

# 인공위성을 이용한 한반도 태양에너지자원 상세 정밀분석

조덕기\*, 윤창열\*, 김광득\*, 강용혁\*

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

## A Detailed Analysis of Solar Energy Resources in Korean Peninsula Using a Satellite

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

Since the solar energy resource is the main input for sizing any solar energy utilization system, it is essential to utilize the solar radiation data as an application and development of solar energy system increase. It will be necessary to understand and evaluate the insolation data. The Korea Institute of Energy Research(KIER) has begun collecting horizontal global insolation data since May, 1982 at 16 different locations in Korea and for the more detailed analysis, 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.

From the results, the measured data has been collected at 16 different stations and estimated using satellite at 44 different stations over the Korean peninsula from 1982 to 2010. The Result of analysis shows that the annual-average daily global radiation on the horizontal surface is 3.66 kWh/m<sup>2</sup>/day and estimated solar radiation fluxes show reliable results for estimating the global radiation with average deviation of -7.2 to +3.7 % from the measured values .

Keywords : 태양에너지자원 (Solar Energy Resources), 태양에너지 이용시스템 (Solar Energy Utilization System), 수평면 전일사량 (Horizontal Global Insolation), 위성영상 (Satellite Image)

### 1. 서 론

늘어나고 그에 따른 각종 시스템의 개발 및 최근래에 들어와서 태양광시스템의 이용이 날로 적화 사업이 활발해 짐에 따라 적용지역에 대한

Submit date : 2012. 2. 29, Judgement date : 2012. 3. 7, Publication decide date : 2012. 6. 1  
Communication author : Yun, Chang-Yeol(yuncy@kier.re.kr)

태양광에너지자원 정보의 필요성이 한층 높아지고 있다. 그러나 국내에서도 태양에너지 사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 태양에너지자원 자료가 절실히 요구되고 있으나 일사량 측정네트워크<sup>1)</sup>가 일부지역에만 국한됨에 따라 국내 전 지역에 대한 태양에너지 양의 산출은 현실적으로 불가능 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 태양에너지자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 미국 나사(NASA)의 지상관측시스템, GEOS-4 위성영상<sup>2)</sup> 등을 이용한 태양에너지자원 예측기법을 적용하여 국내에서의 전반적인 태양에너지 이용가능성에 대한 정밀분석을 시도하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

N이 인공위성에서 스캔(scan)하는 표적 내에서 하늘(sky)에 대한 구름이 덮인 부분의 비율일 때, 지구 지표면에 도달하는 태양복사  $G_s$ 는에서와 같이 청명한 부분과 구름에 덮인 부분을 통해 두 부분에서 혼합하여 입사하는 일사량<sup>3)</sup>이다.

$$\begin{aligned} G_s &= (1 - N) G_{cs} + N G_{cl}, \text{ 또는} \\ G_s &= G_{cs} + N (G_{cl} - G_{cs}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $G_{cs}$ 는 청명한(clear) 하늘 부분에서 지표면에 입사하는 일사량,  $G_{cl}$ 은 흐린 하늘

부분에서 지표면에 입사하는 일사량이다.

흐림도(cloudiness) 측정은 지표면에서 일사량을 예측하기 위한 목적이기 때문에 흐림도는 식 (2)에서 제시한 바와 같이 하늘에 현존하는 구름으로 인하여 지표면에 도달하지 못하는 일사량으로 정의한다.

$$\begin{aligned} \text{Cloudiness} &= G_{cs} - G_s, \text{ 또는} \\ \text{Cloudiness} &= N (G_{cs} - G_{cl}) \end{aligned} \quad (2)$$

또한,  $G_o$ 는 대기의 상단에 입사하는 대기권밖 일사량,  $G_a$ 는 대기에 의해 흡수된 일사량, 그리고  $G_r$ 은 행성, 즉 지구로부터 반사된 일사량을 의미하며,  $G_r$ 의 양은 우주에서 인공위성의 단파장대 센서에 의해 각각 감지된다. 이에 따른 에너지보존 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} G_o &= G_a + G_r + G_s (1 - A_s), \text{ 또는} \\ G_s &= (G_o - G_a - G_r) / (1 - A_s) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $A_s$ 은 평균 반구상의 지표면 알베도(hemispherical ground albedo)로서 지표면 위에 입사한 일사량에 대하여 지표면으로부터 반사된 일사량의 비율로 정의된다. 식 3에서  $G_s (1 - A_s)$ 의 조건은 지표면에 의해 흡수된 일사량을 나타낸다. 이에 따라 청명한 하늘과 담천한 하늘에서의 에너지보존 방정식은 각각 식 (4)와 식 (5)와 같이 재 정의할 수 있다. 이들 식에서  $c_s$ 와  $c_l$ 은 각각 청명한 하늘과 흐린 하늘의 매개변수를 나타내며, 짧은 시간대에서의  $A_s$ 의 변화는 무시한다.

