

국내 고집광 태양에너지 발전단지 건설을 위한 법선면 직달일사량 자원조사

조덕기*, 강용혁*

*한국에너지기술연구원 (dokkijo@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

A Survey of Direct Normal Insolation Resources for the Construction of Solar Concentrating Power Generation Sites in Korea

Jo, Dok-Ki*, Kang, Young-Heack*

*Korea Institute of Energy Research (dokkijo@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

Abstract

Since the direct normal insolation is a main factor for designing any solar thermal power system, it is necessary to evaluate its characteristics all over the country.

We have begun collecting direct normal insolation data since December 1992 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 solar thermal concentrating system users or designers as well as by research institutes.

From the results, we can conclude that

1) Yearly mean $2.67 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ of the direct normal insolation was evaluated for all days all over the 16 areas in Korea.

2) All day's direct normal insolation of spring and summer were $2.91 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ and $2.23 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$, and for fall and winter their values were $2.78 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ and $2.77 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ respectively. So, spring, fall and winter were higher, and summer was lower than the yearly mean value

Keywords : 법선면 직달일사량(Direct Normal Insolation), 측정네트워크(Measurement Network)

1. 서 론

대기권내에 입사하는 태양 빛은 대기를 구성하는 분자에 따라 흡수 및 산란되어 감쇠해서 지구 표면 위에 도달되며, 이 중 지표 면상에 떨어질 때까지 입사방향이 직각인 면으로 입사하여 그 방향이 변하지 않고 직 접 도달되는 성분을 법선면 직달일사량¹⁾이라고 한다.

법선면 직달일사량은 태양에너지자원이라는 측면에서 보면, 넓은 면적에 입사하는 태양 광선을 한곳으로 모아 고온에너지를 얻도록 설계되는 고온 집열 및 집광시스템, 즉 Dish형 태양열집광시스템, 태양로와 같은 기기²⁾를 이용한 태양열 발전시스템과 고집광을 이용한 집광식 추적형 PV시스템의 개발과 보급을 위해서는 법선면 직달일사량의 측정

1) Lunde P.J., Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons
New York, 1980.

2) Duffie John A. and Beckman William A.,
Solar Engineering of Thermal Process, John
Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3-145.

과 평가는 절대적으로 요구된다.

이에 따라 한국에너지기술연구원은 관련 장비를 확보하고 1990년 말부터 우리나라 주요지역에 법선면 직달일사량 측정네트워크를 구성하여 집광식 태양열시스템 및 관련 기기 설계를 위한 보다 정확한 기초자료 수집을 시도하였다.

본 발표논문에서는 우리나라에서는 처음으로 청명일이 아닌 전일을 기준으로 측정기간 동안에 얻은 각 지역의 법선면 직달일사량 자료를 월별 및 1일 평균 혹은 특정한 기간별로 정리, 분석하고 그 결과를 통하여 지역 간의 법선면 직달일사량자원 현황과 자원환경 분석을 평가를 시도하였다.

따라서 본 연구를 통하여 법선면 직달일사량자원이 풍부한 지점에 대한 발굴조사와 자원부존량 분석을 통한 우리나라에서의 고집광 태양에너지 발전단지의 건설 타당성을 조사토록 함이 본 연구의 목적이다.

2. 측정네트워크의 구성 및 자료처리

측정지 선정작업에 고려된 사항들은 우선, 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.

또한 측정지는 시스템의 관리유지와 데이터수집이 용이하게 할 수 있도록 기상청의 협조를 얻어 해당지역 기상대와 당 연구원을 측정지로 하였으며, 사업추진 경비를 고려하여 측정지를 표 1에서와 같이 16개소로 한정하였다. 측정장치는 미국 Eppley사가 제작한 직달일사계(모델 NIP)와 태양자동추적장치(모델 SMT), 그리고 미국 Vaisala사가 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, 시스템 가동에 필요한 전력을 자체 내에서 조달하고, 측정작업과 이에 따른 데이터의

표 1. 전국 법선면 직달광자원 측정지 명세

지역명	지역번호	위도	경도	고도
춘천	101	37°54'	127°44'	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
영주	272	36 52	128 31	209.5
서산	129	36 46	126 28	19.7
청주	131	36 38	127 26	59.0
대전	133	36 22	127 22	67.2
포항	138	36 02	129 24	2.5
대구	143	35 53	128 37	57.8
전주	146	35 49	127 09	51.2
진주	192	35 12	128 06	21.5
광주	156	35 10	126 53	70.3
부산	159	35 06	129 02	69.2
목포	165	34 49	126 22	36.5
제주	184	33 31	126 32	22.0

자체 저장처리 문제를 스스로 해결할 수 있도록 측정의 자동화를 시도하였다.

