

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 20, No. 2, 2000

## 실측에 의한 국내 범선면 직달일사량 자원의 재평가

조덕기\*, 전일수\*, 이순명\*, 이태규\*, 강용혁\*, 오정무\*

\*한국에너지기술연구소

## A Revaluation of Direct Normal Insolation Data by Field Measurement in Korea

D.K.Jo\*, I.S.Chun\*, S.M.Lee\*, T.K.Lee\*, Y.H.Kang\*, C.M.Auh\*

\*Korea Institute of Energy Research

### Abstract

Since the direct normal insolation 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 insolation 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(Korea Institute of Energy Research)'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) Yearly mean  $4,576 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$  of the direct normal insolation was evaluated for clear day all over 16 areas in Korea.
- 2) Clear day's direct normal insolation of spring and summer were  $4,710 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$  and  $4,960 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$ , and for fall and winter their values were  $4,484 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$  and  $4,151 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{day}$  respectively. So, spring and summer were higher, and fall and winter were lower than the yearly mean value.

### 1. 서 론

대기권내에 입사하는 태양 빛은 대기를 구성하는 분자에 따라 흡수 및 산란되어 감퇴해서 지구 표면 위에 도달되며, 이 중 지표면상에 떨어질 때까지 입사방향이 직각인 면으로 입사하여 그 방향이 변하지 않고 직접 도달되는 성분을 법선면 직달일사량<sup>1)</sup>이라고 한다.

법선면 직달일사량은 태양에너지 자원이라는 면에서 보면, 넓은 면적에 입사하는 태양광선을 한곳으로 모아 고온에너지를 얻도록 설계되는 고온 집열시스템, 즉 태양로와 같은 기기<sup>3,4)</sup> 발과 보급을 위해서는 법선면 직달일사량의 측정과 평가는 절대적으로 요구된다.

이에 따라 한국 에너지기술연구소는 관련 장비를 확보하고 1990년 말부터 우리 나라 주요지역에 법선면 직달일사량 측정네트워크를 구성하여 집광식 태양열시스템 및 관련 기기 설계를 위한

보다 정확한 기초자료 수집을 시도하였다.

본 논문에서는 측정기간 동안에 얻은 각 지역의 법선면 직달일사량 자료를 월별 및 1일 평균 혹은 특정한 기간별로 정리, 분석하고 그 결과를 통하여 지역간의 법선면 직달일사량자원 현황과 자원환경 분석을 평가하고자 하였다.

### 2. 측정네트워크의 구성 및 자료의 처리

#### 2.1 측정네트워크의 구성

법선면 직달일사량 자원의 광역분포 상태를 정확히 알기 위해서는 반드시 측정네트워크를 구성하여야 하며, 각 측정지점은 서로 이상적인 거리 간격을 유지하여야 한다. 본 연구사업은 이와 같은 점들을 고려하여 국내 일사량 측정을 위한 측정지점의 거리를 100km로 설정하고, 표 1에서와 같이 전국 16개 주요지점을 측정 대상지역으로

Table 1. 전국 직달일사량 측정지 명세

도 시 명	지역 번호	위 도	경 도	고 도
춘 천	101	37° 54'	127° 44'	74.0 m
강 룡	105	37° 45'	128° 54'	26.0 m
서 울	108	37° 34'	126° 58'	85.5 m
원 주	114	37° 20'	127° 57'	149.8 m
서 산	129	36° 46'	126° 28'	19.7 m
청 주	131	36° 38'	127° 26'	59.0 m
대 전	133	36° 22'	127° 22'	67.2 m
포 향	138	36° 02'	129° 24'	2.5 m
대 구	143	35° 53'	128° 37'	57.8 m
전 주	146	35° 49'	127° 09'	51.2 m
광 주	156	35° 10'	126° 53'	70.3 m
부 산	159	35° 06'	129° 02'	69.2 m
목 포	165	34° 49'	126° 22'	36.5 m
제 주	184	33° 31'	126° 32'	22.0 m
진 주	192	35° 12'	128° 06'	21.5 m
영 주	272	36° 52'	128° 31'	209.5 m

선정하였다.

측정지 선정작업에 고려된 사항들은 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 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.

둘째, 측정지는 시스템의 관리유지와 데이터수집이 용이하게 할 수 있도록 기상청의 협조를 얻어 해당지역 기상대와 당 연구소를 측정지로 하였다.

셋째, 사업추진 경비를 고려하여 측정지를 16개소로 한정하였다.

넷째, 측정장치는 미국 Eppley사가 제작한 NIP (Normal Incidence Pyrheliometer) 직달일사계<sup>7)</sup>와 태양 자동추적장치(모델 SMT-3), 그리고 미국 Handar사가 제작한 데이터수집장치(모델 570A)를 사용하였다.

그 외에 측정네트워크에 설치된 개개의 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 자체 내에서 조달하고, 측정작업과 이에 따른 데이터의 자체 저장처리 문제를 스스로 해결할 수 있도록 측정의 자동화를 시도하였다.

## 2.2 자료의 처리 및 분석

각 측정지에서 측정한 자료는 한국에너지기술연구소에서 전산 처리<sup>2)</sup>되고 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 분

석용 프로그램을 개발하였다.

분석은 주로 양적비교 분석과 신뢰성 분석으로 구분하여 실시하였으며, 분석대상은 전국 16개소에서 '90.12~'99.12 사이에 청명한 날에 매 초마다 데이터를 스캐닝하여 그 평균 자료를 매시간 저장한 총 132,480개 시간별 데이터를 다시 지역별로 1일 및 월별 1일 평균 혹은 특정한 기간대별로 정리하여 분석하였다. 여기서 청명상태의 기준은 하늘에 구름이 거의 없을 때, 즉 일평균 운량값이 0에서 1 사이인 경우만을 적용하였으며, 운량은 하늘 전체를 10으로 하여 그에 상대적으로 덮인 구름의 양을 표시하며, 기상청이 발표한 지역별 기상자료<sup>6)</sup>에 근거하였다.

## 3. 분석결과

### 3.1 양적비교 평가

우리 나라 주요 16개 지역에서 '90.12~'99.12 사이에 1일 평균 운량값이 0 또는 1 이하인 청명(淸明)한 날에 매 시간마다 측정된 실측자료를 토대로 전기간에 걸친 법선면 직달일사량(法線面直達日射量) 즉, 태양과 법선방향의 법선면 직달일사량을 분석하여 보면, 표 2에서 나타난바와 같이 전지역에서 청명한 날 하루에 연평균 4,576 kcal/m<sup>2</sup> 정도의 일사에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

계절별로 분석하여 보면, 표 2에서 나타난바와 같이 연중(年中) 여름철의 법선면 직달일사조건이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 겨울철은 연평균치에도 못미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연평균치에 대한 각 계절별 법선면 직달일사량(DIRN)의 비율은 봄철(3~5월)과 여름철(6~8월)이 각각 3%, 8% 높았고, 가을철(9~11월)과 겨울철(12~2월)은 각각 연평균치에 비해 2%, 9% 정도 낮게 나타났으며, 같은 기간동안 한국 에너지기술연구소에서 측정된 수평면 전일사량(HOR)

Table 2. 계절별 법선면 직달일사량의 변동추이 (청명일 기준) (단위 : kcal/m<sup>2</sup>.day)

구 분 \ 계 절	봄	여 름	가 을	겨 울	연 평 균(A)
법선면 직달일사량 (DIRN) /A	4,710	4,960	4,484	4,151	4,576
	1.03	1.08	0.98	0.91	1.00
수평면 전일사량 (HOR) /A	5,178	5,793	3,593	2,694	4,315
	1.20	1.34	0.83	0.62	1.00
DIRN/HOR	0.91	0.86	1.25	1.54	1.06

