

국내 태양광시스템 설치를 위한 수평면 전일사량과 일조시간 정밀조사

조덕기*, 윤창열*, 김광득*, 강용혁*

*한국에너지기술연구원(dokkijo@kier.re.kr), *한국에너지기술연구원(yuncy@kier.re.kr),
*한국에너지기술연구원(kdkim@kier.re.kr), *한국에너지기술연구원(yhkang@kier.re.kr)

A Detail Survey of Horizontal Global Radiation and Hours of Bright Sunshine for the Installation of Solar Photovoltaic System in Korea

Jo, Dok-Ki* Yun, Chang-Yeol* Kim, Kwang-Deuk* Kang, Young-Heack*

*Korea Institute of Energy Research(dokkijo@kier.re.kr), *Korea Institute of Energy Research(yuncy@kier.re.kr),
*Korea Institute of Energy Research(kdkim@kier.re.kr), *Korea Institute of Energy Research(yhkang@kier.re.kr)

Abstract

Since the horizontal global radiation and hours of bright sunshine are a main factor for designing photovoltaic system, it is necessary to evaluate its characteristics all over the country. The work presented here are the investigation of horizontal global radiation and hours of bright sunshine in Korea. The data utilized in the investigation consist of horizontal global radiation and hours of bright sunshine collected for 28 years(1982.12~2009.12) at measuring stations across the country. The analysis shows that the annual-average daily horizontal global radiation is 3.61 kWh/m² and the annual-average daily hours of bright sunshine is 5.1 Hrs in Korea. We also constructed the contour map of hours of horizontal global radiation and hours of bright sunshine in Korea by interpolating actually measured data across the country.

Keywords : 태양광시스템(Photovoltaic System), 수평면 전일사량(Horizontal Global Radiation), 일조시간(Hours of Bright Sunshine), 측정소(Measuring Station), 분포도(Contour Map)

1. 서 론

태양에너지는 지구상에 존재하는 가장 깨끗하고 안전한 자원이다. 또한 태양에너지는 우리가 호흡하고 마시는 공기나 물을 오염시키지

않을 뿐만 아니라, 우리의 건강과 생명을 위협하는 사고 위험도 없는 아주 순수하고 유용한 자원이다.

절대자원이 부족한 우리의 실정에서 볼 때, 수입에너지원에 전적으로 의존하고 있는 현실은

투고일자 : 2011년 4월 25일, 심사일자 : 2011년 5월 3일, 게재확정일자 : 2011년 5월 31일
교신저자 : 조덕기(dokkijo@kier.re.kr)

장기적 안목에서 바람직하지 못하다. 따라서 우리의 에너지 문제는 근본적으로 자급기반을 확보할 수 있는 방향으로 해결해 나아가야 한다.

최근 국가적 차원에서 추진하고 있는 에너지원의 다양화, 부존자원의 활용의 극대화, 대체에너지 개발 및 이용의 적극화 등 제반사업도 바로 이와 같은 취지에서 실행되고 있는 것이다. 그 중에서도 태양에너지는 가장 확실한 미래의 대체에너지원이다. 국내외적으로 현재 광범위한 분야에 걸쳐 이를 활용하기 위한 연구사업이 활발하게 진행되고 있으며, 이미 여러 분야에서 경제성과 장래성이 입증되고 있다.

따라서, 본 연구를 통하여 태양광자원이 풍부한 지점에 대한 발굴조사와 태양자원 부존량과 일조시간 분석을 통한 우리나라에서의 태양광발전단지의 건설 타당성을 조사토록 함이 본 연구의 목적이다.

2. 측정네트워크의 구성 및 자료처리

2.1 측정네트워크 구성

수평면 전일사량 자원의 광역분포 상태를 정확히 알기 위해서는 반드시 측정네트워크를 구성하여야 하며, 각 측정지점은 서로 이상적인 거리간격을 유지하여야 한다. 본 연구사업은 이와 같은 점들을 고려하여 국내 일사량 측정을 위한 측정지간의 거리를 100 km로 설정하고, 표 1에서와 같이 전국 16개 주요지점을 측정 대상지역으로 선정하였다. 측정장치는 미국 Eppley사가 제작한 일사계(모델 PSP)와 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 컴퓨터

