

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 24, No. 2, 2004

태양광발전단지 건설을 위한 태양광자원 정밀조사

조덕기*, 강용혁*, 이의준*, 오정무*

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

A Detailed Survey on the Solar Availability for the Construction of Photovoltaic Power Generation Sites

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

*Korea Institute of Energy Research(dokkijo@kier.re.kr/ yhkang@kier.re.kr/ ejlee@kier.re.kr/ cmauh@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 insolation data. The Korea Institute of Energy Research(KIER) has begun collecting horizontal global insolation data since May, 1982 at 16 different locations. Because of a poor reliability of existing data, KIER's new data will be extensively used by solar photovoltaic system users as well as by research institutes.

From the results, we can conclude that

- 1) The yearly averaged horizontal global insolation of Korea was turned out 3.57 kWh/m².day in the periods of 1982~2001.
- 2) Horizontal global insolation of spring and summer was respectively 24 % and 21 % higher than the yearly average value, and that of fall and winter was respectively 12 % and 34 % lower than the yearly average value.

Keywords : 수평면 전일사량(Horizontal Global Insolation), 측정네트워크(Measurement Network)

1. 서 론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에서 에너지의존도를 경감시키고 안정된 국민경제를

이룩하기 위하여 대체에너지의 개발이 절대 필요하며, 우리나라에서 태양자원이 풍부하게 산재되어 있는 지역의 부존자원을 최대한 효율적으로 활용하기 위해서 대단위 태양광발전단지 건설과 태양광발

전시스템을 대량보급을 유도하기 위하여 본 연구의 수행이 필요하였다.

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

2. 측정네트워크의 구성 및 자료처리

태양광자원의 광역분포 상태를 정확히 알기 위해서는 반드시 측정네트워크를 설치해야 하며, 네트워크를 구성하고 있는 각 측정지점은 서로 이상적인 거리간격을 유지해야만 한다. 여러 학자들이 실험분석을 통해 제시한 측정지간의 거리에 따른 태양광에너지의 표준편차¹⁾에서 대략 그 거리간격이 100 km를 초과하지 않는 것이 좋을 수 있지만, 아직 이상적인 거리 결정에 관한 기준은 알려진 것이 없다. 특히 Suckling과 Hay는 불규칙한 관계에서 경험식을 유도하여 최대측정거리를 산출해 낸 바도 있다. 그 결과에 의하면 인접지간의 일사량 분포를 평가하는 데는 최대 50 km가 가장 적당한 측정거리인 것으로 나타나고 있다²⁾. 본 연구에서는 이와 같은 점들을 고려하여 전국의 태양광에너지 광역분포 상태를 분석하기 위하여 측정지간의 평균거리를 약 100 km로 설정하고 전반적인 실측 데이터의 정확도 평가를 위해 표 1에서 보는바와 같이 한국에너지기술연구원 관측지 16개소, 즉, 서울, 춘천, 강릉, 원주, 서산, 청주, 대전, 전주, 광주, 목포, 영주, 대구, 포항, 부산, 진주, 제주를 대상으로 전국 태양광에너지 측정지로 선정하였다. 측정지 선정작업에 고려된 사항은 우선, 측정지 상호간의 거리는 가능한 균등하게 유지하고, 내륙, 해

안 등 지역적 특수성에 따른 일사량변동 형태를 연구할 수 있도록 측정지 선정에 반영하며, 측정지는 시스템의 관리유지와 데이터 수집이 용이한 곳이어야 한다. 또한 측정지의 수는 인원, 예산 등을 감안하여 가능한 최소한으로 한다 등이었다.

