

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 25, No. 2, 2005

인공위성영상 예측기법을 적용한 태양광에너지 이용가능성 평가에 관한 연구

조덕기*, 강용혁*, 오정무*

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

A Study on the Feasibility Evaluation for the Use of Solar Photovoltaic Energy in Korean Peninsula Using a Satellite Image Forecasting Method

Jo, Dok-Ki*, Kang, Young-Heack* Auh, Chung-Moo*

*Korea Institute of Energy Research(dokkijo@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr / cmauh@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 2004. Estimated solar radiation fluxes show reliable results for estimating the global radiation with average deviation of -7.8 to +7.0 % from the measured values and the yearly averaged horizontal global insolation of Korean peninsula was turned out to be 3.56 kW/m²/day.

Keywords : 수평면 전일사량(Horizontal Global Insolation), 위성영상(Satellite Image)

1. 서 론

에너지자원이 부족한 우리나라는 에너지의존도를 경감시키고 안정된 국민경제를 이룩하기 위하여 대체에너지의 개발이 필요하며, 우리나라에서 태양자

원이 풍부하게 산재되어 있는 지역의 부존자원을 최대한 효율적으로 활용하기 위해서 대단위 태양광 발전단지 건설과 태양광발전시스템을 대량보급을 유도하기 위한 연구가 요구된다. 국내에서도 태양광에너지사업 수행지역과 북한과의 경험이 확대됨

접수일자:2005년 4월 20일, 심사완료일자:2005년 5월 30일

에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 태양광자원 자료가 요구되고 있으나 태양광자원 측정네트워크¹⁾가 일부 남한지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 한반도 전 지역에 대한 태양광에너지량의 산출은 현실적으로 불가능 실정이다.

그러므로, 태양광자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 인공위성 영상 등을 이용한 태양광에너지 예측기법을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가가 절실하다. 따라서 본 연구의 목적은 태양광자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 미국 나사(NASA) ESE(Earth Science Enterprise)에서 GEOS-1 위성영상²⁾ 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가를 시도하고자 하는 것이다.

2. 이론적 배경

인공위성에서 스캔(scan)하는 표적(target) 내에서 하늘(sky)에 대한 구름이 덮인 부분의 분율을 N 이라 할 때³⁾, 지구 지표면에 도달하는 태양복사 G_s 는 식 (1)에서와 같이 청명한 부분과 구름에 덮인 부분을 통해 두 부분에서 혼합하여 입사하는 태양복사이다.

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

여기서, G_{cs} 는 청명한(clear) 하늘 부분에서 지표면에 입사하는 태양복사, G_{cl} 은 흐린 하늘 부분에서 지표면에 입사하는 태양복사이다.

흐림도(cloudiness) 측정은 지표면에서 태양에너지를 예측하기 위한 목적이기 때문에 흐림도는 식 (2)에서 제시한 바와 같이 하늘에 현존하는 구름으로 인하여 지표면에 도달하지 못하는 태양복사로 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 태양복사, G_a 는 대기에 의해 흡수된 태양복사, 그리고 G_r 은 행성, 즉 지구로부터 반사된 양을 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 태양복사에 대하여 지표면으로부터 반사된 태양복사의 비율로 정의된다. 식 (3)에서 $G_s (1 - A_s)$ 의 조건은 지표면에 의해 흡수된 태양복사를 나타낸다. 이에 따라 청명한 하늘과 담천한 하늘에서의 에너지보존 방정식은 각각 식 (4)와 (5)와 같이 재 정의할 수 있다. 이들 식에서 cs 와 cl 은 각각 청명한 하늘과 흐린 하늘의 매개변수를 나타내며, 짧은 시간대에서의 A_s 의 변화는 무시한다.

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

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

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.

