8	-3.0

Norries	Est.	8.51	10.75	14.36	17.61	19.67	18.65	15.84	16.91	14.03	12.34	8.54	6.87	13.67
	Error (%)	-0.6	1.1	-5.2	-4.4	-5.1	-10.4	-9.9	-3.3	-5.0	-6.2	-3.9	0.1	-5.3
Sabbagh et al.	Est.	10.83	12.09	16.06	19.22	22.15	18.88	14.44	17.92	15.81	16.17	11.88	9.43	15.41
	Error (%)	-21.9	-10.1	-15.3	-12.4	-15.7	-11.5	-1.7	-8.8	-15.7	-28.4	-30.9	-27.0	-16.0
Löf et al.	Est.	8.49	10.79	13.87	17.29	19.32	19.20	17.75	17.24	14.69	11.91	8.89	7.60	13.92
	Error (%)	-0.4	0.7	-1.9	-2.7	-3.4	-13.0	-20.0	-5.2	-9.3	-2.9	-7.6	-9.5	-7.0

Pusan(35°06' N)

(MJ/m<sup>2</sup>·day)

Model \ Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Avr.
		KIER Mes.	9.95	11.86	13.83	16.32	18.48	17.47	15.54	16.94	13.36	12.61	9.95	8.81
Page & Garg	Est.	10.34	12.16	14.19	16.98	18.44	17.50	16.02	16.56	13.54	12.76	9.81	8.63	13.91
	Error (%)	-3.8	-2.5	-2.5	-3.9	0.2	-0.2	-3.0	2.3	-1.3	-1.2	1.4	2.1	-1.1
Norries	Est.	9.88	11.71	13.85	16.61	18.44	17.21	15.71	16.32	13.24	12.48	9.41	8.27	13.59
	Error (%)	0.7	1.3	-0.1	-1.7	0.2	1.5	-1.1	3.8	0.9	1.0	5.7	6.5	1.3
Sabbagh et al.	Est.	13.87	14.35	16.54	18.66	21.56	19.09	17.15	20.10	15.17	17.33	15.21	13.28	16.86
	Error (%)	-28.3	-17.4	-16.4	-12.5	-14.3	-8.5	-9.4	-15.7	-11.9	-27.2	-34.6	-33.7	-18.4
Löf et al.	Est.	10.56	12.90	15.51	18.56	20.08	19.95	19.22	18.32	15.70	13.35	10.70	9.54	15.37
	Error (%)	-5.8	-8.1	-10.8	-12.1	-8.0	-12.4	-19.1	-7.5	-14.9	-5.5	-7.0	-7.7	-10.5

측과는 달리 운량관측은 관측자의 목적에 의해 이루어지기 때문이다. 이러한 목적은 각기 다른 관측관점에 따라 상당한 차이를 나타내기 때문에 어떤 특정한 시간에 존재하는 국부적인 운량과 일사량사이에 직접적인 상관관계 성립에 상당한 어려움을 갖게 된다. 따라서 일조율이 운량보다는 일사율과 보다 직접적인 상관관계를 갖기 때문으로 사료된다.

또한 전반적으로 서울, 강릉, 대전에서는 비교적 운량이 많고 일조가 적은 하절기의 우기철의 경우, 시뮬레이션에 의한 일사량을 실측치와 비교할 때, 다른 계절에서 보다는 편차폭이 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는

하절기의 경우 대전 이북지역에서는 이남지역보다 기상변화가 심하였던 것으로 해석된다.

한편, Sabbagh 등이 제시한 상관식에 의해 일조시간을 적용하여 예측한 결과를 살펴보면, 일사와 일조 그리고 운량과의 상관식에 의해 시뮬레이션한 결과보다도 5개소의 전지역에서 공히 하절기를 제외하고는 실측치와 상당히 큰 차이를 갖는 경향을 보이고 있다.

또한 Löf 등의 상관식에 의한 예측 역시 Sabbagh 등의 상관식에 의한 예측시 보다 실측치와의 편차는 적게 나타나고 있는 반면에 일사-일조, 운량의 상관식보다는 전반적으로 상당한 차이를 보이고 있다. 또한 하절기에는

일사-일조, 운량의 상관식에 의한 대전 이북 지역에서의 예측시와 마찬가지로 실측치와 심한 차이를 나타내고 있다.

따라서 Sabbagh 등이나 Löf 등에 의한 일사의 예측은 일사와 일조, 운량과의 상관관계에 의한 예측시 보다는 실측치와 상당한 편차를 가져오는 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 일사예측 해석의 이론적인 배경 및 연구동향에 대한 고찰을 통하여 다양한 수식모델별로 우리나라 전지역을 대상으로 적용할 수 있는 기후지역상수값을 산출하였다. 산출된 상수값을 우리나라 주요 5개 지역에 적용하여 실측치와 여러 예측기법에 의한 시물레이숀치와 비교분석하였다.

이에대한 연구결과로서 Page 와 Garg, 그리고 Norries, Löf 등의 상관식을 적용하여 시물레이숀에 의해 계산된 일사량을 실측치와 비교하였다. 이러한 비교는 대전 이북지역에서는 공히 운량이 비교적 많고 일조가 적은 하절기의 우기철에는 계산치와 실측치의 변화폭이 다른 계절보다 2 배이상 높음을 보여주었다.

또한 Sabbagh 및 Löf 등의 상관식을 이용한 일사의 예측은 일사와 일조, 운량과의 관계에 의한 예측보다도 실측치와 년평균 -7~-19% 정도의 상당히 큰오차를 나타냈다. 또한 Page 와 Garg 의 상관식의 경우는 연평균 -1~+3%, 그리고 Norries 의 상관식은 -5~+4% 정도 실측치와의 오차를 보여주고 있다. 따라서 Page 와 Garg, 그리고 Norries 의 상관식에 의한 예측은 Sabbagh 등이나 Löf 등의 상관식에 의한 것보다 실측치에 매우 근사한 값을 보이고 있으므로 이들 상관식을 적용하는 것이 실제값과의 편차를 작게 하고 높은 신뢰

도를 나타내어 현재까지 제시된 식들 중에서 가장 타당성있는 상관식들로 판단되었다.

그러나 현재까지 측정기간이 충분하지 못하였기 때문에 이러한 결과만을 가지고 우리나라 전지역에 대한 정확한 일사량을 예측하는데는 상당한 어려움이 뒤따르고 있다. 이에따라 앞으로는 본 연구를 바탕으로 일사와 일조, 운량뿐만아니라 온도나 습도 등의 변화에 따른 일사량의 변동형태등 각종 기후조건과의 연관성도 규명해 나아갈 계획이다.

### REFERENCE

1. S. Jain & P.C. Jain, A Comparison of the Angstrom-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation, Solar Energy Vol.40, No.2, pp.93-98, 1988.
2. K.K. Copinathan, A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global radiation to sunshine duration, Solar Energy Vol.41, No.6, pp.499-502, 1988.
3. H.P. Garg, Treatise on solar energy, John Wiley & Sons, 1982.
4. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, 1980.
5. A.A.M. Sayligh, Solar energy engineering, Academic Press, 1977.
6. 국립중앙기상대, "기상년, 월보" 1982-1987.
7. 국립중앙기상대, "한국기후표(1951-1980)" 제 1 권(1982), 제 2 권(1983).