$$G_{cs} = (G_o - G_{acs} - G_{rcs}) / (1 - A_s) \quad (4)$$

$$G_{cl} = (G_o - G_{acl} - G_{rc1}) / (1 - A_s) \quad (5)$$

여기서  $G_{acs}$ 와  $G_{acl}$ 은 청명한 하늘과 흐린 하늘에서 각각 대기로 흡수된 일사량이며,  $G_{rcs}$ 와  $G_{rc1}$ 은 청명한 하늘과 흐린 하늘에서 각각

1) The Kenneth E. Johnson Environmental and Energy Center, Solar Radiation Data Sources-Applications and Network Design, DOE, U.S.A., 1978.  
 2) Hans Georg Beyer, Claudio Costanzo and Detlev Heinemann, Modifications of the Heliosat Procedure for Irradiance Estimates from Satellite Images, Solar Energy, Vol. 56, No. 3, pp. 207-212, 1996.  
 3) M.D. Rafiqul Islam and R.H.B. Exell, Solar Radiation Mapping from Satellite Image Using a Low Cost System, Solar Energy, Vol. 56, No. 3, pp. 225-237, 1996.

지구로부터 반사된 일사량인 지구복사를 의미한다.

한편, 일사량을 위한 넓은 대역의 청명계수 T는 식 (6)에서와 같이 대기열(atmospheric column) 상단에 입사하는 대기권밖 태양복사에 대한 대기열을 통하여 지표면에 도달하는 일사량의 비율로서 정의된다.

$$T = G_s / G_o \quad (6)$$

식 (4)와 식 (5)로부터 식 (1)의  $G_{cl}$ 과  $G_{cs}$ 을 대신하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$G_s = (G_o - G_a - G_{rcs}) / (1 - A_s) + N (G_{rcs} - G_{rc1}) / (1 - A_s) \quad (7)$$

다시 위의 식을 양변을  $G_o$ 에 의해 나누고 식 (6)의 T를 삽입하면, 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$T = a + b C \quad (8)$$

여기서 계수 a와 b는 회귀에 의한 현장 데이터로부터 결정된다. 또한 C는 흐림도 계수로서 다음과 같이 정의된다.

$$C = (\text{Cloudiness}) (1 - A_s) / G_o \quad (9)$$

그에 따라 인공위성 영상으로부터의 흐림도 계수는 식 (8)에서 청명계수를 얻기 위해 사용되어지며, 그리고 원하는 표적에서 연속적으로 지표면에 도달하는 일사량은 식 (10)으로부터 예측된다.

$$G_s = G_o T \quad (10)$$

### 3. 인공위성 예측치와 측정치와의 비교분석

임의의 지역의 수평면 전일사량을 예측하기

위하여 일부 특정지역에 대하여 미국 나사(NASA)의 지상관측시스템, GEOS-4 인공위성 등을 이용한 일사량 예측기법<sup>4)</sup>을 적용한 예측치와 '82.1 ~ 2010.12 기간 사이에 실제로 측정된 평균 일사량<sup>5)</sup>과 비교하였으며, 그 비교결과는 표 1에 제시하였다.

표에서 보는바와 같이 인공위성에 의한 시물레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 연평균 오차가 대기오염이 심각한 서울과 일기불순이 심한 제주를 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 연평균 -7.2 ~ +3.7% 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

## 4. 한반도 태양에너지자원 상세 분석

### 4.1 관측지 선정

본 연구에서는 한반도 내에서의 태양에너지 자원의 광역분포 상태를 분석하기 위하여 관측지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고 전반적인 데이터의 정확도 평가를 위해 한반도 내에서 60개 지역, 즉, 위성예측은 북한은 21개소를 평양을 비롯한 나진, 청진, 성진, 장진, 신포, 함흥, 혜산, 강계, 회천, 신의주, 구성, 양덕, 남포, 사리원, 해주, 개성, 원산, 평강, 장전, 영원과 남한은 23개소를 인천, 수원, 안동, 대관령, 추풍령, 고산, 속초, 철원, 동두천, 울릉도, 영월, 충주, 울진, 상주, 군산, 울산, 마산, 통영, 여수, 완도, 진도, 성산, 서귀포로 하였으며, 실측은 한국에너지기술연구원 관측지 16개소인 춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 포항, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주, 진주, 영주를 대상으로 한반도 일사량 관측지로 선정하였다. 한반도 태양에너지 자원분석을 위한 관측지 선정작업에 고려된 사항은 우선, 관측지 상호간의 거리

4) Tom Stoffel, Daryl Myers and Steve Wilcox, Ray George, Concentrating Solar Power, NREL/TP-550-47465, pp. 43-54, 2010.

5) 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2010.

