

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol.14. No.2, 1994

## 경험적인 회귀모델에 의한 일사예측에 관한 연구

조덕기 · 김은일 · 이태규 · 전일수 · 전홍석 · 오정무

한국에너지기술연구소

### **A Study on the Estimating Solar Radiation by Empirical Regression Models**

**Jo, Dok-Ki. Kim, Eun-Ill. Lee, Tae-Kyu. Chun, Il-Soo. Jeon, Hong-Seok. Auh, Chung-Moo**

*Korea Institute of Energy Research*

#### 요 약

최근에 대체에너지사업 수행지역이 확대됨에 따라 월평균 수평면 전일사량을 예측하기 위한 경험적 상수의 산출이 절실히 요구되고 있다. 본 연구는 일사자료가 없는 지역에서 일조율이나 운량 등에 대한 상관관계를 유도하여 회귀모델을 도출하고, 이를 임의의 지역에 대한 일사량에 적용코자 하였다.

본 연구의 결과, 일조율에 의한 방법에 의하여 유도된 상관관계식은 연평균 오차가  $-4 \sim +2\%$  범위로 나타나 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

#### ABSTRACT

It is necessary to estimate empirical constants in order to predict the monthly mean daily global radiation on a horizontal surface in the developing areas for alternative energy. 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 areas over Korea by calculating the regression models taking into account latitude,

percentage of possible sunshine, and cloud cover.

From the results, the single linear equation proposed by using percentage of possible sunshine method shows reliable results for estimating the global radiation with average annual deviation of -4 to +2% from measured values.

## I. 서론

최근에 태양에너지사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양열 및 태양광시스템의 설계기준 및 이에따른 설계자료로서 해당지역에 대한 정확한 일사자료가 매우 절실히 요구되고 있다. 그러나 일사측정 지역이 일부지역에만 국한됨에 따라 우리나라 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 도달하는 복사 에너지는 대기권을 통과하는 사이에 전리층과 오존층에 흡수되며, 또한 대기중의 구름이나 수증기, 이산화탄소, 먼지 등에 의해 상당량이 흡수되거나 산란되어 지표면에 도달되고 있다. 이와같이 일사량은 대기상태 및 특성에 의해 크게 달라짐에 따라 많은 학자들은 일사량과 관련 기상매개변수(氣象媒介變數) 사이에 함수 관계가 있을 것으로 간주하여 이들간의 상관관계를 오래전부터 연구하여 왔다.

따라서, 본 장에서는 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 일

사량을 예측코자 하였으며, 또한 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여, 그 지역 측정자료의 질적수준을 평가하는 보편으로도 이용하고자 하였다.

## II. 일사예측 해석의 이론적 배경

### 1. 일조율(日照率)에 의한 방법

1992년 초기에 분광학자인 Angstrom은 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, 월평균에 1일 가조시간에 대한 일조시간의 비와의 관계식으로 식 (1)과 같이 제시하면서 일사량을 이론적으로 예측하기 위한 연구가 시작되었다.

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

여기서, H : 월평균 1일 수평면 전일사량

H<sub>c</sub> : 월평균 1일 청명일사량

n : 월평균 1일 일조시간

N : 월평균 1일 가조시간(可照時間)

n/N : 일조율(日照率)

a', b' : 경험적 상수(常數)

그러나, 위 식은 청명일(淸明日)이라는 개념이 명확하지 않아 최근에 와서는 이와같은 문

제점을 보완하기 위하여 Page(1964) 및 Garg (1967)와 같은 학자들은 청명일 일사량 대신에 대기권밖 일사량을 근거로 한 관계식으로 식 (2)와 같이 유도하였다.

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

여기서  $H_0$ : 월평균 1일 대기권밖 일사량

$H/H_0$ : 일사율(日射率)

$a, b$ : 개정된 경험적 상수

여기서, 월평균 1일 대기권밖 일사량은 식 (3)에 의해 산출할 수 있다.

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

여기서,  $G_{sc}$ : 태양상수(1,353 W/m<sup>2</sup>)

$d$ : 통산일(通算日)

$\phi$ : 해당지방의 위도

$\delta$ : 일적위

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

$\omega_s$ : 일몰시간각

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

이 때, 해당일의 1일 최대 가조시간  $N'$ 는 해당지방의 위도와 일적위를 통하여 산출할 수 있으며, 그 산출식은 식 (4)와 같다.

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

## 2. 운량(雲量)에 의한 방법

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 상관관계를 식 (5)와 같이 제시하였다.

$$\frac{H}{H_0} = a'' + b''C \dots\dots\dots(5)$$

여기서,  $C$ : 월평균 1일 운량치

$a'', b''$ : 운량을 기초로 한 상수

그러나, 위 식은 일사와 운량의 상호관계를 더욱 발전시키기 위해 Norries(1968)에 의해 여러번 재검토가 시도되었고, 또한 Bennet (1965)는 일사율,  $H/H_0$ 와 운량,  $C$  그리고 일조율,  $n/N$ 과의 상관관계를 서로 비교하여 일조율이 운량치보다도 일사율과 더 이상적인 상호관계를 갖는다는 점을 발견하였다.

이와같은 주 원인은 기계에 의한 일조관측과는 달리 운량관측은 관측자의 목적에 의한 것이기 때문에 개인마다 각기 다른 관측관점에 따라 상당한 차이를 나타내어 어떤 특정한 시간에 존재하는 국부적인 운량과 일사량사이에 직접적인 상관관계의 성립이 상당히 어려움을 갖기 때문으로 생각한다.

## 3. 일조시간(日照時間)에 의한 방법

Masson(1966)은 월평균 1일 일조시간에 대한 수평면 전일사량과의 관계를 곡선함수로 제시하였으며, 이 곡선의 경향은 월평균 1일 일조시간이 7시간보다 크거나 같을 경우에는 직선함수의 성향을 갖게 된다. 그 결과를 수식으로 나타내면 식 (6)과 식 (7)과 같다.

$$\frac{(n+2.64)^2}{(2.64)^2} - (H-60)^2/(99)^2 = 1 \dots\dots\dots(6)$$

$$H = 60 + (1406.2n^2 + 7426.6n)^{1/2} \dots\dots\dots(7)$$

여기서,  $H$ : 월평균 1일 수평면 전일사량 (1 y/day)

$n$ : 월평균 1일 일조시간(hrs)

또한, Sabbagh 등(1973)은 두 개의 임의의 상수와 월평균 1일 일조시간, 그리고 월평균 1일 가조시간과의 상관관계를 식 (8)과 식 (9)와 같은 대수식으로 제시하였다.

$$H = (A + B \ln k) n \dots\dots\dots(8)$$

$$H = (A' + B' \ln k) N \dots\dots\dots(9)$$

여기서, A=42, B=12, A'=35, B'=11이며, k=1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 5, 4, 3, 2, 1로서 1월부터 12월까지의 순차적인 값이다.

