

## 동아시아 지역의 태양에너지 자원 정밀조사

조 덕기<sup>1)</sup>, 강 용혁<sup>2)</sup>

### A Detailed Survey of Solar Energy Resources in East Asia Areas

Dok-ki Jo, Young-Heak Kang

**Key words** : Solar Energy System(태양광시스템), Horizontal Global Radiation(수평면 전일사량)

**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<sup>2</sup>. We conclude, based on the analysis, that East Asia areas have sufficient solar energy resources for the photovoltaic power generation system.

### 1. 서 론

국내에서도 태양에너지사업 수행지역과 북한과 한반도 주변국인 일본과의 경협이 확대됨에 따라 태양에너지 이용시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 일사자료가 절실히 요구되고 있으나 일사량 측정네트워크가 일부 남한지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 한반도 전 지역에 대한 태양에너지 자원량의 산출은 현실적으로 불가능 실정이다. 따라서 일사량을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 선진국에서 이미 임의의 지점의 태양에너지 예측을 위해 인공위성 영상 등을 이용한 예측기법을 적용하여 산출한 예측치와 일본 전 지역에서 실측된 자료를 가지고 한반도 및 인접 주변국에 대한 전반적인 태양에너지 이용가능성에 대한 평가를 시도하고자 하였다.

### 2. 관측지 선정 및 데이터 처리

본 연구에서는 우선 한반도 및 그 주변국내에서의 태양자원의 광역분포 상태를 분석하기 위하여 관측지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고

전반적인 데이터의 정확도 평가를 위해 한반도 내에서 북한 12개 지역과 남한 16개 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 삿포르, 아키타, 센다이, 나가타, 가나자와, 나가노, 매바시, 나고야, 시즈우오카, 도요쿄, 마쥬, 히로시마, 오오사카, 후꾸오까, 카고시마, 코오치, 나하 지역을 대상으로 일본 내 관측지로 선정하였다.

또한 남한 관측지에서 측정한 자료의 처리는 현재 한국에너지기술연구원에서 전산처리되고 있으며, 특히 실시간으로 측정된 데이터를 시간별로 평균하여 데이터베이스 형태로 재처리하여 저장

1) 책임 저자의 소속

E-mail : dokkijo@kier.re.kr

Tel : (042)860-3561 Fax : (042)860-3739

2) 저자2의 소속

E-mail : yhkang@kier.re.kr

Tel : (042)860-3500 Fax : (042)860-3739

하고, 지속적으로 자료를 보완할 수 있도록 각종 분석용 프로그램과 데이터의 상호교환이 가능하도록 하였다.

### 3. 인공위성 예측치와 측정치 비교분석

동아시아 지역에서 일사량을 측정하지 못하는 한반도 북한지역의 태양에너지자원, 즉 수평면 전 사량을 예측하기 위하여 미국 나사(NASA) ESE (Eearth Science Eenterprise)에서 GEOS-1 인공 위성 등을 이용한 일사예측 기법을 적용하여 같은 한반도 내인 남한지역에서의 예측치와 1982. 1 ~ 2004. 12 기간 사이에 실제로 측정된 평균 일사량과 비교한 결과, 연평균 오차가 서울을 포함한 일부지역을 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 -3.8 ~ +2.6% 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다. 그러나 대기오염이 심각한 서울 지역을 비롯한 해안지역인 목포, 제주와 그 인접 지역인 진주, 그리고 공단이 위치한 전주지역은 타 지역에 비해 예측치는 실측치와의 오차가 다소 높게 나타나는 경향을 보였다.

### 4. 분석결과

Table 2는 1982년 1월부터 2004년 12월까지 기간 동안 한반도 남한지방 16개소에서 한국에너지기술연구원이 실시해 온 측정자료와 북한지방 12개소에서 인공위성 모델링을 통하여 산출된 예측치, 그리고 1941년 1월부터 1970년 12월까지 일본 주요 17개소에서 측정된 자료를 한반도 및 그 주변국 일본과 주요 지역별로 서로 비교한 것이다. 분석결과에서 나타난바와 같이 한반도 및 그 인접국가인 일본을 포함한 동아시아 주요 45개 전 지역에서의 태양에너지자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 동아시아 전국이 하루에 3.55 kWh/m<sup>2</sup> 정도의 태양에너지를 받는 것으로 나타났으며, 이중 한반도 북한지방은 하루에 3.52 kWh/m<sup>2</sup>, 한반도 남한지방은 하루에 3.58 kWh/m<sup>2</sup> 정도로 나타났다. 일본은 전 지역에서 하루에 3.70 kWh/m<sup>2</sup>로 나타나 한반도 남북한지방에 비하여 다소 높게 나타나는 현상을 보였다.