구름은 태양복사를 감쇠시키는 주 요인이며, 다 음으로 감쇠요인으로서 대기 구성물인 에어로졸, 수증기, 그리고 다른 가스미립자에 의하는 것으로 Tarpley(1979), Moser와 Raschke(1983)는 가 정하였다. 특히 대기에서의 흡수는 주로 수증기에 기인하고, 구름 내에서의 흡수는 매우 적은 것으로 보았다. 또한 Gautier(1980), Moser와 Raschke (1983), 그리고 Dedieu(1987)는 수증 기의 고수준(high level)은 통상적으로 구름 층 아 래 모아져 여기에서 흐린 하늘에 적은 태양복사 양 과 상호작용을 하는 반면에 청명한 하늘에서 전체 의 태양복사(total solar radiation)는 내내 대기 에서 낮은 수증기와 상호작용을 한다고 생각하였 다. 그러므로 순수한 영향은 흐린 하늘과 청명한 하 늘 조건사이에서 수증기로 인한 전체 대기의 흡수 에서는 매우 미미한 것으로, 즉 $G_a \approx G_{acs} \approx G_{acl}$ 이다.

따라서, 위에서 설명한 가정과 식(4) 및 (5)를 사 용하여 식 (2)에서의 G_{cs} 와 G_{cl} 을 대치하면 흐림도 는 식 (6)과 같이 변환된다.

$$\text{Cloudiness} = N(G_{rcl} - G_{res}) / (1 - A_s) \quad (6)$$

마지막으로, 크기가 없는 흐림도 계수(cloudiness factor) C 는 식 (7)과 같다.

$$C = (\text{Cloudiness}) (1 - A_s) / G_o \\ = N(G_{rcl} - G_{res}) / G_o = N (A_{cl} - A_{cs}) \quad (7)$$

여기서, A_{cl} 은 구름의 상단부와 구름 위의 대기를 포함한 흐린 하늘에서 평균 반구상의 대기와 지표면 알베도(hemispherical planetary albedo)로 $A_{cl} = G_{rcl} / G_o$ 에 의해 정의되며, A_{cs} 은 청명한 하 늘에서 지구(대기와 지표면)의 평균 반구상의 알 베도로 $A_{cs} = G_{res} / G_o$ 에 의해 정의된다. 흐림도 계수(cloudiness factor) 계수는 가시대역 (visible band)으로부터 계산된 알베도와 적외선

대역(infrared band)으로부터 계산된 운량에 의해 인공위성 영상으로부터 산출된다.

태양복사를 위한 넓은 대역의 대기투과율 T 는 대 기열(atmospheric column) 상단에 입사하는 대 기권밖 태양복사에 대한 대기열을 통하여 지표면에 도달하는 태양복사의 비율로서 정의된다.

$$T = G_s / G_o \quad (8)$$

식 (4)와 식 (5)로부터 식 (1)의 G_{cl} 과 G_{cs} 을 대 신하고, 2.1 부분의 가설에서 다음과 같은 식을 얻 을 수 있다.

$$G_s = (G_o - G_a - G_{res}) / (1 - A_s) + N \\ (G_{res} - G_{rcl}) / (1 - A_s) \quad (9)$$

다시 위의 식을 양변을 G_o 에 의해 나누고 식 (8) 의 T 를 삽입하면, 식 (10)를 얻을 수 있다.

$$T = a + b C \quad (10)$$

여기서, $a = (1 - G_a / G_o - A_{cs}) / (1 - A_s)$, 그리고 $b = -1 / (1 - A_s)$ 이다. 이 식은 짧은 기간에 상수 A_s 를 추정하기에 적절하며, 청명한 하늘에서 지구 상의 알베도(planetary albedo)의 변화는 상대적 으로 작으나 대기에서 상대적 흡수(G_a / G_o)의 역변 화에 의해 a 의 표현에서 다시 평형 되어진다. 그러므 로 a , b 상수의 양은 지표면에서 태양복사의 대기투 과율과 더불어 인공위성의 영상으로부터 흐림도 계 수와 상관되는 단순회귀모형 식 (10)의 결과를 가지 고 약 1개월간에 걸쳐 추정된다.

식 (10)과 같이 동일 형태의 표현이 역시 Nunez (1987)와 Cano(1986) 등에 의해 사용되었다. 여 기서 흐림도를 나타내기 위하여 단지 고해상도 가시 대 영상으로부터 Nunez는 단지 지구상의 반사율 을, 그리고 Cano 등은 운량도(cloud cover index) 를 사용하였다. 운량도 계산에서 Cano 등은 대기와

지표면 알베도(Acl-Acs)에서 제일 높은 차이에 의해 청명한 하늘에 지구상의 알베도(A-Acs)에 의해 명백한 지구상의 알베도를 개산(概算)하였다. 구름의 단파 반사율과 운량과의 결합은 이 여기서 제시된 방법에서 사용한 것처럼 지표면을 향한 태양복사를 감소시키는 구름의 총 용량을 나타낸다.