Table. 1 Comparison between the monthly average estimated insolation and observed insolation in major areas

(단위 : kWh/m<sup>2</sup>/day)

지역명		월 별												연평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘천	예측치	2.33	3.11	3.82	4.77	5.14	4.67	3.74	3.97	3.79	3.23	2.37	2.08	3.59
	실측치	2.12	2.88	3.70	4.61	5.06	5.01	4.07	4.23	3.81	3.04	2.10	1.82	3.54
	오차(%)	9.9	8.0	3.2	3.5	1.6	-6.8	-8.1	-6.1	-0.5	6.3	12.9	14.3	1.4
강릉	예측치	2.17	2.94	3.68	4.68	5.10	4.69	3.76	3.79	3.66	3.19	2.28	1.96	3.49
	실측치	2.37	2.98	3.65	4.63	5.02	4.64	3.99	3.84	3.59	3.18	2.40	2.17	3.54
	오차(%)	-8.4	-1.3	0.8	1.1	1.6	1.1	-5.8	-1.3	1.9	0.3	-5	-9.7	-1.4
서울	예측치	2.29	3.06	3.89	4.73	5.08	4.77	4.02	4.34	3.93	3.32	2.34	2.01	3.65
	실측치	2.00	2.77	3.50	4.38	4.72	4.41	3.30	3.61	3.55	3.07	2.08	1.74	3.26
	오차(%)	14.5	10.5	11.1	8.0	7.6	8.2	21.8	20.2	10.7	8.1	12.5	15.5	12.0
원주	예측치	2.33	3.11	3.82	4.77	5.14	4.67	3.74	3.97	3.79	3.23	2.37	2.08	3.59
	실측치	2.13	2.87	3.62	4.58	5.02	4.88	3.98	4.14	3.78	3.20	2.21	1.90	3.53
	오차(%)	9.4	8.4	5.5	4.1	2.4	-4.3	-6.0	-4.1	0.3	0.9	7.2	9.5	1.7
서산	예측치	2.10	2.99	3.92	4.82	5.16	4.93	4.50	4.76	4.12	3.42	2.32	1.86	3.74
	실측치	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
	오차(%)	-8.3	-5.1	-1.3	-1.0	-2.8	-1.2	10.6	9.2	2.2	-1.2	0	-6.1	0.3
청주	예측치	2.32	3.10	3.85	4.75	5.11	4.69	3.97	4.01	3.71	3.29	2.40	2.10	3.61
	실측치	2.24	3.03	3.72	4.68	5.17	4.83	4.06	4.15	3.80	3.30	2.27	1.92	3.60
	오차(%)	3.6	2.3	3.5	1.5	-1.2	-2.9	-2.2	-3.4	-2.4	-0.3	5.7	9.4	0.3
대전	예측치	2.32	3.10	3.85	4.75	5.11	4.69	3.97	4.01	3.71	3.29	2.40	2.10	3.61
	실측치	2.28	3.11	3.88	4.85	5.15	4.79	4.18	4.33	3.86	3.42	2.42	2.05	3.69
	오차(%)	1.8	-0.3	-0.8	-2.1	-0.8	-2.1	-5.0	-7.4	-3.9	-3.8	-0.8	2.4	-2.2
포항	예측치	2.29	2.94	3.66	4.73	5.15	4.87	4.11	3.99	3.55	3.26	2.39	2.05	3.58
	실측치	2.47	3.14	3.78	4.76	5.14	4.75	4.13	4.17	3.52	3.30	2.61	2.33	3.68
	오차(%)	-7.3	-6.4	-3.2	-0.6	0.2	2.5	-0.5	-4.3	0.9	-1.2	-8.4	-12	-2.7
대구	예측치	2.46	3.09	3.78	4.69	5.09	4.56	3.98	3.94	3.56	3.41	2.49	2.23	3.61
	실측치	2.33	3.04	3.83	4.71	5.08	4.70	4.07	3.99	3.56	3.28	2.45	2.18	3.60
	오차(%)	5.6	1.6	-1.3	-0.4	0.2	-3.0	-2.2	-1.3	0	4.0	1.6	2.3	0.3
전주	예측치	2.30	3.04	3.89	4.67	5.03	4.61	4.03	4.04	3.65	3.47	2.44	2.11	3.61
	실측치	2.12	2.80	3.60	4.59	4.94	4.59	3.95	4.02	3.70	3.31	2.29	1.90	3.48
	오차(%)	8.5	8.6	8.1	1.7	1.8	0.4	2.0	0.5	-1.4	4.8	6.6	11.1	3.7
광주	예측치	2.02	2.89	3.81	4.73	5.05	4.82	4.53	4.71	4.03	3.44	2.32	1.83	3.68
	실측치	2.32	3.10	3.90	4.83	5.16	4.65	4.10	4.27	3.89	3.56	2.55	2.10	3.70
	오차(%)	-12.9	-6.8	-2.3	-2.1	-2.1	3.7	10.5	10.3	3.6	-3.4	-9.0	-12.9	-0.5
부산	예측치	2.39	2.99	3.62	4.63	5.11	4.75	4.18	4.13	3.49	3.30	2.46	2.18	3.60
	실측치	2.59	3.25	3.83	4.66	5.05	4.68	4.23	4.45	3.67	3.48	2.71	2.40	3.75
	오차(%)	-7.7	-8.0	-5.5	-0.6	1.2	1.5	-1.2	-7.2	-4.9	-5.2	-9.2	-9.2	-4.0
목포	예측치	2.00	2.78	3.63	4.57	4.94	4.62	4.48	4.78	3.96	3.43	2.38	1.85	3.62
	실측치	2.31	3.14	4.03	5.01	5.36	4.92	4.51	4.89	4.17	3.75	2.62	2.08	3.90
	오차(%)	-13.4	-11.5	-9.9	-8.8	-7.8	-6.1	-0.7	-2.2	-5.0	-8.5	-9.2	-11.1	-7.2
제주	예측치	1.88	2.72	3.64	4.70	5.20	5.40	5.03	5.23	4.34	3.77	2.55	1.83	3.86
	실측치	1.46	2.37	3.40	4.56	5.09	4.72	4.89	4.62	3.81	3.35	2.23	1.50	3.50
	오차(%)	28.8	14.8	7.1	3.1	2.2	14.4	2.9	13.2	13.9	12.5	14.3	22	10.3
진주	예측치	2.46	3.09	3.78	4.69	5.09	4.56	3.98	3.94	3.56	3.41	2.49	2.23	3.61
	실측치	2.70	3.39	4.10	4.90	5.19	4.65	4.28	4.33	3.87	3.71	2.80	2.52	3.87
	오차(%)	-8.9	-8.8	-7.8	-4.3	-1.9	-1.9	-7.0	-9.0	-8.0	-8.1	-11.1	-11.5	-6.7
영주	예측치	2.33	3.04	3.72	4.72	5.14	4.69	3.90	3.93	3.64	3.30	2.39	2.11	3.58
	실측치	2.25	2.98	3.8	4.72	5.16	4.80	4.06	4.10	3.78	3.28	2.36	2.06	3.61
	오차(%)	3.6	2.0	-2.1	0	-0.4	-2.3	-3.9	-4.1	-3.7	0.6	1.3	2.4	-0.8
평균	예측치	2.25	3.00	3.77	4.71	5.10	4.75	4.12	4.22	3.78	3.36	2.40	2.04	3.63
	실측치	2.25	3.00	3.77	4.71	5.10	4.75	4.12	4.22	3.78	3.36	2.40	2.04	3.63
	오차(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 2. Monthly average and annual average daily global insolation in Korea peninsular ('82. 1 ~ 2010. 12)