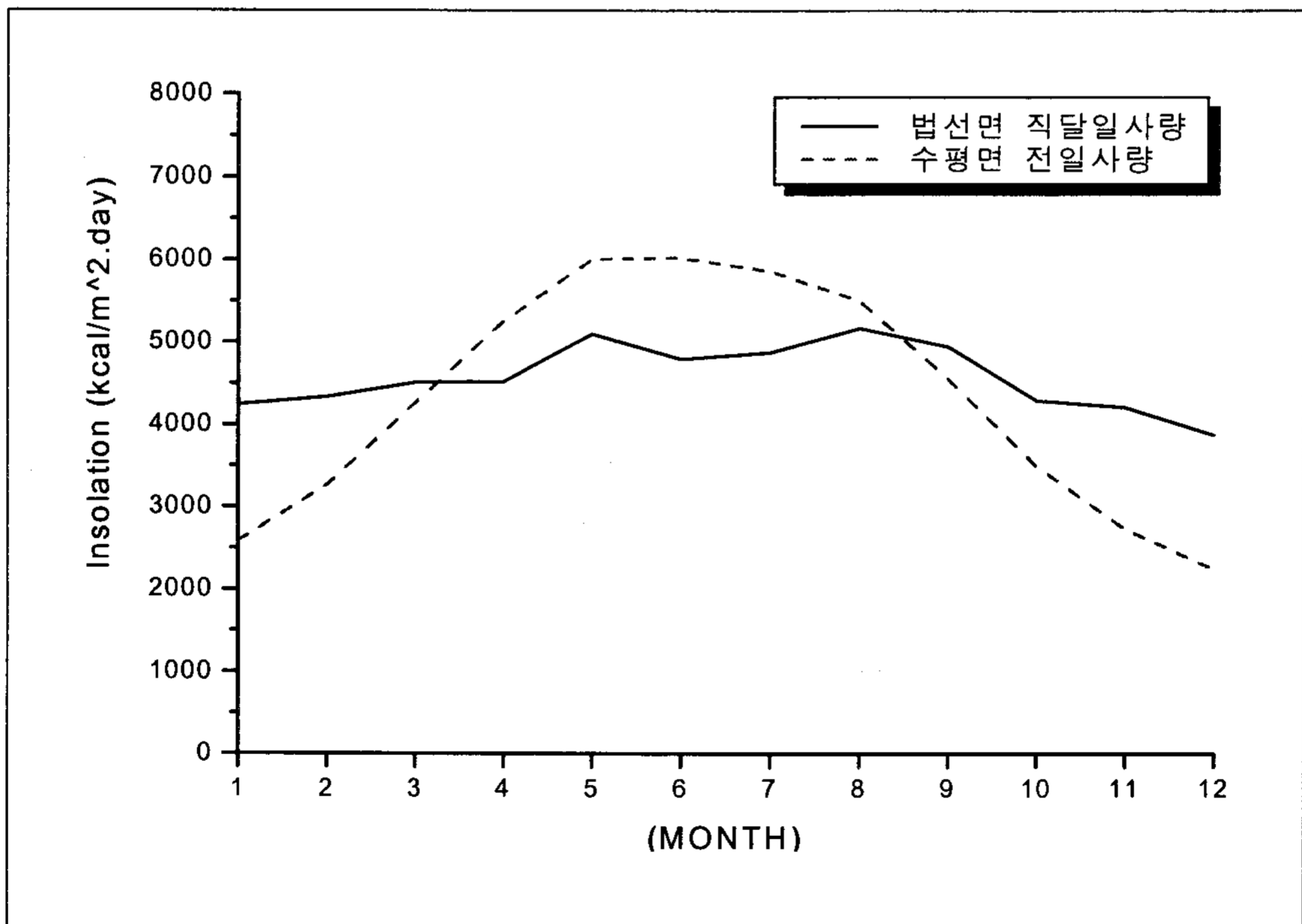


Fig. 1. 우리 나라 주요 16개 지역 평균 월별 법선면 직달일사량 및 수평면 전일사량

Table 3. 우리나라와 미국과의 연평균 1일 법선면 직달일사량 비교

(단위 : kcal/m<sup>2</sup>.day)

구분	봄	여름	가을	겨울	연평균	
우리나라	4,710	4,960	4,484	4,151	4,576	
미국	Albuquerque	6,572	7,054	5,938	4,992	6,137
	Boston	3,056	3,649	2,676	1,865	2,806
	El Paso	6,917	6,960	5,947	5,181	6,249
	Madison	3,488	4,346	2,803	2,160	3,194
	New York	2,964	3,253	2,392	1,730	2,583
	Seattle	2,725	4,263	1,911	771	2,428

\* 자료 : Solar Energy Technology Handbook<sup>5)</sup>

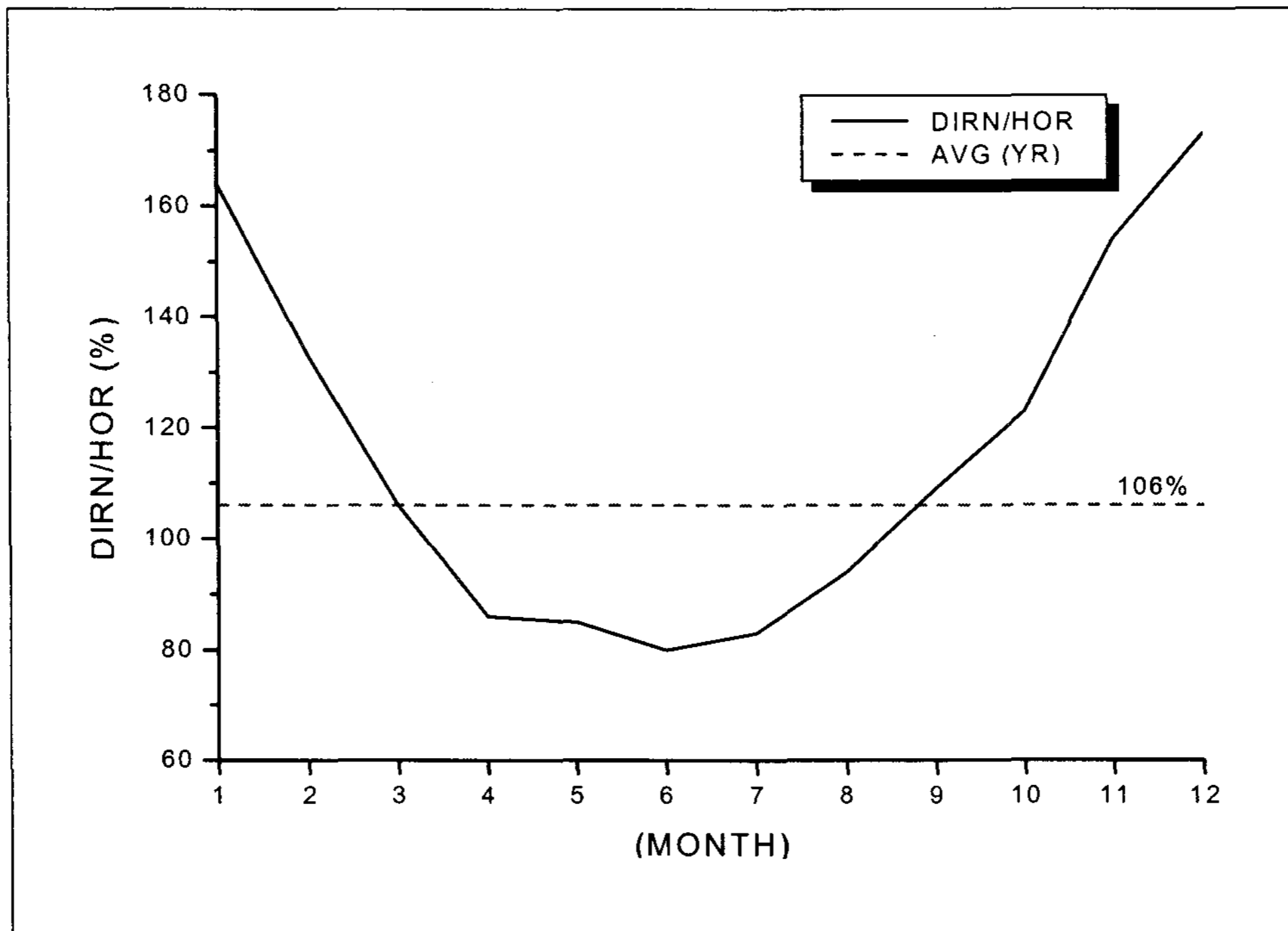


Fig. 2. 우리나라 주요 16개 지역 평균 월별 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비

의 계절별 변동추이 역시 법선면 직달일사량과 유사한 분포경향을 보였다. 또한 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비, DIRN/HOR은 연중 겨울철이 1.54로 가장 높게, 여름철이 0.86으로 가장 낮게 나타났다. 월별로는 그림 1에서 보는바와 같이 여름철인 8월에 법선면 직달일사량이 가장 많은 달로 나타났으며, 가장 적게 나타난 달은 겨울철인 12월로 나타났다. 또한 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비, DIRN/HOR은 그림 2에서 보는바와 같이 겨울철인 12월에 1.73으로 가장 높은 달로 나타났고, 가장 낮은 달은 초 여름철인 6월에 0.80으로 나타났다.

참고로 청명일을 기준으로 우리나라와 미국의 대표적인 지역과의 법선면 직달일사량을 서로 비교 분석하여 표 3에 제시하였다. 표에서 보는바와 같이 미국의 남부지방은 대부분 우리나라보다도 상당히 높게 나타나는 경향을 보인 반면에, 연평균치에 대한 각 계절별 비율은 서로가 매우 유사하게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 미국의 북부지방은 대부분 우리나라에 비하여 상대적으로 낮게 나타나는 현상을 보였다.

