

## 국내 직달일사량 자원의 평가 연구

조덕기 · 이태규 · 김은일 · 전일수 · 이순명 · 조서현 · 오정무

한국에너지기술연구소

## An Evaluation Study of Domestic Direct(Beam) Normal Solar Radiation Data

Jo, Dok-Ki · Lee, Tae-Kyu · Kim, Eun-Il · Chun, Il-Soo · Lee, Soon-Myoung · Cho, Suh-Hyun · Auh, Chung-Moo

*Korea Institute of Energy Research*

### 요 약

1990년 12월부터 전국 주요 16개지역에 측정네트웍을 구성하고, 직달일사량 자료를 수집하였다. 측정된 자료를 토대로 지역별 표준치 설정하여 이들 자료를 집광식시스템의 설계자와 관련 연구자들에게 광범위하게 이용될 수 있도록 제시하였다. 현지 측정사업의 내용을 중심으로 지금까지의 결과를 살펴보면,

- 1) 우리나라의 법선면 직달일사조건은 청명한 날을 기준으로 하루에 4,400 kcal/m<sup>2</sup>내외이다.
- 2) 연평균치에 대한 계절별 일사조건은 봄과 여름이 각각 6%, 14% 높았으며, 가을과 겨울은 5%, 15% 정도 상대적으로 낮았다.

### ABSTRACT

Since the direct (beam) normal solar radiation is a main factor for designing any focusing solar system, it is necessary to evaluate its characteristics all over the country.

We have begun collecting direct normal solar radiation data since December 1990 at 16 different locations and considerable effort has been made for constructing a standard value from measured data at each station.

KIER's new data will be extensively used by concentrating system users or designers as well as by research institutes.

From the results, we can conclude that

- 1) 4,400 kcal/m<sup>2</sup>. day of the direct (beam) normal solar radiation was evaluated for clear day.
- 2) Direct normal solar radiation of spring and summer were 6% and 14%, higher than the yearly average value, respectively, and for fall and winter their values were 5% and 15% than the yearly average value, respectively.

## I. 서론

대기권내에 입사하는 태양빛은 대기를 구성하는 분자에 따라 흡수, 산란되어 감퇴해서 지구 표면위에 도달되며, 이 중 지표면상에 떨어질 때까지 입사방향이 직각인 면으로 입사하여 그 방향이 변하지 않고 직접 도달되는 성분을 직달일사량이라고 한다.

직달일사량은 태양에너지라는 측면에서 살펴보면, 넓은 면적에 입사하는 태양광선을 한곳으로 모아 고온에너지를 얻도록 설계되는 고온집열시스템, 즉 태양로와 같은 기기의 개발과 보급을 위한 기초자료로서 절실히 요구되며, 또한 청명한 날에만 측정이 가능하기 때문에 이로부터 대기의 혼탁상태를 측정할 수 있어 장기간 측정된 성분을 통하여 대기 혼탁상태의 경년변화와 대기중에 포함되는 부유분진 등의 입자량에 대한 지역적, 계절적인 변화의 경향 등을 파악할 수 있다.

본 연구는 날로 중요성을 더해가고 있는 태양에너지 이용기술이 국내에서도 하루 빨리 정착, 실용화 할 수 있도록 국내 직달일사량 자원을 보다 과학적인 방법으로 정확하게 측정, 평가하는데 목표를 두었다.

그러나 실측기간이 불과 1년반 밖에 안되기 때문에 측정결과가 갖는 의미가 곧 절대성을 갖을수는 없을 것이다. 이는 앞으로 계속될 예정인 본 사업에서 보완해 나아갈 문제인 것이다.

## II. 측정네트웍의 구성

직달일사량의 광역분포 상태를 알기 위해서는 반드시 측정네트웍을 구성하여야 하며, 각 측정지점은 서로 이상적인 거리간격을 유지하여야 한다.

본 연구사업은 이와같은 점들을 고려하여 국내 일사량 측정을 위한 측정지간의 거리를 100Km로 설정하고 Table 1과 Fig. 1에서와 같이 전국 16개 주요지점을 측정 대상지역으로 선정하였다.

측정치 선정작업에 고려된 사항들은 살펴보면 다음과 같다.

- 측정지 상호간의 거리는 가능한 균등하게 유지하기 위하여 전국을 위도와 경도로 등분하여 측정지 분포를 고르게 하였으며, 가능한 내륙 및 해안 등 지역적 특수성에 따른 일사량 변동형태를 연구할 수 있도록 측정지 선정에 반영하였다.
- 측정지는 시스템의 관리유지와 데이터수집이 용이하게 할 수 있도록 기상청(KMA)의 협조를 얻어 해당지역 기상대와 당 연구소(KIER)를 측정지로 하였다.
- 사업추진 경비를 고려하여 측정지를 16개 소로 한정하였다.
- 측정장치는 미국 Eppley사가 제작한 NIP (Normal Incidence Pyrheliometer) 직달일사계와 동사의 태양 자동추적장치(모델 SMT-3), 그리고 미국 Handar사가 제작한 데이터수집장치(모델 570A)를 사용하였다.

그외에 각 측정네트웍에 설치된 개개의

Table 1. List of Domestic Direct(Beam) Nomal Radiation Measurement Sites

지역명	지역번호	위도	경도	고도
춘천	101	37°54'N	127°44'N	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 18	127 24	77.1
포항	138	36 02	129 23	5.6
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 37	126 23	53.4
제주	184	33 31	126 32	22.0
진주	192	35 12	128 06	21.5
영주	272	36 52	128 31	208.0

시스템에서 측정된 데이터를 전송매체인 기존 통신회선을 이용하여 통제소(Key Station)에서 수신할 수 있고, 또한 시스템을 제어할 수 있는 형태로 결합시켜 유기적으로 작동하게 하는 컴퓨터통신망을 구성하였으며, 또한 시스템 가동에 필요한 전력을 자체내에서 조달하고, 측정장업과 이에따른 데이터의 자체 저장처리 문제를 스스로 해결할 수 있도록 측정의 자동화를 시도하였다.

### III. 자료의 처리 및 분석

각 측정지에서 측정한 자료는 한국에너지기술연구소에서 전산처리되고 있으며, 특히 자료처리를 위하여 운영하고 있는 전산프로그램은 미국 Handar사의 DPP프로그램(Data Retrieval and Process Program)으로 이를 통하여 시각별 직달일사량 자료를 데이터베이스로 재처리해서 저장하고, 이를 지속적으로 보완할 수 있도록 각종 분석용 프로그램을 개발하였다.