(단위 : kWh/m<sup>2</sup>/day)

지역명	월 별												연평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘천	2.12	2.88	3.70	4.61	5.06	5.01	4.07	4.23	3.81	3.04	2.10	1.82	3.54
강릉	2.37	2.98	3.65	4.63	5.02	4.64	3.99	3.84	3.59	3.18	2.40	2.17	3.54
서울	2.00	2.77	3.50	4.38	4.72	4.41	3.30	3.61	3.55	3.07	2.08	1.74	3.26
원주	2.13	2.87	3.62	4.58	5.02	4.88	3.98	4.14	3.78	3.20	2.21	1.90	3.53
서산	2.30	3.13	3.95	4.87	5.32	5.01	4.09	4.38	4.05	3.47	2.32	1.98	3.74
청주	2.24	3.03	3.72	4.68	5.17	4.83	4.06	4.15	3.80	3.30	2.27	1.92	3.60
대전	2.28	3.11	3.88	4.85	5.15	4.79	4.18	4.33	3.86	3.42	2.42	2.05	3.69
포항	2.47	3.14	3.78	4.76	5.14	4.75	4.13	4.17	3.52	3.30	2.61	2.33	3.68
대구	2.33	3.04	3.83	4.71	5.08	4.70	4.07	3.99	3.56	3.28	2.45	2.18	3.60
전주	2.12	2.80	3.60	4.59	4.94	4.59	3.95	4.02	3.70	3.31	2.29	1.90	3.48
광주	2.32	3.10	3.90	4.83	5.16	4.65	4.10	4.27	3.89	3.56	2.55	2.10	3.70
부산	2.59	3.25	3.83	4.66	5.05	4.68	4.23	4.45	3.67	3.48	2.71	2.40	3.75
목포	2.31	3.14	4.03	5.01	5.36	4.92	4.51	4.89	4.17	3.75	2.62	2.08	3.90
제주	1.46	2.37	3.40	4.56	5.09	4.72	4.89	4.62	3.81	3.35	2.23	1.50	3.50
전주	2.70	3.39	4.10	4.90	5.19	4.65	4.28	4.33	3.87	3.71	2.80	2.52	3.87
영주	2.25	2.98	3.8	4.72	5.16	4.80	4.06	4.10	3.78	3.28	2.36	2.06	3.61
인천	2.29	3.81	3.89	4.73	5.08	4.77	4.02	4.34	3.93	3.32	2.34	2.01	3.71
수원	2.29	3.81	3.89	4.73	5.08	4.77	4.02	4.34	3.93	3.32	2.34	2.01	3.71
안동	2.33	3.65	3.72	4.72	5.14	4.69	3.90	3.93	3.64	3.30	2.39	2.11	3.63
대관령	2.17	3.61	3.68	4.68	5.10	4.69	3.76	3.79	3.66	3.19	2.28	1.96	3.55
추풍령	2.32	3.78	3.85	4.75	5.11	4.69	3.97	4.01	3.71	3.29	2.40	2.01	3.67
고산	1.88	3.57	3.64	4.70	5.20	5.40	5.03	5.23	4.34	3.77	2.55	1.83	3.93
속초	2.12	3.76	3.84	4.80	5.30	4.79	4.12	3.97	3.83	3.27	2.27	1.90	3.66
철원	2.18	3.73	3.81	4.70	5.11	4.50	3.64	3.77	3.77	3.26	2.25	1.93	3.55
동두천	2.33	3.74	3.82	4.77	5.14	4.67	3.74	3.97	3.79	3.23	2.37	2.08	3.64
울릉도	1.87	3.86	3.94	4.95	5.53	5.81	4.89	4.78	4.08	3.41	2.26	1.73	3.93
영월	2.17	3.61	3.68	4.68	5.10	4.69	3.76	3.79	3.66	3.19	2.28	1.96	3.55
충주	2.32	3.78	3.85	4.75	5.11	4.69	3.97	4.01	3.71	3.29	2.40	2.10	3.67
울진	2.29	3.59	3.66	4.73	5.15	4.87	4.11	3.99	3.55	3.26	2.39	2.05	3.64
상주	2.33	3.65	3.72	4.72	5.14	4.69	3.90	3.93	3.64	3.30	2.39	2.11	3.63
군산	2.10	3.84	3.92	4.82	5.16	4.93	4.50	4.76	4.12	3.42	2.32	1.86	3.81