### 3.2 지역별 분포형태

우리나라 주요 16개 지역에서 '90.12~'99.12 사이에 청명한 날 측정된 지역별 법선면 직달일사량의 연평균치를 살펴보면, 그림 3과 그리고 같은 기간동안 실측된 자료의 평균치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 그린 그림 4에서 나타난 바와 같이 하루에 4,500 kcal/m<sup>2</sup>.day 이상의 법선면 직달일사량을 받는 비교적 큰 지역은 전주-광주-진주를 잇는 남원분지 및 진주분지 일대와 유성-청주를 잇는 대전분지, 그리고 역시 분지지대인 춘천-원주-영주-포항을 잇는 일대임을 알 수 있으며, 그 중에서도 특히 광주와 유성지역은 하루에 5,000 kcal/m<sup>2</sup>.day 이상인 것으로 나타났다.

법선면 직달일사량이 비교적 낮은 하루에 4,000 ~ 4,500 kcal/m<sup>2</sup>.day인 지역은 수도권지역인 서울

과 대도시지역인 대구, 해안지역인 강릉과 서산으로 나타났으며, 하루 4,000 kcal/m<sup>2</sup>.day 정도에도 못 미치는 매우 작은 지역은 역시 대도시지역인 부산과 해안지역인 제주, 목포로 나타났다.

계절별로 분포특징을 살펴보면, 그림 5에서와 같이 봄철의 일사조건은 전주-광주-유성-영주-포항지역 일원을 잇는 분지지대에서 높게 나타나고 있는 반면에, 대도시지역인 대구, 부산과 해안지역인 목포 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보였다. 여름철은 광주와 유성-청주-영주-원주-춘천을 잇는 중부이북지방 일원에서 가장 높게 나타난 반면에, 대도시지역인 부산과 대구, 해안지역인 서산, 목포, 제주지방에서 상대적으로 낮게 나타났다.

또한, 가을철은 광주-전주-유성-청주-영주-원주-춘천을 잇는 분지지대 일원에서 비교적 타지

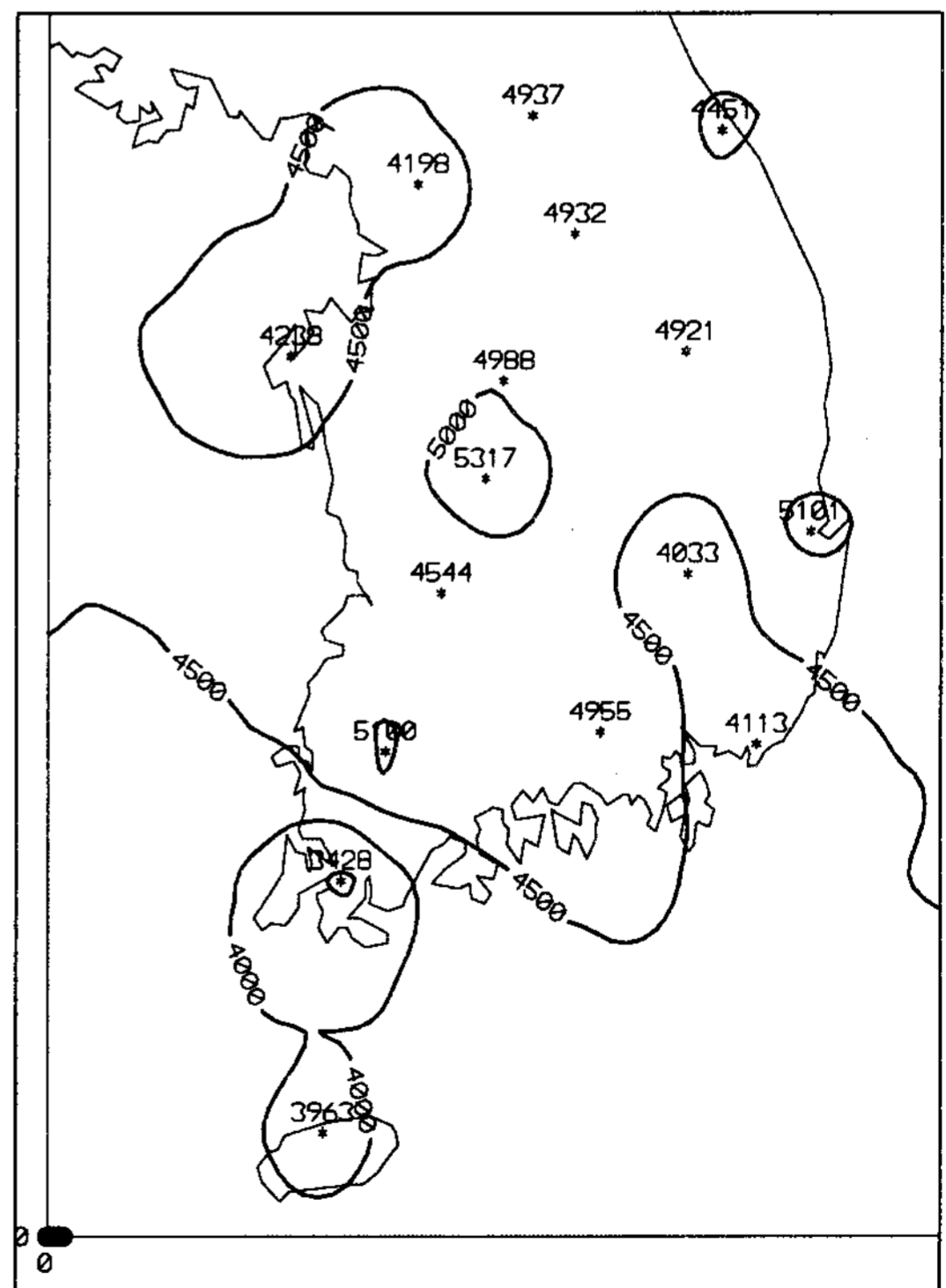
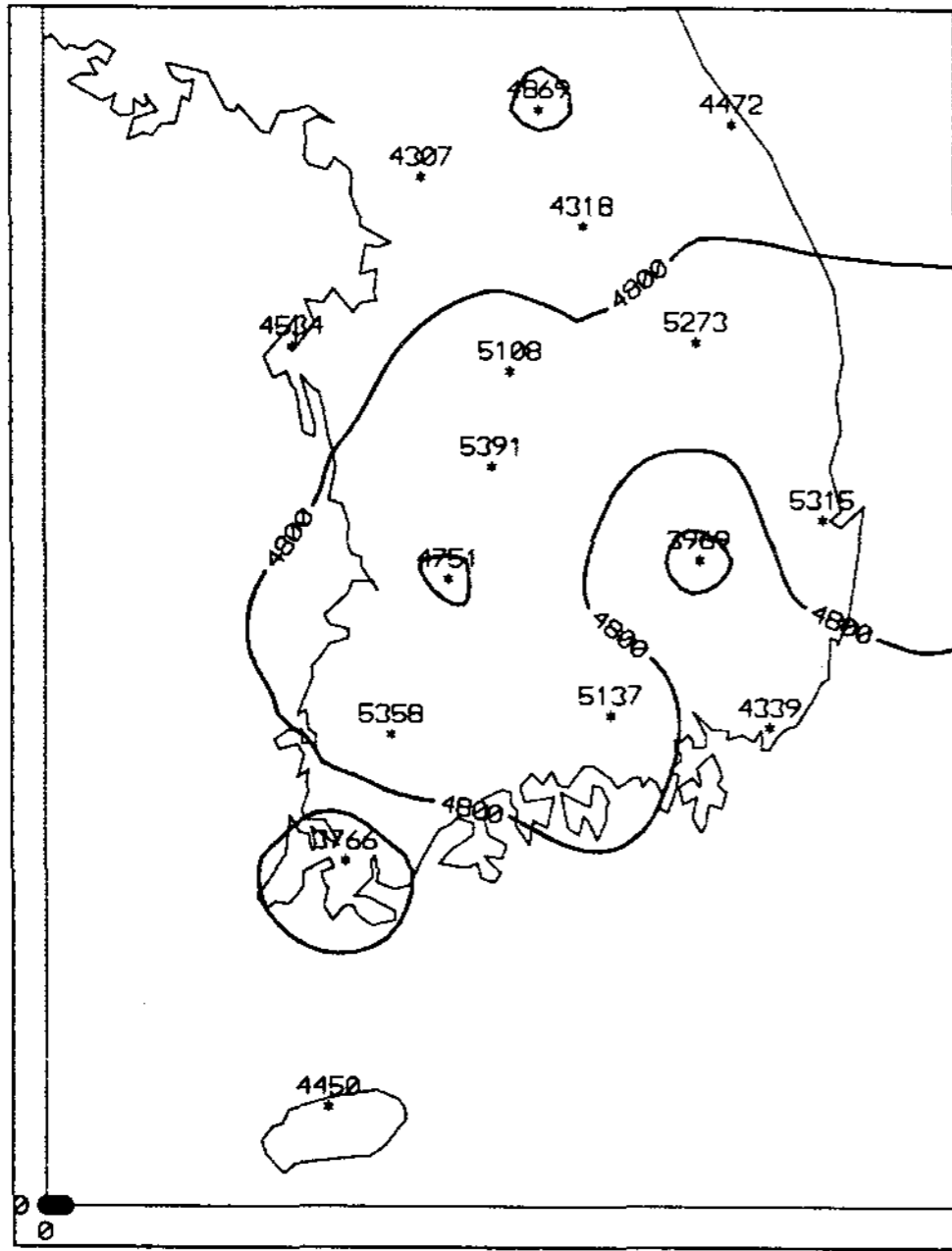
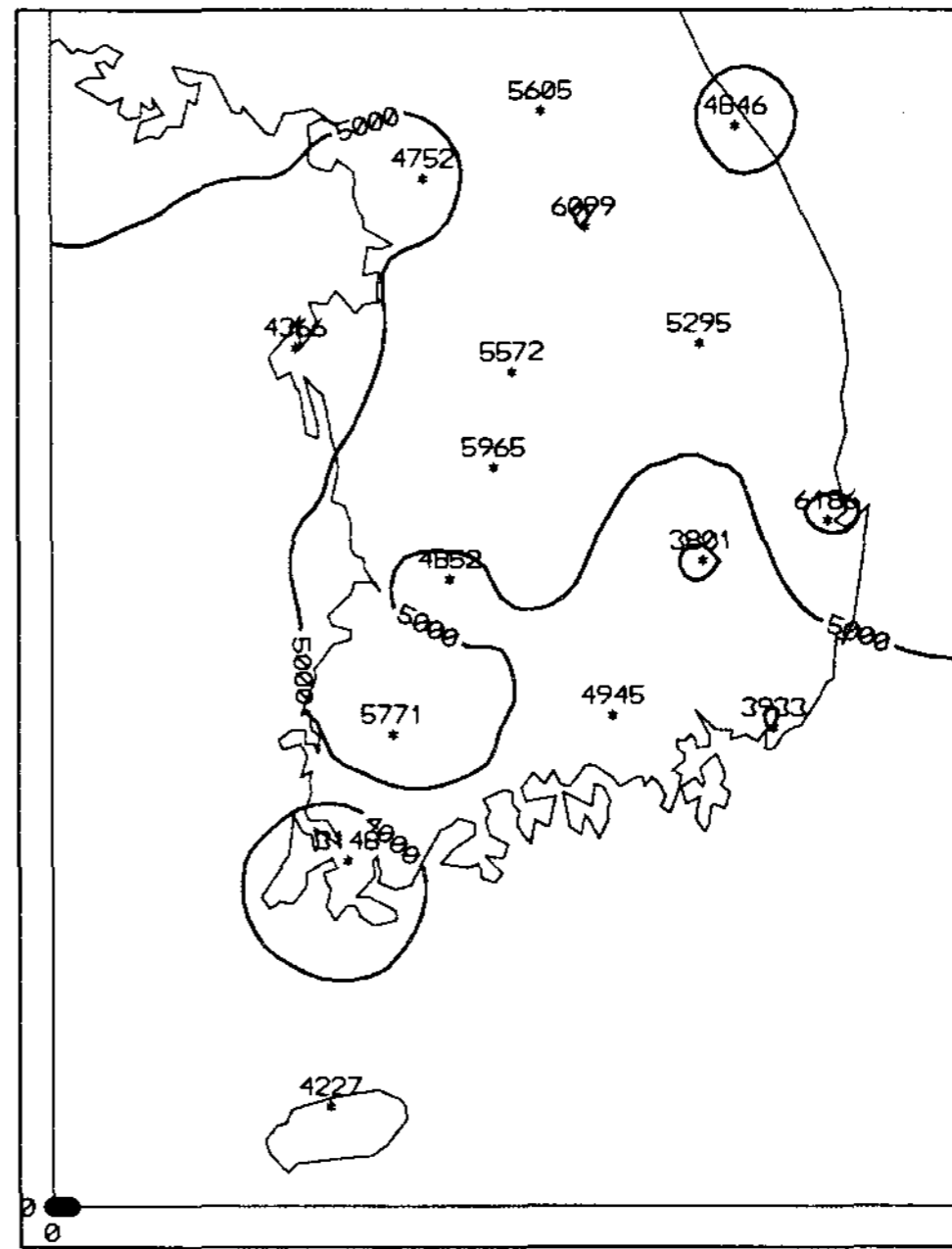