4. Angstrom 관계식에 의한 매개변수(媒介變數) 적용방법

Bennett(1967)는 Angstrom 관계식이 매개변수를 사용하여 두 개의 상관식을 유도하였다. 첫번째의 식은 캐나다 전지역에서 각각 6월과 12월에 적용할 수 있는 상관식으로 식 (10)과 (11)과 같이 제시하였다.

$$H = H_o(311.6 + 4.94 Sr) \dots\dots\dots(10)$$

$$H = H_o(194.8 + 7.85 Sr) \dots\dots\dots(11)$$

여기서, H<sub>o</sub>은 월평균 1일 대기권밖 일사량이며, Sr은 1일 일조율이다. 다른 두번째의 식은 북미지역에서 각각 6월과 12월에 적용할 수 있는 상관식을 식 (12)와 식 (13)과 같이 산출하였다.

$$H = H_o(314.0 + 4.22 Sr + 0.0144e) \dots\dots\dots(12)$$

$$H = H_o(128.1 + 7.20 Sr + 0.0144 e) \dots\dots\dots(13)$$

여기서, e는 해당지방의 고도로 단위는 피트(ft)이다.

또한, Swatman과 Ogunlade(1966)은 월평균 1일 습도값을 이용한 상관식들을 다음과 같이 제시하였다.

$$H = 490D^{0.357}h^{-0.202} \dots\dots\dots(14)$$

$$H = 460e^{0.6079(D'-R)} \dots\dots\dots(15)$$

$$H = 464 + 265D' - 284h \dots\dots\dots(16)$$

여기서, h : 월평균 1일 습도

D' : 12시간에 대한 월평균 1일 일조시간의 비

5. 기타 기상매개변수(氣象媒介變數)에 의한 방법

Goldberg와 Klien(1978)은 측정된 데이터를 토대로 지표면의 1일 수평면 전일사량을 예측하기 위한 모델을 식 (17)과 같이 제시하였다.

$$H' = \frac{H_o'}{2} [1 + e^{-m' \cdot R} e^{-m'(\tau + a_{oz} \cdot x)} + 0.1] F_c \cos Z \dots\dots\dots(17)$$

여기서, H<sub>o'</sub> : 1일 대기권밖 일사량

R : 가중(加重) Rayleigh 산란계수(0.014)

a<sub>oz</sub> : 가중 오존층의 흡수계수(0.045)

x : 오존층의 두께(0.3 cm)

m' : 해당일의 유효공기질량(有效空氣質量)

$$= 0.346 + 1.011m + 0.0786m^2$$

m : 공기질량

Z : 태양의 천정각

τ : 반사효과가 고려된 불투명도

F<sub>c</sub> : 평균 운량의 보정치

또한, 지표면에 입사되는 월평균 1일 수평면 전일사량을 예측하기 위한 새로운 수식도 Reddy(1971)에 의해 개발되어 식 (18)과 같은 관계식으로 발전되었다.

$$H=K[(1+0.8S)(1-0.2t)/\sqrt{h}](\text{cal/cm}^2/\text{day}) \dots(18)$$

- 여기서,  $K: (\lambda N + \Psi_{ij} \cos L) 10^2$   
 $L$ : 해당지역의 위도  
 $\lambda: 0.2/(1+0.1L)$ 인 위도계수  
 $N$ : 월평균 1일 가조시간  
 $\Psi_{ij}$ : 계절별 변화계수( $i$ 는 1과 2의 값으로 내륙지방은 1, 해안지방은 2로 나타내며,  $j$ 값은 1~12 사이로 월별의 값은 Table 1과 같음.)  
 $S$ : 월평균 1일 일조율( $n/N$ )  
 $n$ : 월평균 1일 가조시간  
 $s: r/m$ ( $r$ =해당월의 우천일수,  $m$ =해당월의 일수)  
 $h$ : 월평균 1일 습도값

- $S_n$ : 월평균 1일 일조시간  
 $\alpha_n$ : 해당월 15일경의 태양정오시의 양고도  
 $K$ : 대역계수(대역 1=8, 대역 2=9.5, 대역 3=11)

그 후, 이와같은 일사량과 기상매개변수와의 관계식은 계속 제시되어 왔다. 그러나 지금까지 소개된 일사예측을 위한 해석방법들 중에서 기후조건이나 위도가 유사한 지역에서 실측된 과거의 수평면 전일사량과 일조율 통계자료를 이용하여 해당지역의 일사량을 예측하는 Page & Garg의 상관식을 적용하는 것이 실제 값과 편차를 적게하고, 보다 신뢰도가 높은 상관관계를 나타내어 현재까지는 가장 타당성이 있는 해석기법으로 받아들여지고 있다.

### III. 우리나라 주요지역에 대한 일사예측 상관식 산출

Table 1. Seasonal variation factor for the Northern Hemisphere

| 월<br>계수  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Psi_1$ | 1.28 | 1.38 | 1.54 | 1.77 | 2.05 | 2.30 | 2.48 | 2.41 | 2.36 | 1.73 | 1.38 | 1.17 |
| $\Psi_2$ | 1.46 | 1.77 | 2.05 | 2.05 | 2.05 | 2.05 | 2.10 | 2.17 | 2.14 | 1.96 | 1.60 | 1.43 |

이 밖에도 수평면 전일사량을 예측하기 위한 매우 단순한 경험식이 Barbaro(1978) 등에 의해 이태리 전지역에서 10여년간 측정된 데이터를 사용하여 다음과 같은 식으로 나타내었다.

$$H=k(S_m)^{1.24}(\alpha_n)^{-0.19}+10,550(\sin \alpha_n)^{2.1}+300(\sin \alpha_n)^3 \dots(19)$$

- 여기서,  $H$ : 월평균 1일 수평면 전일사량  
 $(\text{cal/m}^2/\text{day})$

최근 대체에너지 활용에 따른 태양에너지 이용의 증대성이 인식되어 지역에 따른 정확한 일사자료가 요구되고 있다. 그러나 일반적으로 신뢰성이 높은 자료를 확보하여 표준기상자료로 이용하기 위해서는 측정기간이 30~40년 정도임을 감안한다면, 우리나라의 일사량 자료는 상당히 미흡한 실정이다. 또한 일사측정 지역이 일부지역에만 국한되어 있어 우리나라 전지역에 대한 일사량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

따라서, 우리나라 주요지역에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상매개변수와의 상관관계를 도출하여 일사량 관측이 수행되지 않은 지역들에 적용할뿐만 아니라 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여 해당지역 측정자료의 질적수준을 평가할 수 있도록 하였다.

예측기법에 적용되는 인자로서는 대기권밖 일사량, 수평면 전일사량, 가조시간, 일조시간, 운량 등의 입력자료로서 Table 2에서 보는바와 같이 전국 주요 16개지역을 선전하여 이들 지역에서 '82.1~'93.12 기간동안에 측정된 12년간의 평균자료를 이용하였다.

또한, 이들 인자중 수평면 전일사량은 미국 Eppley사에서 제작한 수평면일사계와 동사의 적분기록장치, 그리고 Handar사의 데이터수집장치에 의해 관측되었으며, 기타 관련 기상자료는 동 기간동안에 기상청에서 발생한 "기상년. 월보" 자료를 사용하였다. 그 외에 대기권밖 일사량과 가조시간의 산출은 식 (3)과 식 (4)에서 계산된 값을 취하였다.