표 1. 전국 태양광자원 측정지 명세

| 지역명 | 지역번호 | 위도 | 경도 | 고도 |
|-----|------|---------|----------|--------|
| 춘천 | 101 | 37° 54' | 127° 44' | 74.0 m |
| 강릉 | 105 | 37 45 | 128 54 | 26.0 |
| 서울 | 108 | 37 34 | 126 58 | 85.5 |
| 원주 | 114 | 37 20 | 127 57 | 149.8 |
| 서산 | 129 | 36 46 | 126 28 | 19.7 |
| 청주 | 131 | 36 38 | 127 26 | 59.0 |
| 대전 | 133 | 36 22 | 127 22 | 67.2 |
| 포항 | 138 | 36 02 | 129 24 | 2.5 |
| 대구 | 143 | 35 53 | 128 37 | 57.8 |
| 전주 | 146 | 35 49 | 127 09 | 51.2 |
| 광주 | 156 | 35 10 | 126 53 | 70.3 |
| 부산 | 159 | 35 06 | 129 02 | 69.2 |
| 목포 | 165 | 34 49 | 126 22 | 36.5 |
| 제주 | 184 | 33 31 | 126 32 | 22.0 |
| 진주 | 192 | 35 12 | 128 06 | 21.5 |
| 영주 | 272 | 36 52 | 128 31 | 209.5 |

태양광자원이라는 측면에서 볼 때, 그 이용방법상 태양전지모듈 등과 같은 태양광시스템을 설치할 때는 전일사량에 대한 상세한 자료를 요구하고 있다. 이들 데이터 처리와 분석을 위하여 각 측정지마다 미국 Eppley사가 제작한 PSP 수평면일사계 및 NIP 직달일사계와 SMT3 태양추적장치, 그리고 미국 Vaisala사의 데이터수집장치와 관련 부속장치³⁾를 설치하여 운영하였다. 또한 전국 16개 측정네트워크에 설치되어 있는 개개의 시스템에서 측정된 데이터를 전송매체인 통신회선을 통하여 통제소인 연구원에서 받을 수 있고, 시스템의 측정상태를 제어할 수 있는 형태로 결합시켜 유기적으로 작동하게 하는 컴퓨터 통신망의 구성과 정전을 대비하여 시스템 가동에 필요한 전력을 자체 내에서 조달하고, 측정작업과 데이터의 자체 저장 처리 문제 역

1) J.E. Hay, An Assesment of the Mesoscale Variability of Solar Radiation at the Earth's Surface, Solar Energy 32, 425-434, 1984.

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

3) 소선섭/이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.

시 스스로 해결할 수 있도록 측정의 무인자동화를 시도하였다. 관측지에서 측정한 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 분포현황 분석과 양적비교 분석, 경년변화 분석으로 구분하여 국내 태양광자원의 전반적인 평가가 가능하도록 총량적 분석내용으로 다루었다. 분석대상자료는 전국을 대상으로 1982 ~ 2001년 사이에 걸쳐 측정된 20년간 평균자료가 사용되었다.

3. 분석결과

3.1 분포형태

그림 1은 지난 20년 동안(1982 ~ 2001) 측정된 실측된 자료의 평균치를 가지고 근접지역간의 일사량을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의 지점의 태양광자원을 산출하는 전산 시뮬레이션 기법으로 그린 전국적인 태양광자원, 즉 수평면 전일사량 분포 현황도이다. 그림에서 보는바와 같이 우리나라의 수평면 전일사량의 연평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.57kWh/m^2 정도의 태양광에너지를 받고 있는 것으로 나타났다.

분포상의 특징을 태양광조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 중서부 남해안지방과 태안반도 일대, 그리고 영주분지 일원의 태양광조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일대, 중부이남 및 중부이북지방 순으로 나타났다. 반면에 대기오염이 심각한 서울지방은 전국에서 가장 낮은 일사량을 기록하였으며, 그 다음으로 낮게 나타난 제주도의 경우는 측정지가 제주시에 위치하였기 때문에 한라산 이북지방의 태양광조건이 일기불순으로 생각보다 좋지 않음을 알 수가 있다.