계수 a와 b는 회귀에 의한 현장 데이터로부터 결정된다. 그에 따라 인공위성 영상으로부터의 흐림도 계수는 식 (10)에서 대기투과율을 얻기 위해 사용되어지며, 그리고 원하는 표적에서 연속적으로 지표면에 도달하는 태양복사는 식 (11)로부터 예측된다.

$$G_s = G_o T \quad (11)$$

3. 인공위성 예측치와 측정치와의 비교분석

임의의 지역의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량을 예측하기 위하여 일부 특정지역에 대하여 미국 나사(NASA) ESE(earth science enterprise)에서 GEOS-1 인공위성 등을 이용한 태양광 예측기법을 적용한 예측치와 1982. 1 ~ 2004. 12 기간 사이에 표 1에서와 같이 한국에너지기술연구원 측정지인 16개 지역에 각 측정지마다 미국 Eppley사가 제작한 PSP 수평면일사계와 미국 Vaisala사의 데이터수집장치 및 관련 부속장치를 설치하여 측정된 평균 수평면일사량과 비교하여 제시하였다.

표 1에서 보는바와 같이 인공위성에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 연평균 오차가 서울지역을 제외하고는 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 -7.8 ~ +7.0 % 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다. 대기오염이 심각한 서울지역을 비롯한 해안 지역인 목포, 제주와 그 인접지역인 진주, 그리고 공단이 위치한 전주지역은 타 지역에 비해 예측치는 실측치와의 오차가 다소 높게 나타나는 경향

을 보였다.

4. 한반도 태양광에너지 지원분석

4.1 관측지 선정

본 연구에서는 한반도 내에서의 태양광자원의 광역분포 상태를 분석하기 위하여 관측지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고 전반적인 데이터의 정확도 평가를 위해 한반도 내에서 28개 지역, 즉 북한에서는 평양을 비롯한 신의주, 개성, 원산, 고성, 만포, 성진, 청진, 나진, 혜산, 풍산, 영원과 남한에서는 한국에너지기술연구원 관측지인 춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 대전, 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 거리는 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 2004년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치를 한반도 주요 지역별로 서로 비교한 것이다. 분석결과에서 나타난바와 같이 우리나라(남북한) 주요 28개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 3.56 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났으며, 북한지방은 하루에 3.52 kWh /m², 남한지방은 하루에 3.58 kWh/m² 정도로 나타나 남한지방이 북한지방에 비하여 다소 높게 나타나는 현상을 보였다. 특히 남한지방의 대도시지역에서 대기오염에 의한 태양복사선

표 1. 각 지역별 예측치와 실측치와의 비교

(단위 : kWh/m²/day)