한편, 일반적으로 일조율과 운량에 의한 일사예측 방법에서 지역상수 a, b값의 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,

$$a = \frac{N \sum X(i)Y(i) - [\sum X(i)][\sum Y(i)]}{N \sum [X(i)]^2 - [\sum Y(i)]^2} \dots\dots\dots(20)$$

$$b = \frac{1}{N} [\sum Y(i) - \sum X(i)] \dots\dots\dots(21)$$

이다.

또한, R은

$$R = \frac{[\sum [X(i) - \bar{X}] - [Y(i) - \bar{Y}]]}{\sqrt{[\sum [X(i) - \bar{X}]^2 \sum [Y(i) - \bar{Y}]^2]}} \dots\dots(22)$$

이며, R이 1에 가까울수록 회귀식이 실측치와 거의 일치하는 a, b값들을 계산함을 나타낸다.

Table 2. Selected station for simulation

| 지역 \ 구분 | 위도      | 경도       | 고도    |
|---------|---------|----------|-------|
| 춘천      | 37° 54' | 127° 44' | 74.0m |
| 강릉      | 37 54   | 128 44   | 26.0  |
| 서울      | 37 34   | 126 58   | 85.5  |
| 원주      | 37 20   | 127 57   | 149.8 |
| 서산      | 37 46   | 126 28   | 19.7  |
| 청주      | 36 38   | 127 26   | 59.0  |
| 대전      | 36 18   | 127 24   | 77.1  |
| 포항      | 36 18   | 127 26   | 59.0  |
| 대구      | 35 53   | 128 37   | 57.8  |
| 전주      | 35 49   | 127 09   | 51.2  |
| 광주      | 35 10   | 126 53   | 70.3  |
| 부산      | 35 06   | 129 02   | 69.2  |
| 목포      | 34 47   | 126 23   | 53.4  |
| 제주      | 33 31   | 126 32   | 22.0  |
| 진주      | 35 12   | 128 06   | 21.5  |
| 영주      | 36 52   | 128 31   | 208.0 |

따라서, 윗식을 토대로 Table 2에서 나타난 지역들을 Fig. 1과 같이 위도나 기상조건이 상호 비슷한 지역들끼리 서로 묶어 지대(地帶)로 구분하여 각 지대에서 공히 적용할 수 있는 기후지역상수 a, b 값을 일조율과 운량에 의한 방법의 상관관계식을 이용하여 Table 3과 Table 4에 각각 월별로 제시하였다. 또한 일사율과 일조율 및 운량에 대한 상관그래프를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

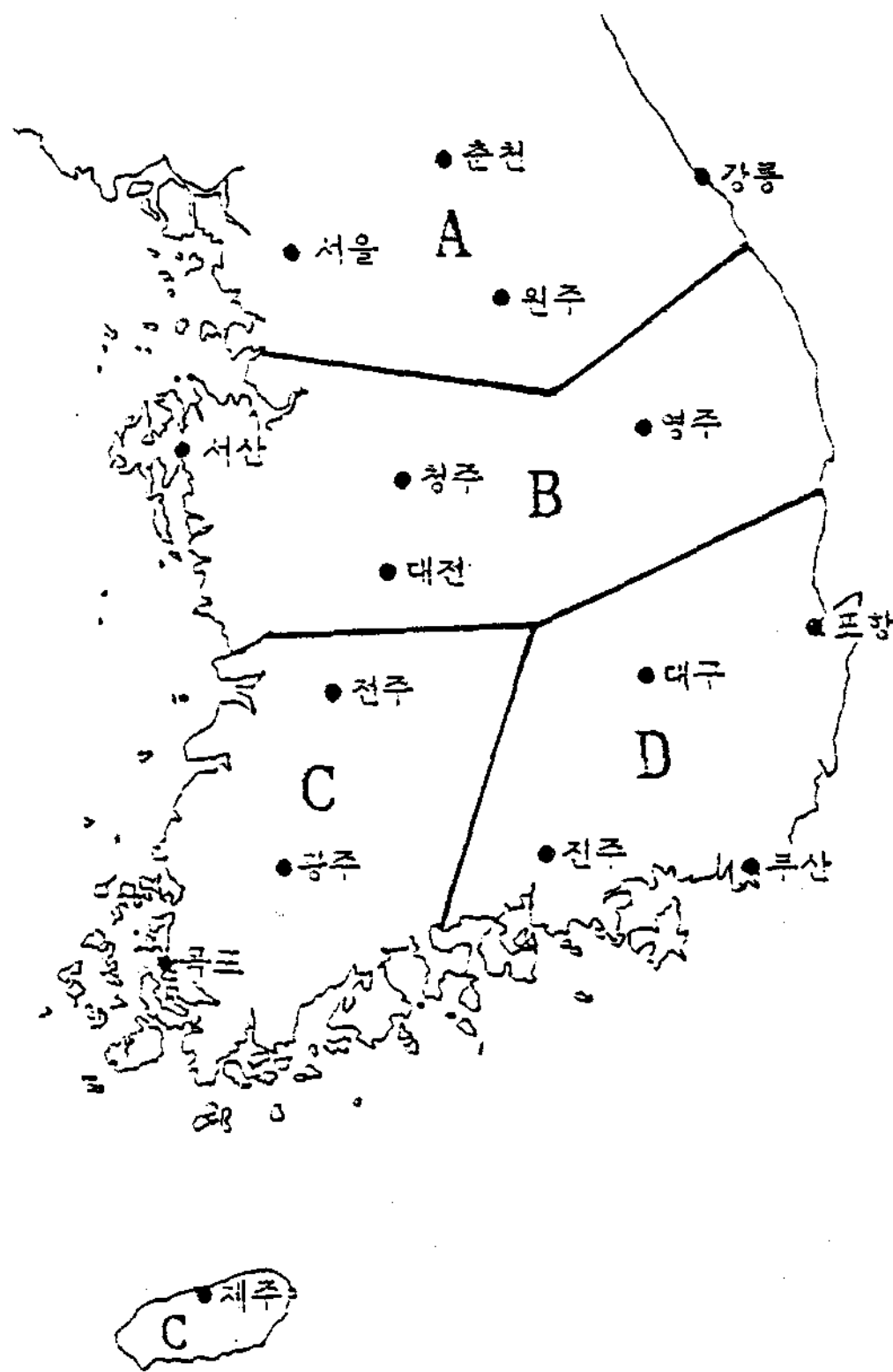


Fig. 1. Regional zone classification in Korea

Table 3. Empirical zone constants for insolation (percentage of possible sunshine correlation equation)

(단위 :  $\times 0.001$ )

| 지대 | 월 상수 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A  | a    | 162 | 205 | 260 | 272 | 233 | 219 | 201 | 245 | 218 | 303 | 207 | 182 |
|    | b    | 536 | 482 | 360 | 344 | 416 | 421 | 424 | 361 | 451 | 313 | 441 | 468 |
| B  | a    | 185 | 147 | 184 | 236 | 233 | 210 | 196 | 219 | 200 | 281 | 229 | 175 |
|    | b    | 526 | 596 | 520 | 424 | 427 | 440 | 452 | 445 | 504 | 378 | 419 | 506 |
| C  | a    | 140 | 140 | 141 | 278 | 211 | 184 | 200 | 169 | 175 | 180 | 208 | 186 |
|    | b    | 608 | 629 | 632 | 370 | 494 | 552 | 499 | 588 | 580 | 567 | 464 | 483 |
| D  | a    | 120 | 124 | 182 | 311 | 266 | 201 | 208 | 205 | 152 | 236 | 304 | 274 |
|    | b    | 636 | 646 | 552 | 307 | 380 | 501 | 461 | 493 | 625 | 412 | 328 | 369 |

