

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 1, 2006

태양광발전단지 건설을 위한 동아시아 지역의 태양광자원 정밀조사

조덕기*, 강용혁*

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

A Detailed Survey of Solar Energy Resources for the Construction of Photovoltaic Power Generation Sites in East Asia Areas

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

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

Abstract

Since the solar radiation is the main input for sizing any solar photovoltaic system, it will be necessary to understand and evaluate the solar radiation data. The works presented here are the analysis of solar radiation data for East Asia areas. The data, which consist of the global radiation on horizontal surface, were measured at 16 different stations over the South Korea and were estimated by using satellite at 12 different stations over the North Korea from 1982 to 2004. Also the data over the Japan have been collected for 30 years for the period from 1941 to 1970.

The Result of the analysis shows that the annual-average daily global radiation on the horizontal surface is 3.55 kWh/m^2 . We conclude, based on the analysis, that East Asia areas have sufficient solar energy resources for the photovoltaic power generation system.

Keywords : 태양광시스템(Solar Photovoltaic System), 수평면 전일사량(Horizontal Global Radiation)

1. 서 론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에

서는 에너지의존도를 경감시키고 안정된 국민경제를 이룩하기 위하여 대체에너지의 개발이 절대 필요하며, 우리나라에서 태양자원이 풍부하게 산재

접수일자:2006년 1월 19일, 심사완료일자:2006년 3월 6일

되어 있는 지역의 부존자원을 최대한 효율적으로 활용하기 위해서 대단위 태양광발전단지 건설과 태양광발전시스템을 대량보급을 유도하기 위하여 본 연구의 수행이 필요하였다.

따라서 본 연구를 통하여 태양광자원이 풍부한 지점에 대한 발굴조사와 태양자원 부존량 분석을 통한 우리나라에서의 태양광발전단지의 건설 타당성을 조사함이 본 연구의 목적이다.

또한 국내에서도 태양에너지사업 수행지역과 북한과 한반도 주변국인 일본과의 경협이 확대됨에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 일사자료가 절실히 요구되고 있으나 태양광자원 측정네트워크¹⁾가 일부 남한지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 한반도 전 지역에 대한 태양광자원량의 산출은 현실적으로 불가능 실정이다. 따라서 일사량을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 선진국에서 이미 임의의 지점의 태양광 예측을 위해 인공위성 영상을 이용한 예측기법을 적용하여 산출한 예측치와 일본 전 지역에서 실측된 자료를 가지고 한반도 및 인접 주변국에 대한 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가를 시도하고자 하였다.

2. 이론적 배경

N이 인공위성에서 스캔(scan)하는 표적(target) 내에서 하늘(sky)에 대한 구름이 덮인 부분의 분율일 때²⁾, 지구 지표면에 도달하는 태양복사 G_s 는 식 (1)에서와 같이 청명한 부분과 구름에 덮인 부분을 통해 두 부분에서 혼합하여 입사하는 태양복사이다.

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

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

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

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

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.

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

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 c_s 와 c_l 은 각각 청명한 하늘과 흐린 하늘의 매개변수를 나타내며, 짧은 시간대에서의 A_s 의 변화는 무시한다.

1) The Kenneth E. Johnson Environmental and Energy Center, Solar Radiation Data Sources-Applications and Network Design, DOE, U.S.A., 1978.

2) 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.

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

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

한편, 태양복사를 위한 넓은 대역의 대기투과율 T 는 식 (6)에서와 같이 대기열(atmospheric column) 상단에 입사하는 대기권밖 태양복사에 대한 대기열을 통하여 지표면에 도달하는 태양복사의 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.

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

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

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

계수 a 와 b 는 회귀에 의한 현장 데이터로부터 결정된다. 그에 따라 인공위성 영상으로부터의 흐림도 계수는 식 (8)에서 대기투과율을 얻기 위해 사용되어지며, 그리고 원하는 표적에서 연속적으로 지표면에 도달하는 태양복사는 식 (9)로부터 예측된다.

$$G_s = G_o T \quad (9)$$

2. 관측지 선정 및 데이터 처리

본 연구에서는 우선 한반도 및 그 주변국내에서의 태양광자원의 광역분포 상태를 분석하기 위하여 관측지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고 전반적인 데이터의 정확도 평가를 위해 표 1

에서 보는바와 같이 한반도 내에서 남한 16개 지역과 북한 12개 지역으로, 즉 북한에서는 평양을 비롯한 신의주, 개성, 원산, 고성, 만포, 성진, 청진, 나진, 혜산, 풍산, 영원과 남한에서는 한국에너지기술연구원 관측지인 춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 포항, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주, 진주를 대상으로 한반도 일사량 관측지로 선정하였다. 일본은 전국 17개 지역, 즉 삿포로, 아키타, 센다이, 나이가타, 가나자와, 나가노, 매바시, 나고야, 시즈우오카, 도오쿄, 마쥬, 히로시마, 오오사카, 후쿠오카, 카고시아, 코오치, 나하지역을 대상으로 일본 내 관측지로 선정하였다.