통신망을 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

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

표 1. 전국 수평면 전일사량 측정지 명세

지역명	지역번호	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
서 울	108	37 34	126 58	85.5
원 주	114	37 20	127 57	149.8
서 산	129	36 46	126 28	19.7
청 주	131	36 38	127 26	59.0
대 전	133	36 22	127 22	67.2
포 향	138	36 02	129 24	2.5
대 구	143	35 53	128 37	57.8
전 주	146	35 49	127 09	51.2
광 주	156	35 10	126 53	70.3
부 산	159	35 06	129 02	69.2
목 포	165	34 49	126 22	36.5
제 주	184	33 31	126 32	22.0
진 주	192	35 12	128 06	21.5
영 주	272	36 52	128 31	209.5

또한, 측정기간 동안 얻은 각 지역의 자료를 월별 및 1일 평균으로 정리하여 분석하고, 그 결과를 통하여 지역 간의 수평면 전일사량 자원 현황과 일조시간 분석을 동시에 평가하고자 하였으며, 분석대상은 전국 16개소에서 1982. 1 ~ 2009. 12 기간동안 측정된 28년간의 수평면 전일사량과 일조시간의 평균자료가 사용되었다. 여기서 일조시간은 기상청이 발표한 지역별 기상자료에 근거하였다.

3. 분석결과

3.1 전국 수평면 전일사량 분포형태

1982년 1월부터 2009년 12월까지 기간 동안 당 연구원이 실시해 온 측정자료를 전일을 기준으로 분석한 결과 우리나라 주요 16개 전 지역에서 측정된 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.71 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

계절별 태양광자원의 수평면 전일사량 조건을 일년을 기준으로 분석하여 보면, 표 2에서 보는바와 같이 태양광 조건이 가장 좋은 계절은 봄철과 여름철로 나타났으며, 연평균 일사량보다도 각각 25%, 20% 높게 나타났다. 반면에 가을철과 겨울철의 태양광 조건은 각각 13%, 33% 정도 상대적으로 낮게 나타났다.

그림 1은 지난 27년 동안(1982 ~ 2009) 측정된 실측된 자료의 평균치를 가지고 근접 지역간의 일사량을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 태양광자원을 산출하는 전산시뮬레이션 기법으로 그린 전국적인 태양광자원, 즉 연평균 수평면 전일사량 분포 현황도이다. 그림에서 보는바와 같이 우리나라의 수평면 전일사량의 연 평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.71 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

표 2. 계절별 1일 평균 수평면 전일사량의 비교
(단위 : kWh/m²/day)

계절 구분	봄	여름	가을	겨울	연평균(A)
전국	4.64	4.46	3.24	2.49	3.71
증감량	1.25	1.20	0.87	0.67	1.00

분포상의 특징을 연평균 태양광 조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 중서부 남해안지방과 태안반도 일대가 전국에서 가장 좋은 곳

으로 나타났으며, 그 다음은 김해평야 일대와 대전-영주-안동-경주분지를 잇는 일대, 그리고 남원분지, 중부이남 및 중부이북지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 전국에서 가장 낮은 일사량을 기록하였다. 한편 제주도의 경우는 측정지가 제주시에 위치하였기 때문에 한라산 이북지방의 태양광조건이 일기불순으로 생각보다 좋지 않음을 알 수가 있다.