Fig. 4. Empirical zone constants for insolation (cloudcover correlation equation) (단위 :  $\times 0.001$ )

| 지대 | 월 상수 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A  | a''  | 698  | 654  | 618  | 616  | 657  | 795  | 778  | 651  | 728  | 618  | 600  | 612  |
|    | b''  | -607 | -412 | -331 | -315 | -364 | -595 | -579 | -386 | -493 | -309 | -379 | -440 |
| B  | a''  | 703  | 712  | 654  | 643  | 637  | 811  | 808  | 687  | 683  | 644  | 605  | 588  |
|    | b''  | -541 | -504 | -376 | -334 | -314 | -626 | -615 | -433 | -420 | -334 | -361 | -349 |
| C  | a''  | 780  | 731  | 655  | 581  | 634  | 652  | 713  | 730  | 630  | 694  | 615  | 671  |
|    | b''  | -646 | -536 | -372 | -204 | -300 | -353 | -469 | -488 | -326 | -431 | -358 | -502 |
| D  | a''  | 698  | 654  | 618  | 616  | 657  | 795  | 778  | 651  | 728  | 618  | 600  | 612  |
|    | b''  | -731 | -546 | -220 | -134 | -213 | -372 | -415 | -394 | -308 | -193 | -164 | -224 |