한반도 및 주변국의 태양광자원 분석을 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. 또한 남한 관측지에서 측정된 자료의 처리는 현재 한국에너지기술연구원에서 전산 처리되고 있으며, 특히 실시간으로 측정된 데이터를 시간별로 평균하여 데이터를 데이터베이스(DBASE) 형태로 재처리하여 저장하고, 지속적으로 자료를 보완할 수 있도록 각종 분석용 프로그램과 데이터의 상호교환이 가능하도록 하였다. 자료분석은 주로 양적비교 분석과 분포현황 분석으로 구분하여 국내 태양광자원의 전반적인 평가가 가능하도록 총량적 분석내용으로 다루었다.

3. 인공위성 예측치와 측정치와의 비교분석

동아시아 지역에서 일사량을 측정하지 못하는 한반도 북한지역의 태양광자원, 즉 수평면 전사량을 예측하기 위하여 미국 나사(NASA) ESE (earth science enterprise)에서 GEOS-1 인공위성 등을 이용한 태양광 예측기법을 적용하여 같은 한반도 내인 남한지역에서의 예측치와 '82.

1 ~ 2004. 12 기간 사이에 실제로 측정된 평균 일사량과 비교하였으며, 그 비교결과는 표 2에 제시하였다.

표 2에서 보는바와 같이 인공위성에 의한 시물레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 연평균 오차가 서울을 포함한 일부지역을 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 -3.8 ~ +2.6% 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.

3. 분석결과

3.1 양적비교

표 3은 1982년 1월부터 2004년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치³⁾, 그리고 1941년 1월부터 1970년 12월까지 일본 주요 17개소에서 측정된 자료를⁴⁾⁵⁾ 한반도 및 그 주변국 일본과 주요 지역별로 서로 비교한 것이다. 분석결과에서 나타난바와 같이 한반도 및 그 인접국가인 일본을 포함한 동아시아 주요 45개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 동아시아 전국이 하루에 3.55 kWh/m² 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났으며, 이중 한반도 북한지방은 하루에 3.52 kWh/m², 한반도 남한지방은 하루

표 1. 한반도 및 그 주변국 일본의 태양광자원 측정지 명세

지역명	지역번호	위도	경도
춘천	101	37°54'	127°44'
강릉	105	37 45	128 54
서울	108	37 34	126 58
원주	114	37 20	127 57
서산	129	36 46	126 28
청주	131	36 38	127 26
대전	133	36 22	127 22
포항	138	36 02	129 24
대구	143	35 53	128 37
전주	146	35 49	127 09
광주	156	35 10	126 53
부산	159	35 06	129 02
목포	165	34 49	126 22
제주	184	33 31	126 32
진주	192	35 12	128 06
영주	272	36 52	128 31
평양		39 01	125 75
신의주		40 12	124 40
개성		37 98	126 57
원산		39 15	127 48
고성		38 80	128 41
만포		41 09	126 36
성진		40 65	129 21
청진		41 78	129 83
나진		42 28	130 33
해산		41 38	128 21
풍산		40 85	128 18
영원		39 88	126 67
삿포르		43 03	141 20
아키타		39 43	140 06
센다이		38 16	140 54
나이가타		37 55	139 03
가나자와		36 33	136 39
나가노		36 40	138 12
매바시		36 24	139 04
나고야		35 10	136 58
시즈우오카		34 58	138 24
도오쿄		35 41	139 46
마쥬		35 27	133 04
히로시마		34 22	132 26
오오사카		34 41	135 31
후쿠오카		33 35	130 23
카고시마		31 34	130 33
코오치		33 34	130 33
나하		26 14	127 41

3) 조덕기외, 인공위성을 이용한 한반도에서의 태양광발전단지 건설을 위한 최적지 선정에 관한 연구, 한국태양에너지학회, Vol. 20, No. 2, 2005.

4) 일본태양에너지학회, 태양에너지의 기초와 응용, pp. 30-31, 1979.

5) Solar System Development Association(S.S.D.A), Solar Energy System in Japan, 2000.

표 2. 한반도 남한지역에서의 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

표 3. 한반도 및 그 주변국 일본 주요지역의 월 및 연평균 1일 수평면 전일사량

(단위 : kWh/m²/day)