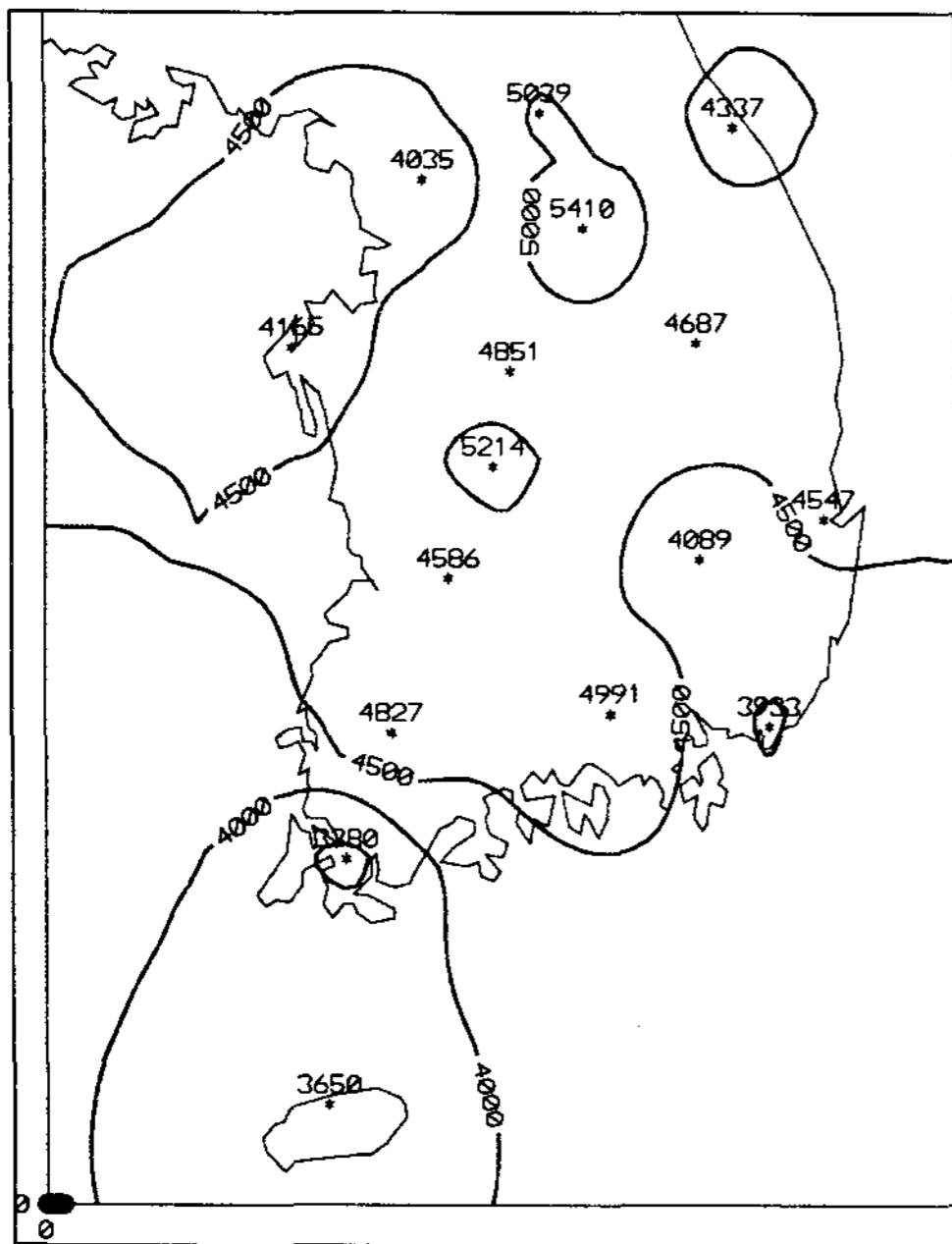
Fig. 4. 전국 연평균 1일 법선면 직달일사량 자원 분포도 (kcal/m<sup>2</sup>.day)