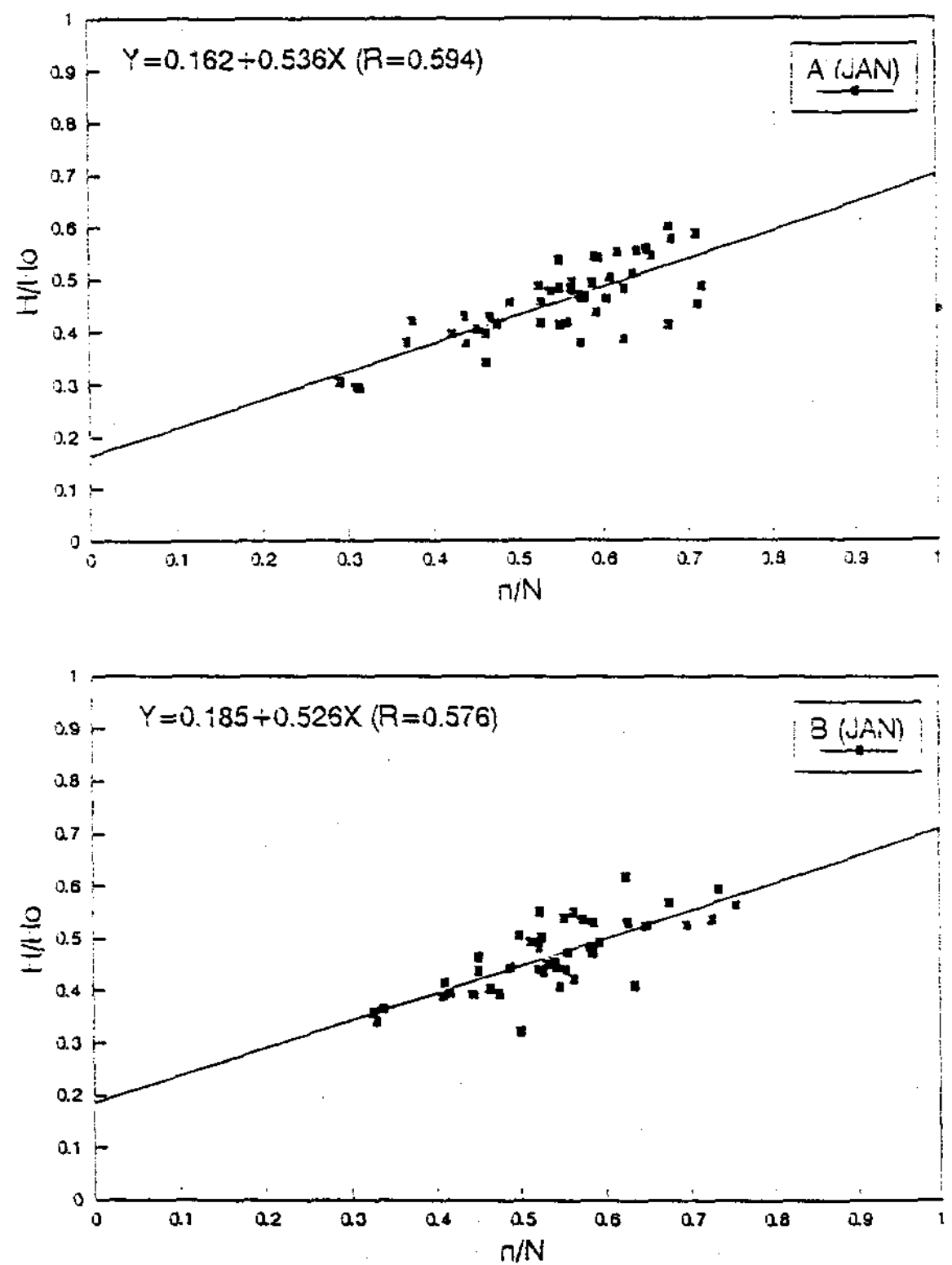


Fig. 2. Continuity

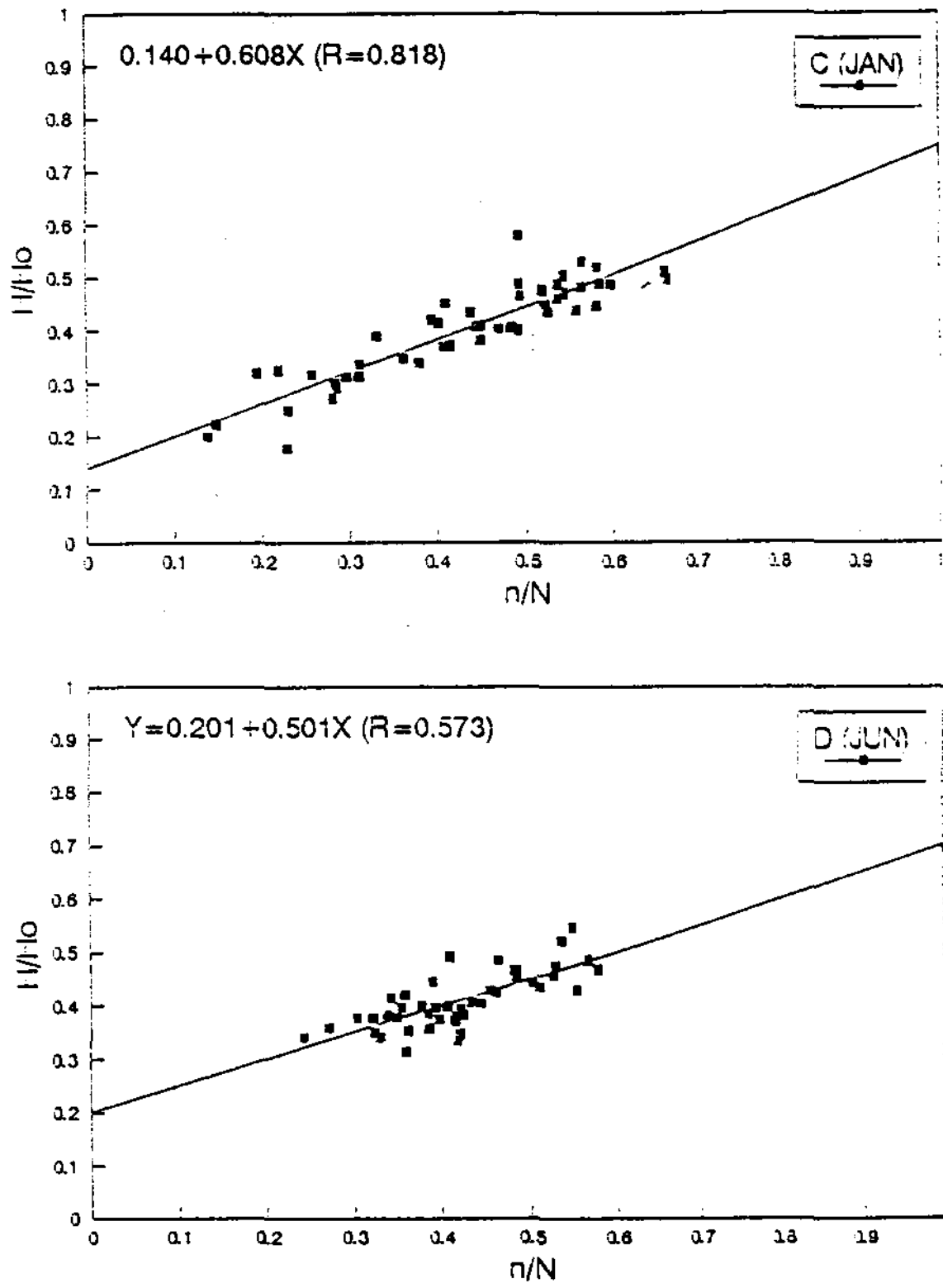


Fig. 2. Example for relation between  $H/H_0$  and  $n/N$

한편, 일사율과 일조율 및 운량에 대한 경험적인 상수값은 Table 5와 Fig. 4와 같이 상관관계가 성립되었다.

Table 5. Values of a in relation to the values of b for each zone

○ 일사율-일조율

| 지대 | 상관회귀식            | R     |
|----|------------------|-------|
| A  | $b=0.766-1.544a$ | 0.904 |
| B  | $b=0.809-1.631a$ | 0.875 |
| C  | $b=0.876-1.938a$ | 0.915 |
| D  | $b=0.870-1.832a$ | 0.979 |

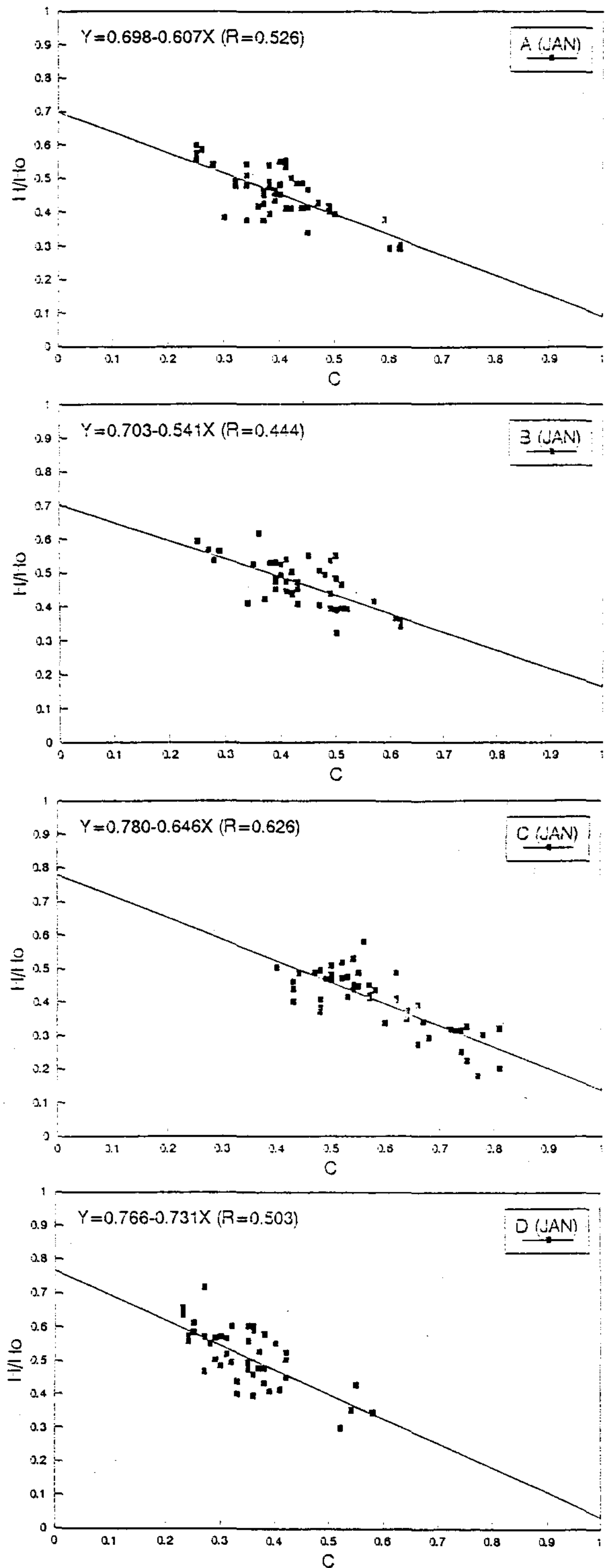


Fig. 3. Example for relation between  $H/H_0$  and C



○ 일사율-운량

| 지대 | 상관회귀식            | R     |
|----|------------------|-------|
| A  | $b=0.498-1.394a$ | 0.721 |
| B  | $b=0.571-1.474a$ | 0.867 |
| C  | $b=0.917-1.978a$ | 0.889 |
| D  | $b=1.241-2.512a$ | 0.975 |