관측지에서 측정된 자료의 처리는 현재 한국에너지기술연구원에서 전산 처리되고 있으며, 특히 실시간(1초)으로 측정된 데이터를 시간별로 평균하여 1시간단위 데이터를 데이터베이스(DBASE) 형태로 재처리하여 저장하고, 지속적으로 자료를 보완할 수 있도록 각종 분석용 프로그램과 데이터의 상호교환이 가능하도록 하였다. 자료분석은 주로 분포현황 분석과 양적비교 분석, 경년 변화 분석으로 구분하여 국내 법선면 직달일사량자원의 전반적인 평가가 가능하도록 총량적 분석내용으로 다루었다. 분석대상자료는 전국을 대상으로 1992 ~ 2006년 사이에 걸쳐 측정된 대략 15년간 평균자료가 사용되었다.

3. 분석결과

우리나라 주요 16개 지역에서 '92.1 ~ 2006.12 사이에 전 기간에 전일을 기준으로 매 시간마다 측정된 실측자료를 토대로 법선면 직달일사량 즉, 태양과 수직선 방향의 직달일사량을 분석하여 보면, 표 2에서 나타난바와 같이 전 지역에서 하루에 연평균 2.67 kWh/m² 정도의 직달일사 에너지를 받

표 2. 계절별 법선면 직달일사량의 변동추이 (전일 기준)
(단위: kWh/m²/day)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
법선면 직달 일사량	2.91	2.23	2.78	2.77	2.67
가중치 (%)	27.2	20.9	26.0	25.9	

고 있는 것으로 나타났다. 계절별로 분석하여 보면, 표 2에서 나타난 바와 같이 연중 봄철의 법선면 직달일사 조건이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 여름철은 연평균치에도 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연평균치에 대한 각 계절별 법선면 직달일사량의 비율은 봄철(3~5월)은 9% 높았고, 가을철(9~11월)과 겨울철(12~2월)은 공히 4% 높은 반면, 여름철은 연평균치에 비해 16%나 낮게 나타났다. 월별로는 표 3에서 보는바와 같이 봄철인 5월에 법선면 직달일사량이 가장 많은 달로 나타났으며, 가장 적게 나타난 달은 여름철인 7월로 나타났다.

그림 2는 지난 15년 동안(1992 ~ 2006) 측정된 실측된 자료의 전 기간에 전일 평균치를 가지고 미국 Golden Software사에서 개발한 Surfer 8.0 프로그램을 사용하여 근접 지역간의 일사량을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 법선면 직달 태양광 자원을 산출하는 전산 시뮬레이션 기법으로 그린 전국적인 법선면 직달일사량 분포 현황도이다.

그림에서 보는바와 같이 우리나라의 법선면 직달일사량의 연평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 2.67 kWh/m² 정도의 법선면 직달일사를 받고 있는 것으로 나타났다.

한편 하루에 3.0 kWh/m² 이상의 법선면 직달일사량을 받는 매우 좋은 지역은 포항 분지 일원으로 나타났으며, 또한 2.8 ~ 3.0 kWh/m²인 법선면 직달일사량이 비교적 큰 지역은 진주분지 및 김해평야 일대, 청주-대전을 잇는 일대, 영주분지일원과, 광주지역 일대로 나타났다. 또한 법선면 직달일사량이 비교적 낮은 하루에 2.2 ~ 2.6 kWh/m²인 지역은 수도권지역인 서울과 대도시 지역인 대구, 해안지역인 서산, 강릉, 제주로 나타났으며, 하루 2.2 kWh/m² 정도 이하로 매우 작은 지역은 역시 해안지역인 목포

로 나타났다.

계절별로 분포특징을 살펴보면, 그림 3 ~ 그림 6에서와 같이 봄철의 직달 일사조건은 춘천분지 일원과 진주-광주-전주-대전-청주-영주-포항지역 일원을 잇는 분지지대에서 높게 나타나고 있는 반면에, 해안지역인 목포 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보였다. 여름철은 전반적으로 연평균치에 비하여 낮게 나타나고 있으며, 제주도과 춘천분지, 청주분지, 경주분지 일원에서 비교적 타 지역에 비해서 높게 나타나고 있는 반면에, 대도시지역인 서울, 대구와 해안지역인 서산, 목포, 강릉 일원과 제천-영주-안동-상주를 잇는 분지 일원에서는 낮게 나타났다.