특히 한반도 남한지방의 대도시지역에서 대기오염에 의한 태양복사선의 투과방지가 북한의 지역들에 비해 상대적으로 컸음에도 불구하고 남한지역이 높게 나타난 것은 태양에너지의 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 일사조건을 일 년을 기준으로 볼 때, 일사조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 4.92 kWh/m<sup>2</sup>인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.89 kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. 그러나 이중 일본은 일사조건이 한반도 지역과는 달리 5월보다는 8월에 가장 좋은 달로 나타났으며, 반면에 가장 낮은 달은 12월로 한반도 지역과 동일한 달로 나타났다.

동아시아 전 지역의 계절별 일사조건은 역시 계절별로 한반도 지역과 거의 유사한 비율로 나타나고 있는 반면에 봄철 일사량 비율이 일본에 비해서는 높게 나타나고 있어 이는 일본이 봄철에 우천인 날이 상대적으로 길기 때문인 것으로 믿어진다. 계절별로는 연중 여름철의 일사조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 일사조건은 봄과 여름철은 각각 24%, 25% 높았으며, 가을과 겨울철은 14%, 35% 정도 상대적으로 낮았다.

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 동아시아 지역의 태양자원, 즉 수평면 전일사량 분포 현황도이다. 그림에서 보는바와 같이 동아시아의 수평면 전일사량의 연평균로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.55 kWh/m<sup>2</sup> 정도의 태양광에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

동아시아 분포상의 특징을 일사조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 그림에서 보는바와 같이 한반도 남해중서부지방과 태안반도, 그리고 영주분지 일원과 일본의 히로시마-오사카-나고야-시즈오카를 잇는 지역 이남지방과 시코쿠, 규슈지역 일대에서 일사조건이 동아시아 전 지역에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 다음은 한반도 중부이남과 북부동해안 및 서해안지방, 중부이북지방, 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 일사를 기록하여 태양에너지의 강도의 대기내의 대기오염물질과 지구상의 위도와 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 짐작할 수 있다.