구분	지역명	월 별												연평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
남한	춘천	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
	강릉	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
	서울	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
	원주	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
	서산	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
	청주	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
	대전	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
	포항	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
	대구	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
	전주	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
	광주	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
	부산	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
	목포	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
	제주	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
	진주	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
	영주	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
평균	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	
북한	평양	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
	개성	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
	원산	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
	고성	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
	만포	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
	성진	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
	청진	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
	나진	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
	혜산	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
	풍산	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
	영원	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
평균	2.12	3.00	4.01	4.54	5.00	4.77	4.17	3.91	3.88	3.06	2.06	1.77	3.52	
남북한 평균	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	
일본	삿포르	1.49	2.26	3.29	4.27	4.84	4.97	4.58	4.20	3.55	2.59	1.62	1.26	3.24
	아키타	1.24	1.93	3.03	4.24	4.84	4.79	4.48	4.71	3.63	2.78	1.65	1.05	3.20
	센다이	2.00	2.71	3.62	4.48	4.85	4.26	3.88	4.02	3.22	2.70	2.14	1.70	3.30
	니가타	1.40	2.08	3.12	4.42	5.08	4.95	4.84	5.20	3.67	2.72	1.83	1.19	3.37
	가나자와	1.47	2.19	3.17	4.35	4.90	4.51	4.57	5.03	3.57	2.84	2.02	1.33	3.33
	나가노	2.06	2.79	3.62	4.56	5.00	4.50	4.63	4.88	3.49	2.85	2.27	1.81	3.54
	메에바시	2.63	3.26	3.95	4.49	4.77	4.10	4.10	4.36	3.28	2.90	2.57	2.34	3.67
	나고야	2.42	3.16	3.91	4.51	4.93	4.43	4.64	5.05	3.66	3.17	2.62	2.16	3.56
	시즈오카	2.69	3.26	3.83	4.37	4.60	4.17	4.38	4.76	3.63	3.00	2.57	2.41	3.72
	도쿄	2.45	2.99	3.56	4.22	4.58	4.07	4.33	4.49	3.28	2.71	2.31	2.16	3.64
	마쓰에	1.56	2.26	3.30	4.50	5.08	4.78	4.80	5.19	3.69	3.05	2.16	1.49	3.43
	히로시마	2.21	2.93	3.76	4.53	4.97	4.60	4.84	5.19	3.85	3.36	2.65	2.09	3.49
	오사카	2.19	2.79	3.58	4.45	4.79	4.45	4.84	5.07	3.81	3.10	2.43	2.00	3.75
	후쿠오카	1.90	2.58	3.64	4.38	4.77	4.52	4.70	5.12	3.90	3.43	2.53	1.83	3.63
	가고시아	2.37	2.94	3.76	4.23	4.43	4.19	4.95	5.17	4.28	3.62	2.86	2.34	3.61
	코치	2.71	3.28	3.95	4.48	4.71	4.33	4.74	4.98	3.95	3.40	2.83	2.49	3.76
나하	2.30	2.77	3.41	4.21	4.40	4.80	6.02	5.50	5.07	3.78	2.85	2.23	3.82	
일본 평균	2.06	2.71	3.56	4.39	4.80	4.50	4.67	4.88	3.74	3.06	2.35	1.87	3.70	
전 평균	2.14	2.88	3.73	4.53	4.92	4.63	4.35	4.37	3.79	3.15	2.27	1.89	3.55	

에 3.58 kWh/m² 정도로 나타났다. 일본은 전지역에서 하루에 3.70 kWh/m²로 나타나 한반도 남북한지방에 비하여 다소 높게 나타나는 현상을 보였다.

특히 한반도 남한지방의 대도시지역에서 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 북한의 지역들에 비해 상대적으로 컸음에도 불구하고 남한 지역이 높게 나타난 것은 태양광에너지의 강도가 지구상의 위도와 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수가 있다. 또한 일본 역시 한반도 남한지방에 위치한 지역보다 낮은 위도를 가진 지역들로 인하여 태양에너지 강도가 전반적으로 한반도 남한지방보다는 높게 나타나고 있다.

한편 동아시아 지역의 월별 수평면 전일사량의 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 표 3에서 보는바와 같이 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 4.92 kWh/m²인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.89 kWh/m²로 나타났다.

표 4. 계절별 1일 평균 수평면 전일사량의 비교

(단위 : kWh/m²/day)

국가	계절	봄	여름	가을	겨울	연평균	증감
남한 /A		4.46	4.32	3.14	2.41	3.58 (A)	
		1.25	1.21	0.88	0.67	1.00	
북한 /B		4.52	4.28	3.00	2.30	3.52 (B)	B/A=0.98
		1.28	1.22	0.85	0.65	1.00	
한반도 /C		4.48	4.30	3.08	2.36	3.56 (B)	C/A=0.99
		1.26	1.21	0.87	0.66	1.00	
일본 /D		4.25	4.68	3.05	2.21	3.55 (B)	D/A=1.03
		1.20	1.32	0.86	0.62	1.00	
동아시아 /E		4.39	4.45	3.07	2.30	3.55 (B)	E/A=0.99
		1.24	1.25	0.86	0.65	1.00	

그러나 이중 일본은 태양광조건이 한반도 지역과는 달리 5월보다는 8월에 가장 좋은 달로 나타났으며, 반면에 가장 낮은 달은 12월로 한반도 지역과 동일한 달로 나타났다.