분석은 주로 양적비교분석과 신뢰성분석으로 구분하여 실시하였으며, 측정기간 동안에 얻은 각 지역의 자료를 월별 및 1일 평균 혹은 특정한 시간대별로 정리하여 분석하고, 그 결과를 통하여 지역간의 직달일사량자원 현황과 환경분석을 동시에 평가하고자 하였다.

분석대상은 전국 16개소에서 '90. 12~'92. 7 사이에 청명한 날에 측정된 1년 8개월간의 평균 자료가 사용되었으며, 여기서 청명상태의 기준은 하늘에 구름이 거의 없을때, 즉 일평균 운량값이 0에서 0.1 사이인 경우만을 적용하였으며, 운량은 하늘 전체를 1로하여 그에 상대적으로 덩환 구름의 양을 표시하며, 기상청이 발표한 기상자료에 근거 하였다.

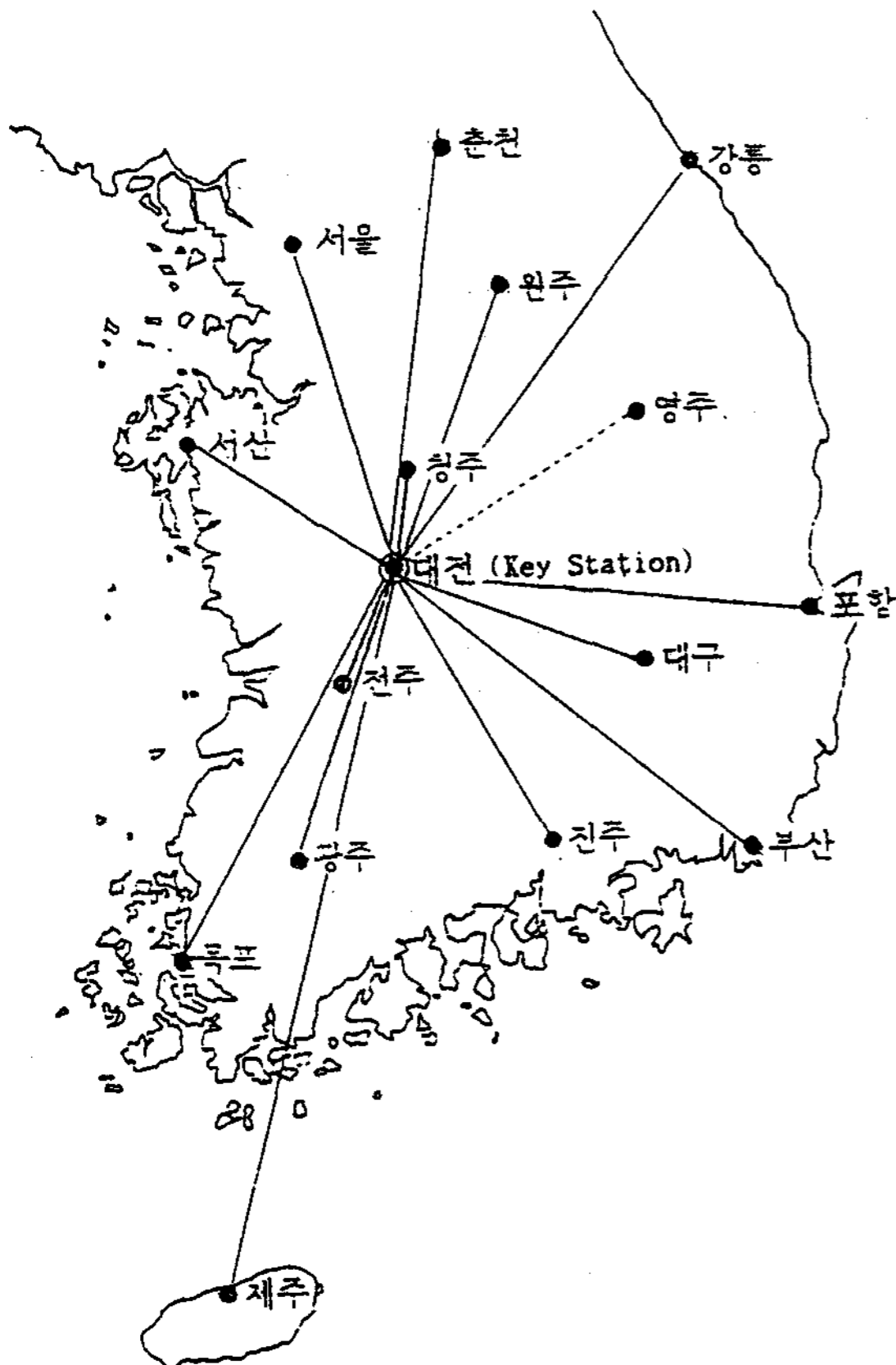


Fig. 1 Location of Solar Direct Nomal Radiation Measurement Stations of KIER and KMA

## IV. 분석결과

### 4.1 분포형태

Fig. 2는 지난 1년 8개월 동안 청명한 날 실측된 자료의 평균치를 가지고 전산시물레이션 기법으로 그린 전국적인 법선면 직달일사량 즉, 태양과 법선방향의 직달일사량 분포도이다. 즉, 연평균치로 계산하였을 때에 대구, 부산과 같은 대도시지역과 강릉, 서산 등 몇몇 해안지방을 제외하고는 전국이 하루에  $4,300\text{kcal/m}^2$  정도의 법선면 직달일사에너지에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

이 중에서도 목포-광주-전주를 잇는 남해서부지방과 청주-원주-춘천을 잇는 중부이북지방은 전국에서 가장 법선면 직달일사조건이 좋은 곳임을 알 수 있다. 분포상 특징을 나누면, 앞서 언급한 남해서부지방과 중부이북내륙지방, 그 다음은 영주분지 일원과 서울, 제주도지방 그리고