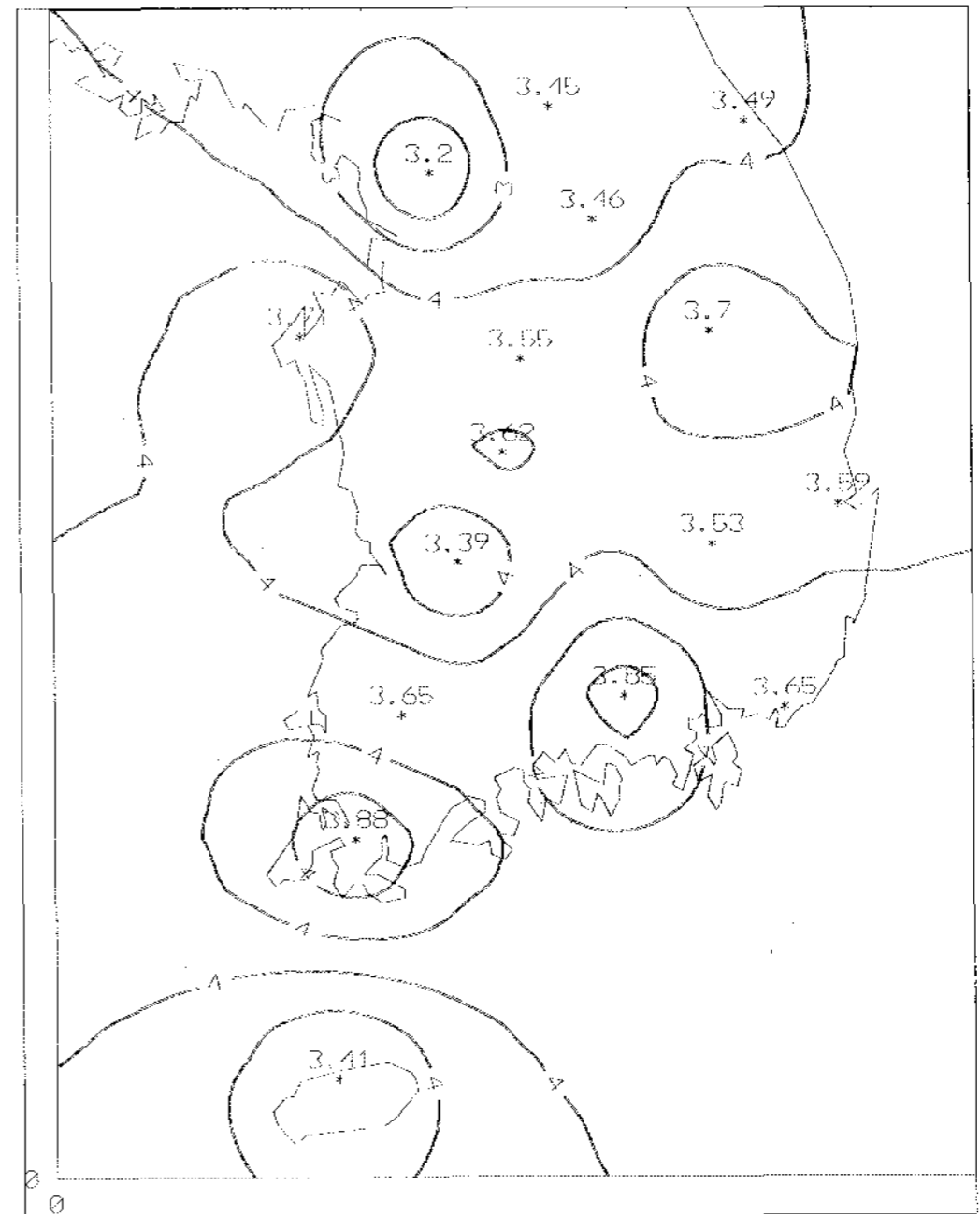