동아시아 전지역의 계절별 태양광조건은 역시 계절별로 한반도 지역과 거의 유사한 비율로 나타

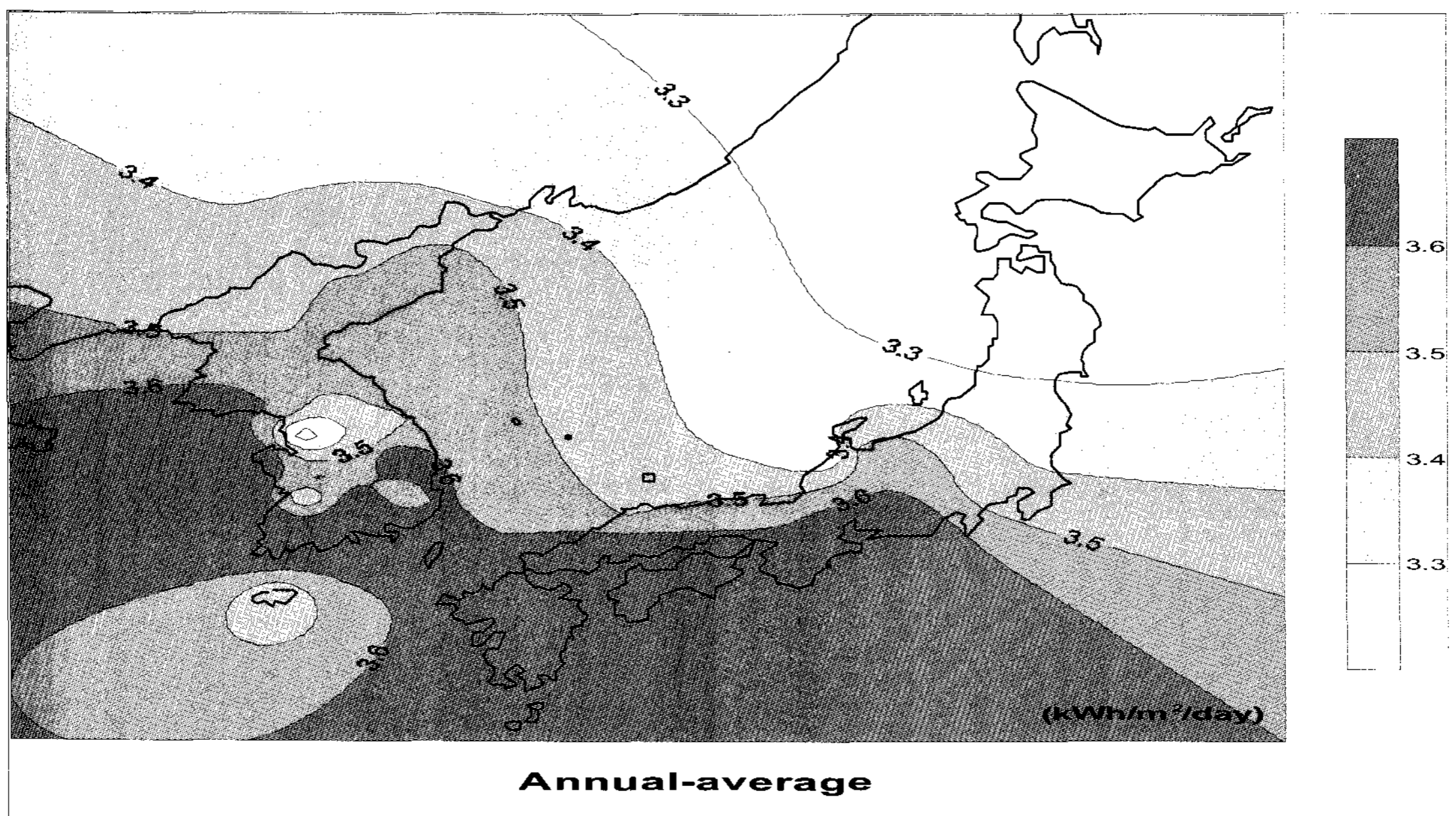


그림 1. 동아시아 전지역 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도

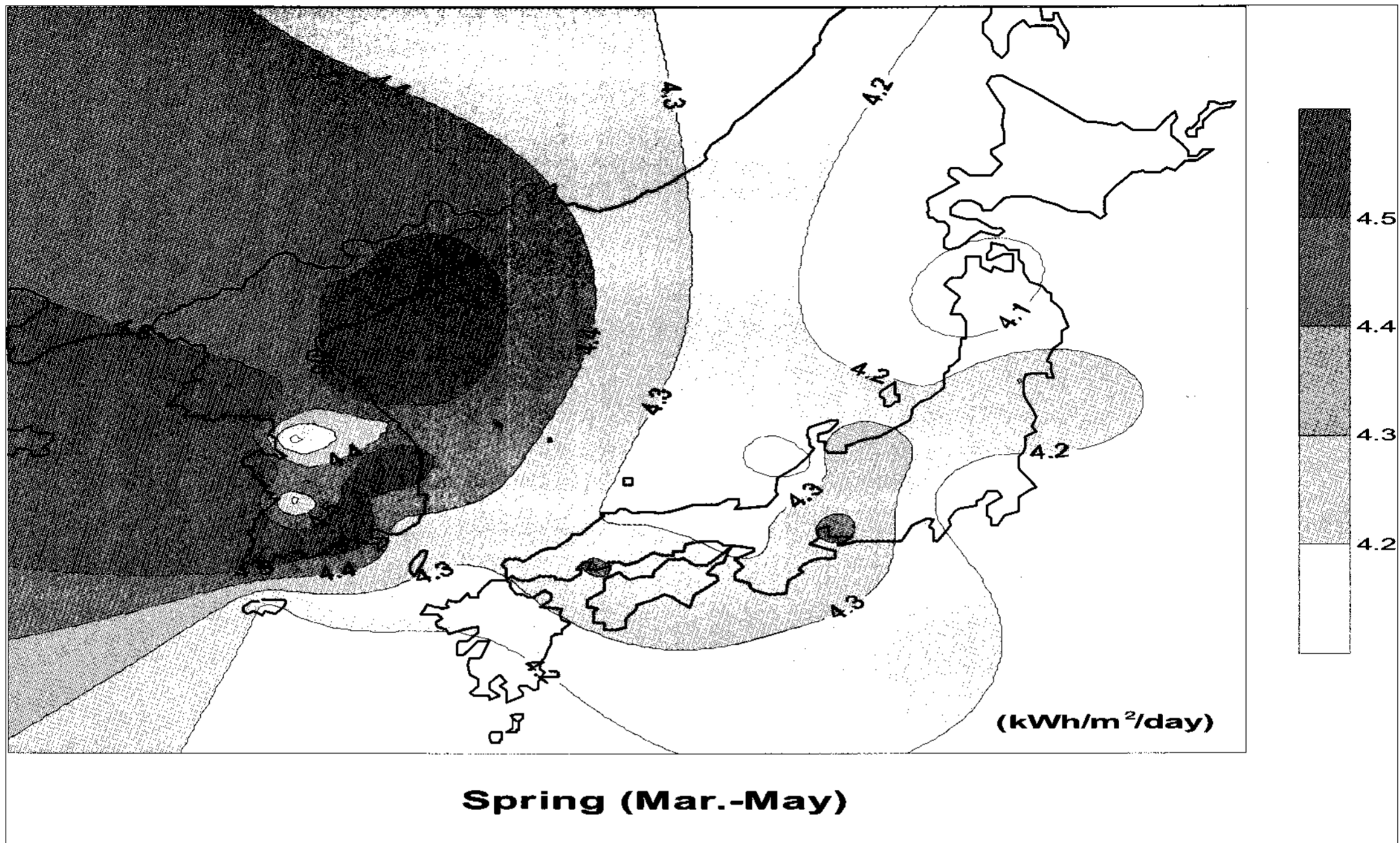


