

한반도 태양에너지 자원의 재평가

조덕기*, 윤창열*, 김광득*, 강용혁*

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

Revaluation of Solar Radiation Resources in Korean Peninsular

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

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

Abstract

Images taken by geostationary satellite may be used to estimate solar irradiance fluxes at earth's surface. It is based on the empirical correlation between a satellite derived cloud index and the irradiance at the ground. For the validation, estimated solar radiation fluxes are compared with observed solar radiation fluxes at 16 sites over the Korean peninsular from January 1982 to December 2007. Estimated solar radiation fluxes show reliable results for estimating the global radiation with average deviation of -7.58 to +3.8% from the measured values and the yearly averaged horizontal global insolation of Korean peninsula was turned out to be 3.59 kW/m²/day.

Keywords : 전일사량 (Global Radiation), 태양복사 (Solar Radiation), 위성영상 (Satellite Image), 운량 (Cloud Index)

1. 서론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에서 에너지의존도를 경감시키고 안정된 국민경제를 이룩하기 위하여 대체에너지의 개발이 절대 필요하며, 우리나라에서 태양자원이 풍부하게 산재되어 있는 지역의 부존자원을 최대한 효율적으로 활용하기 위해

서 대단위 태양광발전단지 건설과 태양광발전시스템을 대량보급을 유도하기 위하여 본 연구의 수행이 절실히 요구된다. 그러나 국내에서도 태양광에너지사업 수행지역과 북한과의 경협이 확대됨에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 태양광자원 자료가 절실히 요구되고 있으나 태양광자원 측정네트워크가 일부 남한

지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 한반도 전지역에 대한 태양광에너지량의 산출은 현실적으로 불가능 실정이다. 따라서 일사량을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 선진국에서 이미 임의의 지점의 태양에너지 자원 예측을 위해 인공위성 영상을 이용한 예측기법을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가가 절실히 요구되고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 태양광자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 미국 나사(NASA) ESE(Earth Science Enterprise)에서 GEOS-1 위성영상 등을 이용한 태양광 자원 예측기법¹⁾을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가를 시도하고자 하였다.

2. 예측치와 측정치와의 비교분석

지표면상에 입사되는 총일사량, 즉 수평면 전일사량 실측데이터를 임의의 지역의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량을 예측하기 위하여 일부 특정지역에 대하여 인공위성 등을 이용하여 태양광 예측기법을 적용한 예측치와 '82.1 ~ 2007.12 기간 사이에 실제로 측정된 평균일사량²⁾과 비교하여 보면, 대기오염이 심각한 서울지역과 기상변화가 심한 제주지역을 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 연평균 오차범위가 -7.5 ~ +3.8% 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다. 대기오염이 심각한 서울지역을 비롯한 해안지역인 목포, 제주와 그 인접지역인 진주, 그리고 공단이 위치한 전주지역은 타 지역에 비해 예측치는 실측치와의 오차가 다소 높게 나타나는 경향을 보였다.

1) Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

2) 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2007.

3. 한반도 태양에너지 자원분석

본 연구에서는 한반도 내에서의 태양광자원의 광역분포 상태를 분석하기 위하여 관측지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고 전반적인 데이터의 정확도 평가를 위해 한반도 내에서 37개 지역, 즉 북한은 21개소로 평양을 비롯한 나진, 청진, 성진, 장진, 신포, 함흥, 혜산, 강계, 희천, 신의주, 구성, 양덕, 남포, 사리원, 해주, 개성, 원산, 평강, 장전, 영원과 남한에서는 한국에너지기술연구원 관측지 16개소인 춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 포항, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주, 진주를 대상으로 한반도 일사량 관측지로 선정하였다. 한반도 태양에너지 자원분석을 위한 관측지 선정작업에 고려된 사항은 우선, 관측지 상호간의 거리는 가능한 균등하게 유지하고, 내륙, 해안 등 지역적 특수성에 따른 일사량 변동 형태를 연구할 수 있도록 관측지 선정에 반영한 것이다.