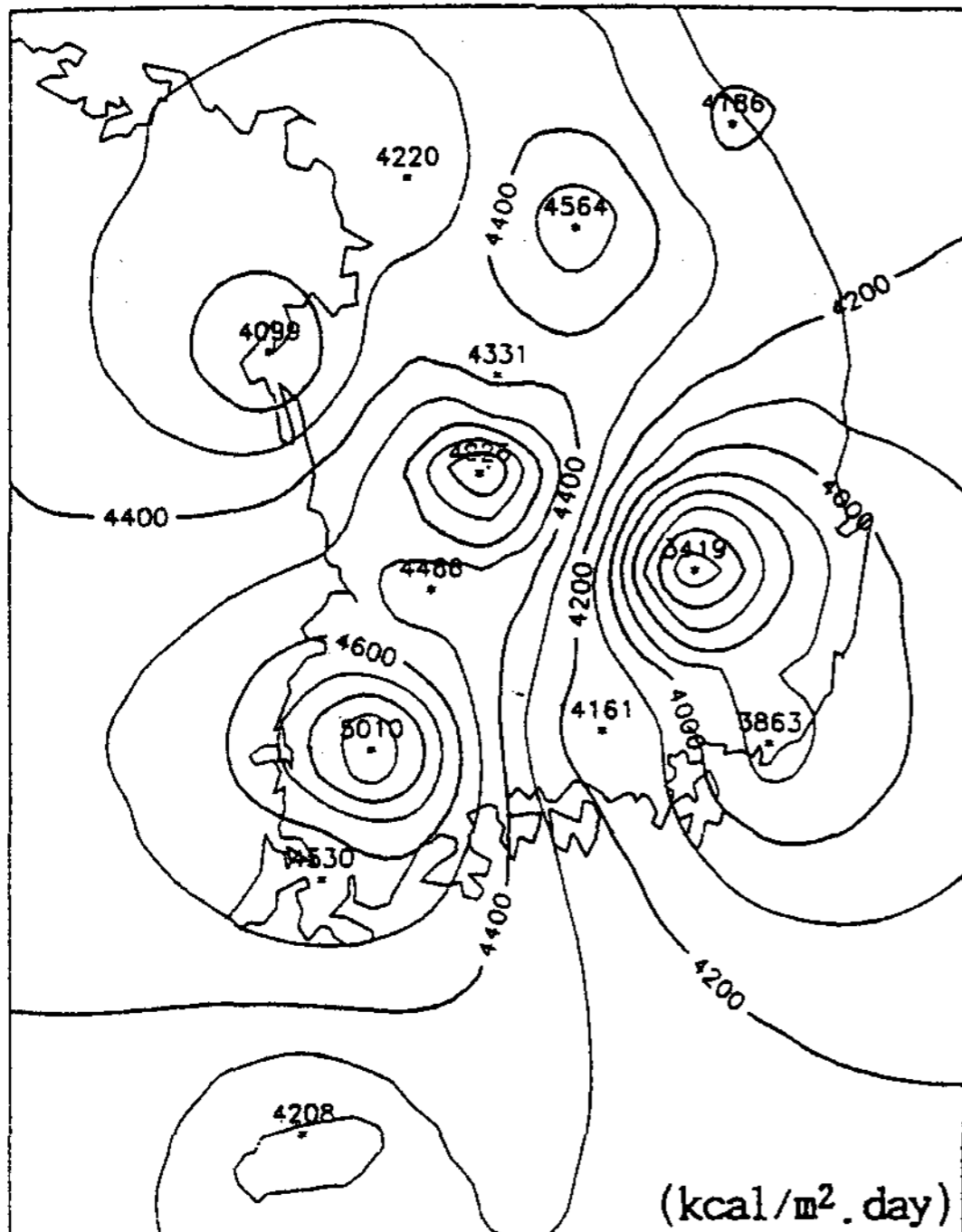


Fig. 2 Yearly Mean Direct Normal Radiation Distribution

다른 지역들보다도 습기가 많은 해안지역의 동해안지방과 태안반도 이남의 서해안지방, 남해동부지방 순으로 나타났으며, 대규모 공단이 인접한 대구지방은 전국에서 가장 낮은 일사량을 기록하였다.

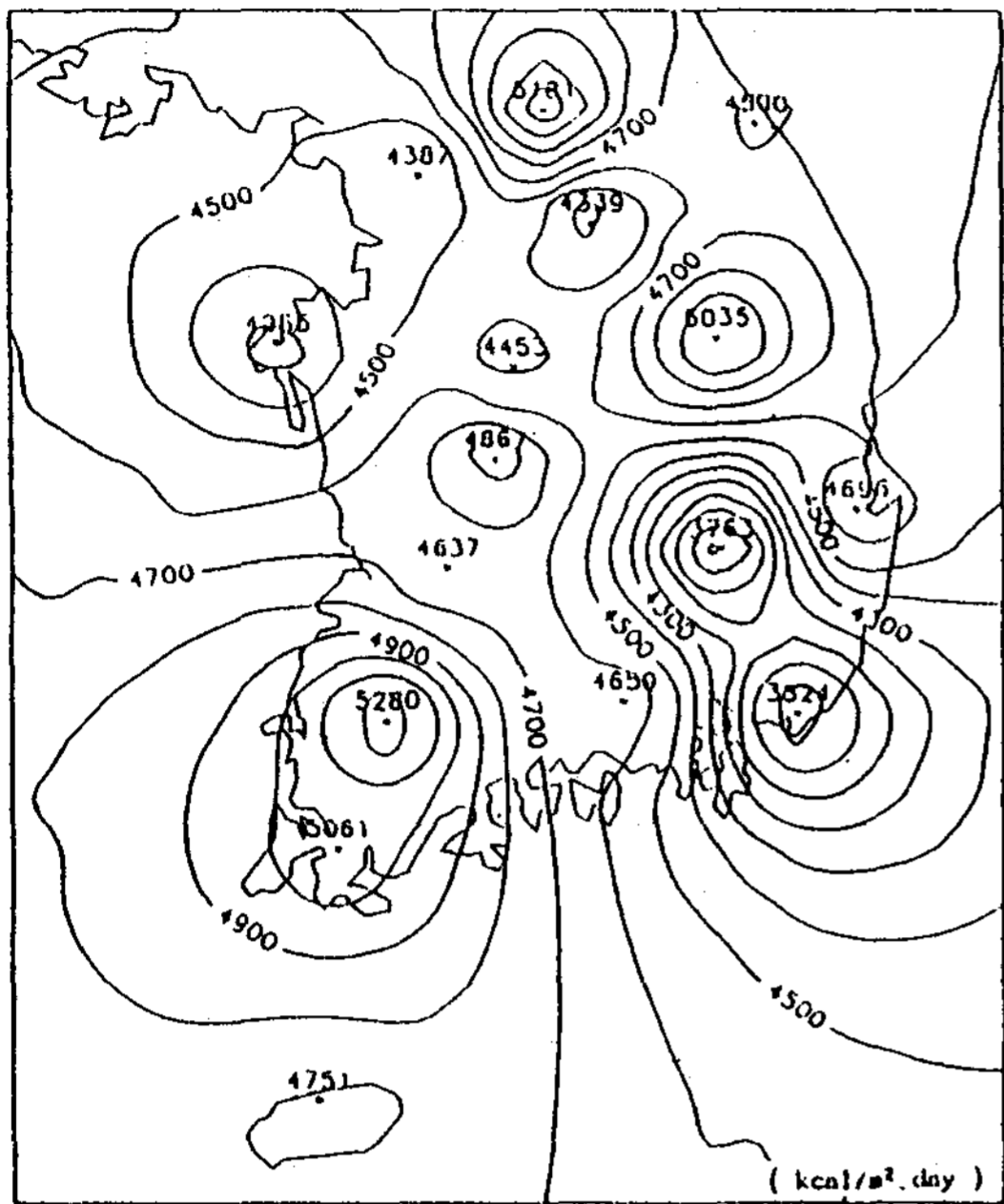
Fig. 3은 우리나라 법선면 직달일사량자원에 대한 계절별 특징을 나타낸 것이다. 즉, 여름철을 제외하고는 모든 계절에서 전국에 고르게 분포됨을 나타내 주고 있다. 분포특징을 좀 더 세분하여 보면, 봄철의 일사조건은 남해서부지방과 중부이북지방 그리고 영주분지 일원이 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 여름과 가을철은 제주도를 포함한 대부분의 해안지방에서 내륙지방보다 매우 낮게 나타나고 있다. 반면에 겨울철은 동해안지방과 제주도 일원의 일사량이 내륙지방보다 높게 나타나고 있으나, 대구와 서울지방이 전국에서 제일 낮은 일사량을 나타내어, 특히 이들 지역이 대기오염이나 매연 등으로 인한 스모그현상이 겨울철 일사조건에 상당한 영향을 미치고 있기 때문으로 믿어진다.

