

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

*Journal of the Korean Solar Energy Society*

Vol. 27, No. 3, 2007

# 인공위성을 이용한 동북아시아 지역의 태양광자원 정밀조사 (중국지역 분석을 중심으로)

조덕기\*, 강용혁\*

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

## A Detailed Survey of Solar Energy Resources in East-North Asia Areas Using a Satellite (Focused on the Analysis of Chinese 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 is the analysis of solar radiation data for East-North Asia areas. The data utilized in the analysis consist of the global radiation on horizontal surface, measured at 2 different stations during 3 years for the period from 2002 to 2004 and estimated using satellite at 27 different stations over the China and Mongolia. Also the measured data has been collected at 16 different stations all of the South Korea and estimated using satellite at 12 different stations over the North Korea from 1982 to 2005.

The Result of analysis shows that the annual-average daily global radiation on the horizontal surface is  $3.57 \text{ MJ/m}^2$ . We conclude, based on the analysis, that East-North Asia areas have sufficient solar energy resources for the photovoltaic power generation system.

**Keywords** : 태양광시스템(Solar Photovoltaic Sytem), 위성영상(Satellite Image)

---

접수일자 : 2007년 7월 10일, 심사완료일자:2007년 9월 13일

교신저자 : 조덕기(dokkjo@kier.re.kr)

## 기 호 설 명

Gcs	: 청명한 하늘 부분에서 지표면에 입사하는 태양복사
Gcl	: 흐린 하늘 부분에서 지표면에 입사하는 태양복사
Go	: 대기의 상단에 입사하는 대기권밖 태양복사
Ga	: 대기에 의해 흡수된 태양복사
Gr	: 지구로부터 반사된 양
As	: 평균 반구상의 지표면 알베도
T	: 태양복사를 위한 넓은 대역의 대기투과율
cs	: 청명한 하늘과 흐린 하늘의 매개변수
cl	: 청명한 하늘과 흐린 하늘의 매개변수

## 1. 서 론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에서는 에너지의존도를 경감시키고 안정된 국민경제를 이룩하기 위해 신재생에너지의 개발이 절대 필요하다. 그 중 우리나라에서 태양자원이 풍부하게 산재되어 있는 지역의 부존자원을 최대한 효율적으로 활용하기 위하여 대단위 태양광발전단지 건설과 태양광발전시스템을 대량보급을 유도하기 위해 본 연구의 수행이 절실히 요구된다. 그러나 국내에서도 태양광에너지사업 수행지역과 동북아시아와의 경협이 확대됨에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 태양광자원 자료가 절실히 요구되고 있으나 태양광자원 측정네트워크<sup>1)</sup>가 북한지역을 제외한 남한지역과 일부 중국지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 동북아시아 전지역에 대한 태양광에너지량의 산출은 현실적으로 불가능 실정이다. 이에 따라 일사량을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 선진국에서 이미 임의의 지점의 태양광예측을 위해 인공위성 영상 등을 이용한 예측기법을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가가 절실히 요구되고 있다.

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

따라서, 본 연구의 목적은 태양광자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 미국 나사(NASA) S ESE(Earth Science Enterprise)에서 GEOS-1 위성영상<sup>2)</sup> 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 적용하여 동북아시아의 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 때<sup>3)</sup>, 지구 지표면에 도달하는 태양복사 Gs는 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, Gcs는 청명한(clear) 하늘 부분에서 지표면에 입사하는 태양복사, Gcl은 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.

$$\text{Cloudiness} = G_{cs} - G_s, \text{ 또는}$$

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

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) 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.

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

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

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

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.

$$\begin{aligned} G_s &= (G_o - G_a - G_{rcs}) / (1 - A_s) + \\ &N (G_{rcs} - G_{rcl}) / (1 - A_s) \end{aligned} \quad (7)$$

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.

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

### 3. 관측지 선정 및 데이터 처리분석

본 연구에서는 우선 동북아시아에서의 태양광자원의 광역분포 상태를 분석하기 위하여 표 1과 그림 1에서 보는바와 같이 중국은 베이징, 상하이, 포함한 전국 28개 지역으로 선정하였으며, 몽고는 울란바토르 1개 지역을 대상으로 하였다. 한반도 내에서는 서울을 비롯한 남한 5개 지역과 평양 등 북한 4개 지역을 대상으로 동북아시아 태양자원 측정네트워크 선정하였다.

동북아시아 지역의 태양광자원 분석을 위한 관측지 선정작업에 고려된 사항은 일부 특수지역을 제외하고는 우선, 관측지 상호간의 거리는 가능한 균등하게 유지하고, 내륙, 해안 등 지역적 특수성에 따른 일사량 변동 형태를 연구할 수 있도록 관측지 선정에 반영하였다. 또한 중국 내 관측지에서 측정된 베이징과 항저우의 실측자료는 중국 기상대에서 처리되었으며, 남한 관측지에서 측정된 자료의 처리는 현재 한국에너지기술연구원에서 전산 처리되고 있으며, 특히 실시간으로 측정된 데이터를 시간별로 평균하여 데이터를 데이터베이스 형태로 재처리하여 저장하고, 지속적으로 자료를 보완할 수 있도록 각종 분석용 프로그램과 데이터의 상호교환이 가능하도록 하였다.

자료분석은 주로 양적비교 분석과 분포현황 분석으로 구분하여 동북아시아의 태양광자원의 전반적인 평가가 가능하도록 총량적 분석내용으로 다루었다.