또한 가을철은 대전, 광주, 진주지역 지역 일원에서 타 지역에 비해서 높게 나타나고 있는 반면에, 대도시지역인 서울, 대구와 해안지역인 목포, 제주 동부지역 일원에서는 낮게 나타났다. 겨울철은 동해안지역과 남해동부지역 일원에서 비교적 타 지역에 비해 높게 나타났으나, 서울-서산-목포를 잇는 일원과 목포-제주를 잇는 서해안 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보여 그림에서와 같이 수직분포형태로 남한 동부 지역에서 서부지역으로 갈수록 낮아지는 분

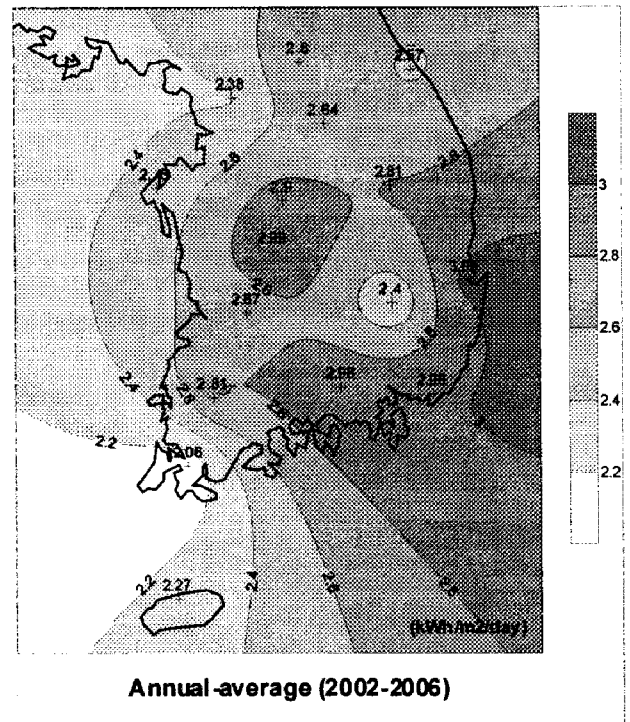


그림 2. 전국 연평균 1일 법선면 직달일사량 자원분포도

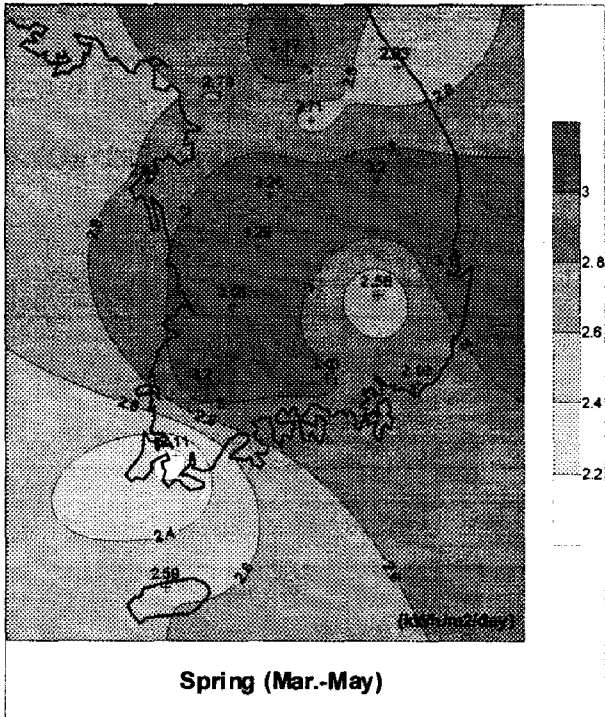


그림 3. 전국 봄철 일평균 법선면 직달일사량자원 분포도

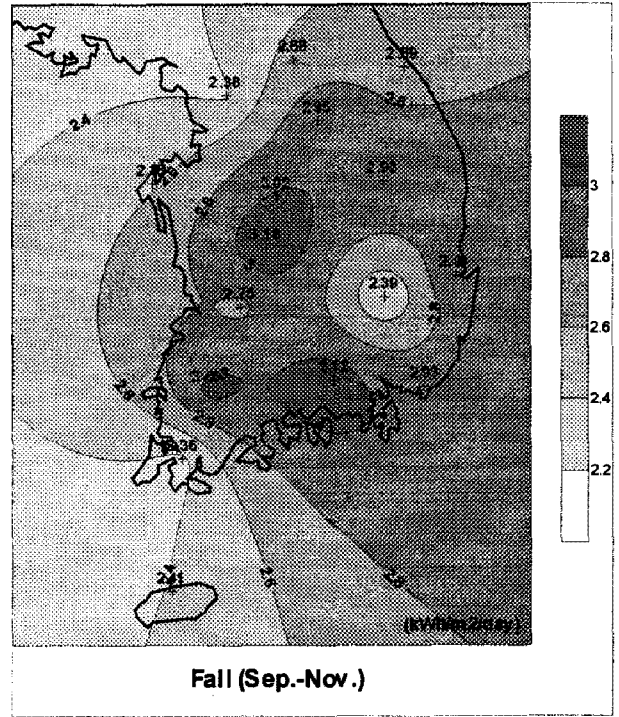


그림 5. 전국 가을철 일평균 법선면 직달일사량자원 분포도