지역명	월 별												연평균	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
춘천	예측치	2.28	3.10	3.79	4.65	5.05	4.75	3.90	3.94	3.75	3.22	2.24	1.95	3.55
	실측치	2.05	2.81	3.62	4.56	4.95	4.86	4.03	4.17	3.75	2.95	2.02	1.76	3.46
	오차(%)	+11.2	+10.3	+4.7	+2.0	+2.0	-2.3	-326	-5.5	0	+9.2	+10.9	+10.8	+2.6
강릉	예측치	2.25	3.03	3.79	4.65	5.08	4.69	3.98	3.93	3.71	3.21	2.23	1.95	3.54
	실측치	2.37	2.99	3.67	4.61	4.97	4.52	4.02	3.78	3.58	3.16	2.34	2.11	3.51
	오차(%)	-5.1	+1.3	+3.3	+0.9	+2.2	+3.8	-1.0	+4.0	+3.6	+1.6	-4.7	-7.6	+0.9
서울	예측치	2.28	3.14	3.84	4.70	5.08	4.85	3.97	4.06	3.87	3.28	2.26	1.95	3.61
	실측치	1.98	2.75	3.47	4.37	4.64	4.33	3.28	3.56	3.55	3.03	2.01	1.70	3.22
	오차(%)	+15.2	+14.2	+10.7	+7.6	+9.5	+12.0	+21.0	+14.0	+9.0	+8.3	+12.4	+14.7	+12.1
원주	예측치	2.28	3.10	3.79	4.65	5.05	4.75	3.90	3.94	3.75	3.22	2.24	1.95	3.55
	실측치	2.10	2.83	3.57	4.56	4.92	4.76	3.97	4.12	3.78	3.17	2.15	1.85	3.48
	오차(%)	+8.6	+9.5	+6.2	+2.0	+2.6	-0.2	-1.8	-4.4	-0.8	+1.6	+4.2	+5.4	+2.0
서산	예측치	2.21	3.04	3.84	4.77	5.12	4.89	4.10	4.25	3.88	3.38	2.33	1.96	3.65
	실측치	2.29	3.13	3.92	4.85	5.27	4.99	4.10	4.34	4.07	3.44	2.27	1.97	3.72
	오차(%)	-3.5	-2.9	-2.0	-1.6	-2.8	-2.0	0	-2.1	-4.7	-1.7	+2.6	-0.5	-1.9
청주	예측치	2.29	3.04	3.76	4.69	5.03	4.73	3.98	4.06	3.70	3.29	2.32	2.02	3.58
	실측치	2.21	3.01	3.66	4.64	5.05	4.73	4.10	4.12	3.83	3.28	2.24	1.91	3.57
	오차(%)	+3.6	+1.0	+2.7	+1.1	-0.4	0	-2.9	-1.5	-3.4	+0.3	+3.6	+5.8	+0.3
대전	예측치	2.29	3.04	3.76	4.69	5.03	4.73	3.98	4.06	3.70	3.29	2.32	2.02	3.58
	실측치	2.26	3.07	3.82	4.82	5.00	4.62	4.20	4.24	3.83	3.37	2.34	2.03	3.63
	오차(%)	+1.3	-1.0	-1.6	-2.7	-0.6	+2.4	-5.2	-4.2	-3.4	-2.4	-0.9	-0.5	-1.4
포항	예측치	2.23	2.92	3.67	4.64	5.01	4.60	4.06	4.05	3.59	3.21	2.29	1.98	3.52
	실측치	2.44	3.12	3.69	4.68	5.02	4.60	4.07	4.02	3.47	3.23	2.56	2.26	3.60
	오차(%)	-8.6	-6.4	-0.5	-0.9	-0.2	0	-0.2	+0.7	+3.5	-0.6	-10.5	-12.4	-2.2
대구	예측치	2.31	2.96	3.61	4.59	4.87	4.48	4.11	4.11	3.64	3.29	2.40	2.10	3.54