표 1. 동북아시아 주요지역의 태양광자원 측정지 명세

구분	지역명	위도 (도/분)		경도 (도/분)		고도 (m)
		위도	경도	위도	경도	
중국	난닝	22	49	108	21	73
	쿤밍	25	01	102	41	1,872
	광저우	23	10	113	20	125
	구이양	27	27	109	41	273
	라싸	29	40	91	08	3,650
	항저우	30	14	120	10	
	청두	30	40	104	01	508
	이창	30	42	118	18	134
	창뚜	31	09	97	10	3,307
	상하이	31	10	121	26	7
	시안	34	18	108	56	398
	장저우	34	43	113	39	111
	란조우	36	03	103	53	1,518
	칭다오	36	04	120	20	77
	호탄	37	07	79	56	1,375
	타이위안	37	47	112	33	779
	인촨	38	29	106	13	1,112

표 1. 동북아시아 주요지역의 태양광자원 측정지 명세

구분	지역명	위도 (도/분)		경도 (도/분)		고도 (m)
		위도	경도	위도	경도	
중국	카스	39	28	75	59	1,291
	조우취안	39	46	98	29	1,478
	베이징	39	56	116	17	55
	선양	41	46	123	26	43
	연길	42	53	129	28	178
	하미	42	49	93	31	739
	얼롄	43	39	118	58	966
	이닝	43	57	81	20	663
	치치하얼	47	23	123	55	148
	알로타이	47	44	88	05	737
몽고	하이러얼	49	13	119	45	611
몽고	울란바토르	47	55	106	52	1,306
	청진	41	47	129	50	
	신의주	40	07	124	24	
	원산	39	09	127	29	
북한	평양	39	06	125	45	
	서울	37	34	126	58	85.5
	강릉	37	45	128	54	26.0
남한	대전	36	22	127	22	67.2
	광주	35	10	126	53	70.3
	부산	35	06	129	02	69.2

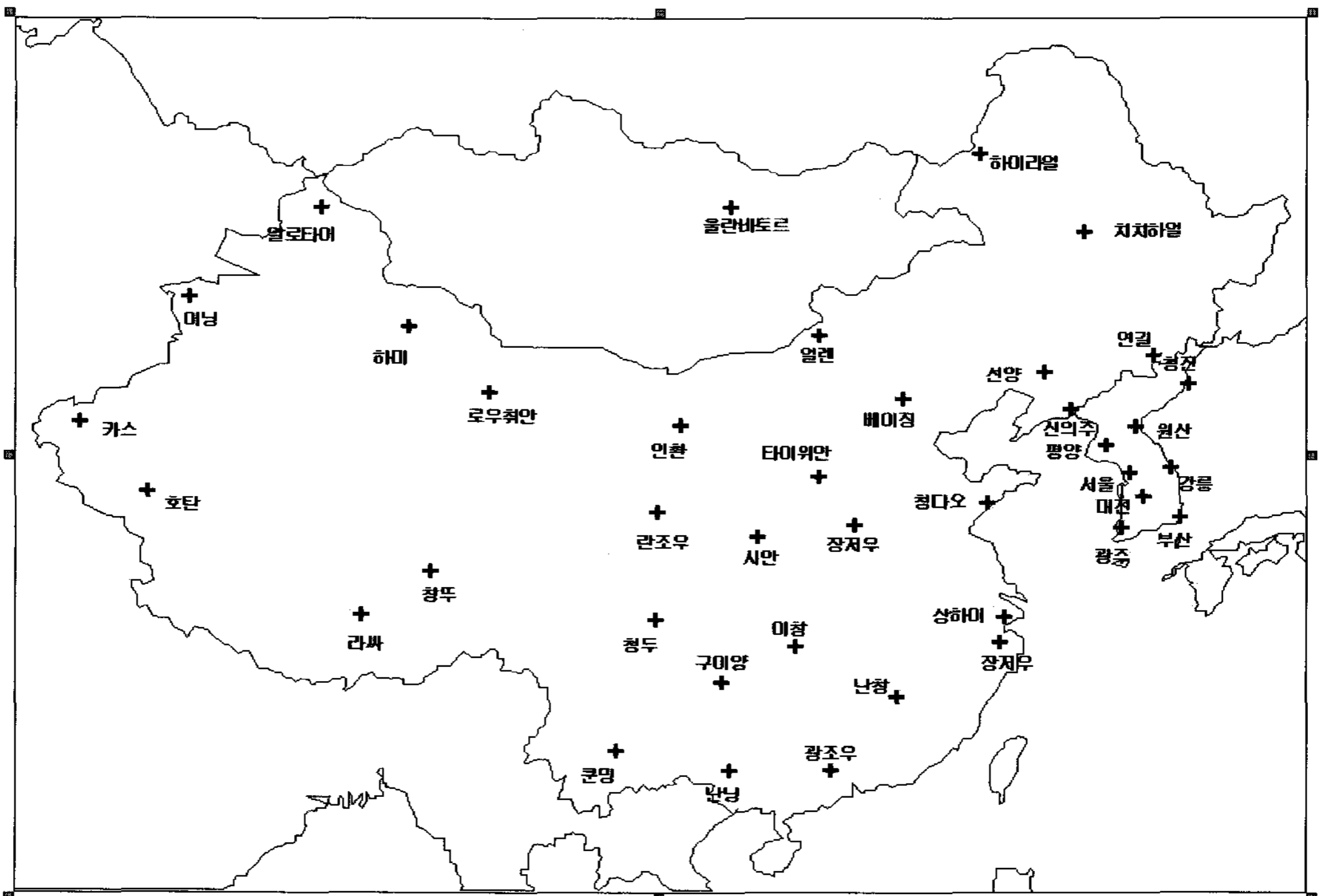


그림 1. 동북아시아 태양광자원 측정네트워크

표 2. 각 지역별 예측치와 실측치와의 비교

(단위 : kWh/m<sup>2</sup>/day)

지역명		월 별												연평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
베이징	예측치	2.270	2.910	3.810	4.610	5.310	5.470	5.310	4.910	4.20	3.30	2.210	1.90	3.850
	실측치	2.322	3.197	3.900	4.939	5.519	5.811	5.519	4.939	4.358	3.486	2.322	2.033	4.029
	오차(%)	-2.2	-9.0	-2.3	-6.7	-3.8	-5.9	-3.8	-0.6	-3.6	-5.3	-4.8	-6.5	-4.4
항저우	예측치	2.160	2.450	2.870	3.670	4.060	4.050	5.290	5.010	3.560	3.220	2.490	2.20	3.420
	실측치	2.108	2.158	2.789	3.344	3.850	3.714	5.086	4.983	3.400	3.033	2.383	2.069	3.243
	오차(%)	+2.5	+13.5	+2.9	+9.7	+5.5	+9.0	+4.0	+0.5	+4.7	+6.2	+4.5	+6.3	+5.5
평 균	예측치	2.215	2.680	3.340	4.140	4.685	4.760	5.300	4.960	3.880	3.260	2.350	2.050	3.635
	실측치	2.215	2.678	3.344	4.142	4.685	4.762	5.303	4.961	3.879	3.260	2.353	2.051	3.636
	오차(%)	0	0	+0.1	0	0	0	-0.1	0	0	0	-0.1	0	0

## 4. 분석결과

### 4.1 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 중국지역에서의 태양광자원 예측기법을 적용한 예측치와 2002. 1 ~ 2004. 12 기간 사이에 실제로 측정된 평균일사량과 비교하였으며, 그 비교결과는 표 2에 제시하였다.