울산	2.39	3.55	3.62	4.63	5.11	4.75	4.18	4.13	3.49	3.3	2.46	2.18	3.65
마산	2.46	3.70	3.78	4.69	5.09	4.56	3.98	3.94	3.56	3.41	2.49	2.23	3.66
통영	2.53	3.82	3.90	4.84	5.26	5.25	4.73	5.00	4.24	3.81	2.73	2.36	4.04
여수	2.33	3.66	3.73	4.69	5.08	4.65	4.16	4.33	3.88	3.52	2.49	2.14	3.72
완도	2.00	3.56	3.63	4.57	4.94	4.62	4.48	4.78	3.96	3.43	2.38	1.85	3.68
진도	2.00	3.56	3.63	4.57	4.94	4.62	4.48	4.78	3.96	3.43	2.38	1.85	3.68
성산	1.88	3.57	3.64	4.70	5.20	5.40	5.03	5.23	4.34	3.77	2.55	1.83	3.93
서귀포	1.88	3.57	3.64	4.70	5.20	5.40	5.03	5.23	4.34	3.77	2.55	1.83	3.93
독도	1.60	3.78	3.86	4.98	5.56	5.75	5.01	4.87	4.04	3.35	2.09	1.47	3.86
나진	1.97	2.86	3.85	4.44	4.74	4.66	4.04	3.97	3.92	3.13	2.09	1.66	3.44
청진	1.98	2.81	3.75	4.44	4.84	4.77	4.26	4.16	3.83	3.18	2.08	1.69	3.48
강진	2.05	2.96	4.00	4.71	5.23	4.96	4.37	4.32	4.01	3.37	2.21	1.76	3.66
신포	2.20	3.06	3.91	4.58	5.18	4.70	4.30	4.30	4.05	3.30	2.19	1.86	3.64
함흥	2.17	3.04	3.96	4.61	5.18	4.78	4.29	4.22	3.96	3.37	2.28	1.86	3.64
혜산	2.15	3.03	3.83	4.68	5.19	4.47	3.74	3.74	3.77	3.28	2.19	1.85	3.49
성진	2.09	2.99	3.90	4.47	5.05	4.96	4.54	4.46	4.00	3.19	2.12	1.79	3.63
종산	2.17	3.04	3.96	4.61	5.18	4.78	4.29	4.22	3.96	3.37	2.28	1.86	3.64
강계	2.22	3.11	3.95	4.62	5.20	4.75	4.22	4.18	4.05	3.27	2.21	1.85	3.63
회천	2.22	3.11	3.95	4.62	5.20	4.75	4.22	4.18	4.05	3.27	2.21	1.85	3.63
신의주	2.18	3.03	3.91	4.71	5.19	4.76	3.81	4.08	4.06	3.20	2.20	1.80	3.58
구성	2.19	3.08	3.98	4.76	5.15	4.94	3.99	4.19	4.12	3.33	2.26	1.88	3.66
양덕	2.22	3.12	3.96	4.73	5.16	4.84	3.93	4.05	4.04	3.37	2.25	1.88	3.63
평양	2.19	3.08	3.98	4.76	5.15	4.94	3.99	4.19	4.12	3.33	2.26	1.88	3.66
남포	2.13	3.01	4.01	4.84	5.15	5.08	4.28	4.43	4.10	3.37	2.27	1.85	3.71
사리원	2.24	3.12	3.99	4.83	5.15	4.85	3.93	4.10	3.97	3.41	2.35	1.96	3.66
해주	2.13	3.01	4.01	4.84	5.15	5.08	4.28	4.43	4.10	3.37	2.27	1.85	3.71
개성	2.29	3.06	3.89	4.73	5.08	4.77	4.02	4.34	3.93	3.32	2.34	2.01	3.65
원산	2.15	3.03	3.83	4.68	5.19	4.47	3.74	3.74	3.77	3.28	2.19	1.85	3.49
평양	2.18	3.03	3.81	4.70	5.11	4.50	3.64	3.77	3.77	3.26	2.25	1.93	3.50
강진	2.12	2.94	3.84	4.80	5.30	4.79	4.12	3.97	3.83	3.27	2.27	1.90	3.59
평균(남북한)	2.19	3.28	3.82	4.71	5.13	4.82	4.17	4.25	3.89	3.35	2.34	1.95	3.66
평균(남한)	2.23	3.4	3.77	4.72	5.12	4.80	4.16	4.27	3.82	3.37	2.40	2.02	3.67
평균(북한)	2.15	3.02	3.92	4.67	5.13	4.79	4.10	4.14	3.97	3.30	2.23	1.85	3.61