표 3. 전국 주요지역의 월별 연평균 1일수평면 전일사량 값
(1982-2009)
(단위 : kWh/m²/day)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	2.16	2.94	3.8	4.72	5.17	5.1	4.16	4.35	3.9	3.1	2.14	1.86	3.62
강릉	2.42	3.06	3.76	4.73	5.12	4.69	4.06	3.95	3.67	3.26	2.44	2.21	3.61
서울	2.03	2.83	3.59	4.49	4.83	4.48	3.37	3.7	3.63	3.13	2.11	1.78	3.33
원주	2.17	2.94	3.73	4.7	5.13	4.97	4.08	4.27	3.87	3.28	2.24	1.94	3.61
서산	2.35	3.22	4.07	4.99	5.45	5.11	4.17	4.5	4.15	3.54	2.37	2.03	3.83
청주	2.31	3.11	3.83	4.8	5.29	4.92	4.16	4.27	3.9	3.38	2.31	1.96	3.69
대전	2.33	3.19	4	4.97	5.26	4.86	4.27	4.44	3.95	3.5	2.45	2.1	3.78
포항	2.51	3.23	3.89	4.88	5.25	4.81	4.19	4.25	3.58	3.37	2.65	2.37	3.75
대구	2.37	3.12	3.95	4.83	5.19	4.78	4.17	4.08	3.64	3.36	2.49	2.23	3.68
전주	2.16	2.88	3.71	4.7	5.04	4.67	4.03	4.13	3.77	3.39	2.32	1.93	3.56
광주	2.37	3.19	4.02	4.95	5.28	4.74	4.2	4.38	3.98	3.64	2.59	2.14	3.79
부산	2.64	3.35	3.95	4.78	5.16	4.76	4.31	4.53	3.73	3.55	2.76	2.45	3.83
목포	2.36	3.23	4.15	5.14	5.48	5.03	4.61	5.01	4.26	3.84	2.67	2.14	3.99
제주	1.48	2.42	3.5	4.68	5.19	4.83	5	4.7	3.88	3.44	2.26	1.53	3.58
전주	2.75	3.49	4.22	5.02	5.29	4.74	4.38	4.43	3.94	3.79	2.85	2.58	3.96
영주	2.31	3.06	3.89	4.83	5.29	4.92	4.16	4.19	3.87	3.36	2.42	2.11	3.7
평균	2.3	3.08	3.88	4.83	5.21	4.84	4.21	4.32	3.86	3.43	2.44	2.09	3.71

우리나라의 태양광자원에 대한 계절별 일일 수평면 전일사량 분포특성은 그림 2 ~ 그림 5에서 나타난바와 같이 봄철과 가을철의 태양광 조건은 대체로 내륙지방의 지역보다는 해안지방의 지역이 좋으며, 여름철은 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 태양광이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