한편 Fig. 4는 같은 기간동안에 청명한날에 측정된 평균치를 가지고 수평면일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비를 백분율로 전국적인 분포현황도를 나타낸 것으로 앞에서 분석한 결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

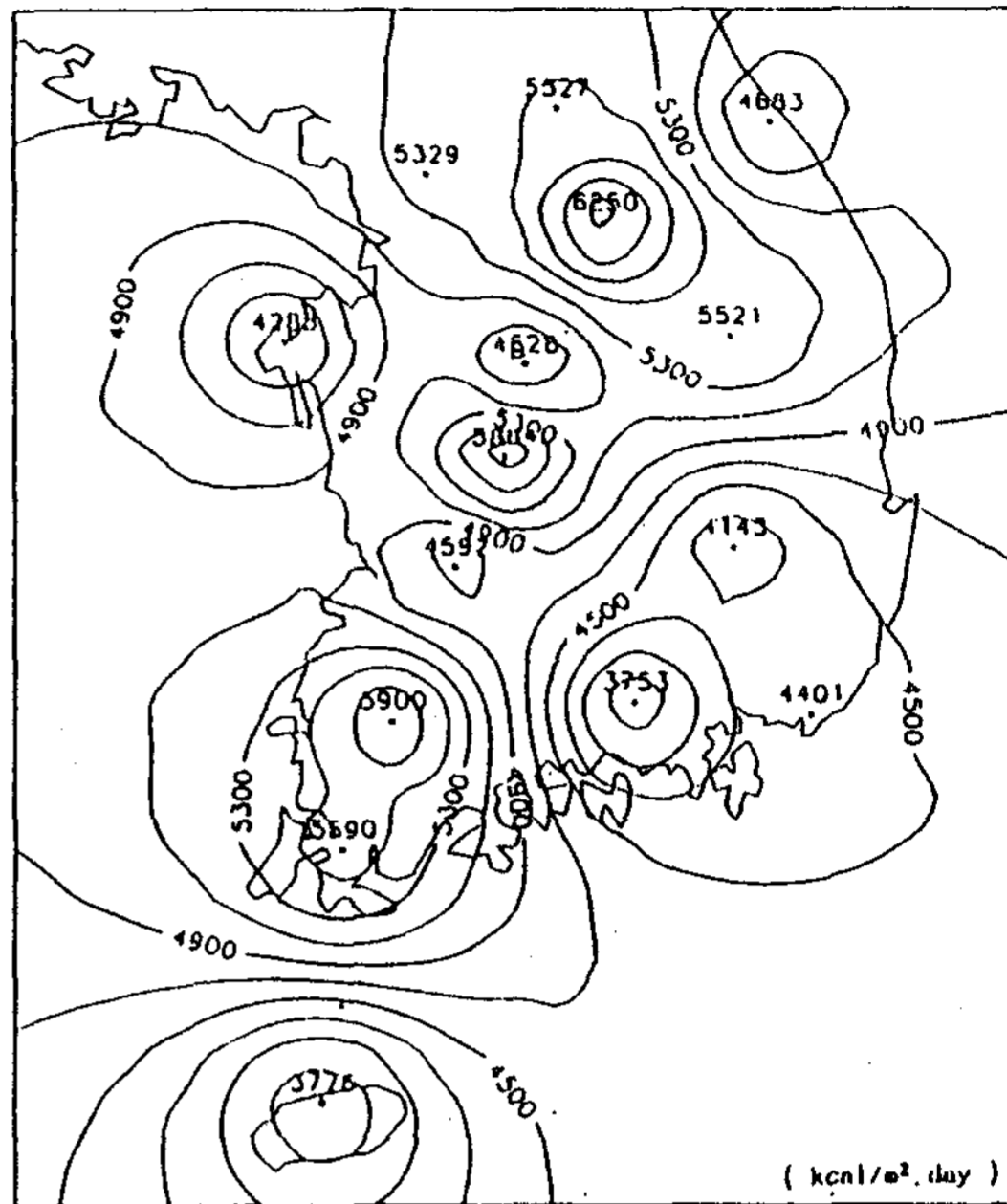
비율분포가 가장 높은 곳은 전주-광주-진주-대전-서울을 잇는 남해서부지방과 중부이북내륙지방, 그 다음은 해안지역인 동해안지방과 제주도 그리고 남해안지방, 서해안지방 순으로 나타났으며, 제일 낮은 곳은 소백산맥을 경계로 한 남북내륙지방으로 나타났다.