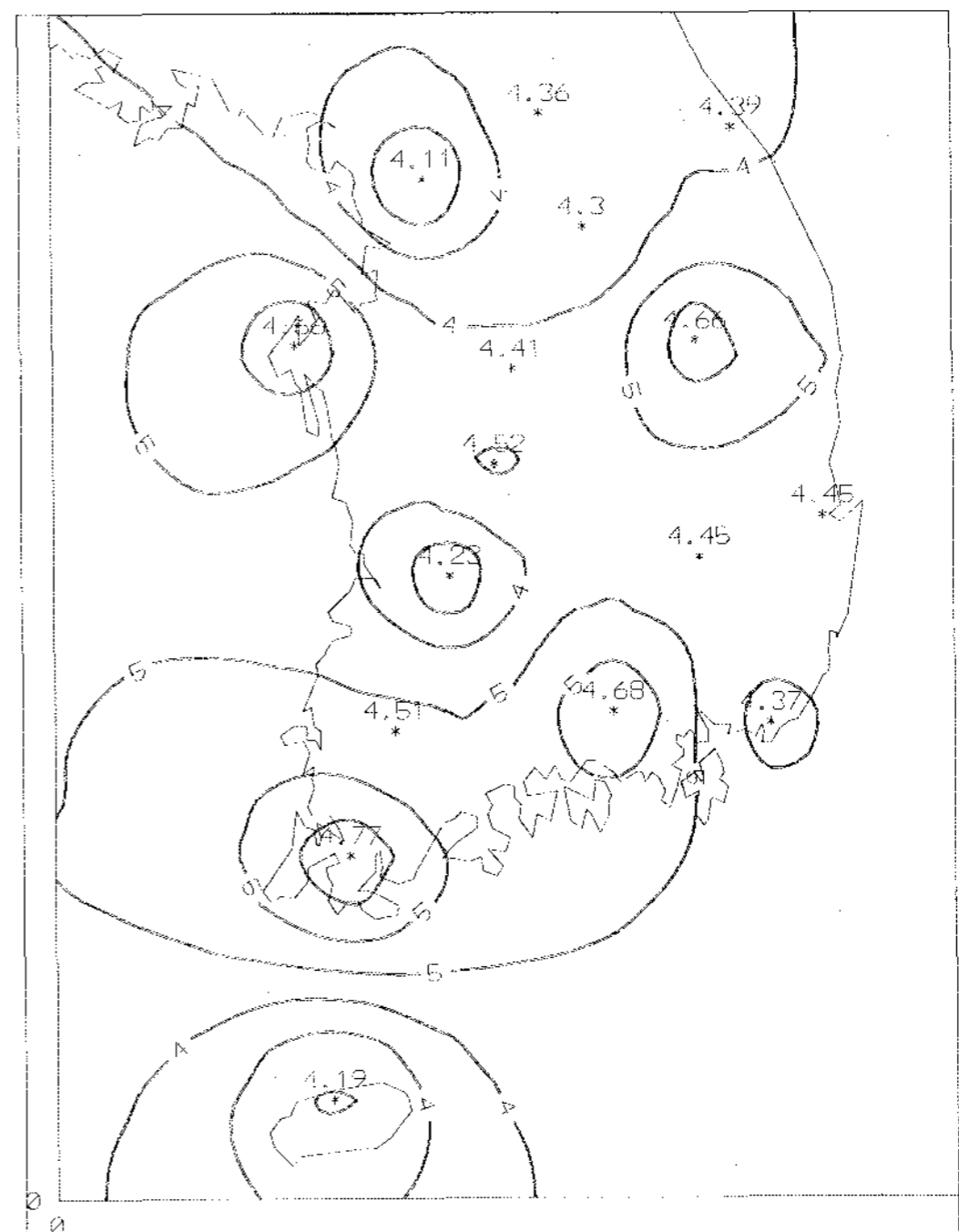