표 1은 1982년 1월부터 2007년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 북한지방 21개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치를 한반도 주요 지역별로 서로 비교한 것이다. 분석결과에서 나타난바와 같이 우리나라(남북한) 주요 37개소 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 3.59 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났으며, 북한지방은 하루에 3.58 kWh/m², 남한지방은 하루에 3.60 kWh/m² 정도로 나타나 남한지방이 북한지방에 비하여 다소 높게 나타나는 현상을 보였다. 특히 남한지방의 대도시지역에서 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 북한의 지역들에 비해 상대적으로 컸음에도 불구하고 남한지역이 높게 나타난 것은 태양광에너지의 강도가 지구상의 위도와 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수가 있다.

표 1. 한반도 주요지역의 월 및 연평균 1일 수평면 전일사량

(단위 : kWh/m²/day)

지역명	월 별												연평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘천	2.08	2.85	3.70	4.59	5.02	4.94	4.05	4.19	3.75	3.00	2.08	1.80	3.50
강릉	2.36	2.97	3.67	4.58	4.98	4.56	3.94	3.82	3.52	3.16	2.39	2.15	3.51
서울	1.97	2.76	3.50	4.36	4.67	4.33	3.26	3.57	3.52	3.03	2.05	1.72	3.23
원주	2.10	2.87	3.64	4.58	4.98	4.82	3.97	4.12	3.74	3.19	2.19	1.89	3.51
서산	2.29	3.15	3.97	4.87	5.31	4.99	4.07	4.36	4.03	3.46	2.32	1.98	3.73
청주	2.26	3.05	3.73	4.68	5.14	4.79	4.07	4.14	3.79	3.32	2.29	1.94	3.60
대전	2.26	3.10	3.88	4.83	5.08	4.69	4.15	4.28	3.82	3.40	2.39	2.04	3.66
포항	2.44	3.13	3.77	4.71	5.07	4.67	4.04	4.09	3.45	3.23	2.59	2.29	3.62
대구	2.32	3.02	3.84	4.69	5.02	4.65	4.05	3.95	3.53	3.25	2.42	2.16	3.58
전주	2.10	2.79	3.59	4.56	4.86	4.53	3.91	3.99	3.67	3.29	2.26	1.88	3.45
광주	2.32	3.11	3.91	4.81	5.11	4.62	4.08	4.26	3.89	3.53	2.53	2.09	3.69
부산	2.57	3.24	3.81	4.59	4.98	4.62	4.17	4.39	3.62	3.44	2.70	2.38	3.71
목포	2.31	3.15	4.04	5.00	5.31	4.92	4.50	4.88	4.16	3.74	2.61	2.08	3.89
제주	1.45	2.36	3.37	4.52	5.00	4.71	4.88	4.58	3.73	3.32	2.23	1.49	3.47
진주	2.70	3.42	4.13	4.90	5.16	4.65	4.28	4.35	3.86	3.67	2.78	2.51	3.87
영주	2.27	2.98	3.82	4.74	5.16	4.82	4.07	4.09	3.78	3.28	2.36	2.06	3.62
나진	1.96	2.86	3.85	4.42	4.69	4.62	4.01	3.94	3.87	3.10	2.09	1.66	3.42
청진	1.97	2.81	3.75	4.42	4.79	4.73	4.23	4.13	3.79	3.15	2.07	1.68	3.46
장진	2.04	2.96	4.00	4.69	5.18	4.92	4.34	4.29	3.97	3.34	2.20	1.75	3.64
신포	2.19	3.06	3.91	4.56	5.13	4.66	4.27	4.27	4.00	3.27	2.18	1.85	3.61
함흥	2.16	3.04	3.96	4.59	5.13	4.73	4.26	4.18	3.92	3.34	2.27	1.85	3.62
혜산	2.14	3.03	3.83	4.66	5.14	4.43	3.71	3.71	3.73	3.24	2.18	1.84	3.47
성진	2.08	2.99	3.90	4.45	5.00	4.92	4.50	4.43	3.96	3.16	2.11	1.78	3.61
풍산	2.16	3.04	3.96	4.59	5.13	4.73	4.26	4.18	3.92	3.34	2.27	1.85	3.62
강계	2.21	3.11	3.95	4.60	5.15	4.71	4.19	4.15	4.00	3.23	2.18	1.84	3.61
희천	2.21	3.11	3.95	4.60	5.15	4.71	4.19	4.15	4.00	3.23	2.20	1.84	3.61
신의주	2.17	3.03	3.91	4.69	5.14	4.72	3.79	4.05	4.01	3.17	2.19	1.80	3.56
구성	2.18	3.08	3.98	4.74	5.10	4.89	3.96	4.16	4.08	3.30	2.25	1.87	3.63
양덕	2.21	3.12	3.96	4.70	5.11	4.80	3.90	4.02	3.99	3.34	2.24	1.87	3.61
평양	2.18	3.08	3.98	4.74	5.10	4.89	3.96	4.16	4.08	3.30	2.25	1.87	3.63
남포	2.12	3.01	4.01	4.82	5.10	5.03	4.25	4.39	4.06	3.34	2.26	1.85	3.69
사리원	2.23	3.12	3.99	4.81	5.10	4.81	3.90	4.07	3.93	3.37	2.34	1.95	3.64
해주	2.12	3.01	4.01	4.82	5.10	5.03	4.25	4.39	4.06	3.34	2.26	1.85	3.69
개성	2.28	3.06	3.89	4.70	5.03	4.73	3.99	4.31	3.89	3.29	2.33	2.00	3.63
원산	2.14	3.03	3.83	4.66	5.14	4.43	3.71	3.71	3.73	3.24	2.18	1.84	3.47
평강	2.16	3.03	3.81	4.68	5.06	4.46	3.62	3.75	3.73	3.23	2.24	1.92	3.47
장진	2.11	2.94	3.84	4.77	5.25	4.75	4.09	3.94	3.79	3.23	2.26	1.89	3.57
평균(남북한)	2.18	3.01	3.85	4.67	5.07	4.73	4.08	4.15	3.85	3.29	2.29	1.92	3.59
평균(남한)	2.24	3.00	3.77	4.69	5.05	4.71	4.09	4.19	3.74	3.33	2.39	2.03	3.60
평균(북한)	2.14	3.02	3.92	4.65	5.08	4.75	4.07	4.11	3.93	3.26	2.22	1.84	3.58