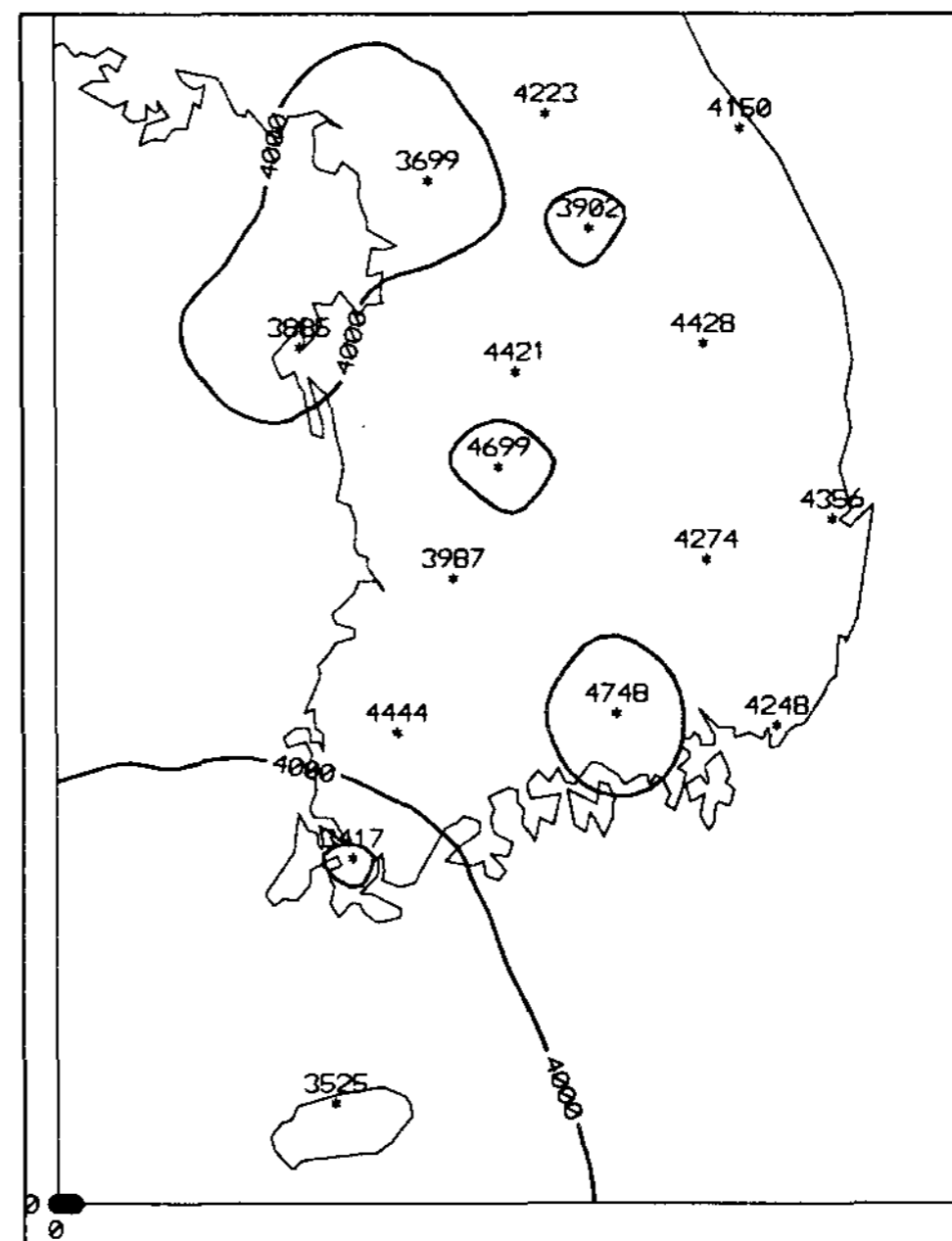
봄 (3~5월)



여름 (6~8월)



가을 (9~11월)



겨울 (11~2월)

Fig. 5. 전국 계절별 일평균 법선면 직달일사량 자원분포도 (kcal/m<sup>2</sup>.day)