	실측치	2.33	3.01	3.78	4.66	4.96	4.60	4.09	3.94	3.56	3.23	2.40	2.13	3.56
	오차(%)	-0.9	-1.7	-4.5	-1.5	-1.8	-2.6	+0.5	+4.3	+2.2	+1.9	0	-1.4	-0.6
전주	예측치	2.25	2.95	3.70	4.67	4.98	4.64	4.21	4.27	3.81	3.38	2.42	2.05	3.61
	실측치	2.09	2.78	3.51	4.51	4.78	4.45	3.93	3.94	3.67	3.25	2.20	1.85	3.41
	오차(%)	+7.7	+6.1	+5.4	+3.5	+4.2	+4.3	+7.1	+8.4	+3.8	+4.0	+10.0	+10.8	+5.9
광주	예측치	2.16	2.93	3.77	4.74	5.07	4.78	4.31	4.43	3.95	3.45	2.40	1.98	3.66
	실측치	2.31	3.07	3.83	4.74	5.01	4.57	4.15	4.29	3.97	3.53	2.45	2.05	3.67
	오차(%)	-6.5	-4.6	-1.6	0	+1.2	+4.6	+3.9	+3.3	-0.5	-2.3	-2.0	-3.4	-0.3
부산	예측치	2.21	2.87	3.57	4.58	4.87	4.46	4.21	4.19	3.65	3.24	2.37	2.02	3.52
	실측치	2.56	3.22	3.72	4.50	4.85	4.53	4.23	4.29	3.61	3.40	2.65	2.33	3.66
	오차(%)	-13.7	-10.9	-4.0	+1.8	+0.4	-1.5	-0.5	-2.3	+1.1	-4.7	-10.6	-13.3	-3.8
목포	예측치	2.12	2.82	3.65	4.69	4.98	4.62	4.55	4.59	4.03	3.51	2.48	2.00	3.67
	실측치	2.33	3.12	4.00	4.97	5.29	4.92	4.52	4.87	4.19	3.71	2.58	2.07	3.88
	오차(%)	-9.0	-9.6	-8.8	-5.6	-5.9	-6.1	+0.7	-5.7	-3.8	-5.4	-3.9	-3.4	-5.4
제주	예측치	2.06	2.70	3.53	4.60	4.86	4.50	4.81	4.75	4.11	3.53	2.53	2.00	3.67
	실측치	1.45	2.33	3.28	4.43	4.92	4.63	4.89	4.49	3.73	3.30	2.21	1.51	3.43
	오차(%)	+42.1	+15.9	+7.6	+3.8	-1.2	-2.8	-1.6	+5.8	+10.2	+7.0	+14.5	+32.5	+7.0
진주	예측치	2.25	2.96	3.70	4.59	4.87	4.48	4.11	4.11	3.64	3.29	2.40	2.10	3.54
	실측치	2.73	3.41	4.06	4.85	5.08	4.59	4.33	4.32	3.87	3.61	2.76	2.48	3.84
	오차(%)	-17.6	-13.2	-8.9	-5.4	-4.1	-2.4	-5.1	-4.9	-5.9	-8.9	-13.0	-15.3	-7.8
영주	예측치	2.36	3.04	3.69	4.62	4.96	4.58	3.88	3.89	3.54	3.21	2.32	2.07	3.51
	실측치	2.31	3.00	3.84	4.80	5.21	4.82	4.13	4.13	3.86	3.30	2.36	2.07	3.65
	오차(%)	+2.2	+1.3	-3.9	-3.8	-4.8	-5.0	-6.1	-5.8	-8.3	-2.7	-1.7	0	-3.8
평균	예측치	2.24	2.98	3.72	4.66	4.99	4.66	4.13	4.16	3.77	3.31	2.35	2.01	3.58
	실측치	2.24	2.98	3.72	4.66	5.00	4.66	4.13	4.16	3.77	3.31	2.35	2.01	3.58
	오차(%)	0	0	0	0	+0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