표 2에서 보는바와 같이 인공위성에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 연평균 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 중국 베이징은 -4.4%, 항저우는 +5.5%를 나타내어 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었으며, 베이징은 항저우에 비해 예측치는 실측치와의 오차가 다소 낮게 나타나는 경향을 보였다.

### 4.2 양적비교

표 3은 중국 베이징과 항저우에서 실측된 2개소 자료(2002 ~ 2004), 그리고 중국 26개소, 몽고 1개소, 북한지방 12개소<sup>4)</sup>에서 인공위성 모델링을

통하여 산출된 예측치와 1982년 1월부터 2005년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정된 자료<sup>5)</sup>를 가지고 동북아시아 주요 지역별로 서로 비교한 것이다. 분석결과에서 나타남과 같이 중국 및 그 인접국가인 몽고, 그리고 한반도를 포함한 동북아시아 주요 57개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 동북아시아 전국이 하루에 3.57 kWh/m<sup>2</sup> 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났으며, 이 중에서 몽고는 하루에 3.43 kWh/m<sup>2</sup>, 한반도내 북한지방은 하루에 3.54 kWh/m<sup>2</sup>, 남한지방은 하루에 3.59 kWh/m<sup>2</sup> 정도로 나타났다. 또한 중국은 전지역에서 하루에 3.58 kWh/m<sup>2</sup>로 나타나 한반도 남북한 지방 하루 3.57 kWh/m<sup>2</sup>에 비하여 거의 같게 나타나는 현상을 보였다.

또한, 동북아시아 전지역의 계절별 태양광조건은 표 3에서와 같이 연중 여름철이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양광 조건은 봄과 여름철은 각각 20%, 30% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 37% 정도 상대적으로 낮았다.

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

5) 조덕기외, 태양광발전단지 건설을 위한 동아시아 지역의 태양광자원 정밀조사, 한국태양에너지학회, Vol. 26, No. 1, 2006.

표 3. 계절별 1일 평균 수평면 전일사량의 비교  
(단위 : kWh/m<sup>2</sup>/day)

계절 국가	봄	여름	가을	겨울	연평균	증감
동북아시아 /A	4.30	4.64	3.09	2.26	3.57 (B)	
	1.20	1.30	0.87	0.63	1.00	
중 국 /B	4.08	4.96	3.12	2.18	3.58 (B)	B/A =1.00
	1.14	1.39	0.87	0.61	1.00	
몽 고 /C	4.35	5.16	2.64	1.55	3.43 (B)	C/A =0.96
	1.27	1.50	0.77	0.45	1.00	
한반도 /D	4.51	4.31	3.08	2.37	3.57 (B)	D/A =1.00
	1.26	1.21	0.86	0.66	1.00	
남 한 /E	4.48	4.32	3.15	2.42	3.59 (A)	E/A =1.01
	1.25	1.20	0.88	0.67	1.00	
북 한 /F	4.55	4.29	3.00	2.30	3.54 (B)	F/A =0.99
	1.29	1.21	0.85	0.65	1.00	

그러나, 동북아시아 전지역의 계절별 태양광조건은 한반도 지역과 거의 유사한 비율로 나타나고 있는 반면에, 중국은 한반도에 비해 계절별 일사량 비율이 봄철은 낮게 나타나고 여름철에 높게 나타나고 있어, 이는 중국이 한반도에 비해 특히 봄철에 우천인 날이 상대적으로 길고 여름철에는 짧기 때문인 것으로 믿어진다. 또한 중국대륙의 내륙지방인 몽고는 동북아시아 중에서도 일사량 비율이 여름철에는 가장 높고, 겨울철에는 가장 낮은 지역으로 나타났다.

한편, 동북아시아 전지역의 월별 수평면 전일사량의 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 표 4에서 보는바와 같이 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 4.89 kWh/m<sup>2</sup>인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.88 kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다.

그러나, 이중 중국은 태양광조건이 한반도 지역과는 달리 5월보다는 7월에 가장 좋은 달로 나타났으며, 반면에 가장 낮은 달은 12월로 한반도 지역과 동일한 달로 나타났다.

### 4.3 분포형태

그림 2는 중국 26개소, 몽고 1개소, 북한지방 4개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치, 그리고 중국 2개소에서 3년 동안(2002 ~ 2004) 측정된 자료와 23년 동안(1982 ~ 2005) 한반도 남한지방 5개소에서 측정된 자료의 평균치를 가지고 근접지역간의 일사량을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 태양광자원을 산출하는 전산 시뮬레이션 기법으로 그린 동북아시아 전지역의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량 분포 현황도이다.

동북아시아 분포상의 특징을 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 그림에서 보는바와 같이 중국 티벳고원지역인 서남지역(라싸)과 윈꾸이고원으로 둘러싸인 운남성 일대(쿤밍)가 동아시아 전지역에서 태양광조건이 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 다음은 중국 서북지역(호탄)과 북쪽지역(베이징)을 잇는 일대와 남쪽지역(난창) 일대 순으로 나타났다. 그 다음은 대기오염이 심각한 한반도 내 서울지방과 고위도 지역인 몽골 북부지역(울란바토르)과 중국 동북(연길)을 잇는 일원으로 나타났으며, 우기철에 매우 습하고 강우량이 많은 중국 성도지역(청두-구이양)은 동북아시아 지역에서 가장 낮은 태양광을 기록하여 태양에너지의 강도는 지구상의 지역적 위도와 대기내의 대기오염물질, 그리고 지역적 기후 특성과 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 짐작할 수 있다.