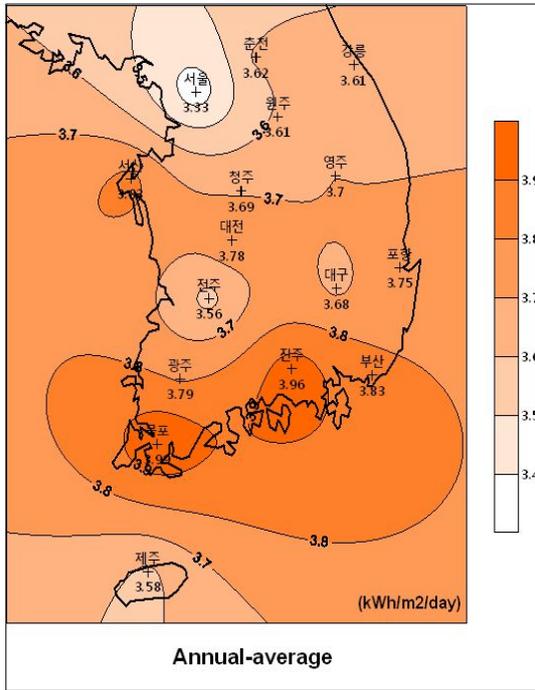


그림 1. 전국 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도

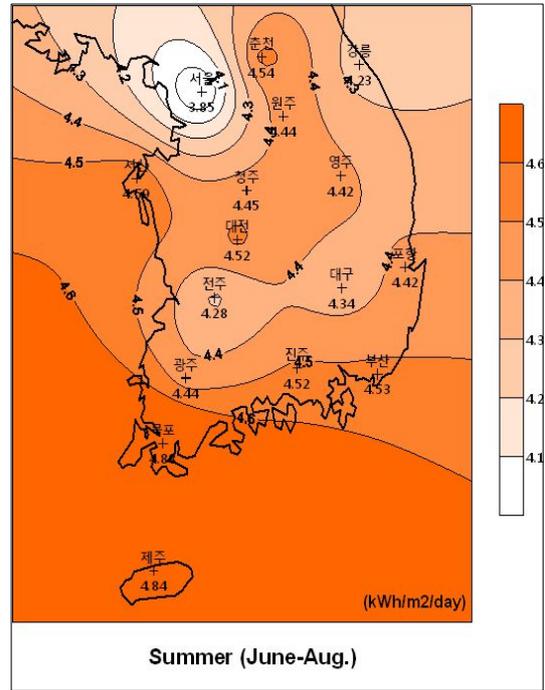


그림 3. 전국 여름철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

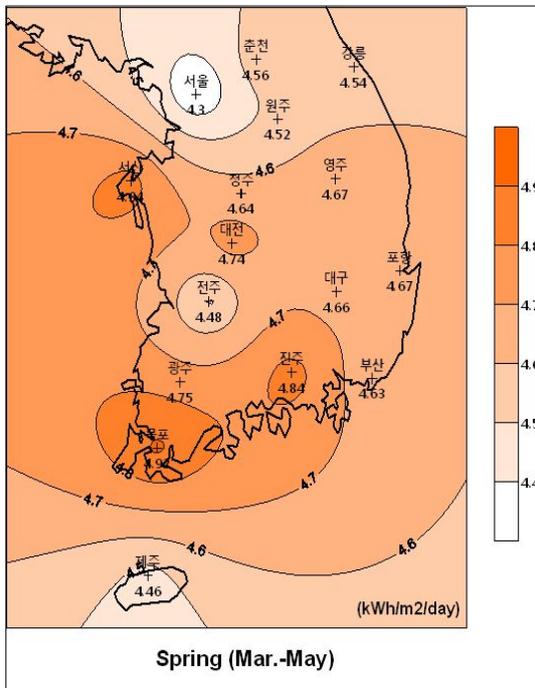


그림 2. 전국 봄철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

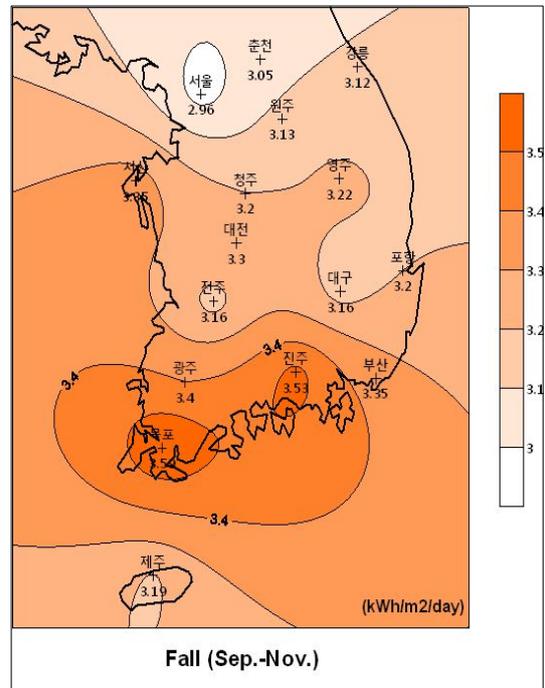


그림 4. 전국 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

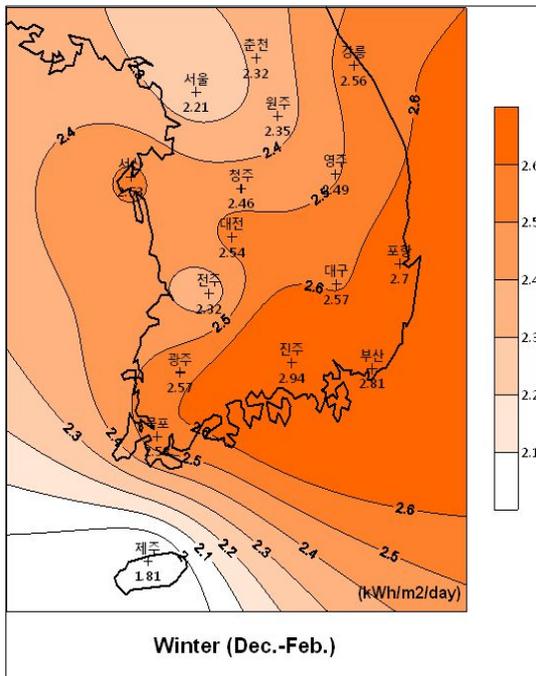


그림 5. 전국 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

3.2 전국 일조시간 분포형태

우리나라 주요 16개 지역에서 1982년 1월 ~ 2009년 12월 사이에 기상청에서 측정된 실측자료를 토대로 전 기간에 걸친 일조시간을 분석하여 보면, 표 3에서 나타난바와 같이 전 지역에서의 연평균 1일 일조시간은 5.9시간으로 나타났다.