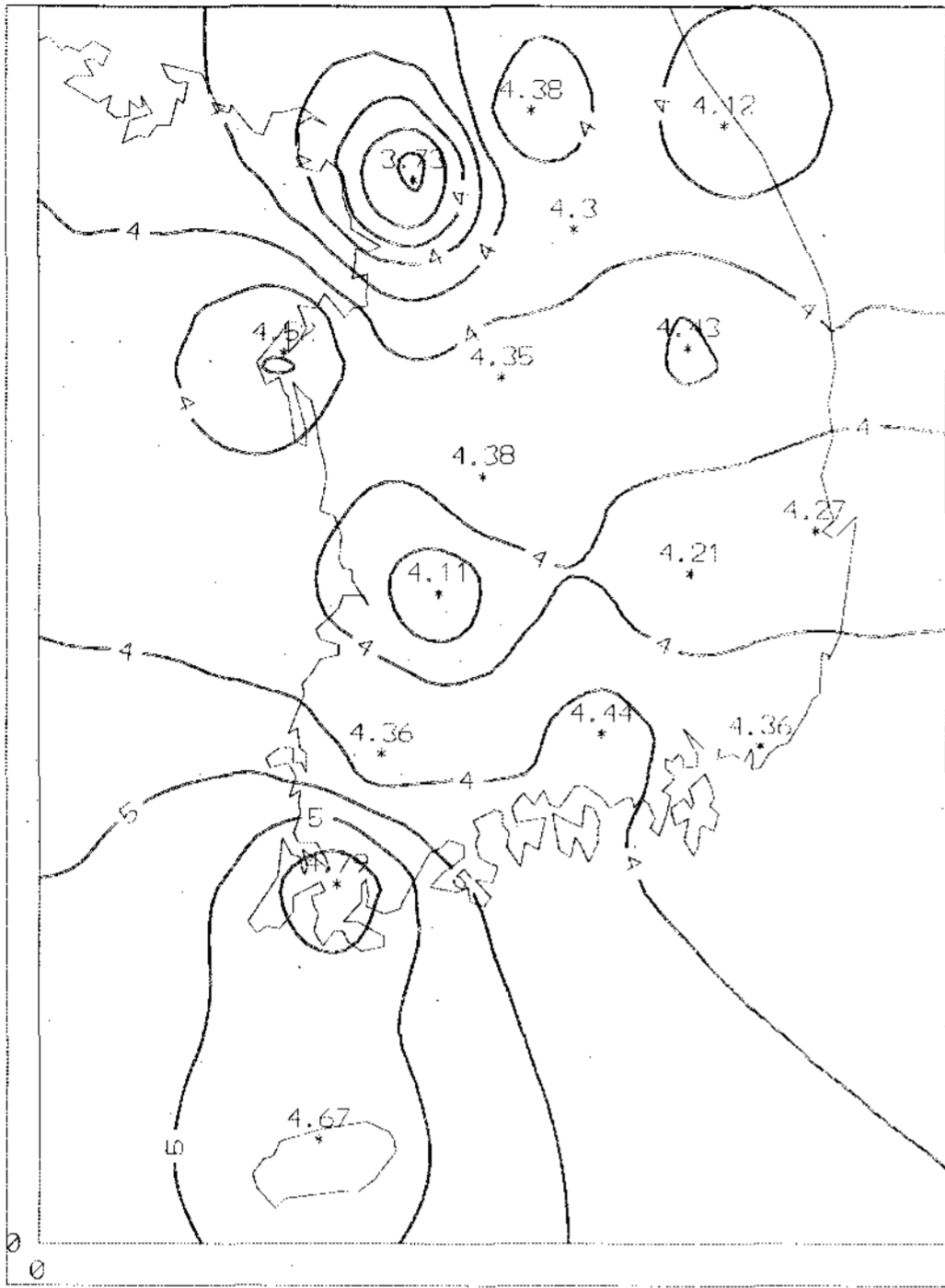