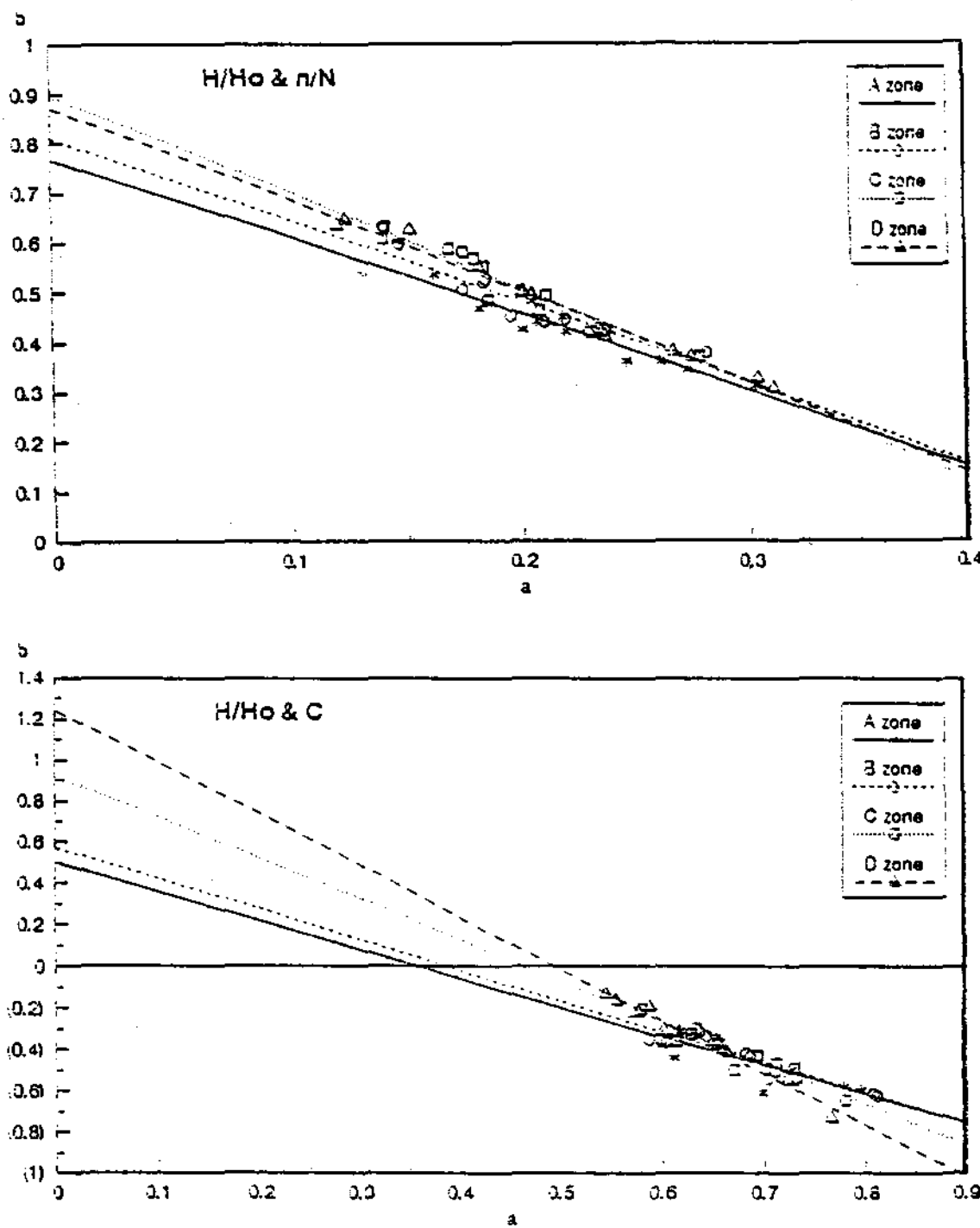


Fig. 4. Relationship between the constants a and b for each zone

IV. 시뮬레이션에 의한 측정일사량과의 비교분석

각 지대별로 따른 임의의 지역의 수평면 전 일사량을 예측하기 위한 시뮬레이션은 여러해석 기법중 일조율과 운량에 의한 방법을 적용

하여 지대별로 주요 1개지역씩 선정하여 '93년도에 측정된 실측일사량과 비교하였으며, 그 비교결과는 Table 6과 Table 7, 그리고 Fig. 5에 각각 제시하였다.

일조율과 운량에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, Table 6과 Table 7에서 보는바와 같이 일조율에 의한 방법은 연평균 오차가 -4~+2% 범위로 나타났으며, 운량에 의한 방법은 -2~+5% 정도의 범위로 나타나 두 방법 모두 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

그러나, 하절기에는 일조율보다는 운량에 의한 방법이 실측치와 편차를 높게 나타나게 하는 경향을 보이고 있다. 이와같이 운량에 의한 방법이 일조율에 의한 방법 보다도 오차를 높게하는 원인은 측정기기에 의한 일조관측과는 달리 운량관측은 관측자의 목적에 의하여 이루