우리나라의 계절별 일조시간 조건을 일 년을 기준으로 분석하여 보면, 표 4에서 보는바와 같이 일조시간 조건이 가장 높은 계절은 봄철로 나타났으며, 연 평균치 1일 일조시간 값보다도 여름철과 겨울철은 공히 7%, 그리고 가을철은 2% 낮게 나타난 반면에 봄철의 일조시간 조건은 17%나 상대적으로 높게 나타났다.

표 4. 계절별 일조시간 변동추이 (단위 : Hrs/day)

구분	계절	봄	여름	가을	겨울	연평균(A)
전국		6.7	5.4	5.7	5.2	5.8
증감량		1.16	0.93	0.98	0.90	1.00

표 5. 전국 주요지역의 월별 연평균 1일 일조시간 값 (1982-2009)

(단위 : Hrs/day)

지역\월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
춘천	5.4	5.6	6.4	7.0	7.2	6.4	4.7	5.5	5.7	5.6	4.5	4.8	5.7
강릉	5.9	5.6	6.1	6.6	6.8	5.3	4.5	4.8	5.1	6.1	5.5	5.9	5.7
서울	5.1	5.3	6.1	6.6	6.9	5.8	3.9	5.0	5.7	6.4	4.9	4.9	5.6
원주	4.9	5.1	5.8	6.6	6.7	5.6	4.1	5.1	5.3	5.9	4.6	4.7	5.4
서산	4.9	5.5	6.6	7.1	7.6	6.2	4.6	6.0	6.1	6.6	4.8	4.5	5.9
청주	5.3	5.6	6.5	7.3	7.6	6.3	5.0	5.8	5.7	6.5	5.1	5.1	6.0
대전	5.2	5.4	6.4	7.1	7.4	6.2	4.9	5.8	5.7	6.5	5.1	5.0	5.9
포항	6.0	5.7	6.2	6.9	7.2	5.9	5.1	5.5	4.9	6.3	5.9	6.1	6.0
대구	6.2	6.0	6.6	7.2	7.4	5.9	4.9	5.3	5.1	6.6	5.7	6.1	6.1
진주	4.8	5.1	6.1	6.9	7.0	5.6	4.4	5.3	5.4	6.3	5.0	4.5	5.5
광주	5.1	5.4	6.3	6.9	7.2	5.5	4.7	5.6	5.5	6.7	5.3	5.0	5.8
부산	6.4	5.9	6.3	6.8	7.2	5.8	5.3	6.5	5.3	6.8	6.3	6.6	6.3
목포	4.6	5.1	6.0	6.7	7.0	5.6	5.1	6.6	5.8	6.8	5.4	4.6	5.8
제주	2.3	3.4	5.2	6.3	6.8	5.6	6.3	6.3	5.2	5.8	4.1	2.7	5.0
전주	6.1	5.9	6.4	6.7	6.8	5.2	4.7	5.4	5	6.5	5.7	6.1	5.9
영주	6.2	6.2	7.2	7.8	8.3	7.2	5.5	6.1	6.1	7.0	5.7	5.9	6.6
평균	5.2	5.4	6.2	6.8	7.1	5.8	4.8	5.6	5.4	6.4	5.2	5.1	5.8

월별로는 표 5에서 보는바와 같이 5월에 일조시간이 가장 높은 달로 나타났으며, 가장 짧게 나타난 달은 7월로 나타나 따뜻하고, 습기가 없는 건조한 봄철이 습기가 많고 기온이 매우 높은 우기철인 여름철보다 일조시간이 높은 것으로 나타났다.

분포상의 특징을 일조시간 조건이 좋은 순으로 지역 대를 나누면, 그림 6에서 보는바와 같이 경상남북도 일대의 일조시간 조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 태안반도 및 청주-대전-진주분지와 남해 서부지방을 잇는 일원, 서울 및 춘천-원주분지 일원과 북부 동해안, 호남 일대 순으로 나타났고, 기상변화가 심한 제주도지방은 전국에서 가장 낮은 일조시간을 기록하였다. 또한, 우리나라의 일조시간에 대한 계절별 분포특성은 그림 7 ~ 그림 10에서 나타난 바와 같이 봄철의 일조시간 조건은 대체로 중부 내륙지방이 좋으며, 여름철의 일조시간 조건은 제주도를 포함한 경상북도 일원이 좋은 것으로 나타났으며, 가을철은 중부이북 및 제주도지방을 제외하고는 전국이 고르게 높은 분포를 나타낸 반면에, 겨울철은 제주도를 포함한 서해안지방 일원 지역의 일조시간이 다른 지역들보다 상대적으로 낮은 형태를 나타내었다.