그림 2. 동아시아 전지역 봄철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

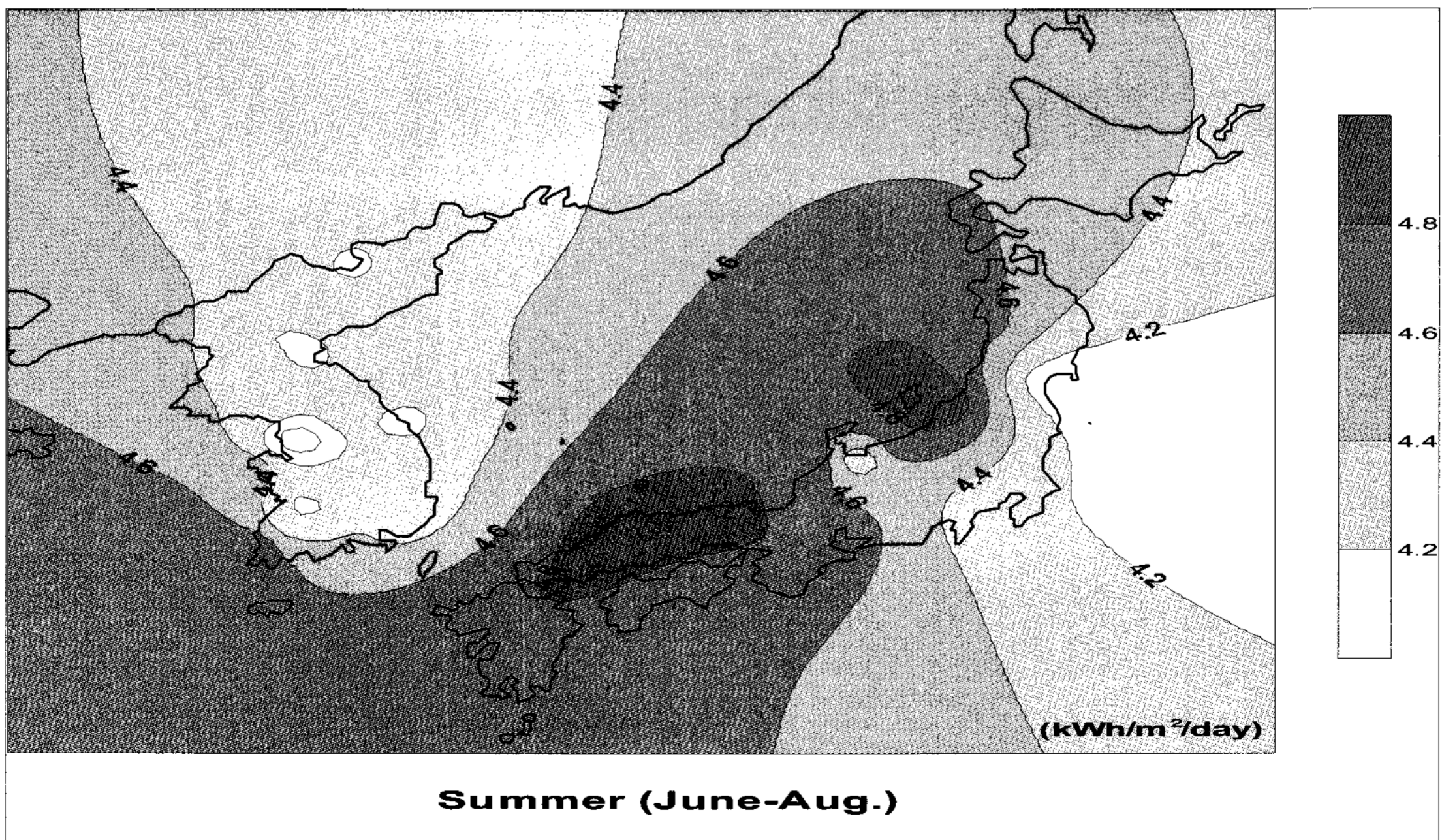


그림 3. 동아시아 전지역 여름철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

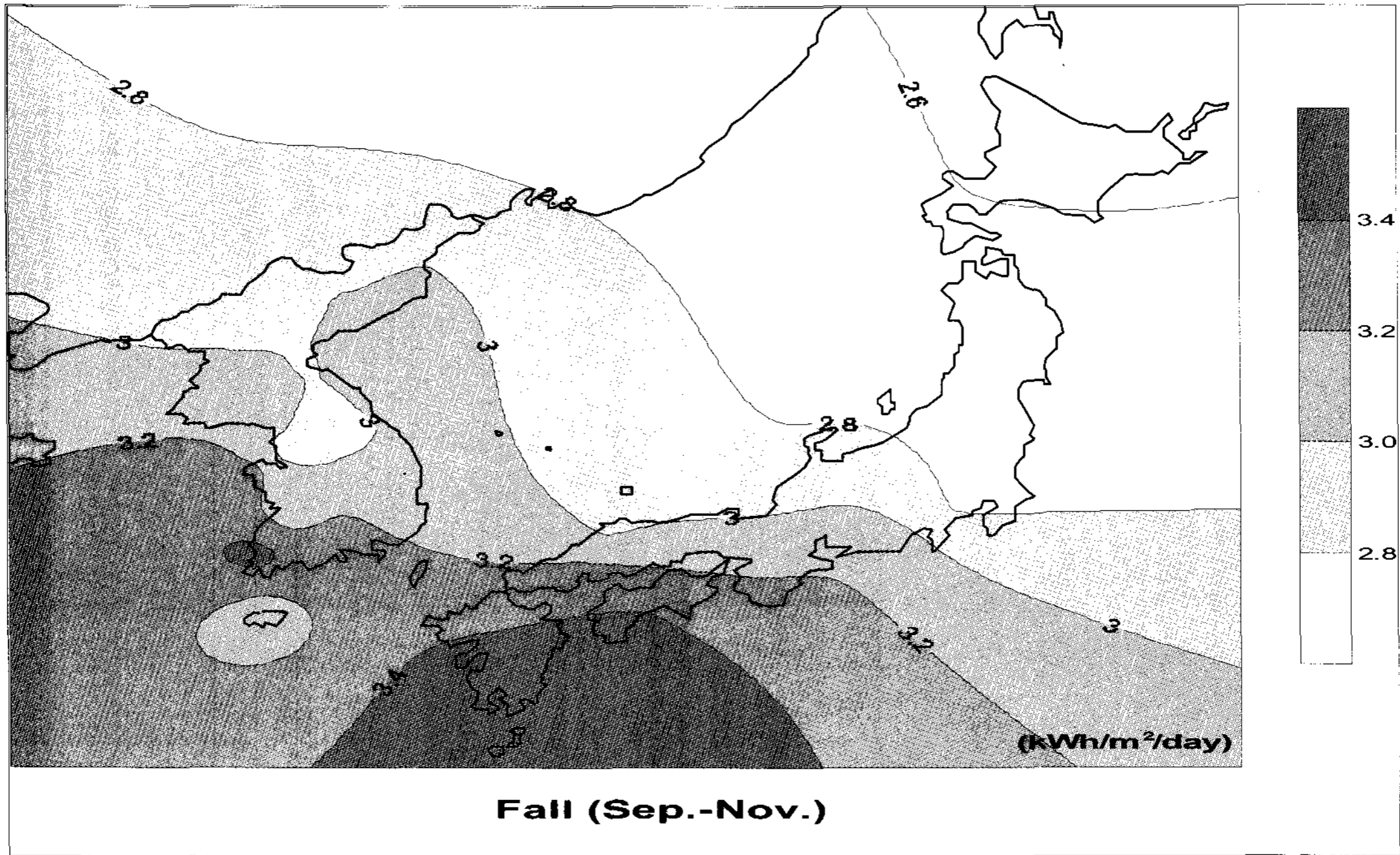