### 4.2 양적비교

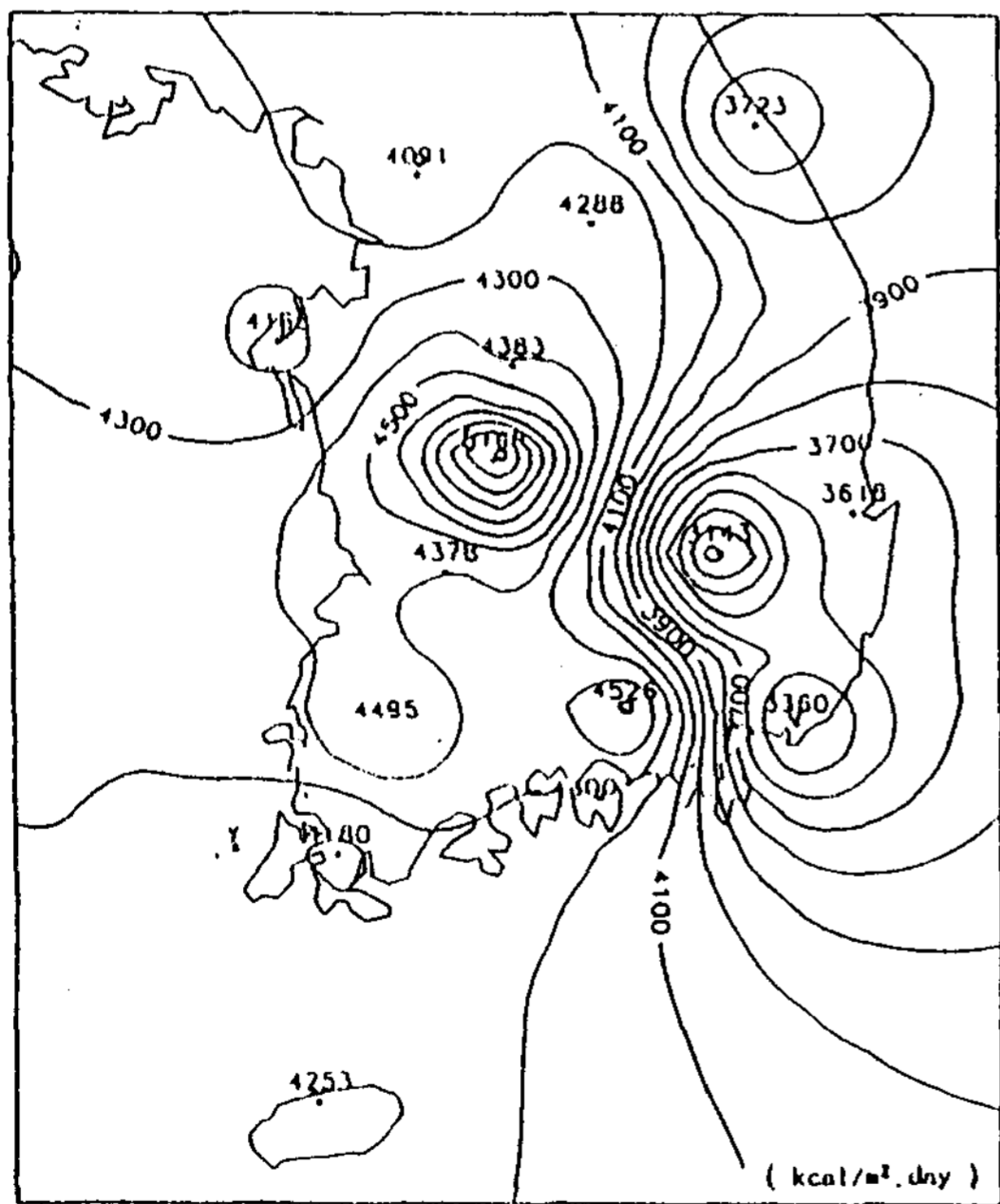
연평균치에 대한 계절별 법선면 직달일사량 분포를 청명일을 기준으로 분석하여 보면, Table 2와 Fig. 5에서와 같이 연중 여름과 봄철의 일사조건이 가장 좋으며, 가을과 겨울철은 연평균치에도 훨씬 못미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연평균치에 대한 각 계절 일사량의 비율은



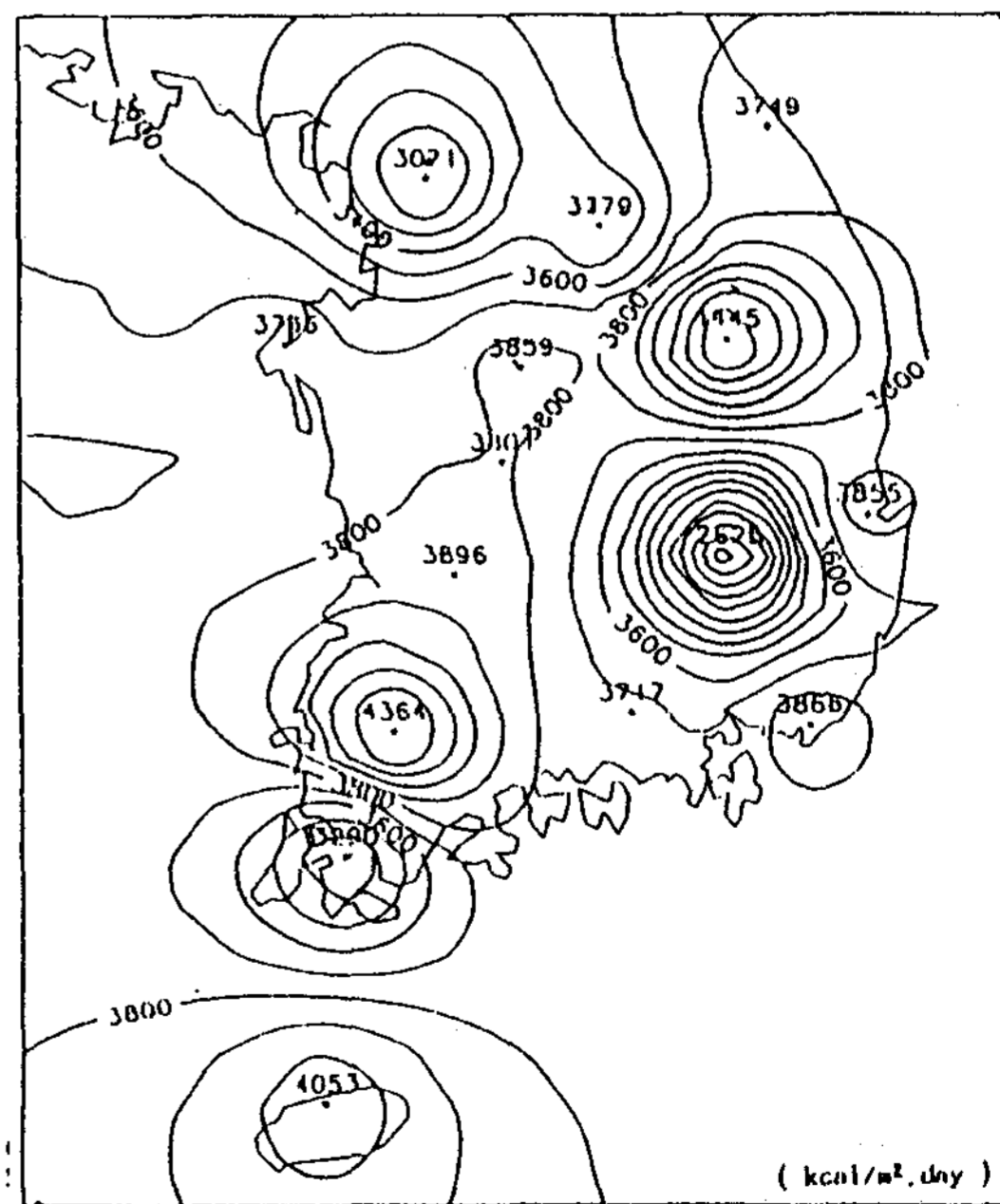
a. 봄(3-5월)



b. 여름(6-8월)



c. 가을(9-11월)



d. 겨울(12-2월)