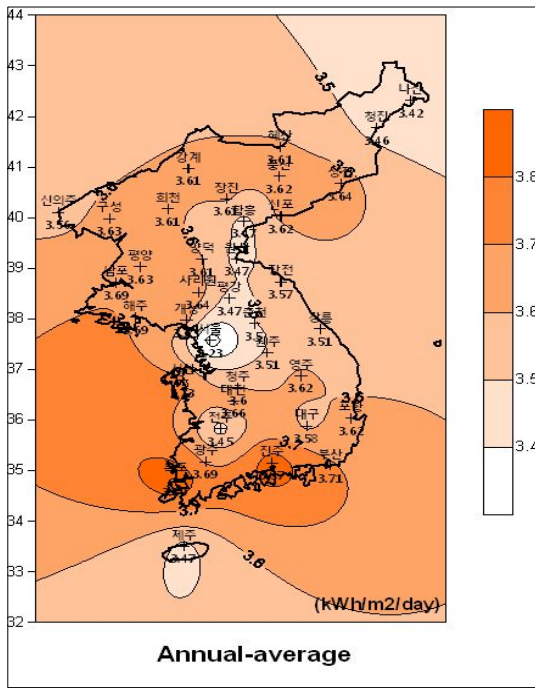


그림 1. 한반도 연평균 일일 수평면 전일사량 자원분포도

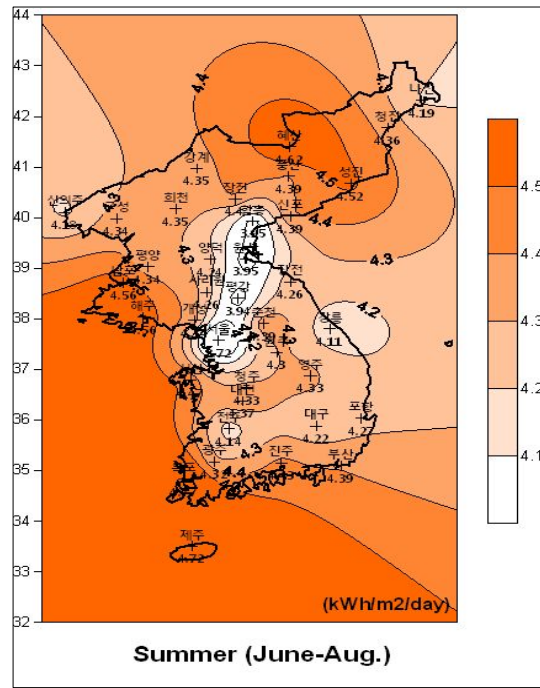


그림 3. 한반도 여름철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

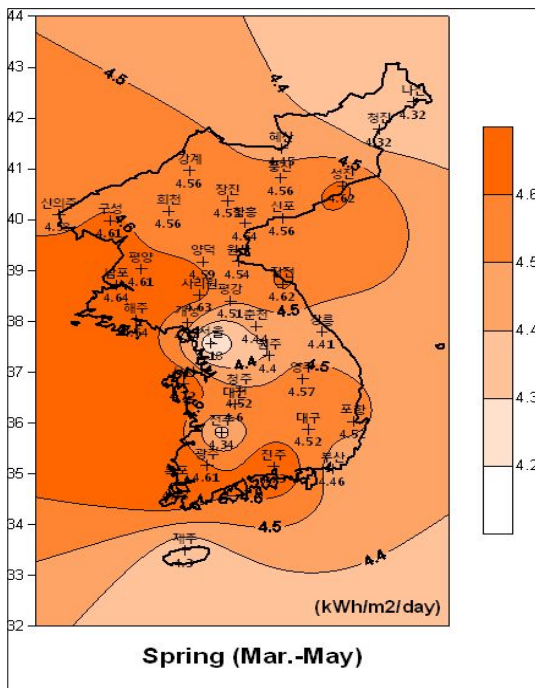


그림 2. 한반도 봄철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

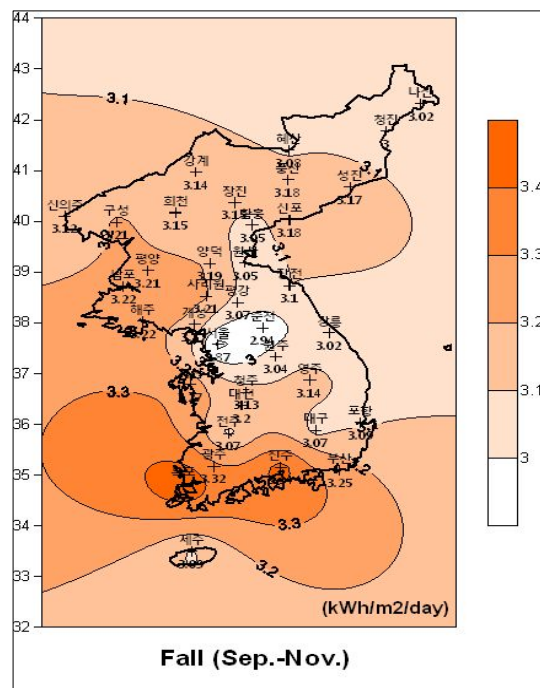