그림 4. 동아시아 전지역 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

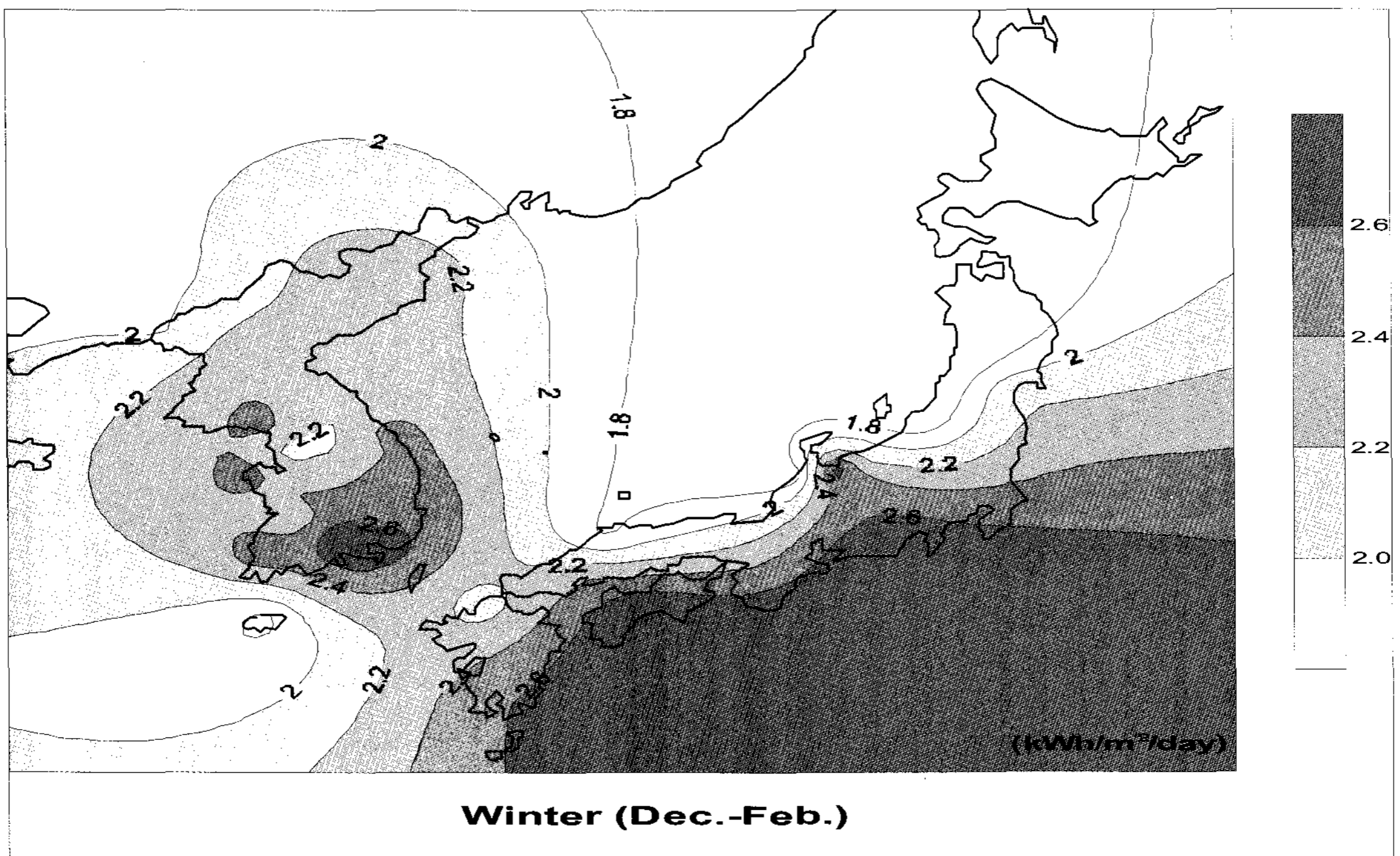


그림 5. 동아시아 전지역 겨울철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

나고 있는 반면에 봄철 일사량 비율이 일본에 비해서는 높게 나타나고 있어 이는 일본이 봄철에 우천인 날이 상대적으로 길기 때문인 것으로 믿어진다. 계절별로는 표 4에서와 같이 연중 여름철의 태양광조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양광조건은 봄과 여름철은 각각 24%, 25% 높았으며, 가을과 겨울철은 14%, 35% 정도 상대적으로 낮았다.