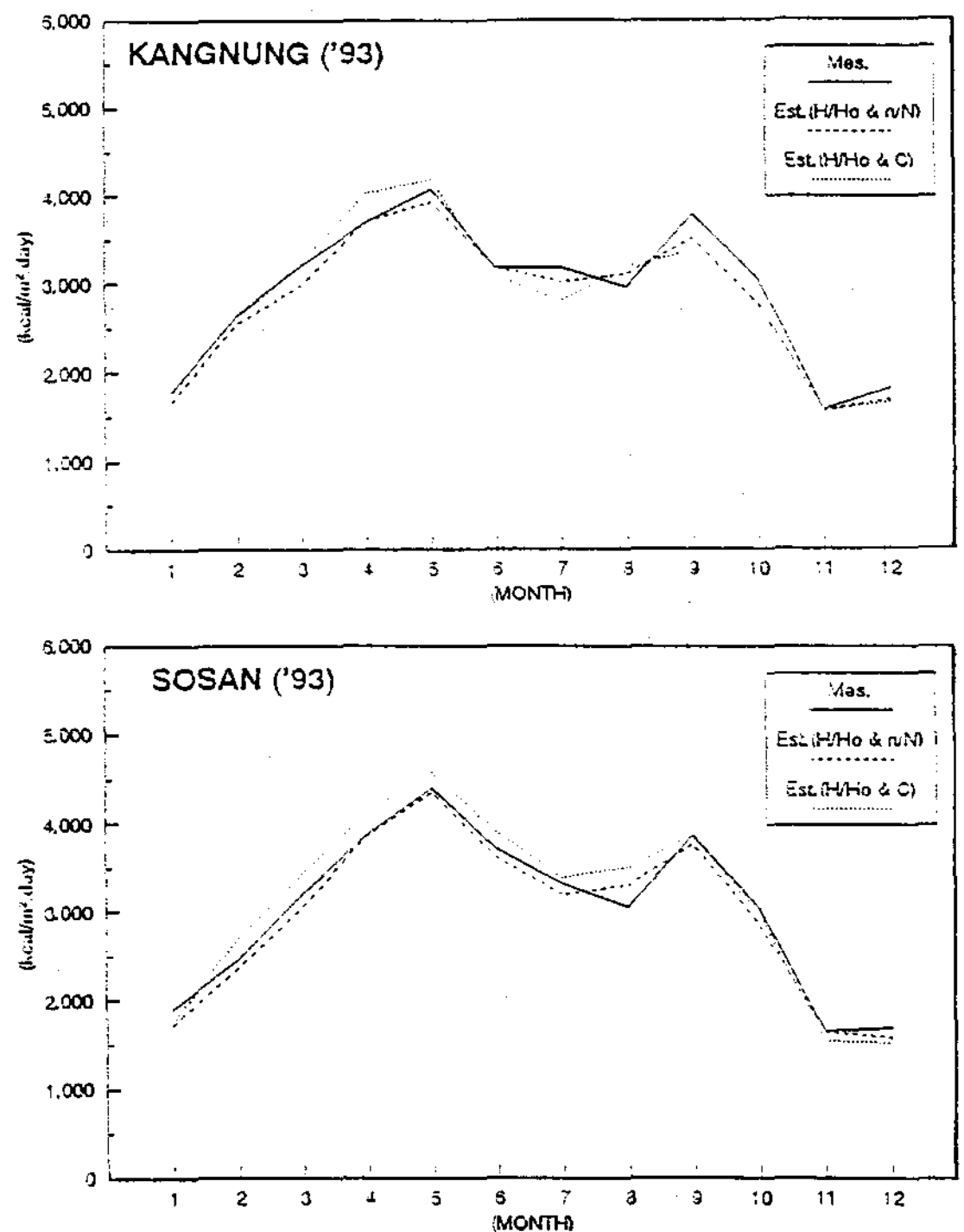


Fig. 5. Continuity

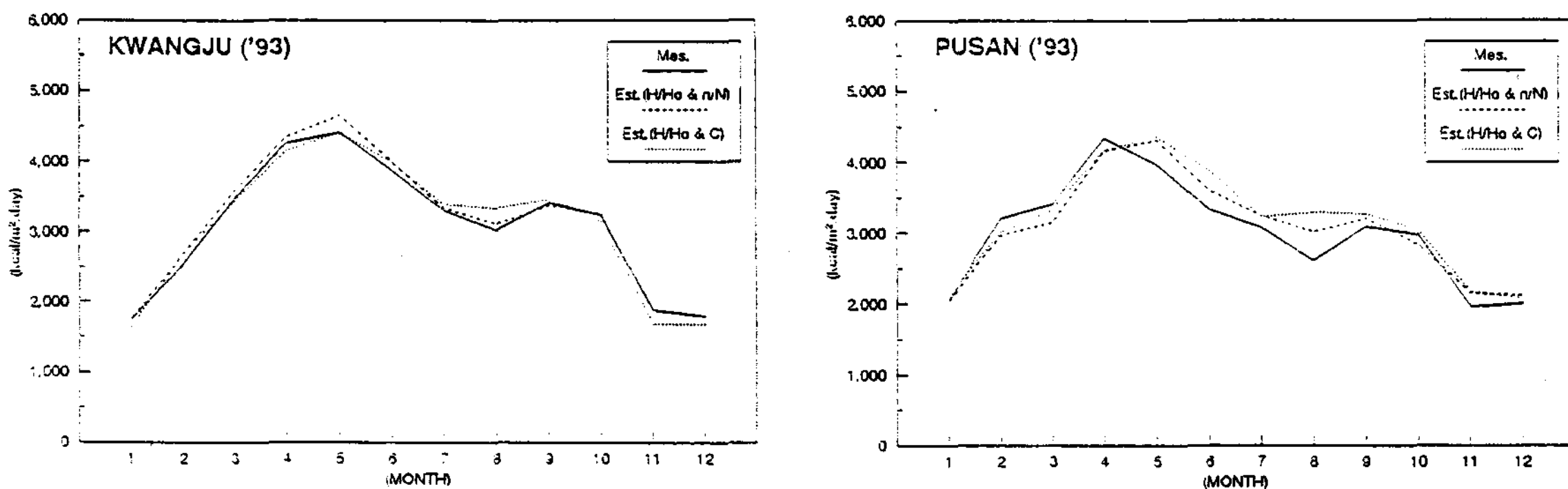


Fig. 5. Comparison between the monthly average observed and estimated insolation by each model equation

Table 6. Comparison between the monthly average observed insolation and estimated insolation by percentage of possible sunshine correlation equation

(단위 : kcal/m<sup>2</sup>.day)

| 구분        | 월     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 평균   |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 강릉<br>(A) | 예측치   | 1670 | 2548 | 2978 | 3712 | 3924 | 3185 | 3023 | 3106 | 3510 | 2780 | 1569 | 1695 | 2808 |
|           | 실측치   | 1780 | 2635 | 3201 | 3705 | 4083 | 3182 | 3177 | 2957 | 3784 | 3060 | 1579 | 1811 | 2913 |
|           | 오차(%) | -6   | -3   | -7   | 0    | -4   | 0    | -5   | +5   | -7   | -9   | -1   | -6   | -4   |
| 서산<br>(B) | 예측치   | 1717 | 2361 | 3057 | 3863 | 4362 | 3624 | 3191 | 3303 | 3773 | 2854 | 1636 | 1576 | 2943 |
|           | 실측치   | 1892 | 2463 | 3211 | 3877 | 4407 | 3729 | 3316 | 3053 | 3877 | 3041 | 1651 | 1696 | 3018 |
|           | 오차(%) | -9   | -4   | -5   | 0    | -1   | -3   | -4   | +8   | -3   | -6   | -1   | -7   | -2   |
| 광주<br>(C) | 예측치   | 1764 | 2687 | 3583 | 4341 | 4651 | 3985 | 3331 | 3107 | 3370 | 3240 | 1870 | 1795 | 3144 |
|           | 실측치   | 1758 | 2537 | 3473 | 4250 | 4407 | 3858 | 3301 | 3010 | 3411 | 3235 | 1882 | 1794 | 3076 |
|           | 오차(%) | 0    | +6   | +3   | +2   | +6   | +3   | +1   | +3   | -1   | 0    | -1   | 0    | +2   |
| 부산<br>(D) | 예측치   | 2048 | 2960 | 3153 | 4156 | 4299 | 3591 | 3247 | 3019 | 3205 | 2835 | 2149 | 2119 | 3065 |
|           | 실측치   | 2057 | 3209 | 3411 | 4336 | 3961 | 3337 | 3077 | 2609 | 3091 | 2979 | 1958 | 2009 | 3003 |
|           | 오차(%) | 0    | -8   | -8   | -4   | +9   | +8   | +6   | +16  | +4   | -5   | +10  | +5   | +2   |

※ 오차 : [(예측치/실측치) - 1] × 100

Table 7. Comparison between the monthly average observed insolation and estimated insolation by cloudcover correlation equation

(단위 : kcal/m<sup>2</sup>.day)