의 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 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 표 2에서 보는바와 같이 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 5.00 kWh/m²인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.90 kWh/m²로 나타났다. 계절별로는 표 3에서와 같이 연중 봄철의 태양광조건이 4.48 kWh/m²로 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연평균치에도 훨씬 못 미치는 각각 3.08 kWh/m², 2.35 kWh/m²

로 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양광조건은 봄과 여름철은 각각 26%, 21% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 34% 정도 상대적으로 낮았다.

4.3 분포형태

한국에너지기술연구원에서 운영하는 태양광 측정네트워크(남한지방 16개소)에서 23여년간에 걸쳐 측정된 수평면 전일사량 자료의 평균치와 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 수평면 전일사량 예측치를 가지고 전산시뮬레이션 기법으로 그린 전국적인 한반도 태양광자원 분포 현황도를 그림 1에 나타내었다.

표 2. 한반도 주요지역의 월별 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	
평 양	2.17	3.05	3.98	4.59	5.02	4.93	4.13	4.01	3.97	3.11	2.12	1.82	3.58
신의주	1.86	2.56	4.05	4.49	4.92	4.95	4.36	4.05	3.96	2.96	1.95	1.62	3.48
개 성	2.28	3.14	3.84	4.70	5.08	4.85	3.97	4.06	3.87	3.28	2.26	1.95	3.61
원 산	2.23	3.12	3.91	4.55	5.02	4.76	3.94	3.83	3.81	3.08	2.09	1.83	3.51
고 성	2.14	3.03	3.90	4.69	5.20	4.81	4.06	3.97	3.88	3.20	2.14	1.82	3.57
만 포	1.93	2.72	4.04	4.37	4.84	4.79	4.32	3.91	3.80	2.87	1.90	1.62	3.43
성 진	2.10	3.06	4.09	4.61	5.13	4.73	4.31	4.00	3.97	3.14	2.08	1.75	3.58
청 진	2.12	3.09	4.13	4.51	5.00	4.65	4.29	3.91	3.91	3.06	2.03	1.75	3.54
나 진	1.90	2.92	4.13	4.45	4.92	4.60	4.28	3.86	3.85	2.91	1.90	1.62	3.44
혜 산	2.21	3.13	4.08	4.43	4.94	4.69	4.27	3.54	3.81	3.00	2.04	1.78	3.49
풍 산	2.21	3.13	4.02	4.52	5.04	4.74	4.21	3.91	3.85	3.09	2.09	1.82	3.55
영 원	2.23	3.11	3.91	4.52	4.94	4.79	3.94	3.84	3.83	3.07	2.09	1.84	3.51
춘 천	2.05	2.81	3.62	4.56	4.95	4.86	4.03	4.17	3.75	2.95	2.02	1.76	3.46
강 릉	2.37	2.99	3.67	4.61	4.97	4.52	4.02	3.78	3.58	3.16	2.34	2.11	3.51
서 울	1.98	2.75	3.47	4.37	4.64	4.33	3.28	3.56	3.55	3.03	2.01	1.70	3.22
원 주	2.10	2.83	3.57	4.56	4.92	4.76	3.97	4.12	3.78	3.17	2.15	1.85	3.48
서 산	2.29	3.13	3.92	4.85	5.27	4.99	4.10	4.34	4.07	3.44	2.27	1.97	3.72
청 주	2.21	3.01	3.66	4.64	5.05	4.73	4.10	4.12	3.83	3.28	2.24	1.91	3.57
대 전	2.26	3.07	3.82	4.82	5.00	4.62	4.20	4.24	3.83	3.37	2.34	2.03	3.63
포 함	2.44	3.12	3.69	4.68	5.02	4.60	4.07	4.02	3.47	3.23	2.56	2.26	3.60
대 구	2.33	3.01	3.78	4.66	4.96	4.60	4.09	3.94	3.56	3.23	2.40	2.13	3.56
전 주	2.09	2.78	3.51	4.51	4.78	4.45	3.93	3.94	3.67	3.25	2.20	1.85	3.41
광 주	2.31	3.07	3.83	4.74	5.01	4.57	4.15	4.29	3.97	3.53	2.45	2.05	3.67
부 산	2.56	3.22	3.72	4.50	4.85	4.53	4.23	4.29	3.61	3.40	2.65	2.33	3.66
목 포	2.33	3.12	4.00	4.97	5.29	4.92	4.52	4.87	4.19	3.71	2.58	2.07	3.88
계 주	1.45	2.33	3.28	4.43	4.92	4.63	4.89	4.49	3.73	3.30	2.21	1.51	3.43
진 주	2.73	3.41	4.06	4.85	5.08	4.59	4.33	4.32	3.87	3.61	2.76	2.48	3.84
영 주	2.31	3.00	3.84	4.80	5.21	4.82	4.13	4.13	3.86	3.30	2.36	2.07	3.65
평 균	2.18	2.99	3.84	4.61	5.00	4.71	4.15	4.05	3.82	3.20	2.22	1.90	3.56

* 북한지방 : 예측치, 남한지방 : 실측치(82.1 ~ 2004.12 평균)

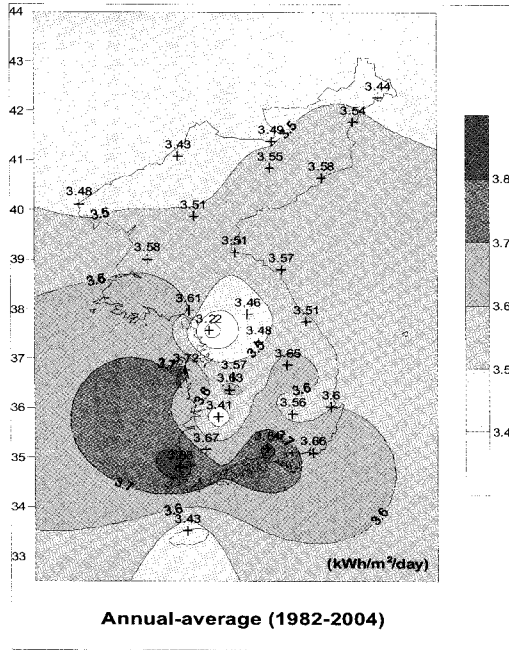


그림 1. 인공위성 예측을 통한 전국 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m²/day)