Table. 3 Seasonal average daily global insolation in Korea peninsular

(단위 : kWh/m<sup>2</sup>/day)

구 분	봄	여름	가을	겨울	연평균(A)
수평면 전일사량 (G)	4.55	4.41	3.19	2.47	3.66
G/A	1.24	1.20	0.87	0.67	1.00

는 가능한 균등하게 유지하고, 내륙, 해안 등 지역적 특수성에 따른 일사량 변동 형태를 연구할 수 있도록 관측지 선정에 반영한 것이다.

#### 4.2 양적비교

표 2는 1982년 1월부터 2010년 12월까지 기간 동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 남한지방 23개소, 그리고 북한지방 21개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치를 한반도 주요 지역별로 서로 비교한 것이다. 분석결과에서 나타난바와 같이 우리나라(남북한) 주요 60개소 전 지역에서의 태양에너지자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 3.66 kWh/m<sup>2</sup> 정도의 태양에너지를 받는 것으로 나타났으며, 북한지방은 하루에 3.61 kWh/m<sup>2</sup>, 남한지방은 하루에 3.67 kWh/m<sup>2</sup> 정도로 나타나 남한지방이 북한지방에 비하여 다소 높게 나타나는 현상을 보였다. 특히 남한지방의 대도시 지역에서 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.

한편, 우리나라(남북한)의 월별 수평면 전일사량의 일사조건을 일 년을 기준으로 볼 때, 표 2에서 보는바와 같이 일사조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 5.13 kWh/m<sup>2</sup>인 것

으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.95 kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. 계절별로는 표 3에서와 같이 연중 봄철의 일사조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 일사조건은 봄과 여름철은 각각 24%, 20% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 33% 정도 상대적으로 낮았다.

#### 4.3 분포형태

한국에너지기술연구원에서 운영하는 일사량 측정네트워크(남한지방 16개소)에서 26여 년간에 걸쳐 측정된 수평면 전일사량 자료의 평균치와 남한지방 23개소, 그리고 북한지방 21개소에서 인공위성 모델링(6)7)8)9)을 통하여 산출된 수평면 전일사량 예측치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 그린 한반도 연평균 1일 수평면 전일사량 상세자원 분포도를 그림 1에 나타내었다.

한반도 수평면 전일사량 분포상의 특징을 연평균 일사조건이 좋은 순으로 지역 대를 나누면, 그림에서 보는바와 같이 울릉도와 독도를 포함한 남해중서부지방과 태안반도 일대, 그리고 김해평야 일원의 일사조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일원과 황해도-평안도-함경남도를 잇는 일대, 그리고 중부이남 및 중부이북지방, 북부 내륙지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이

6) 조덕기 외, Estimation of solar radiation in Korea Peninsular from satellite image, ISES Solar World Congress 2007, 2656-2661, 2007.

7) 조덕기 외, 태양광발전단지 건설을 위한 동아시아 지역의 태양광자원 정밀조사, 한국태양에너지학회지, 제26권 제1호, 1-11, 2006.

8) 조덕기 외, 인공위성영상 예측기법을 적용한 태양광 에너지 이용가능성 평가에 관한 연구, 한국태양에너지학회지, 제25권 제2호, 9-17, 2005.

9) 조덕기 외, 인공위성을 이용한 한반도에서의 태양에너지 이용가능성 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회지, 제22권 제3호, 69-89, 2002.