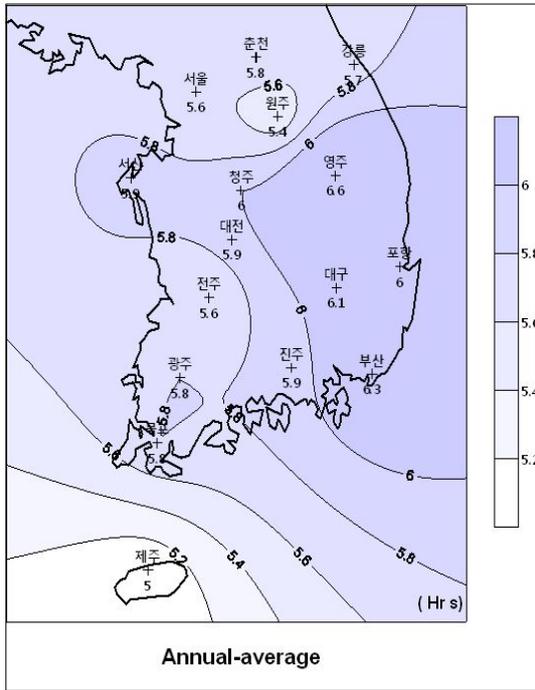


그림 6. 전국 연 평균 1일 일조시간 분포도

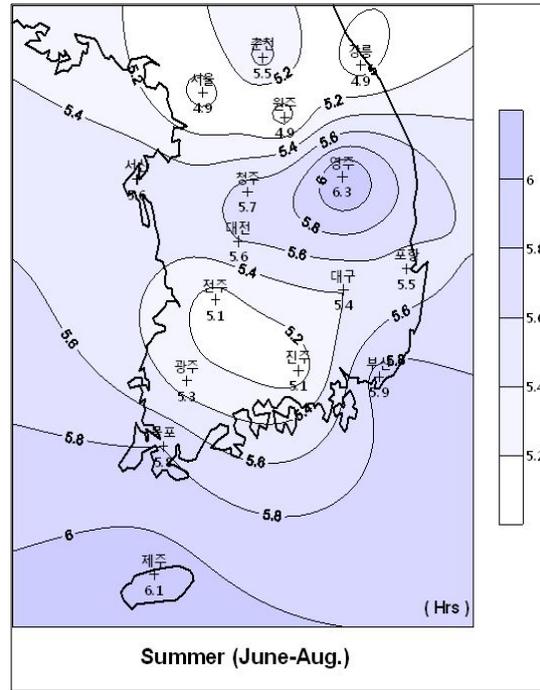


그림 8. 전국 여름철 일평균 일조시간 분포도

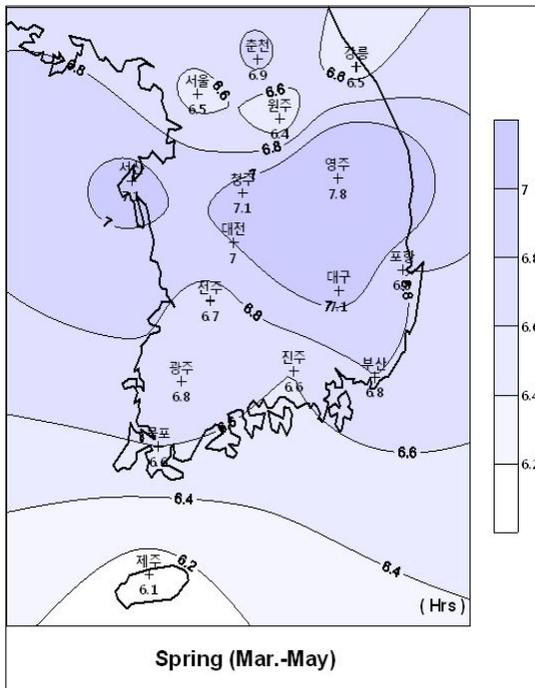


그림 7. 전국 봄철 일평균 일조시간 분포도

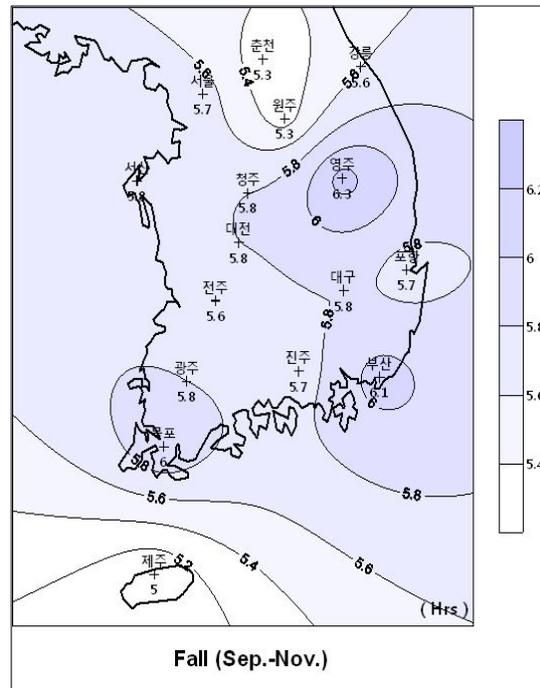


그림 9. 전국 가을철 일평균 일조시간 분포도

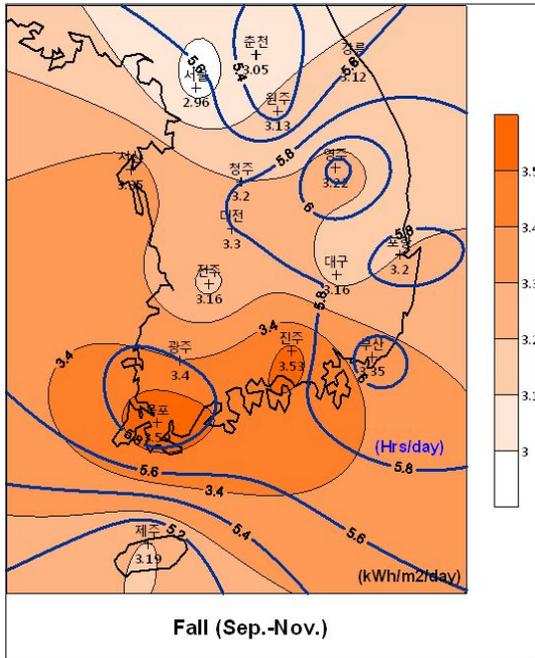


그림 14. 전국 가을철 수평면 전일사량과 일조시간과의 상관 분포도