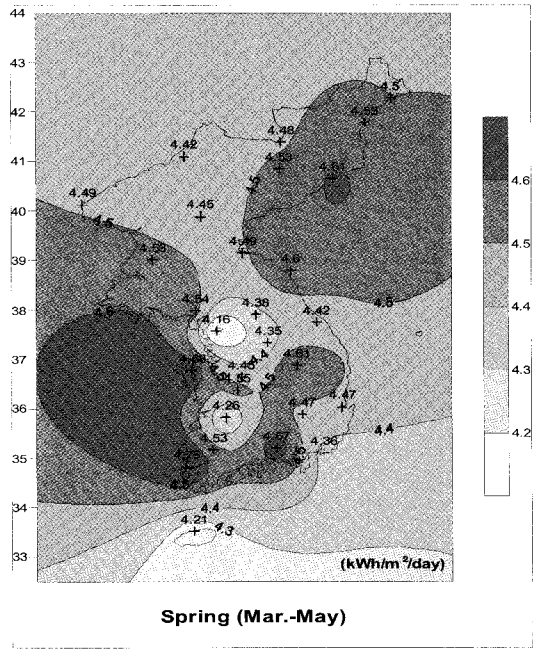


그림 2. 한반도 봄철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m²/day)

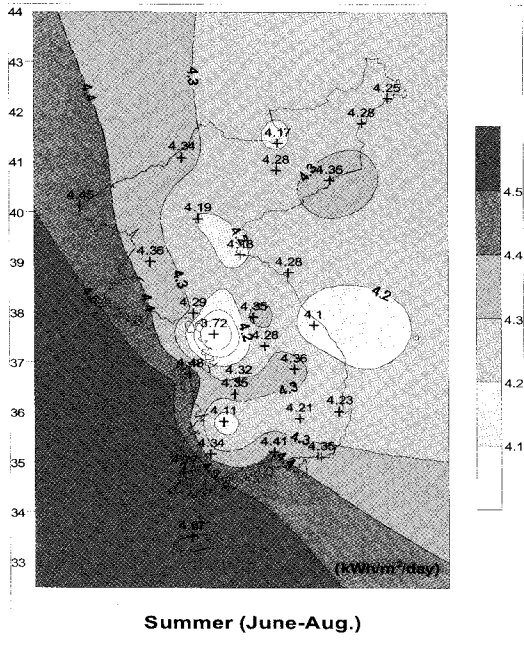


그림 3. 한반도 여름철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m²/day)

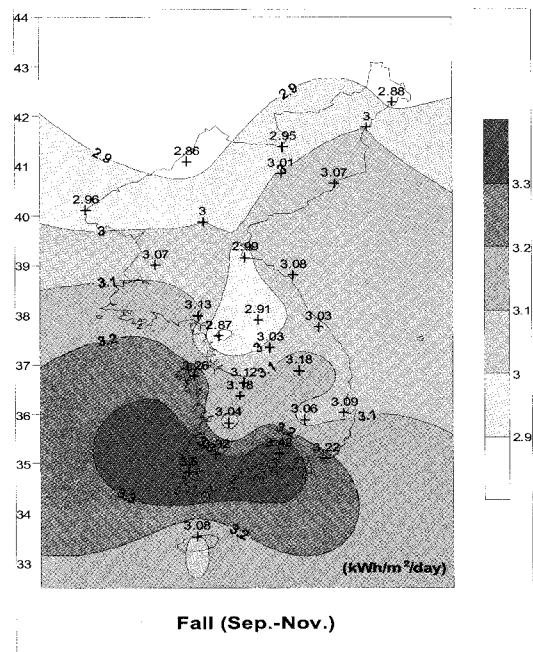


그림 4. 한반도 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m²/day)