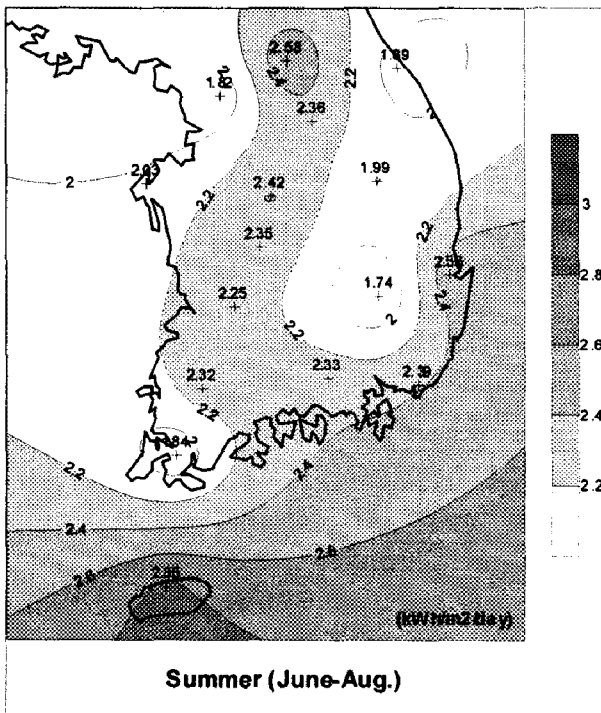


그림 4. 전국 여름철 일평균 법선면 직달일사량자원 분포도

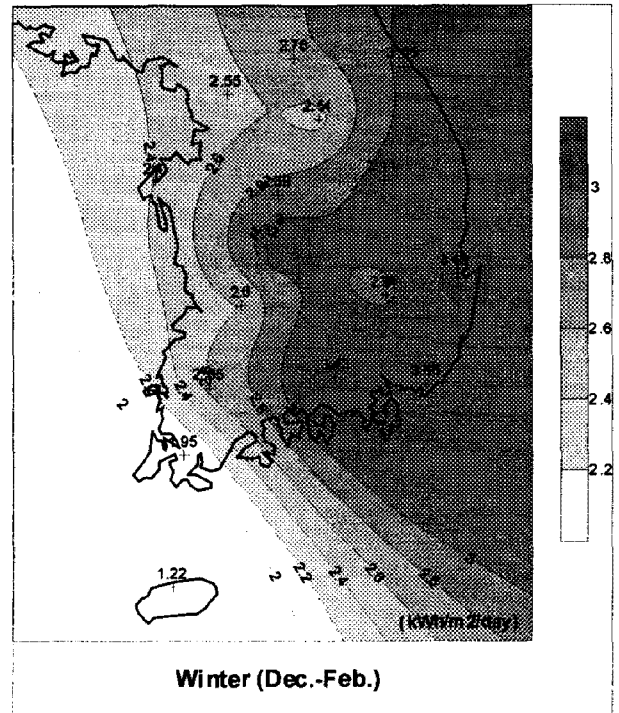


그림 6. 전국 겨울철 일평균 법선면 직달일사량자원 분포도

포형태를 보였다. 이와 같은 원인은 특히, 겨울철의 기상조건이 이들 지역의 법선면 직달일사 조건에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 믿어진다.

참고로 우리나라 주요지역에 대한 1992 ~ 2006년 기간 동안의 월별 일평균 법선면 직달일사량 값을 표 3에 제시하였다. 이 자료는 우리나라에서 추진되고 있는 고온 집열 및 집광시스템과 관련한 고집광 태양에너지 이용기술의 각종 연구와 보급사업에 보다 활성화하기 위한 기준설계 자료의 대표 값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

표 3 우리나라 주요 지역의 월별 연평균 1일 법선면 직달일사량
(단위: kWh/m²/day)