또한, 동북아시아지역의 수평면 전일사량 자원에 대한 계절별 태양광자원 분포특성은 그림 2 ~ 그림 6에서 나타난바와 같이 봄철의 태양광은중국 북쪽지역(안촨-얼렌-베이징-칭다오), 서남지역(라싸)과 운남성(쿤밍)을 잇는 남부일대, 그리고 한반도 북부지역과 서남부 일대에서 높게 나타난 반면에 남쪽지역(구이양)과 동남지역(광조우)를 잇는 일대에서는 낮게 나타났다.

표 4. 중국 및 그 주변국과 한반도 주요지역의 월 및 연평균 1일 수평면 전일사량

(단위 : kWh/m<sup>2</sup>/day)

구분	지역명	월 별												연평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
중국	난닝	1.99	2.15	2.99	3.26	3.93	4.31	4.89	4.74	4.46	3.60	2.79	2.53	3.47
	쿤밍	3.34	3.94	4.85	4.77	4.82	4.26	4.24	4.36	3.38	3.23	3.05	2.91	3.93
	광저우	2.37	2.11	2.40	2.63	3.39	3.92	5.08	4.99	4.40	4.01	3.02	2.7	3.42
	구이양	1.65	1.69	2.28	2.90	3.22	3.70	4.66	4.64	3.50	2.59	2.04	1.75	2.89
	라싸	3.24	3.70	4.54	4.57	5.23	5.20	5.17	4.74	4.49	4.51	3.43	2.92	4.31
	항저우	2.11	2.16	2.79	3.34	3.85	3.71	5.09	4.98	3.40	3.03	2.38	2.07	3.24
	청두	2.03	2.15	2.73	3.40	3.83	3.86	4.25	4.13	2.88	2.28	1.92	1.72	2.93
	이창	2.03	2.30	2.77	3.52	3.93	4.13	5.12	5.03	3.48	3.16	2.46	2.11	3.34
	창투	2.61	3.03	3.56	3.81	4.69	4.73	5.21	4.86	4.16	3.57	2.80	2.46	3.79
	상하이	2.25	2.60	3.06	3.82	4.39	4.19	5.15	4.99	3.76	3.29	2.50	2.19	3.52
	시안	2.30	2.66	2.95	4.02	4.52	4.52	4.91	4.72	3.47	2.81	2.25	2.00	3.43
	장저우	2.29	2.64	3.40	4.46	4.76	5.00	5.03	4.88	3.70	3.17	2.37	2.00	3.64
	란조우	2.40	2.96	3.62	4.27	4.55	4.52	5.09	4.85	3.79	3.04	2.43	2.03	3.63
	칭다오	2.30	2.87	3.86	4.78	5.24	5.08	5.03	5.05	4.17	3.41	2.30	1.92	3.83
	호탄	1.83	2.47	3.54	4.47	5.05	5.51	5.76	5.51	4.65	3.58	2.19	1.58	3.85
	타이위안	2.35	2.82	3.59	4.61	5.08	5.34	5.45	4.91	4.04	3.25	2.32	2.00	3.81
	인촨	2.18	2.82	3.76	4.63	5.26	5.48	5.88	5.24	4.25	3.21	2.29	1.88	3.91
	카스	1.66	2.24	3.26	4.14	4.82	5.27	5.70	5.21	4.24	3.16	1.94	1.43	3.59
	조우취안	2.01	2.70	3.73	4.46	5.16	5.14	5.45	5.21	4.54	3.44	2.19	1.71	3.81
	베이징	2.32	3.20	3.90	4.94	5.52	5.81	5.52	4.94	4.36	3.49	2.32	2.03	4.03
선양	2.00	2.75	3.82	4.40	5.13	5.02	5.06	4.76	4.10	3.18	1.91	1.65	3.65	
연길	1.90	2.64	3.84	4.09	4.88	4.46	4.41	4.31	3.80	2.96	1.74	1.47	3.38	
하미	1.65	2.55	3.79	4.36	5.22	5.24	5.71	5.32	4.33	3.10	1.74	1.35	3.70	
얼렌	1.89	2.56	3.78	4.44	5.37	5.28	5.35	4.97	4.12	3.05	1.88	1.51	3.68	
이닝	1.42	2.01	3.02	3.97	4.71	5.08	5.47	5.26	4.18	2.93	1.62	1.17	3.40	
치치하얼	1.45	2.24	3.63	4.20	5.18	5.03	5.03	4.76	3.69	2.73	1.51	1.11	3.38	
알로타이	1.19	1.90	3.08	4.17	5.28	5.55	5.61	5.13	4.01	2.62	1.28	0.96	3.40	
하이러얼	2.00	2.00	3.43	4.22	5.33	5.19	5.45	4.66	3.51	2.47	1.36	0.94	3.38	
평균	2.10	2.57	3.43	4.09	4.73	4.80	5.17	4.90	3.96	3.17	2.22	1.86	3.58	
몽고	울란바토르	1.39	2.13	3.44	4.3	5.32	5.42	5.34	4.72	3.85	2.6	1.47	1.14	3.43
	평균	1.39	2.13	3.44	4.3	5.32	5.42	5.34	4.72	3.85	2.6	1.47	1.14	3.43
중국/몽고 평균		2.07	2.55	3.43	4.10	4.75	4.83	5.18	4.89	3.96	3.15	2.19	1.84	3.58
북한	청진	2.13	3.09	4.16	4.54	5.03	4.67	4.29	3.91	3.90	3.06	2.05	1.76	3.55
	신의주	1.87	2.55	4.08	4.51	4.96	4.97	4.37	4.04	3.95	2.96	1.97	1.63	3.49
	원산	2.24	3.12	3.94	4.57	5.06	4.78	3.94	3.83	3.80	3.08	2.11	1.85	3.53
	평양	2.19	3.06	4.01	4.62	5.06	4.95	4.14	4.01	3.96	3.11	2.14	1.84	3.59
	평균(12개소)	2.13	3.01	4.04	4.56	5.04	4.80	4.18	3.90	3.86	3.06	2.08	1.78	3.54
남한	서울	1.99	2.77	3.50	4.39	4.67	4.33	3.28	3.55	3.53	3.04	2.03	1.72	3.23
	강릉	2.39	3.01	3.70	4.64	4.98	4.54	4.03	3.81	3.56	3.17	2.37	2.13	3.53
	대전	2.27	3.07	3.84	4.82	5.02	4.63	4.19	4.22	3.81	3.36	2.36	2.04	3.63
	광주	2.32	3.07	3.86	4.77	5.06	4.61	4.17	4.30	3.97	3.55	2.49	2.08	3.69
	부산	2.57	3.21	3.75	4.54	4.91	4.55	4.23	4.30	3.61	3.40	2.67	2.36	3.68
평균(16개소)	2.25	2.98	3.74	4.68	5.03	4.68	4.13	4.16	3.76	3.31	2.36	2.02	3.59	
남북한 평균		2.20	2.99	3.87	4.63	5.03	4.73	4.15	4.05	3.81	3.21	2.24	1.92	3.57
전 평균		2.13	2.77	3.64	4.36	4.89	4.78	4.67	4.48	3.88	3.18	2.21	1.88	3.57