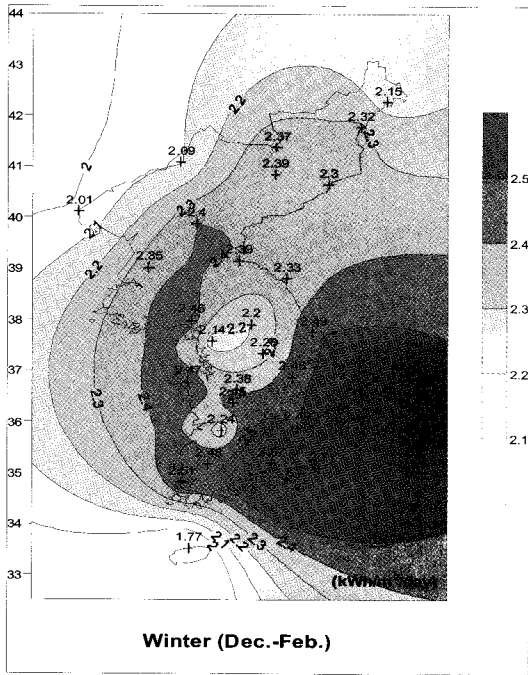


그림 5. 한반도 겨울철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m²/day)

표 3. 계절별 수평면 전일사량 변동추이 (단위: kWh/m²/day)

구 분	봄	여름	가을	겨울	연평균 (A)
수평면 전일사량 (G)	4.48	4.30	3.08	2.36	3.56
G/A	1.26	1.21	0.87	0.66	1.00

분포상의 특징을 태양광조건이 좋은 순으로 지역 대를 나누면, 그림에서 보는바와 같이 남해중서 부지방과 태안반도 일대, 그리고 영주분지 일원의 태양광조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일대, 중부이남, 그리고 북부 동해안 및 서해안 지방, 중부이북지방, 북부내륙지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 태양광을 기록하였다.

또한, 우리나라 한반도의 태양광자원에 대한 계

절별 분포특성은 그림 2~그림 5에서 나타난바와 같이 봄철과 가을철의 태양광은 대체로 내륙지방의 지역보다는 해안지방의 지역이 좋으며, 여름철은 한반도 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 태양광이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

참고로 우리나라 한반도 전지역에 대해 지역별로 1982년~2004년 기간동안의 태양광자원에 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 대표 값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

5. 결 론

우리나라 한반도 내에서 인공위성을 이용한 태양광에너지 이용가능성 평가를 위하여 1982년 1월부터 2004년 12월까지 기간동안 한반도 남한 지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 북한지방 12개소에서 인공위성 영상 모델링을 통하여 산출된 예측치를 한반도 주요 지역별로 분석한 결과를 종합해 보면, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

- 1) 인공위성에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치와의 연평균 오차가 서울지역을 제외하고는 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 -7.8 ~ +7.0% 내에서 나타났다.
- 2) 우리나라(남북한) 주요 28개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 한반도 전국이 하루에 3.56 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났으며, 북한지방은 하루에 3.52 kWh/m², 남한지방은 하루에 3.58 kWh/m² 정도로 나타났다.
- 3) 우리나라(남북한)의 월별 태양광조건을 일년

을 기준으로 볼 때, 태양광이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 5 kWh/m²인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.9 kWh/m²로 나타났다.

- 4) 연 평균치에 대한 계절별 태양광조건은 봄과 여름철은 각각 26%, 21% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 34% 정도 상대적으로 낮았다.
- 5) 우리나라 한반도 분포상의 특징을 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 남해중서부지방과 태안반도 일대, 그리고 영주분지 일원의 일사조건이 한반도에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일대, 중부이남, 그리고 북부 동해안 및 서해안 지방, 중부이북지방, 북부내륙지방, 제주도 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 서울지방은 한반도 내에서 가장 낮은 태양광을 기록하였다.
- 6) 우리나라 한반도의 태양광자원에 대한 계절별 분포특성은 봄철과 가을철의 태양광조건은 대체로 내륙지방의 지역보다는 해안지방의 지역이 좋으며, 여름철은 한반도 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 태양광이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

그러나, 이 논문에서 제외된 태양광자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 앞

으로도 계속적으로 인공위성 영상 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 적용하여 한반도에 서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가를 보다 정밀히 시도할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2004-N-PS04-P-03-0-000).

참 고 문 헌

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. Rafiquel 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.