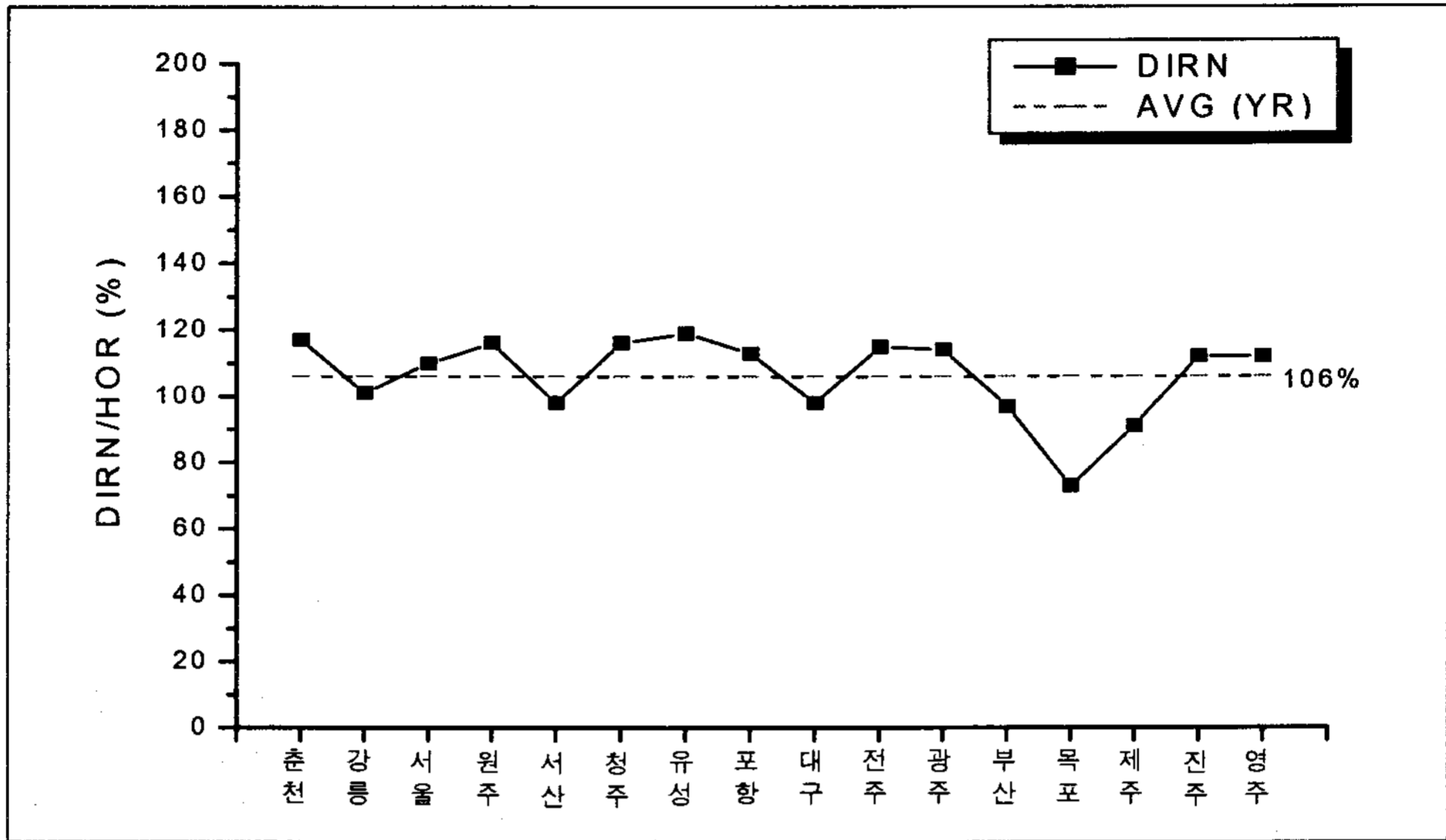


Fig. 6. 우리나라 주요 지역별 연평균 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비

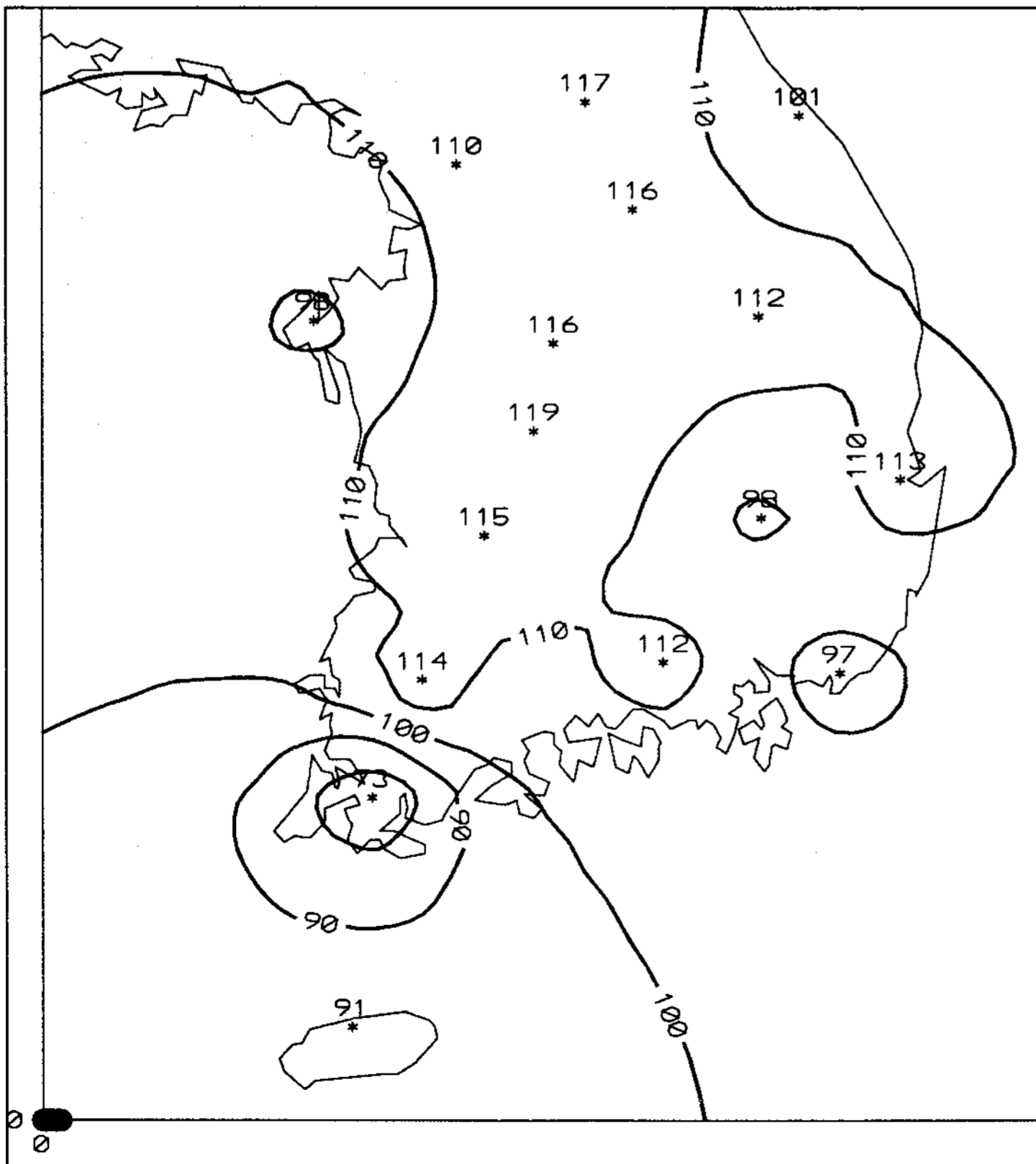
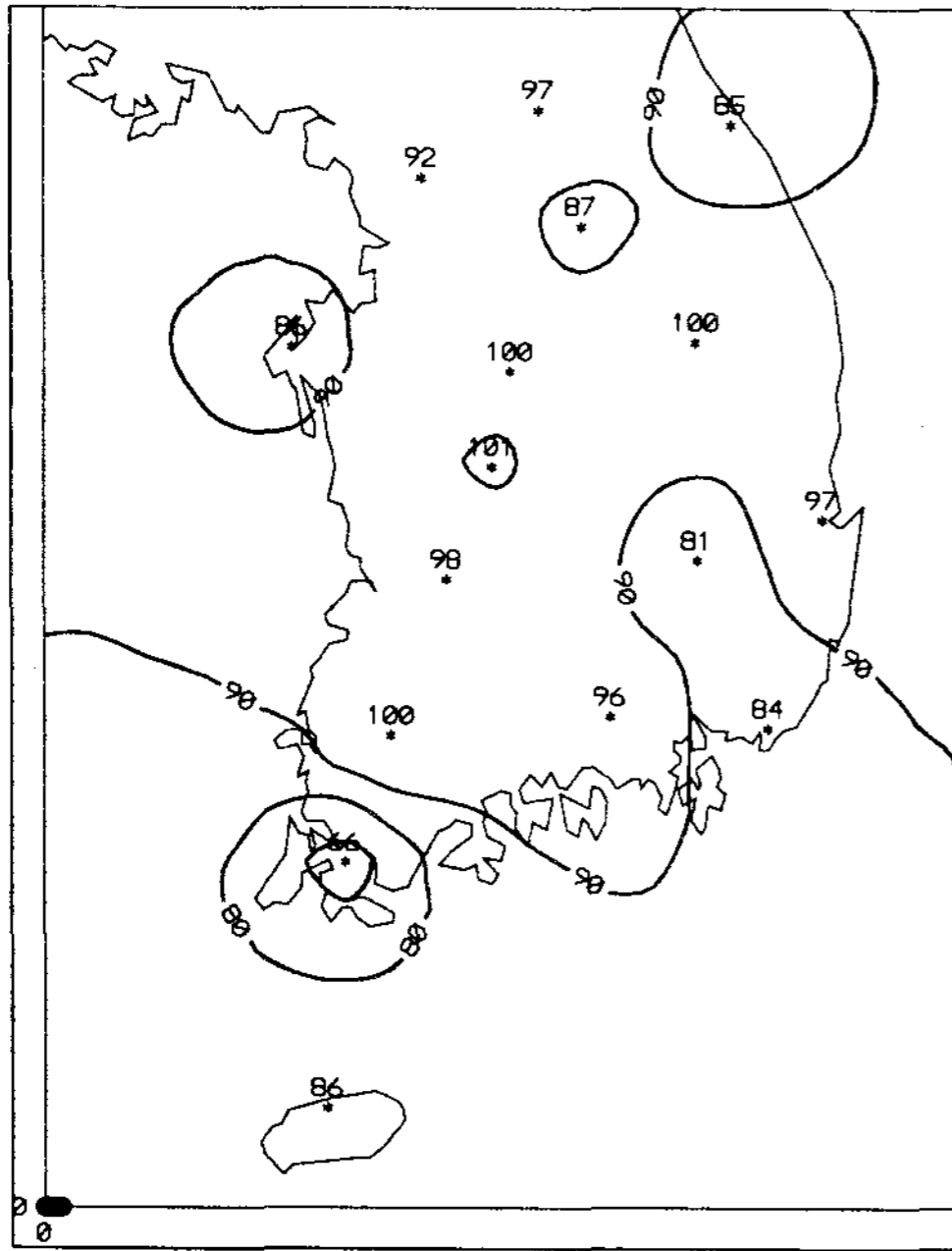
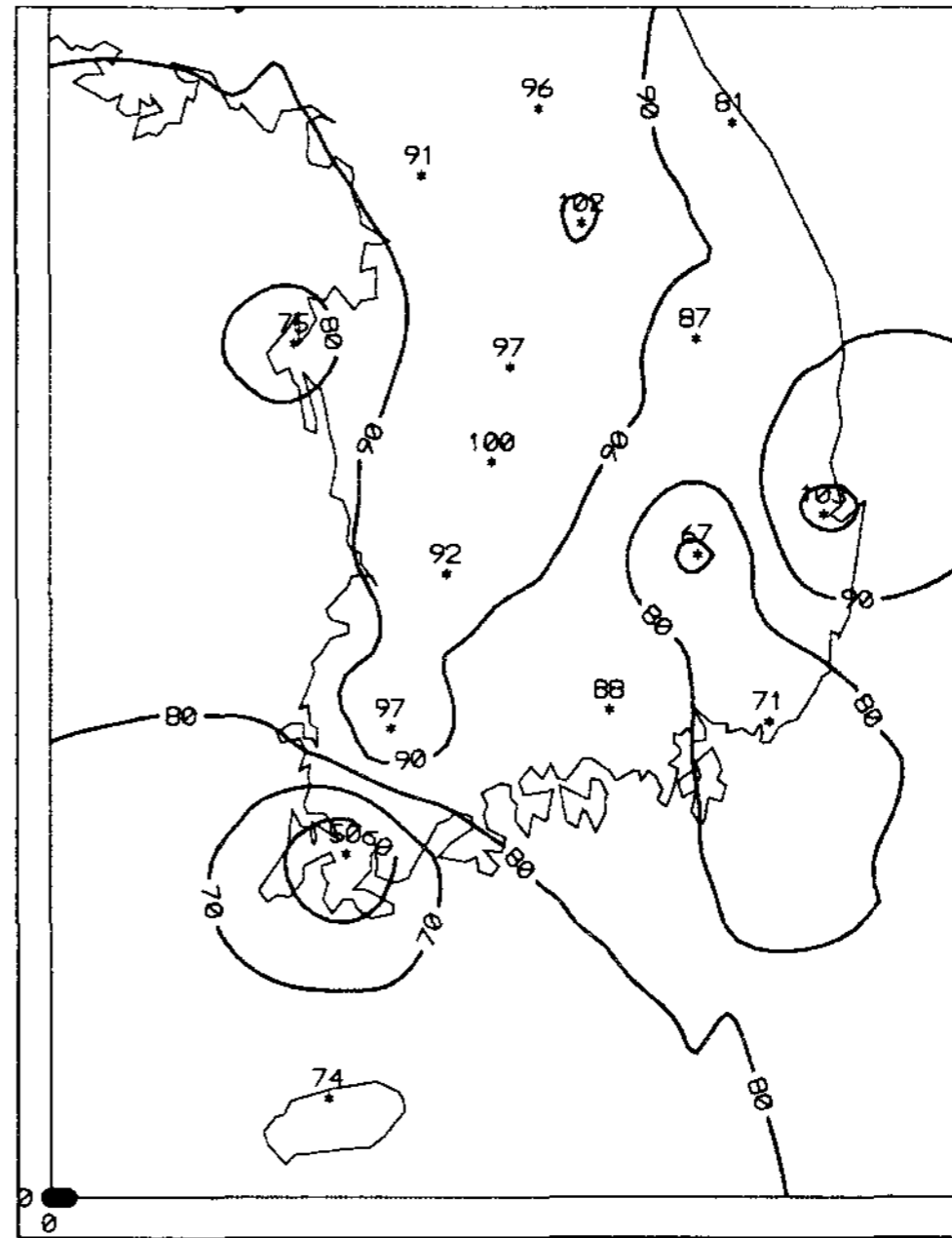