3.2 분포형태

그림 1은 23년 동안(1982 ~ 2004) 한반도 남한지방에서 측정된 자료와 북한지방에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치, 그리고 일본에서 30년 동안(1941 ~ 1970) 측정된 자료의 평균치를 가지고 근접지역간의 일사량을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 태양광자원을 산출하는 전산 시뮬레이션 기법으로 그린 전 동아시아 지역의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량 분포 현황도이다. 그림에서 보는바와 같이 동아시아의 수평면 전일사량의 연평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.55 kWh/m² 정도의 태양광 에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

동아시아 분포상의 특징을 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 그림에서 보는바와 같이 한반도 남해중서부지방과 태안반도, 그리고 영주분지 일원과 일본의 히로시마-오사카-나고야-시즈오카를 잇는 지역 이남지방과 시코쿠, 규슈지역 일대에서 태양광조건이 동아시아 전지역에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 다음은 한반도 중부이남과 북부동해안 및 서해안지방, 중부이북지방, 일본의 나가노-메에바시를 잇는 혼슈 중부지방 일대, 그 다음은 중국 베이징과 선양을 잇는 일대와 한반도 평안북도와 한반도 함경북도 일원, 그리고 일본 혼슈지역 마쓰에와 도쿄를 잇는 지역 일대 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 한반도

내 서울지방과 고위도 지역인 러시아 하바로프스크 일원과 일본 혼슈북부와 홋카이도 일원은 동아시아 지역에서 가장 낮은 태양광을 기록하여 태양에너지의 강도의 대기내의 대기오염물질과 지구상의 위도와 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 짐작할 수 있다.

또한 우리나라 동아시아지역의 수평면 전일사량 자원에 대한 계절별 태양광자원 분포특성은 그림 2 ~ 그림 5에서 나타난바와 같이 봄철의 태양광은 일본보다는 대체로 한반도 해안지방에서 높게 나타났으며, 여름철은 한반도 대부분 지역은 낮은 분포를 보인 반면에 일본은 전국이 고르게 높은 분포를 나타내었다. 가을철은 한반도 서해남부지방과 일본 규슈지방에서 높게 나타난 반면 러시아 동부지역 일원과 일본 혼슈북부와 홋카이도 일대는 매우 낮은 태양광 분포를 나타내었다. 겨울철은 한반도 남해중부지방과 일본 혼슈이남 동해안 일원 및 시코쿠 동해안 일원에서 높게 나타난 반면에 중국 북동부지방과 러시아 동부지방 일원, 일본 혼슈북부 및 홋카이도 일원에서 매우 낮은 태양광 분포를 나타내었다.

참고로 동아시아 전지역에 대해 주요 지역별로 태양광자원에 대한 월별 연평균 1일 수평면 전일사량의 값을 표 3에 제시하였다. 이 자료는 동아시아 지역에서 추진되고 있는 태양광에너지 이용기술과 관련하여 각종 연구와 보급사업이 보다 활성화하기 위한 기준설계 자료의 대표 값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

4. 결 론

동아시아 지역 내에서의 태양광에너지 이용가능성 분석 평가를 위하여 1982년 1월부터 2004년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실측해 온 측정자료와 북한 지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치, 그리고 1941년 1월부터

1970년 12월까지 일본 주요 17개소에서 측정된 자료를 주요 지역별로 분석한 결과를 종합해 보면, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

- 1) 한반도 남한지역에서 인공위성에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치와의 연평균 오차가 서울을 포함한 일부지역을 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 $-3.8 \sim +2.6\%$ 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.
- 2) 한반도 및 그 인접국가인 일본을 포함한 동아시아 주요 45개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 동아시아 전국이 하루에 3.55 kWh/m^2 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났다.
- 3) 동아시아 지역의 월별 수평면 전일사량의 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 4.92 kWh/m^2 인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.89 kWh/m^2 로 나타났다.
- 4) 계절별로 동아시아 지역은 연중 여름철의 태양광조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양광조건은 봄과 여름철은 각각 24%, 25% 높았으며, 가을과 겨울철은 14%, 35% 정도 상대적으로 낮았다.
- 5) 동아시아 분포상의 특징을 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 한반도 남해중서부 지방과 태안반도, 그리고 영주분지 일원과 일본의 히로시마-오사카-나고야-시즈오카를 잇는 지역 이남지방과 시코쿠, 규슈지역 일대에서 태양광조건이 동아시아 전지역에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 다음은 한반도 중부 이남과 북부동해안 및 서해안지방, 중부이북 지방, 일본의 니가노-메에바시를 잇는 혼슈 중부지방 일대, 그 다음은 중국 베이징과 선양을 잇는 일대와 한반도 평안북도와 한반도

함경북도 일원, 그리고 일본 혼슈지역 마쓰에와 도쿄를 잇는 지역 일대 순으로 나타났고, 대기오염이 심각한 한반도 내 서울지방과 고위도 지역인 러시아 하바로프스크 일원과 일본 혼슈북부와 홋카이도 일원은 동아시아 지역에서 가장 낮은 태양광을 기록하였다.

그러나 이 논문에서 제외된 태양광자원을 측정하지 못하는 동아시아 일부 특정지역에 대하여는 앞으로 인공위성 영상 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 보다 적용하여 동아시아에서의 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. 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.
3. 조덕기외, 인공위성영상 예측기법을 적용한 태양광에너지 이용가능성 평가에 관한 연구, 한국태양에너지학회, Vol. 25, No. 2, 2005.
4. 일본태양에너지학회, 태양에너지의 기초와 응용, pp. 30-31, 1979.
5. Solar System Development Association (S.S.D.A) Solar Energy System in Japan, 2000.