Fig. 3 Seasonal Variation of Direct Normal Radiation Distribution

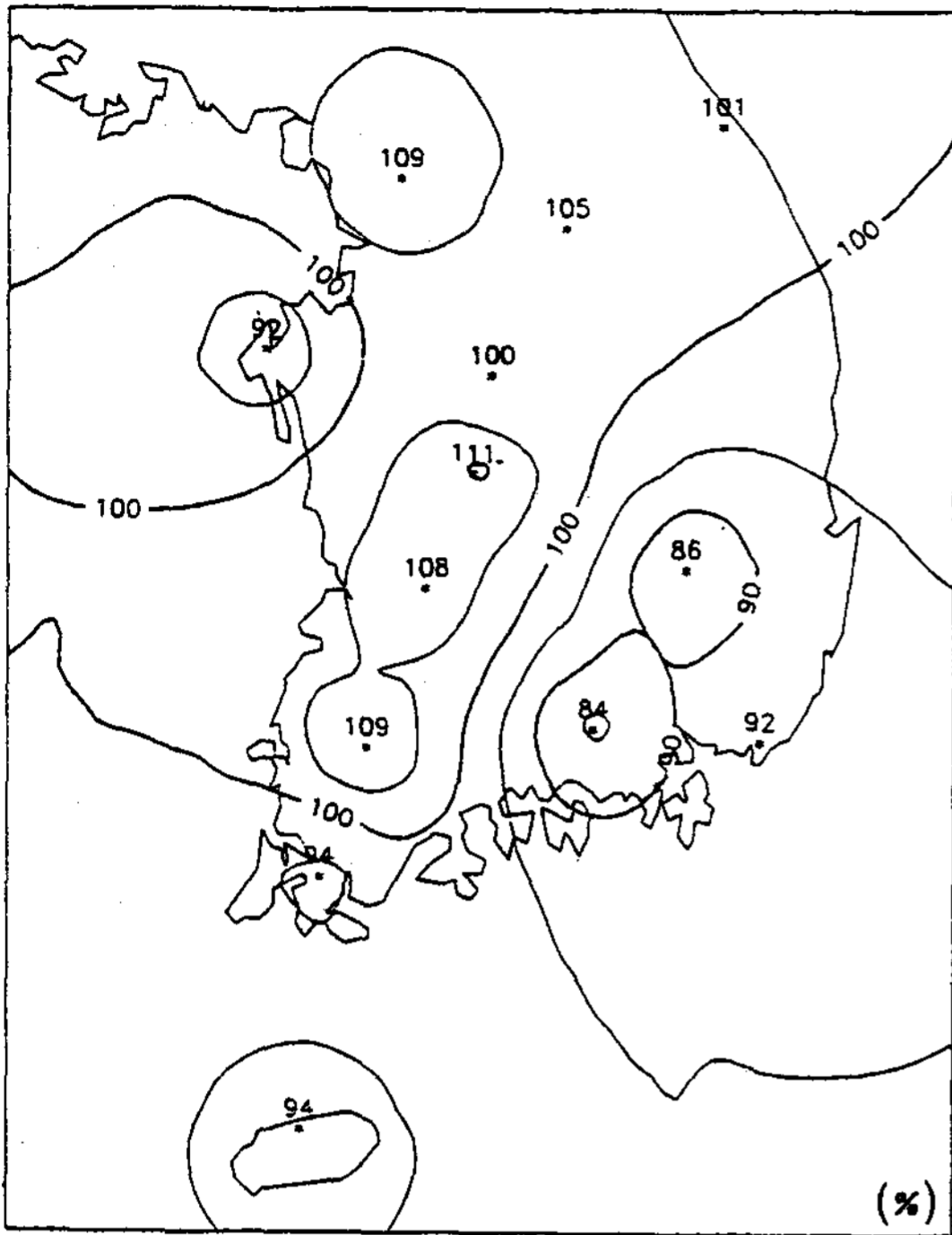


Fig. 4 Yearly Mean Ratio of Direct Normal Radiation vs Global Radiation

봄과 여름철이 각각 6%, 14% 높았고, 가을과 겨울철은 5%, 15% 정도 각각 상대적으로 낮았다. 또한 같은 기간동안 수평면일사량의 계절별에 따른 변동추이 역시 법선면 직달일사량과 유사한 분포경향을 보였다.

월별로는 법선면 직달일사량이 가장 높은 달은 6월로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 나타났다.

Table 2. Comparison of Each Seasonal Direct Normal Radiation (단위 : kcal/m<sup>2</sup>.day)

구분	봄	여름	가을	겨울	연평균(A)
법선면 직달일사량 ('90.12-'92.7)	4,612	4,947	4,127	3,714	4,350
/A	1.06	1.14	0.95	0.85	1.00

또한 월별에 따른 일평균 일사량을 각 성분의 비율로서 살펴보면, Fig. 6에서 나타남바와 같이 수평면일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비,