Fig. 7. 전국의 연평균 1일 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량 비율분포도(%)

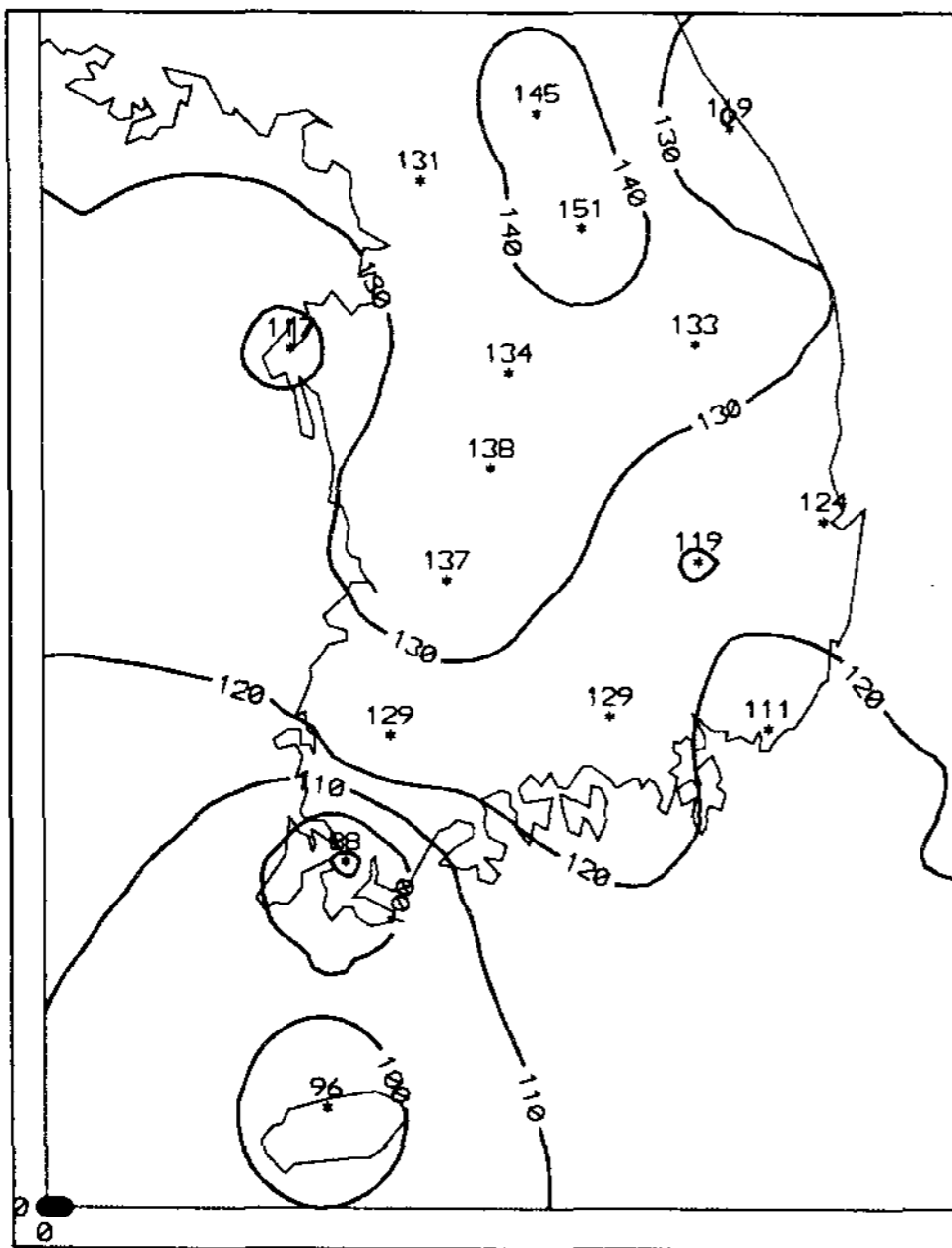




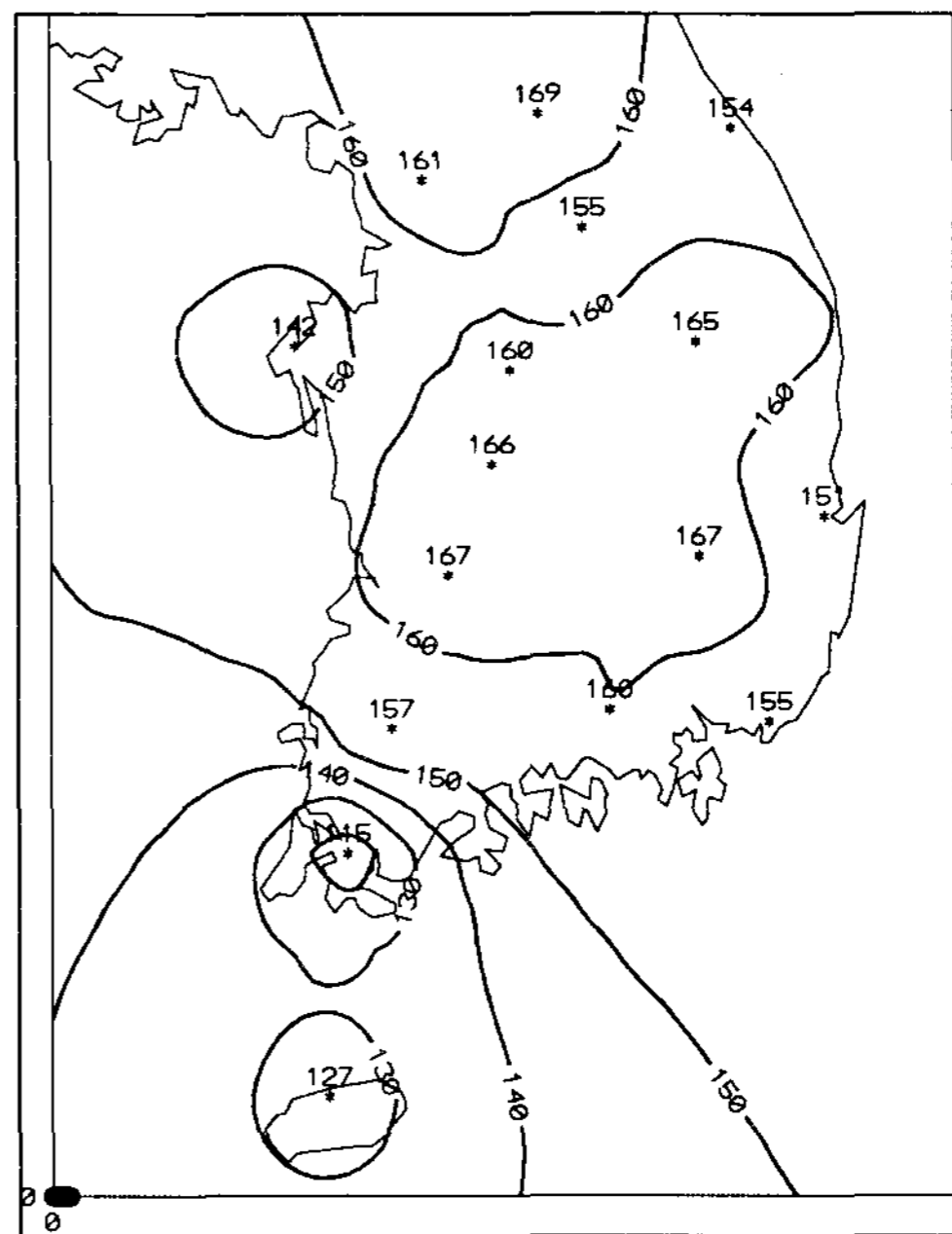
봄 (3~5월)



여름 (6~8월)



가을 (9~11월)



겨울 (11~2월)

Fig. 8. 전국의 계절별 일평균 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량 비율분포도(%)

역에 비해서 높게 나타나고 있는 반면에, 김해 및 나주평야 일대와 제주 지역에서는 낮게 나타났다. 겨울철은 영주분지와 진주분지 일원에서 비교적 높게 나타났으나, 서울-원주를 잇는 일원과 목포-제주를 잇는 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보였다. 이와 같이 이들 지역이 타지역에 비해 낮게 나타나는 원인은 특히, 겨울철 도심난방으로 인한 스모그 현상과 겨울철의 계절풍이 이들 지역의 법선면 직달일사 조건에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 믿어진다. 또한 대부분의 해안지역은 중부 내륙지방에 비하여 낮게 나타났다.