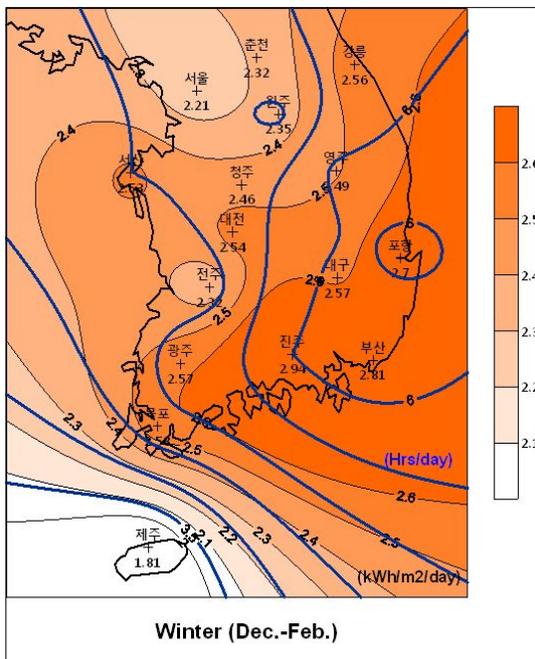


그림 15. 전국 겨울철 수평면 전일사량과 일조시간과의 상관 분포도

3.3 전국 수평면 전일사량과 일조시간과의 상관분포

국내 태양광시스템 설치를 위한 최적지 선정을 위해 그동안 측정된 전년(28년간)에 걸친 수평면 전일사량과 일조시간과의 상관관계를 분포도로 작성하여 분석해 보면, 그림 11에서 보논바와 같이, 연평균 1일 일조시간이 비교적 높은 5.8 이상이며, 수평면 전일사량이 높은 지역은 남해 중서부지방과 태안반도 일원으로 나타났으며, 기상변화가 심한 제주도지방은 전국에서 가장 낮은 일조시간을 기록하였으나 전국에서 태양광조건은 중북부지방보다는 비교적 좋은 곳으로 나타났다.