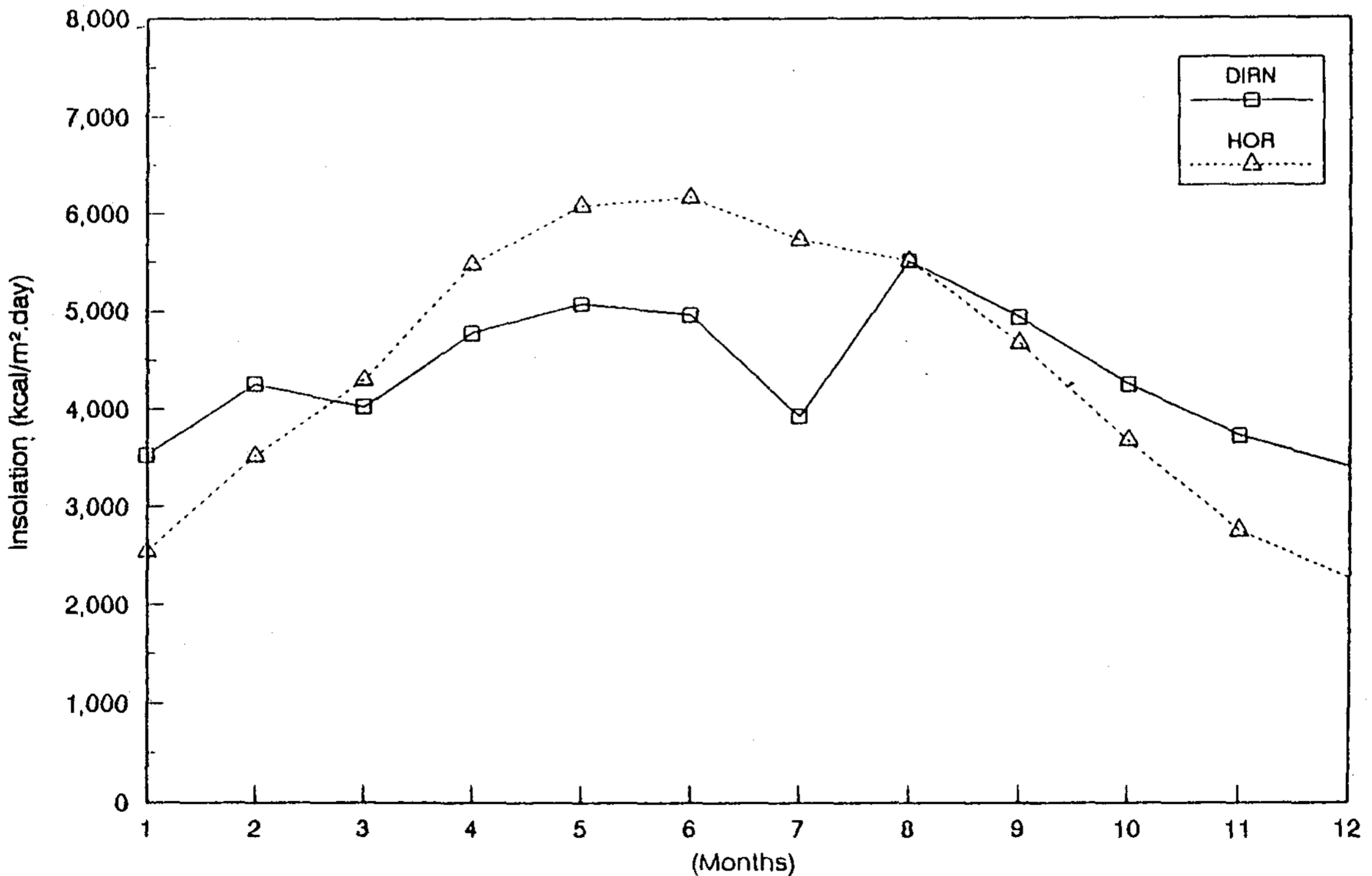


Fig. 5 Monthly Mean Direct Normal & Global(Horizontal) Radiation

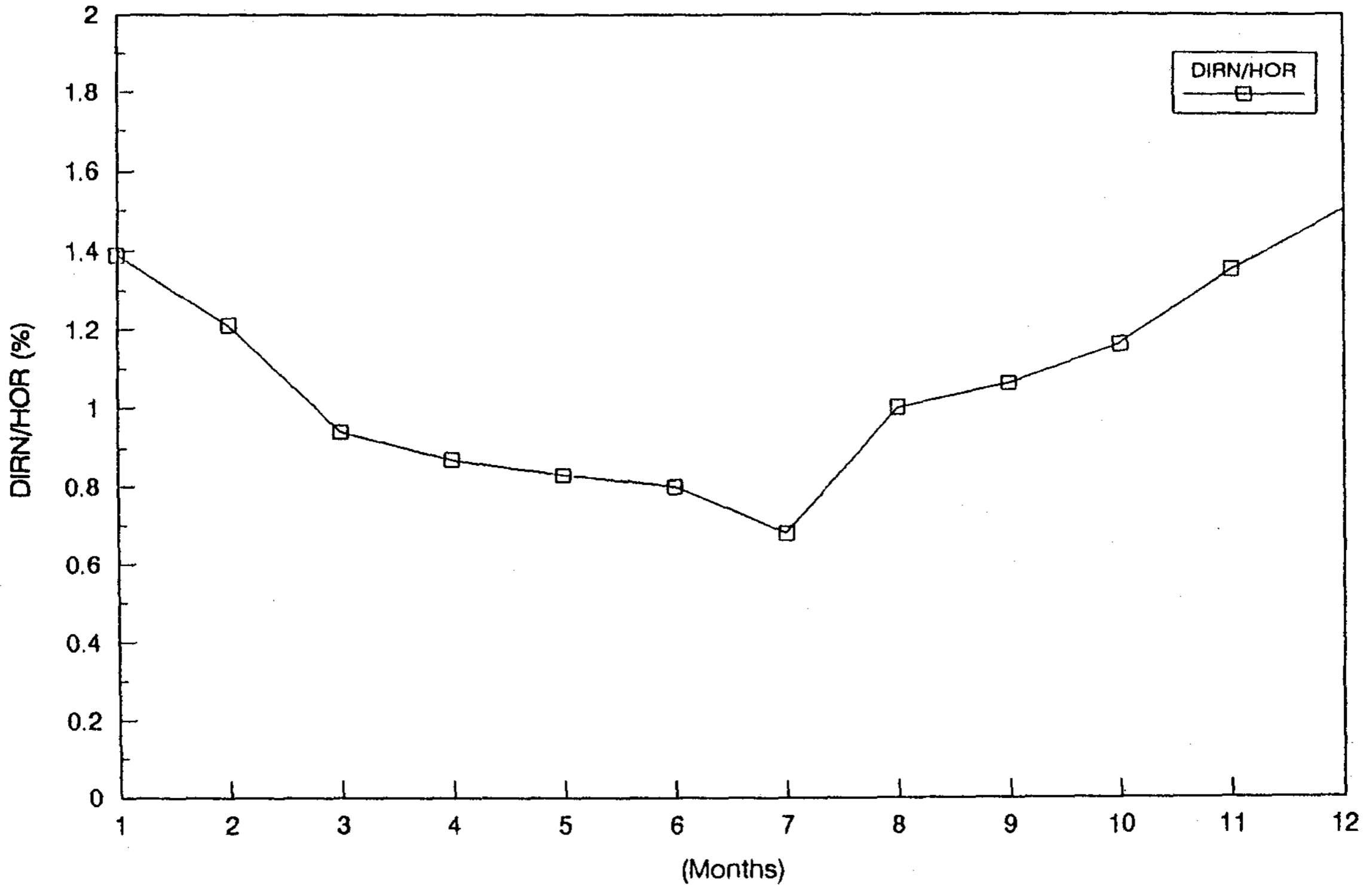


Fig. 6 Monthly Mean Ratio of Direct Normal vs Global(Horizontal) Radiation

DIRN/HOR은 12월에 1.50으로 법선면 직달일사 성분이 가장 많은 달로, 그리고 가장 낮은 달은 7월에 0.83으로 나타났다.