한편, 같은 기간동안 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비 DIRN/HOR은 그림 6에

서 나타난바와 같이 대도시지역인 부산, 대구와 강릉, 서산, 목포, 제주, 포항과 같은 해안지역에서는 전지역의 연평균치에 비하여 낮게 나타나는 경향을 보인 반면에, 서울, 춘천, 원주, 영주, 청주, 유성, 전주, 광주 등 수도권지역과 중북부 산간지방, 그리고 일부 분지지대 일대에서 높게 나타나는 경향을 나타내어 대체로 해안지방보다는 내륙지방에서 법선면 직달일사 조건이 큰 것으로 나타났다.

그림 7은 역시 같은 기간동안 청명한 날에 측정된 평균치를 가지고, 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비를 백분율로 전국적인 분포현황도를 나타낸 것으로 앞에서 분석한 그림 4 결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 비율분포가

Table 4. 우리 나라 주요지역의 월별 연평균 1일 법선면 직달일사량

(단위 : kcal/m<sup>2</sup>.day)

지역명	월												연평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘 천	4319	4658	4970	4318	5320	5218	5969	5627	6203	4255	4660	3722	4937
강 룡	4360	4363	4300	4428	4687	4837	5259	4443	4881	4020	4109	3726	4451
서 울	3793	3967	4301	3975	4644	4525	4778	4953	3850	4202	4052	3337	4198
원 주	3683	4042	4182	4208	4564	5217	6468	6613	5761	5439	5029	3980	4932
서 산	4192	4038	4408	4441	4752	4566	3973	4559	4703	4194	3599	3424	4238
청 주	4523	4948	4928	4845	5552	5577	5345	5795	5559	4530	4463	3793	4988
유 성	4924	5182	5010	5072	6090	5382	5962	6550	5858	4941	4842	3992	5317
포 항	4434	4549	4102	4802	7041	5065		7307	5445	4027	4170	4084	
대 구	4147	4499	4111	3867	3928	4187	3430	3787	4409	3935	3922	4175	4033
전 주	4204	4202	4284	4754	5214	4693	4629	5234	5317	4441	4000	3554	4544
광 주	4413	4827	5025	5269	5781	5394	5946	5972	5308	4654	4520	4091	5100
부 산	4428	4231	4148	4163	4706	4131	3950	3719	3958	3798	4042	4086	4113
목 포	3588	3082	3803	3528	3966	3516	2309	3619	3282	3397	3460	3581	3428
제 주	3719	3276	4853	4414	4084	4045		4409	4412	3220	3319	3579	3963
진 주	4639	5093	4887	4914	5611	4379	4679	5778	5496	5023	4453	4512	4955
영 주	4506	4471	4885	5306	5627	5936	5533	4415	4660	4623	4779	4308	4921
평 균	4242	4339	4512	4519	5098	4792	4874	5174	4944	4294	4214	3872	4576

\* '90. 12~'99. 12 평균 (청명일 기준)

비교적 높은 곳은 광주-전주-유성-청주를 잇는 지대와 서울-춘천을 잇는 중부 내륙지방 및 중부 남해안, 그리고 중부 산간지방 순으로 나타났으며, 이 중 대전분지와 춘천분지 일대가 전국에서 가장 높은 비율을 나타내었다. 그 다음은 해안지방인 강릉, 포항, 서산, 부산지역으로 나타났으며, 전국에서 가장 비율이 낮게 나타난 곳은 역시 해안지역인 목포와 제주를 잇는 일대로 나타났다.

또한, 계절별로 분포특징을 분석하여 보면, 그림 8에서 보는바와 같이 봄철의 비율분포는 원주-강릉을 잇는 차령산맥 일원과 대구주분지 및 김해평야 일대에서 타지역에 비해 매우 낮게 나타나고 있으며, 여름철은 봄철과 분포현황이 유사하게 나타나고 있는 있으나, 제주도를 포함한 대부분의 해안지역 역시 내륙지방에 비하여 매우 낮게 나타나는 경향을 보였다. 가을철 역시 여름철과 마찬가지로 모든 해안지역이 내륙지방보다는 낮게 나타나는 현상을 보인 반면에, 겨울철은 원주 및 경주분지 일원과 태안반도 일대, 서부 남해안 지방, 그리고 제주도를 제외한 전국이 비교적 고른 분포형태를 나타내었다.

참고로 우리나라 주요 16개 지역에서 '90. 12 ~ '99. 12 사이에 청명한 날 측정된 월별에 따른 연평균 1일 법선면 직달일사량 값을 표 4에 제시하였다.

#### 4. 결 론

우리 나라 주요 16개 지역에서 '90. 12 ~ '99. 12 사이에 1일 평균 운량값이 0 또는 0.1 이하인 청명(淸明)한 날에 매 시간마다 측정된 실측자료를 토대로 전국 법선면 직달일사량에 대한 실측평가 사업을 종합해 보면, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

1) 전기간에 걸친 법선면 직달일사량을 분석한 결과, 전지역에서 청명한 날 하루에 연평균

4,576 kcal/m<sup>2</sup>.day 정도의 일사에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

2) 계절별로는 연중(年中) 여름철의 법선면 직달일사조건이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 겨울철은 가장 낮게 나타났다. 연평균치에 대한 각 계절별 법선면 직달일사량의 비율은 봄과 여름철이 각각 3%, 8% 높았고, 가을철과 겨울철은 각각 연평균치에 비해 2%, 9% 정도 낮게 나타났으며, 같은 기간동안 수평면 전일사량의 계절별 변동추이 역시 법선면 직달일사량과 유사한 분포경향을 보였다. 또한 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비는 연중 겨울철이 1.54로 가장 높게, 여름철이 0.86으로 가장 낮게 나타났다.

3) 월별로는 봄철인 5월에 법선면 직달일사량이 가장 많은 달로 나타났으며, 수평면 전일사량에 대한 법선면 직달일사량의 비는 겨울철인 12월에 1.73으로 가장 높은 달로 나타났다.

4) 우리 나라 주요 16개 지역에서 측정된 지역별 법선면 직달일사량의 연평균치를 분석한 결과, 하루에 4,500 kcal/m<sup>2</sup>.day 이상의 법선면 직달일사량을 받는 비교적 큰 지역은 전주-광주-진주를 잇는 남원분지 및 진주분지 일대와 유성-청주를 잇는 대전분지, 그리고 역시 분지지대인 춘천-원주-영주-포항을 잇는 일대임을 알 수 있으며, 그 중에서도 특히 광주와 유성지역은 하루에 5,000 kcal/m<sup>2</sup>.day 이상인 것으로 나타났다. 반면에 법선면 직달일사량이 비교적 낮은 하루에 4000 ~ 4,500 kcal/m<sup>2</sup>.day인 지역은 수도권지역인 서울과 대도시지역인 대구, 해안지역인 강릉과 서산으로 나타났으며, 하루 4,000 kcal/m<sup>2</sup>.day 정도에도 못 미치는 매우 작은 지역은 역시 대도시지역인 부산과 해안지역인 제주, 목포로 나타났다.

5) 계절별로 분포특징을 분석한 결과, 봄철의 일사조건은 진주-광주-유성-영주-포항지역 일

원을 잇는 분지지대에서 높게 나타나고 있는 반면에, 대도시지역인 대구, 부산과 해안지역인 목포 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보였다. 여름철은 광주와 유성-청주-영주-원주-춘천을 잇는 중부이북지방 일원에서 가장 높게 나타난 반면에, 대도시지역인 부산과 대구, 해안지역인 서산, 목포, 제주 지방에서 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 가을철은 광주-전주-유성-청주-영주-원주-춘천을 잇는 분지지대 일원에서 비교적 타지역에 비해서 높게 나타나고 있는 반면에, 김해 및 나주평야 일대와 제주지역에서는 낮게 나타났다. 겨울철은 영주분지와 진주분지 일원에서 비교적 높게 나타났으나, 서울-원주를 잇는 일원과 목포-제주를 잇는 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보였다.

그러나, 측정기간이 충분하지 못하기 때문에 우리나라 전지역에 대한 정확한 법선면 직달일사량 자원을 평가한다는 것은 아직 어려운 실정이다. 따라서 앞으로는 본 연구사업을 바탕으로 고도나 대기오염도 등의 변화에 따른 일사량의 변

동형태 등, 대기조건과의 연관성도 규명해 나아갈 계획이다.

## 참 고 문 헌

1. Lunde P.J., Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons New York, 1980.
2. ACI Software, User's Manual (DQMS, Data Quality Management System), DE-AC02-83CH10093, 1995.
3. Duffie John A., and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3~145.
4. Garg H.P., Treatise on Solar Energy, John Wiley & Sons, 1982, pp. 26~131.
5. Dickinson, William C., and Chermisinoff Paul N., Solar Energy Technology Handbook, Dekker, Inc., 1982.
6. 기상청, "기상년·월보", (1982~1999).
7. 소선섭, 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.