한편, 그림 12 ~ 그림 15는 계절별 수평면 전일사량과 일조시간과의 상관 분포특성을 나타낸 것으로 타 계절에 비해 높은 봄철은 일조시간이 높은 7.0 이상이고 수평면 전일사량이 높은 지역으로는 태안반도 일대와 대전 분지 일원으로 나타났으며, 일조시간이 타 계절에 비해 낮은 여름철은 일조시간이 높은 구간대인 5.8 ~ 6.2 사이이고 수평면 전일사량이 높은 지역으로는 남해 서부지방과 제주도 일원으로 나타났다. 또한 가을철은 일조시간이 높은 구간대인 6.0 ~ 6.4 사이이고 수평면 전일사량이 높은 지역으로 남해 중부지방 일원으로 나타났으며, 겨울철은 일조시간이 낮은 4.0 이하인 제주도 일원이 전국에서 수평면 전일사량이 가장 낮은 지역으로 나타난 반면에 일조시간이 높은 6.0이상인 수평면 전일사량이 높은 지역으로 경주-대구-진주를 잇는 분지 일원과 김해평야 일대로 나타났다.

4. 결 론

우리나라 주요 16개 지역에서 1982년 1월 ~ 2009년 12월 사이에 전년에 걸쳐 매 시간마다 측정된 실측자료를 토대로 전국 수평면 전일사량과 기상청에서 관측된 일조시간에 대한 실측평가 사업을 종합해 보면, 다음과 같은

결론을 얻게 된다.

- (1) 우리나라 주요 16개 전 지역에서 측정된 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.71 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.
- (2) 분포상의 특징을 연평균 태양광 조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 중서부 남해안지방과 태안반도 일대가 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 김해평야 일대와 대전-영주-안동-경주분지를 잇는 일대, 그리고 남원분지, 중부이남 및 중부이북지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 전국에서 가장 낮은 일사량을 기록하였다.
- (3) 우리나라 주요 16개 전 지역에서 기상청에서 측정된 연평균 1일 일조시간은 5.9시간으로 나타났으며, 월별로는 5월에 일조시간이 가장 높은 달로, 가장 짧게 나타난 달은 7월로 나타나 따뜻하고, 습기가 없는 건조한 봄철이 습기가 많고 기온이 매우 높은 우기철인 여름철보다 일조시간이 높은 것으로 나타났다.
- (4) 분포상의 특징을 일조시간 조건이 좋은 순으로 지역 대를 나누면, 그림 6에서 보는 바와 같이 경상남북도 일대의 일조시간 조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 태안반도 및 청주-대전-진주분지와 남해 서부지방을 잇는 일원, 서울 및 춘천-원주분지 일원과 북부 동해안, 호남 일대 순으로 나타났고, 기상변화가 심한 제주도지방은 전국에서 가장 낮은 일조시간을 기록하였다.
- (5) 국내 태양광시스템 설치를 위한 최적지 선정을 위해 그동안 측정된 전년(28년간)에 걸친 수평면 전일사량과 일조시간과의 상관관계를 분포도로 작성하여 분석해 보면, 그림 11에서 보는바와 같이, 연평균 1일 일조시간이 비교적 높은 5.8 이상이며,

수평면 전일사량이 높은 지역은 남해 중서부지방과 태안반도 일원으로 나타났으며, 기상변화가 심한 제주도지방은 전국에서 가장 낮은 일조시간을 기록하였으나 전국에서 태양광조건은 중북부지방보다는 비교적 좋은 곳으로 나타났다.

그러나 많은 학자들은 일사량과 일조시간 사이에 함수관계가 있을 것으로 간주하여 이들 간의 상관관계를 오래 전부터 연구하여 왔다. 이에 따라 여러 지역에 대한 장기적인 일조시간에 따른 일사량의 변동형태 등 각종 기후조건과의 연관성을 규명하여 우리나라 전 지역에 적합한 일사량과 일조시간과의 상관모형을 유추해 나갈 계획이다.

후 기

본 연구는 국가 출연사업인 주요사업의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 : GP 2009-0051).

참 고 문 헌

1. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
2. Lunde P.J., Solar Thermal Engineering, John Wiley & Sons New York, 1980.
3. 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2009.
4. 소선섭과 이천우, 기상관측법, 교무사, 1986.