그림 4. 한반도 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

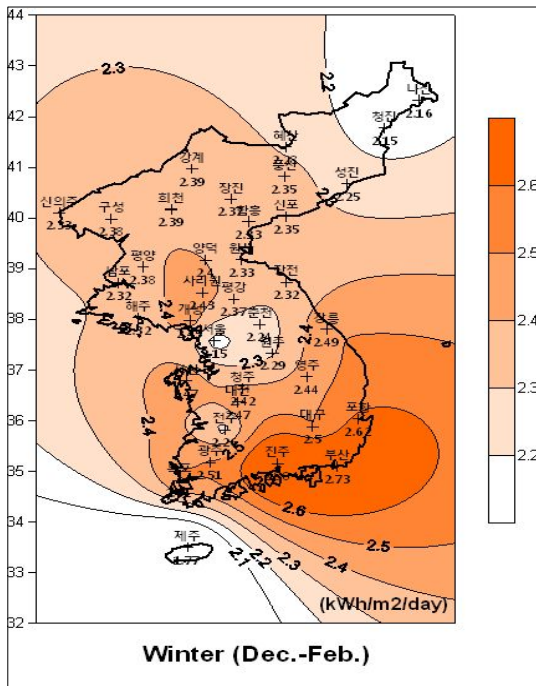


그림 5 한반도 겨울철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

한편, 우리나라(남북한)의 월별 수평면 전일사량의 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 5.07 kWh/m²인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.92 kWh/m²로 나타났다.