| 구 분       | 월     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 평균   |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 강릉<br>(A) | 예측치   | 1790 | 2661 | 3241 | 4025 | 4198 | 3083 | 2803 | 3180 | 3384 | 2751 | 1559 | 1669 | 2862 |
|           | 실측치   | 1780 | 2635 | 3201 | 3705 | 4083 | 3182 | 3177 | 2957 | 3784 | 3060 | 1579 | 1811 | 2913 |
|           | 오차(%) | +1   | +1   | +1   | +9   | +3   | -3   | -12  | +8   | -11  | -10  | -1   | -8   | -2   |
| 서산<br>(B) | 예측치   | 1741 | 2694 | 3435 | 4128 | 4584 | 3914 | 3391 | 3508 | 3871 | 2979 | 1540 | 1513 | 3108 |
|           | 실측치   | 1892 | 2463 | 3211 | 3877 | 4407 | 3729 | 3316 | 3053 | 3877 | 3041 | 1651 | 1696 | 3018 |
|           | 오차(%) | -8   | +9   | +7   | 0    | +6   | +5   | +2   | +15  | 0    | -2   | -7   | -11  | +3   |
| 광주<br>(C) | 예측치   | 1635 | 2693 | 3430 | 4141 | 4400 | 3975 | 3380 | 3332 | 3464 | 3144 | 1675 | 1682 | 3079 |
|           | 실측치   | 1758 | 2537 | 3473 | 4250 | 4407 | 3858 | 3301 | 3010 | 3411 | 3235 | 1882 | 1794 | 3076 |
|           | 오차(%) | -7   | +6   | -1   | -3   | 0    | +3   | +2   | +11  | +2   | -3   | -11  | -6   | 0    |
| 부산<br>(D) | 예측치   | 2106 | 3014 | 3330 | 4169 | 4351 | 3874 | 3229 | 3295 | 3263 | 3041 | 2175 | 2066 | 3159 |
|           | 실측치   | 2057 | 3209 | 3411 | 4336 | 3961 | 3337 | 3077 | 2609 | 3091 | 2979 | 1958 | 2009 | 3003 |
|           | 오차(%) | +3   | -6   | -2   | -4   | +10  | +16  | +5   | +26  | +6   | +2   | +11  | +3   | +5   |

※ 오차 : [(예측치/실측치) - 1] × 100

어지기 때문에 특히, 하절기에 각기 다른 관측자의 관측관점에 따라 상당한 차이를 나타내기 때문으로 생각된다.

한편, 각 지대별로 따른 주요지역에 대하여 일조율과 운량에 의한 시뮬레이션 예측치를 실측치와 비교하여 보면, 일조율에 의한 방법은 강릉, 서산, 광주에서는 전년을 통하여 비교적 실측치와 근접한 값을 나타내었으나, 부산지역은 하절기에 실측치와의 실측치와의 편차가 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 다른지역들보다도 남해동부지역의 기상변화가 하절기에 보다 심하였던 것 해석된다. 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 나타났다.

## V. 결 론

본 연구에서 일사예측의 이론적인 배경 및 연구동향에 대한 고찰을 통하여 우리나라 전지역을 대상으로 적용할 수 있는 경험적 상수값을 위도나 기상조건이 상호 비슷한 지역들끼리

서로 묶어 지대로 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 표준 지역에 적용하여 실측치와 예측기법에 의한 시뮬레이션치와 비교·분석하였다.

이에대한 연구결과로서,

첫째, 일조율에 의한 방법은 실측치와 연평균  $-4\sim+2\%$  정도의 오차를 나타내었으며, 운량에 의한 방법은  $-2\sim+5\%$  정도의 범위에서 실측치와의 오차를 나타내었다.

둘째, 일조율에 의한 예측치는 다른 지역보다도 남해동부지역이 기상변화로 하절기에 실측치와의 편차가 심했던 것으로 나타났으며, 운량에 의한 예측치는 전지역에서 공히 하절기에 실측치보다 높은 편차를 나타내었다.

셋째, 일조율에 의한 방법은 운량에 의한 방법보다도 특히, 하절기에 실측치에 근사한 값을 보이고 있어, 일조율에 의한 상관식을 적용하는 것이 실제값과의 편차를 적게하고, 보다 높은 신뢰도를 나타내는 것으로 판단되었다.

그러나, 지금까지 수집된 일사관련 기상자료의 정확도에 대한 검증이 불충분하기 때문에 이러한 결과만을 가지고 우리나라 전지역에 대한 정확한 일사량을 예측하는 데는 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.

## References

1. 기상청, "기상년. 월보", 1982~1993.
2. 기상청, "한국기후표(1951~1980)", 제 1권(1982), 제 2권(1983).
3. 이남호외, 태양에너지 자원조사 및 신제품 성능 비교연구 I, II, III, IV, 한국에너지기술연구소, 1982~1985.
4. 최영희 외, 국내일사량의 성분 및 가용량 평가 I, II, III, 한국동력자원연구소, 1989~1991.
5. 소선섭, 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.
6. H.P. Garg, Treatise on Solar Energy, John Wiley New Nork, 1982.
7. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley New York, 1980.
8. J.P. Frangi, S. Yahaya, and J. Piro, Characteristics of Solar Radiation in the Sahel, Solar Energy Vol. 49, pp. 159-166, 1992.
9. Frederick N. Onyango, On the Estimation of Global Solar Insolation, Solar Energy Vol. 31, No. 1, pp. 69-71, 1983.
10. Alfonso Soler, Statical Comparison for 77 European Stations of Sunshine-Based Models, Solar Energy Vol. 45, No. 6, pp. 365-370, 1990.

**ABSTRACTS** SOLAR ENERGY Vol.14, No.2, 1994**A Study on Characteristics of Heat in Horizontal Storage Tank****Ee-Tong Pak\* , Un-Chul Jeong\*\****\* Sung Kyun Kwan University**\*\* Kyungmin Junior College*

The major objectives of the study are to suggest the optimal basic design conditions for the horizontal storage tank system. For this purpose computer simulation has been carried out to find the characteristics of flow patterns in horizontal storage tank, and experiments have been carried out for the duration of one turnover. Experimental parameters are volume flow rate (1 LPM to 4 LPM), amount of heat generated from heat sources (0 W to 100 W), and inlet and outlet port types of the storage tank (DD type, DO type, ID type, IO type).

**A Study on the Estimating Solar Radiation by Empirical Regression Models****Jo, Dok-Ki. Kim, Eun-Ill. Lee, Tae-Kyu. Chun, Il-Soo.  
Jeon, Hong-Seok. Auh, Chung-Moo***Korea Institute of Energy Research*

It is necessary to estimate empirical constants in order to predict the monthly mean daily global radiation on a horizontal surface in the developing areas for alternative energy. 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 areas over Korea by calculating the regression models taking into account latitude, percentage of possible sunshine, and cloud cover.

From the results, the single linear equation proposed by using percentage of possible sunshine method shows reliable results for estimating the global radiation with average annual deviation of  $-4$  to  $+2\%$  from measured values.

## **Measurements of Transmittances and Calculations of Fundamental Radiative Properties**

**Yong-Ha Hwang\*, Seung-ho Park\*\*, Young-Soo Lee\*\*\***

*\*Department of Thermal Engineering, National Chung-Ju University*

*\*\*Department of Mechanical Engineering, Hong-Ik University*

*\*\*\*Korea Institute of Energy Research*

Radiative characteristics of glass windows and porous absorbing media which can be used for a solar air heater are determined through the measurements of spectral transmittances. Those in the visible range are measured by the UV-IR spectrometer. Refractive index of glass are obtained by the comparison of the measured transmittances and the correlations derived from the electromagnetic theory and are compared to the theoretical ones calculated from the classical dispersion theory. Absorption and back-scattering coefficients of 15-mesh stainless wire screens are calculated by the comparison of the measured transmittances and the correlations derived from the two-flux model.

## **An Experimental Study on the Heat Transfer Performance in a Fluidized Bed Double Pipe Heat Exchanger**

**Yoo, Ji-Oh\* Seo, Jeong-Yun\*\***

*\* Dept. of Build, Equip., Shin Heung Junior College*

*\*\* Dept. of Mech. Eng., Inha Univ.*