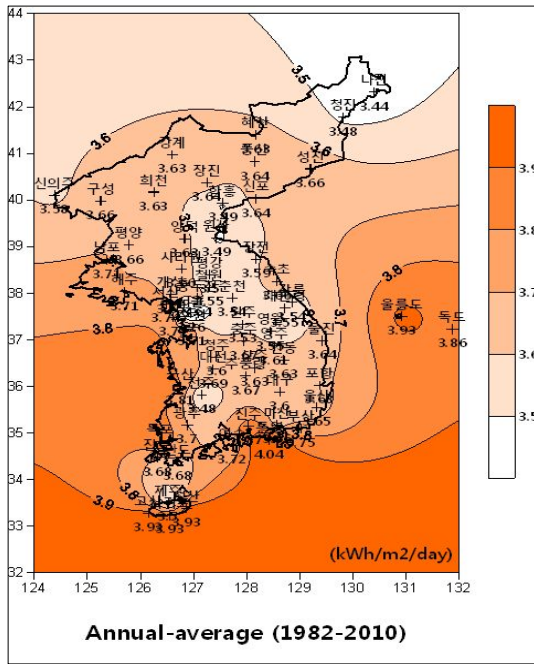


Fig. 1 Contour map of annual average daily global insolation in Korea peninsular

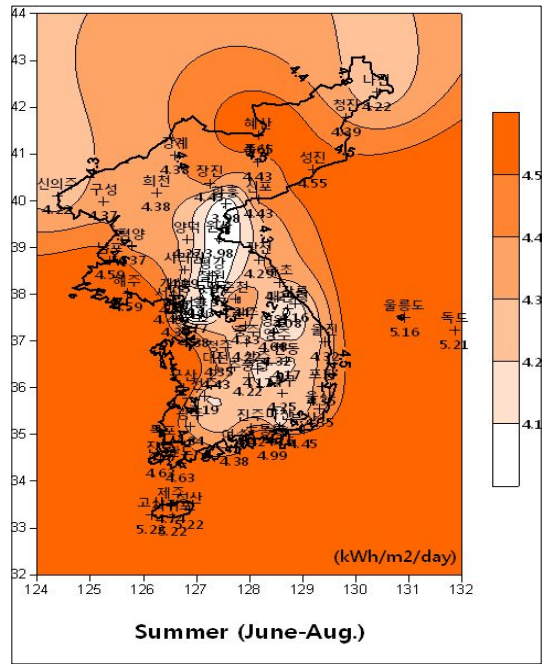


Fig. 3 Contour map of seasonal average daily global insolation in Korea peninsular (Summer)

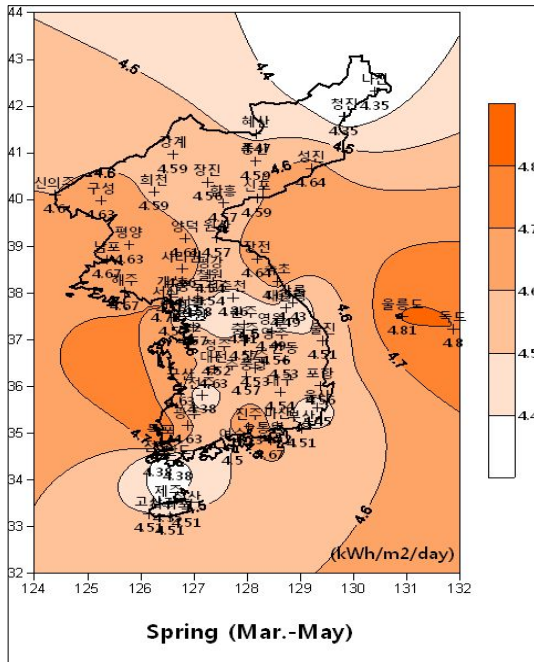


Fig. 2 Contour map of seasonal average daily global insolation in Korea peninsular (Spring)

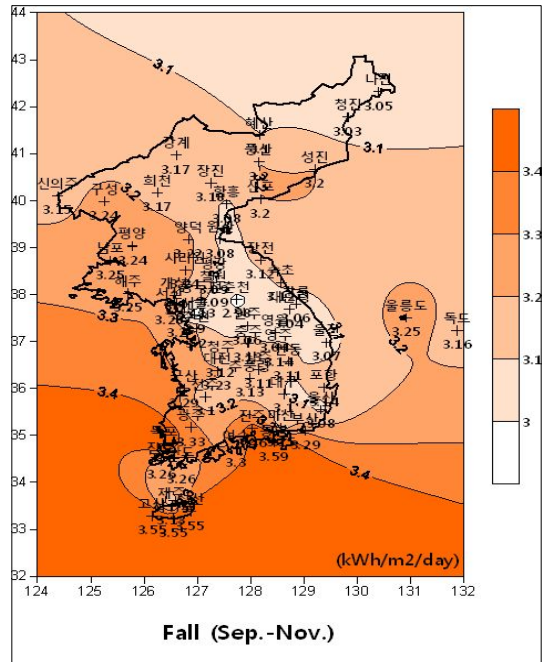


Fig. 4 Contour map of seasonal average daily global insolation in Korea peninsular (Fall)