계절별로는 연중 봄철의 태양광조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양광조건은 봄과 여름철은 각각 26%, 20% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 34% 정도 상대적으로 낮았다.

한국에너지기술연구원에서 운영하는 태양광측정네트워크(남한지방 16개소)에서 19여 년간에 걸쳐 측정된 수평면 전일사량 자료의 평균치와 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 수평면 전일사량 예측치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 그린 한반도 연평균 태양광자원분포 현황도를 그

림 1에 나타내었다.

분포상의 특징을 연평균 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 그림에서 보는 바와 같이 남해중서부지방과 태안반도 일대, 그리고 김해평야 일원의 태양광조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남평야 일원 및 대전-영주-경주분지를 잇는 일대와 황해도-평안도-함경남도를 잇는 일대, 그리고 중부이남 및 중부이북지방, 북부내륙지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 태양광을 기록하였다.

또한, 우리나라 한반도의 수평면 전일사량 자원에 대한 계절별 태양광자원 분포특성은 그림 2 ~ 그림 5에서 나타난바와 같이 봄철과 가을철의 태양광은 대체로 남북한 내륙지방보다는 북남부 서해안지방 및 남해 중서부 일대가 좋으며, 여름철은 한반도 전국이 고른 분포를 나타낸 반면, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 태양광이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

참고로 우리나라 한반도 전지역에 대해 지역별로 '82 ~ 2007년 기간동안의 태양광자원에 대한 월별 연평균 1일 수평면 전일사량의 값을 표 1에 제시하였다. 이 자료는 우리나라 한반도에서 추진되고 있는 태양광에너지 이용기술과 관련하여 각종 연구와 보급사업이 보다 활성화하기 위한 기준설계 자료의 대표 값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

4. 결 론

우리나라 한반도 내에서 인공위성을 이용한 태양에너지 이용가능성 분석 평가를 위하여 1982년 1월부터 2007년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치를 한반도 주요 지역별로 분석한 결과를 종합해 보면, 다음과 같은 결론을 얻

게 된다.

1) 인공위성에 의한 시뮬레이션 예측치는 서울지역과 기상변화가 심한 제주지역을 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 연평균 오차범위가 $-7.5 \sim +3.8\%$ 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

2) 우리나라(남북한) 주요 37개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 3.59 kWh/m^2 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났으며, 북한지방은 하루에 3.58 kWh/m^2 , 남한지방은 하루에 3.60 kWh/m^2 정도로 나타났다.

3) 우리나라(남북한)의 월별 수평면 전일사량의 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 5.07 kWh/m^2 인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.92 kWh/m^2 로 나타났다.

4) 계절별로는 연중 봄철의 태양광조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연평균치에 대한 계절별 태양광조건은 봄과 여름철은 각각 26%, 20% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 34% 정도 상대적으로 낮았다.

5) 우리나라 한반도 분포상의 특징을 연평균 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 남해중서부지방과 태안반도 일대, 그리고 김해평야 일원의 태양광조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남평야 일원 및 대전-영주-경주분지를 잇는 일대와 황해도-평안도-함경남도를 잇는 일대, 그리고 중부이남 및 중부이북지방, 북부내륙지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 태양광을 기록하였다.

6) 우리나라 한반도의 수평면 전일사량 자원에 대한 계절별 태양광자원 분포특성은 봄

철과 가을철의 태양광은 대체로 남북한 내륙지방보다는 북남부 서해안지방 및 남해 중서부 일대가 좋으며, 여름철은 한반도 전국이 고른 분포를 나타낸 반면, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 태양광이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : KIER-A92424).

참고문헌

1. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
2. 기상청, “기상년·월보”, 1982 ~ 2007.