한편 우리나라 전지역에 대한 계절별에 따른 측정치의 변이정도를 산포도 측정에 가장 널리 사용되는 표준편차, 즉, RMSE(Root Mean Square Error)를 산출하여 연평균치에 대한 표본 표준 편차의 비율로서 변량의 분포상태를 분석하여 보면, Table 3에서 나타난바와 같이 전년에 걸친 계절별 일평균 법선면 직달일사량의 변이정도는 여름철을 제외하고는 서로가 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 그러나 여름철 법선면 직달일사량의 변이정도는 전년에 걸쳐 가장 높게 나타나고 있는 반면에 수평면일사량의 변이정도는 가장 적게 나타나는 현상을 보였다. 이와 같은 원인은 측정상의 오류보다는 우기철인 여름철에 심한 기후변동으로 인하여 전 지역 공히 일사조건에 상당한 영향을 미치고 있기 때문으로 생각한다.

Table 3. Comparison of Each Seasonal %RMSE

구분	계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
법선면 직달일사량		9	16	12	12	9
수평면일사량		7	5	11	11	7

## V. 결 론

지금까지 수행해 온 전국 직달일사량자원에 대한 실측평가사업을 종합해 볼 때 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

1) 우리나라의 법선면 직달일사조건은 청명일 기준으로 전국 4,400 kcal/m<sup>2</sup>. day 내외로서 같은 기간동안의 청명일 수평면일사조건과 비슷한 수준으로 나타났다.

2) 전국적으로 직달일사의 분포형태는 목포-광주-전주를 잇는 남해서부지방과 청주-원주-춘천을 잇는 중부이북지방이 전국에서 가장

일사조건이 좋았으며, 일반적으로 다른 지역들보다도 습기가 많은 동해안지방과 태안반도 이남의 서해안지방, 그리고 남해동부지방순으로 일사량이 낮은 편이었다.

또한 수평면일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비율분포 역시 법선면 직달분포와 유사한 결과를 나타내었다.

3) 연 평균치에 대한 계절별 일사조건은 봄과 여름이 각각 6%, 14% 높았으며, 가을과 겨울은 5%, 15% 정도 상대적으로 낮았다.

4) 우리나라 전지역에 대한 전년에 걸친 각 계절별 법선면 직달일사량의 변이정도는 여름철을 제외하고는 서로가 큰 차이를 나타내고 있지 않은 것으로 나타났다. 그러나 여름철에 법선면 직달일사량의 변이정도는 전년에 걸쳐 가장 높게 나타나고 있는 반면에, 수평면일사량의 변이정도는 가장 적게 나타나는 현상을 보여 우기철인 여름철에 심한 기후변동으로 인하여 전지역 공히 직달일사조건에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

그러나 측정기간이 충분치 못하기 때문에 현재까지의 결과만을 가지고 우리나라의 전반적인 직달일사량자원을 평가한다는 것은 아직 어려운 실정이다. 따라서 본 연구사업은 앞으로도 당분간은 계속되어야 하며, 가능하다면 고도변화에 따른 일사량의 변동형태 등 각종 기후조건과의

연관성도 규명해 나아갈 계획이다.

## REFERENCES

1. 기상청, "가상년. 월보", 1982~1992.
2. 기상청, "한국기후표(1951~1980)", 제1권(1982), 제2권(1983).
3. 이남호외, 태양에너지 자원조사 및 신제품성능 비교연구 I, II, III, IV, 한국에너지기술연구소, 1982~1985.
4. 소선섭, 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.
5. J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley New York, 1980.
6. P. J. Lunde, Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons New York, 1980.
7. W. C. Dickinson and P. N. Chermisinoff, Solar Energy Technology Handbook, Marcel Dekker Inc., 1981.
8. J. M. Gordon & M. Hochman, On Correlation between Beam and Global Radiation, Solar Energy Vol. 32, pp. 319~326, 1983.
9. M. Iqbal, An Introduction to Solar Radiation Academic Press Toronto, 1983.
10. J. M. Ledanois and A. Prieto, A New Solar Map of Venezuela, Solar Energy Vol. 41, No. 2, pp. 115~126, 1988.



$\text{Cu}_{2-x}\text{S}_{0.46}\text{Se}_{0.54}$  heterojunction solar cells were studied.

The open-circuit voltage, short-circuit density, fill factor and conversion efficiency of n- $\text{CdS}_{0.46}\text{Se}_{0.54}$ /p- $\text{Cu}_{2-x}\text{S}_{0.46}\text{Se}_{0.54}$  heterojunction solar cells under  $80\text{mW}/\text{cm}^2$  illumination were found to be 0.48V,  $21\text{mA}/\text{cm}^2$ , 0.75 and 9.5%, respectively.

## **An Experimental Study on the Augmentation of Heat Transfer by Impinging Air Jets with Swirl**

**Su-Cheol Ohu\* · Sung-Soo Park\*\***

\* *Inha Univ.*

\*\* *Graduate School, Inha Univ.*

This Paper deals with the experimental study of the axisymmetric air jet impinging vertically on the flat heating surface with and without swirl. The purpose of this study is to investigate the characteristics of flow, augmentation of heat transfer rate, turbulent intensity, and the comparison of heat transfer rate, the optimal swirling condition about the swirl and nonswirl axisymmetric air jet. In order to augment the heat transfer on the flat heating surface without introducing any additional power, the technique used in the present work was placement of twisted tape inserted pipe in front of the nozzle exit in order to make a swirl. The effect of swirl degree is investigated in case of  $S=0.$ , 0.056, 0.111, 0.222 and the velocity of the jet was 14, 20, 26, 32, 38, 44m/s. The distance between the nozzle exit and the stagnation point on the impinging plate was the  $H/D=1\sim 14$ . In order to analyze of the flow structure which increase heat transfer, the velocity and the turbulent intensity of the axisymmetric jet was measured by a hot wire anemometer according to the swirl number and  $H/D$ .

## **A Revaluation Study of Cheju-Do Solar Insolation Data by Field Measurement**

**Jo, Dok-ki · Lee, Tae-Kyu · Kim Chun, Il-Soo · Cho, Suh-Hyun**

**Auh, Chung-Moo**

*Korea Institute of Energy Research*

Solar radiation intensity in Cheju-Do has been measured and analyzed to study the its characteristic and the possibility of the alternative energy.

This work will also support the on-going project "Clean Enertopia in Cheju" which is strongly driven by government recently.

The results of this project indicate that

- 1) Insolation in Cheju-Do is 10% lower than Southern coastal area.
- 2) A significant difference of insolation is observed between western and eastern part of Cheju-Do.