지역 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	244	320	303	297	348	270	250	255	265	263	257	265	260
강릉	314	308	268	263	258	213	180	173	255	279	274	293	257
서울	252	283	261	285	290	235	143	149	212	26	241	229	238
원주	229	277	261	283	270	247	240	220	305	319	260	256	264
서산	235	277	268	277	302	211	192	207	267	288	220	208	246
청주	275	326	302	333	344	252	232	241	313	332	262	266	290
대전	294	350	322	333	333	249	211	245	308	357	289	293	299
포천	356	342	278	313	359	263	221	284	270	299	329	349	305
대구	288	283	261	245	262	172	195	156	238	242	238	303	240
전주	287	277	300	309	310	215	225	236	285	281	259	247	267
광주	236	310	297	330	332	250	209	237	304	340	273	248	281
부산	372	361	28	310	288	237	217	262	252	310	318	366	298
목포	183	220	220	219	193	155	197	190	227	263	218	182	205
제주	096	170	217	267	294	260	320	276	263	261	200	100	227
진주	336	348	302	310	296	225	233	242	280	322	333	345	298
영주	302	334	308	332	324	242	169	187	259	322	297	297	281
평균	267	299	278	294	300	231	215	224	270	296	267	265	267

4. 결 론

우리나라 주요 16개 지역에서 '92.1 ~ 2006.12 사이에 전 기간에 전일을 기준으로 매 시간마다 측정된 실측자료를 토대로 법선면 직달일사량 즉, 태양과 수직선 방향의 직달일사량을 분석하여 보면, 다음과 같은 결론을 얻게 된다

- 1) 전 기간에 걸친 법선면 직달일사량을 분석한 결과, 전지역에서 청명한 날 하루에 연평균 2.67 kWh/m² 정도의 직달 일사에너지지를 받고 있는 것으로 나타났다.
- 2) 계절별로는 연중(年中) 봄철의 법선면

직달일사 조건이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 여름철은 연평균치에도 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연평균치에 대한 각 계절별 법선면 직달일사량의 비율은 봄철(3~5월)은 9% 높았고, 가을철(9~11월)과 겨울철(12~2월)은 공히 4% 높은 반면, 여름철은 연평균치에 비해 16%나 낮게 나타났다.

- 3) 월별로는 봄철인 5월에 법선면 직달일사량이 가장 많은 달로 나타났으며, 가장 적게 나타난 달은 여름철인 7월로 나타났다.
- 4) 우리나라 주요 16개 지역에서 측정된 지역별 법선면 직달일사량의 연평균치를 분석한 결과, 하루에 3.0 kWh/m² 이상의 법선면 직달일사량을 받는 매우 좋은 지역은 포항 분지 일원으로 나타났으며, 또한 2.8 ~ 3.0 kWh/m²인 법선면 직달일사량이 비교적 큰 지역은 진주분지 및 김해평야 일대, 청주-대전을 잇는 일대, 영주분지일원과, 광주지역 일대로 나타났다. 또한 법선면 직달일사량이 비교적 낮은 하루에 2.2 ~ 2.6 kWh/m²인 지역은 수도권지역인 서울과 대도시 지역인 대구, 해안지역인 서산, 강릉, 제주로 나타났으며, 하루 2.2 kWh/m² 정도로 매우 작은 지역은 역시 해안지역인 목포로 나타났다.

- 5) 계절별로 분포특징을 분석한 결과, 봄철의 직달 일사조건은 춘천분지 일원과 진주-광주-전주-대전-청주-영주-포항지역 일원을 잇는 분지지대에서 높게 나타나고 있는 반면에, 해안지역인 목포 일원은 전국에서 가장 낮게 나타나는 현상을 보였다. 여름철은 전반적으로 연평균치에 비하여 낮게 나타나고 있으며, 제주도와 춘천분지, 청주분지, 경주분지 일원에서 비교적 타지역에 비해서 높게 나타나고 있는 반면에, 대도시지역인 서울, 대구와 해안지역인 서산, 목포, 강릉 일원과 제주-영주-안동-상주를 잇는 분지 일원에서는 낮게 나타났다. 또한 가을철은 대전, 광주, 진주지역 지역 일원에서 타지역에 비해서 높게 나타나고 있는 반면에, 대도시지역인 서울, 대구와 해안지역인 목포, 제주 동부지역 일원에서는 낮게 나타났다. 겨울철은 동해안지역과 남해동부지역 일원에서 비교적 타 지역에 비해 높게 나타났으나, 서울-서산-목포를 잇는 일원과 목포-제주를 잇는 서해안 일원은 전국에서 가

장 낮게 나타나는 현상을 보여 그림에서와 같이 수직분포형태로 남한 동부지역에서 서부지역으로 갈수록 낮아지는 분포형태를 보였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2007-N-NC04-P-02).

참고문헌

1. Lunde P.J., Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons New York, 1980.
2. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3-145.