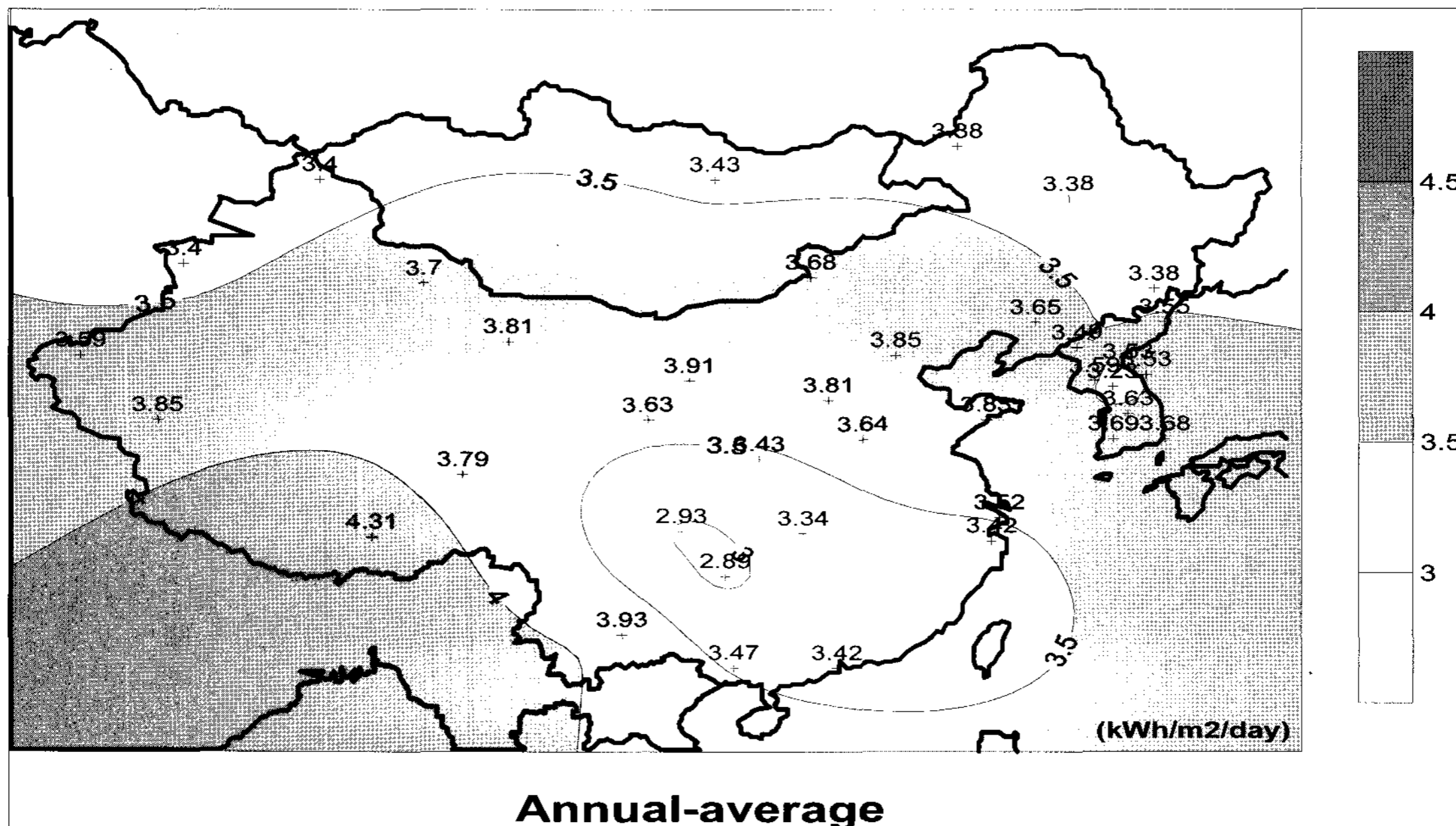


그림 2. 동북아시아 전지역 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도

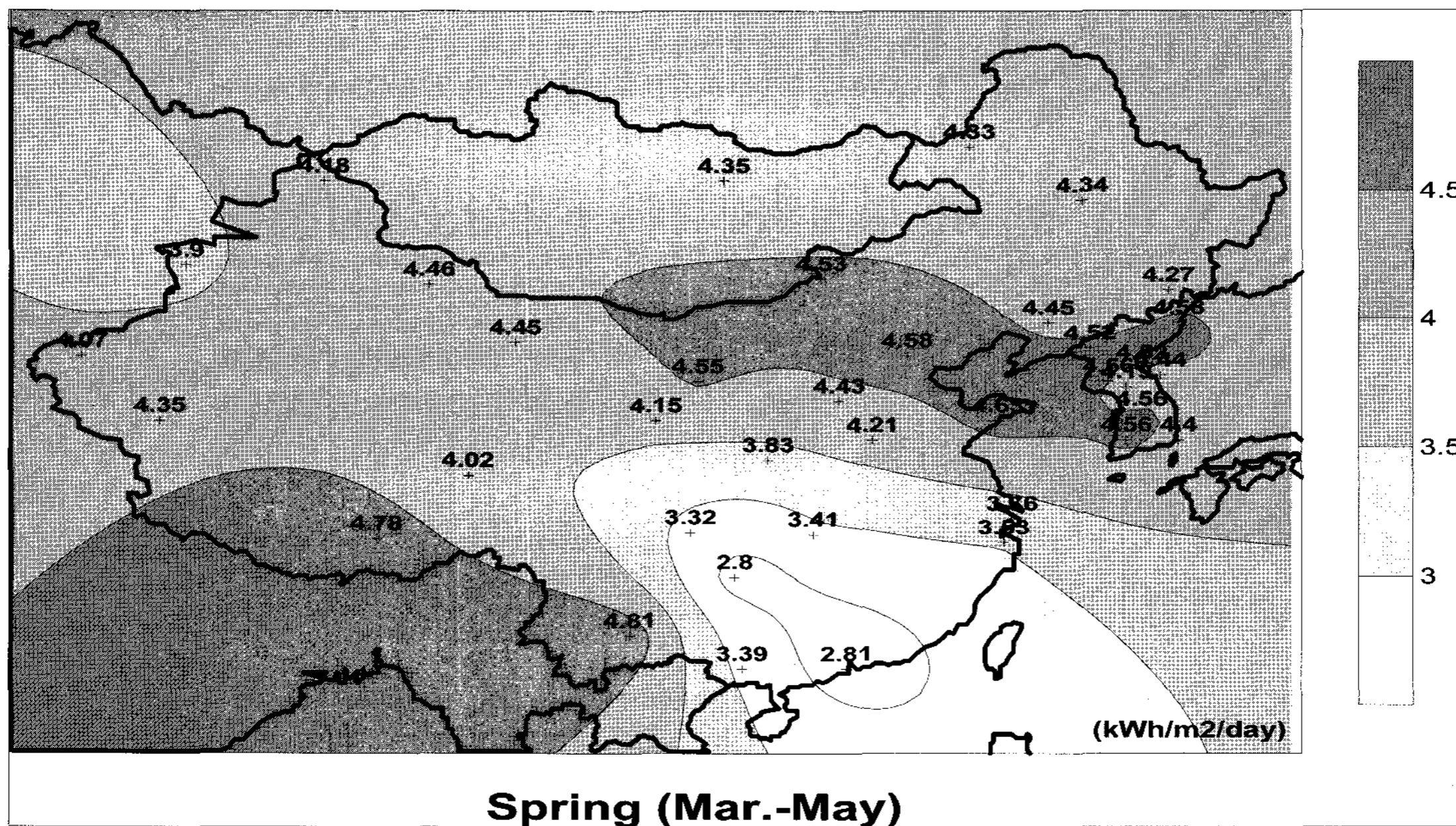


그림 3. 동북아시아 전지역 봄철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도



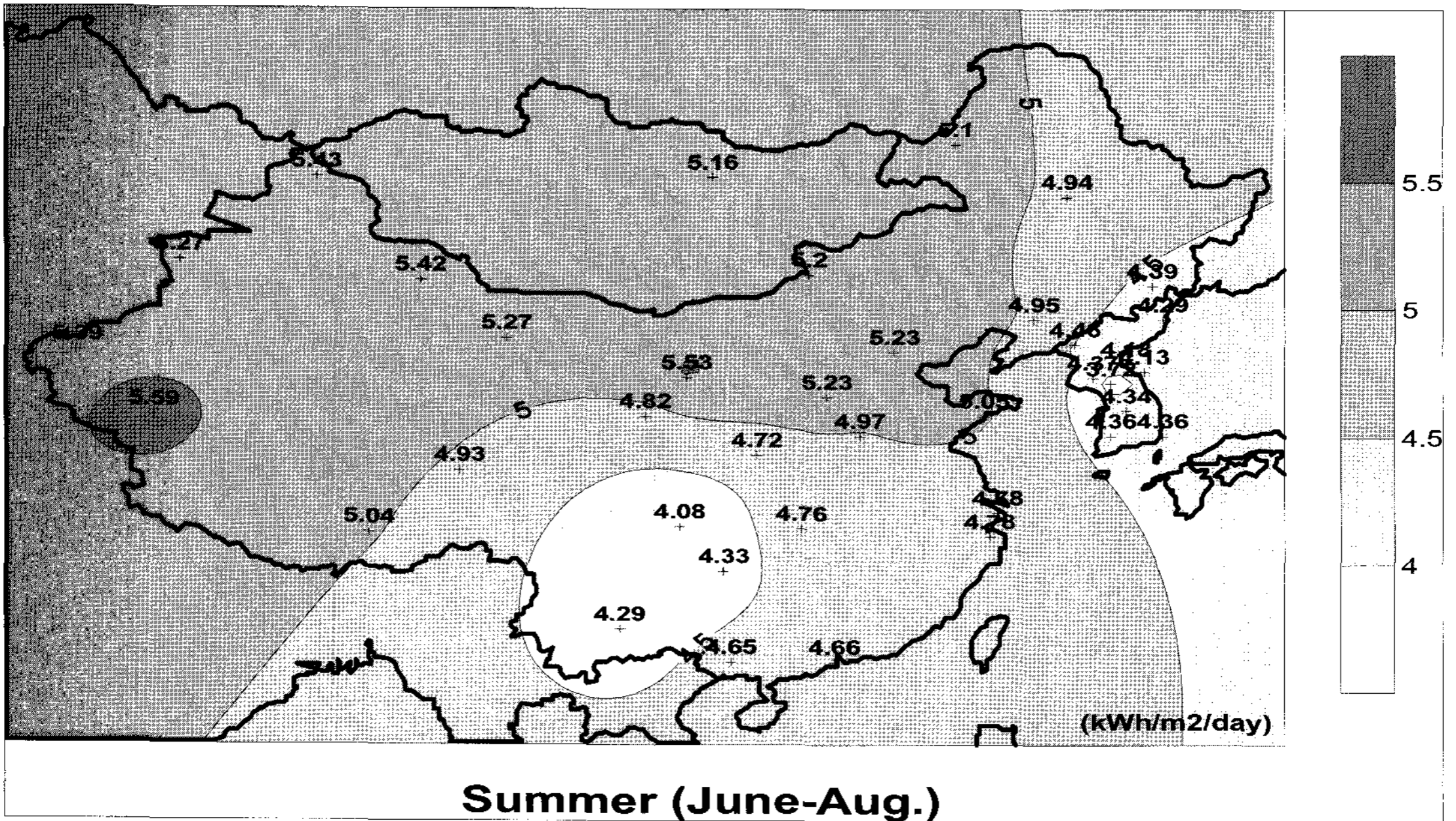


그림 4. 동북아시아 전지역 여름철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

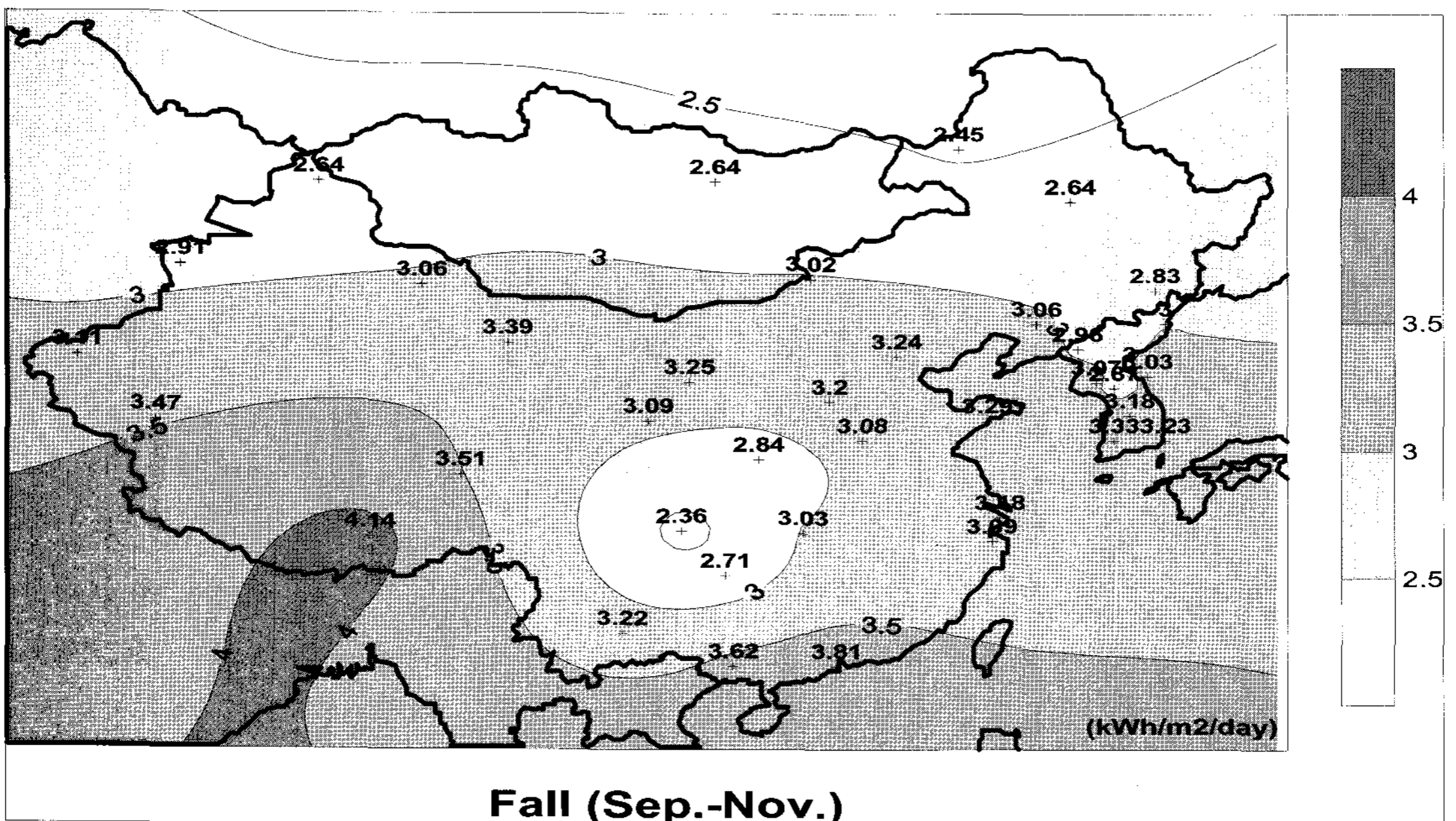


그림 5. 동북아시아 전지역 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

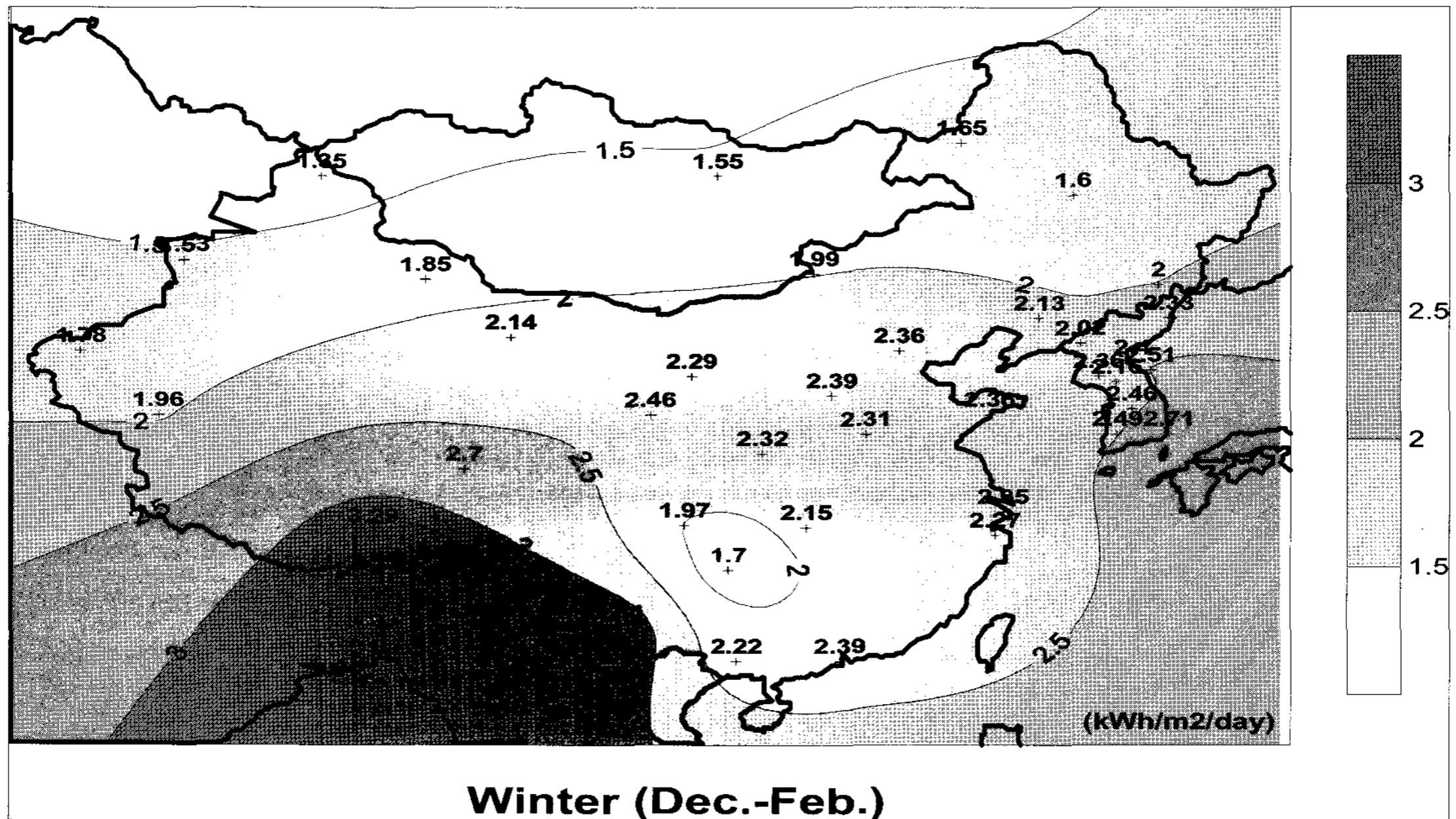


그림 6. 동북아시아 전지역 겨울철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

여름철은 사천성(청두-구이양)과 운남성(쿤밍)을 잇는 일대와 한반도 대부분 지역이 낮은 분포를 보인 반면에 티베트고원 서쪽지역(호탄) 일원에서는 높은 분포를 나타내었다. 가을철은 몽골 전 일원, 중국 동북지역(하이러얼-치치하얼)과 사천성(청두) 일대, 그리고 한반도 북부지방에서 낮게 나타난 반면, 중국 서남지역(라싸) 일원은 높은 태양광 분포를 나타내었다.