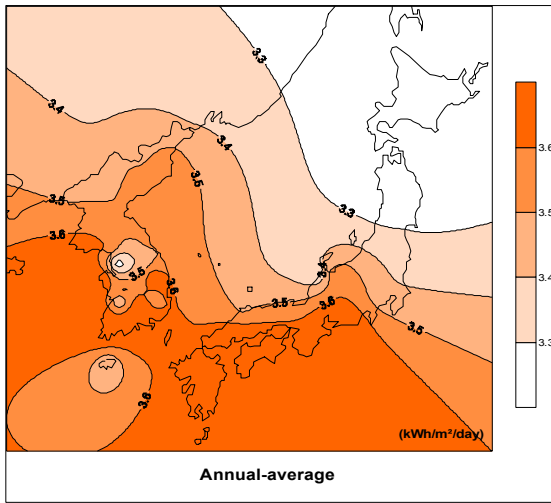


Fig.1 동아시아 전지역 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도

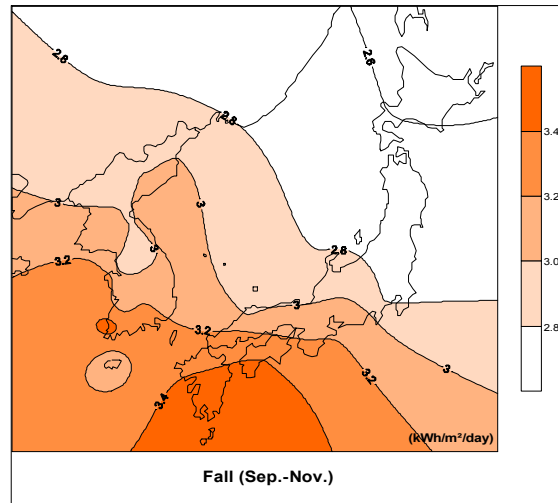


Fig. 4 동아시아 전지역 가을철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

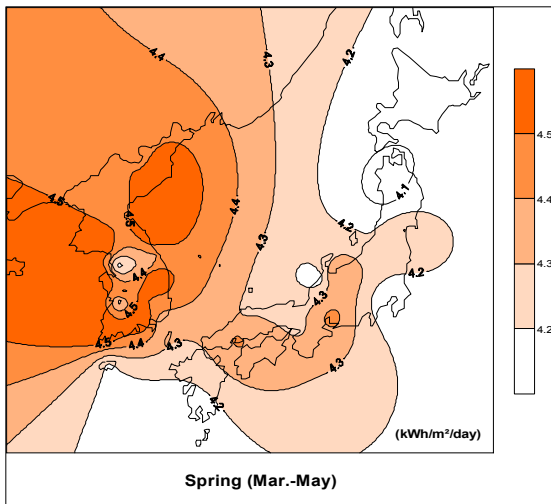


Fig.2 동아시아 전지역 봄철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

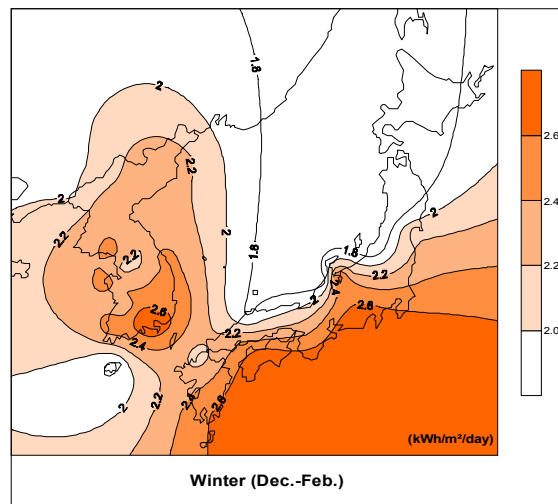


Fig. 5 동아시아 전지역 겨울철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

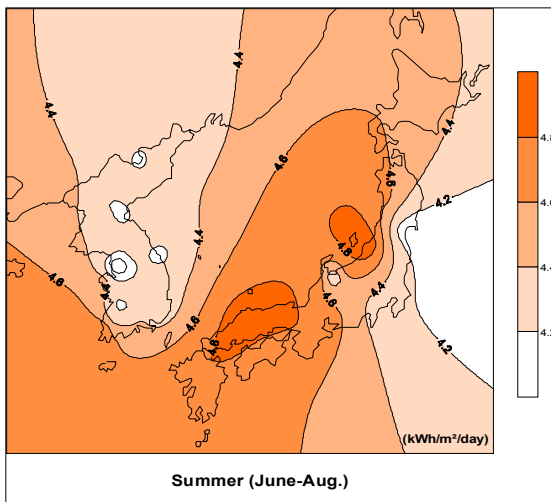


Fig. 3 동아시아 전지역 여름철 일평균 수평면 전일사량 자원분포도

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

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

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.

## 5. 결론

동아시아 지역 내에서의 태양광에너지 이용가능성 분석 평가를 위하여 1982년 1월부터 2004년 12월까지 기간 동안 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 시물레이션 예측치와 실측치와의 연평균 오차가 서울을 포함한 일부지역을 제외하고는 대부분 지역에서 예측치에 대한 실측치의 오차범위가 -3.8~+2.6% 내에서 나타나 예측치는 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.
- 2) 한반도 및 그 인접국가인 일본을 포함한 동아시아 주요 45개 전 지역에서의 태양자원, 즉 수평면 전일사량은 연 평균치로 계산하였을 때, 동아시아 전국이 하루에 3.55 kWh/m<sup>2</sup> 정도의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났다.
- 3) 동아시아 지역의 월별 수평면 전일사량의 일사조건을 일년을 기준으로 볼 때, 일사조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 4.92 kWh/m<sup>2</sup>인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.89 kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다.
- 4) 계절별로 동아시아 지역은 연중 여름철의 일사조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연 평균치에도 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 일사조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 한반도 남해중서부지방

과 태안반도, 그리고 영주분지 일원과 일본의 히로시마-오사카-나고야-시즈오카를 잇는 지역 이남지방과 시코쿠, 규슈지역 일대에서 태양광조건이 동아시아 전 지역에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 다음은 한반도 중부이남과 북부동해안 및 서해안지방, 중부이북지방, 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 일사를 기록하였다.

그러나 이 발표논문에서 제외된 태양자원을 측정하지 못하는 동아시아 일부 특정지역에 대하여는 앞으로 인공위성 영상 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 보다 적용하여 동아시아에서의 전반적인 태양에너지 이용가능성에 대한 평가를 보다 정밀히 시도할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2007-N-NC04-P-02).

## Reference

1. The Kenneth E. Johnson Environmental and Energy Center, Solar Radiation Data Source -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. 조덕기 외, 인공위성영상 예측기법을 적용 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.