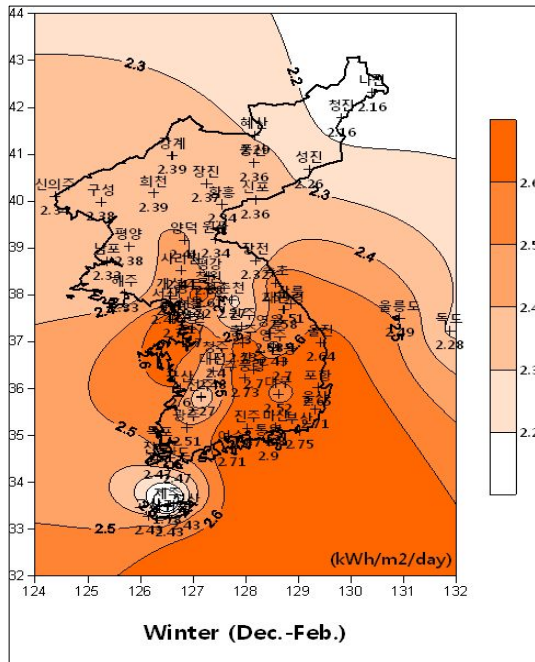


Fig. 5 Contour map of seasonal average daily global insolation in Korea peninsular (Winter)

심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 태양광을 기록하였다.

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

참고로 우리나라 한반도 전 지역에 대해 지역별로 '82 ~ 2010년 기간 동안의 태양에너지 자원에 대한 월별 연평균 1일 수평면 전일사량의 값을 표 2에 제시하였다. 이 자료는 우리나라 한반도에서 추진되고 있는 태양광에너지 이용기술과 관련하여 각종 연구와 보급사업이 보다 활성화하기 위한 기준설계 자료의 대표값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

## 5. 결 론

인공위성을 이용한 한반도 태양에너지 이용 가능성 분석 평가를 위하여 1982년 1월부터 2010년 12월까지 기간 동안 한반도 60개소 전 지역을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

- (1) 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에  $3.66 \text{ kWh/m}^2$  정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났다. 북한지방은 하루에  $3.61 \text{ kWh/m}^2$ , 남한지방은 하루에  $3.67 \text{ kWh/m}^2$  정도로 나타나 남한지방이 북한지방에 비하여 다소 높게 나타나는 현상을 보였다.
- (2) 계절별로는 연중 봄철의 일사조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 일사조건은 봄과 여름철은 각각 24%, 20% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 33% 정도 상대적으로 낮았다.
- (3) 한반도인 수평면 전일사량 분포상의 특징을 연평균 일사조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 울릉도와 독도를 포함한 남해중서부지방과 태안반도 일대, 그리고 김해평야 일원의 태양광조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일원과 황해도-평안도-함경남도를 잇는 일대, 그리고 중부이남 및 중부이북지방, 북부내륙지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 일사를 기록하였다.

그러나 이 논문에서 제외된 태양에너지자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 앞으로 계속적으로 인공위성 영상 등을 이용한 태양에너지자원 예측기법을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양에너지 이용가능성에 대한 평가를 보다 정밀히 시도할 계획이다.



## 후 기

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

## References

1. The Kenneth E. Johnson Environmental and Energy Center, Solar Radiation Data Sources-Applications and Network Design, DOE, U.S.A., 1978.
2. Hans Georg Beyer, Claudio Costanzo and Detlev Heinemann, Modifications of the Helliosat Procedure for Irradiance Estimates from Satellite Images, Solar Energy, Vol. 56, No. 3, pp. 207-212, 1996.
3. MD. Rafiqul Islam and R.H.B. Exell, Solar Radiation Mapping from Satellite Image Using a Low Cost System, Solar Energy, Vol. 56, No. 3, pp. 225-237, 1996.
4. Tom Stoffel, Daryl Myers and Steve Wilcox, Ray George, Concentrating Solar Power, NREL/TP-550-47465, pp. 43-54, 2010.
5. KMA, Annual and Monthly Weather Report, 1982 ~2010.
6. Jo, D.K. et al., Estimation of Solar Radiation in Korea Peninsular from Satellite Image, ISES Solar World Congress 2007, 2656- 2661, 2007.
7. Jo, D.K. et al., A Detailed Survey of the Solar Energy Resources in East-North Asia Areas Using a Satellite, Vol. 26, No. 1, pp. 1-11, 2006.
8. Jo, D.K. et al., A Study on the Feasibility Evaluation for the Use of Solar Photovoltaic Energy in Korean Peninsular Using a Satellite Image Forecasting Method, Vol. 25, No. 2, pp. 9-17, 2005.
9. Jo, D.K. et al., A Study on the Feasibility Analysis for the Use of Solar Energy in Korea Using a Satellite, Vol. 22, No. 3, pp. 69-89, 2002.