또한, 겨울철은 를 잇는 운남성(쿤밍)과 서남지역(라싸)을 잇는 일원에서 높게 나타난 반면에 몽골 전지역을 포함한 중국 동북지역(하이러얼-치치하얼) 일원에서 매우 낮은 태양광 분포를 나타내었다.

참고로 동북아시아 전지역에 대해 주요 지역별로 태양광자원에 대한 월별 연평균 1일 수평면 전일사량의 값을 표 2에 제시하였다. 이 자료는 동아시아 지역에서 추진되고 있는 태양광에너지 이용기술과 관련하여 각종 연구와 보급사업이 보다 활성화하기 위한 기준설계 자료의 대표 값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

### 5. 결 론

동북아시아 지역 내에서의 태양광에너지 이용가능성 분석 평가를 위하여 중국 베이징과 항조우에서 실측된 2개소 자료(2002 ~ 2004), 그리고 중국 26개소, 몽고 1개소, 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치와 1982년 1월부터 2005년 12월까지 기간동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정된 자료를 가지고 동북아시아 주요 지역별로 서로 비교한 분석한 결과를 종합해 보면, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

- 1) 중국 및 그 인접국가인 몽고, 그리고 한반도를 포함한 동북아시아 주요 57개 전지역에서의 태양광자원, 즉 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 동북아시아 전국이 하루에  $3.57 \text{ kWh/m}^2$  정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났다.
- 2) 이중 몽고는 하루에  $3.43 \text{ kWh/m}^2$ , 한반도 북

한지방은 하루에 3.54 kWh/m<sup>2</sup>, 한반도 남한 지방은 하루에 3.59 kWh/m<sup>2</sup> 정도로 나타났 다. 또한 중국은 전지역에서 하루에 3.58 kWh/m<sup>2</sup>로 나타나 한반도 남북한지방 하루 3.57 kWh/m<sup>2</sup>에 비하여 거의 같게 나타나는 현상을 보였다.

- 3) 동북아시아 전지역의 계절별 태양광조건은 연 중 여름철이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양 광 조건은 봄과 여름철은 각각 20%, 30% 높 았으며, 가을과 겨울철은 13%, 37% 정도 상 대적으로 낮았다.
- 4) 동북아시아 분포상의 특징을 태양광조건이 좋 은 순으로 지역대를 나누면, 중국 티벳고원지 역인 서남지역(라싸)과 윈꾸이고원으로 둘러싸 인 운남성 일대(쿤밍)가 동아시아 전지역에서 태양광조건이 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 다음은 중국 서북지역(호탄)과 북쪽지역(베이 징)을 잇는 일대와 남쪽지역(난창) 일대 순으 로 나타났고, 그 다음은 대기오염이 심각한 한 반도 내 서울지방과 고위도 지역인 몽골 북부 지역(울란바토르)과 중국 동북(연길)을 잇는 일원으로 나타났으며, 우기철에 매우 습하고 강우량이 많은 중국 성도지역(칭두-구이양)은 동북아시아 지역에서 가장 낮은 태양광을 기록 하였다.

그러나, 이 논문에서 제외된 태양광자원을 측정 하지 못하는 동북아시아 일부 특정지역에 대하여 는 앞으로 인공위성 영상 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 보다 적용하여 동아시아에서의 전반적

인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가를 보다 정밀히 시도할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되 었음 (과제번호 : 2004-NC02-P-01).

## 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. 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. 조덕기외, 태양광발전단지 건설을 위한 동아시아 지역의 태양광자원 정밀조사, 한국 태양에너지학회, Vol. 26, No. 1, 2006.
5. 조덕기외, 인공위성영상 예측기법을 적용한 태양광에너지 이용가능성 평가에 관한 연구, 한국 태양에너지학회, Vol. 25, No. 2, 2005.