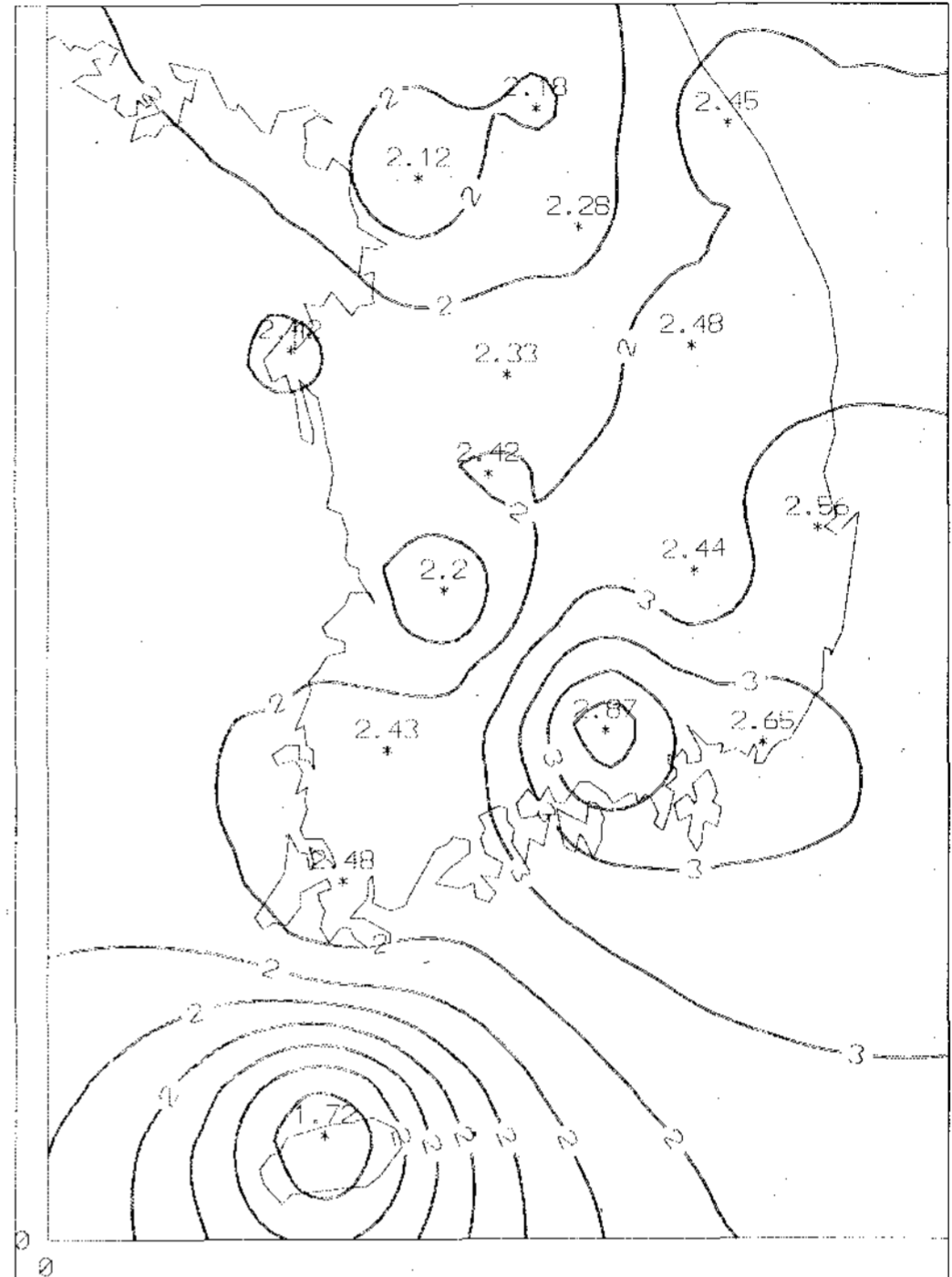
그림 1. 전국 연평균 1일 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m².day)



봄 (3~5월)



여름 (6~8월)



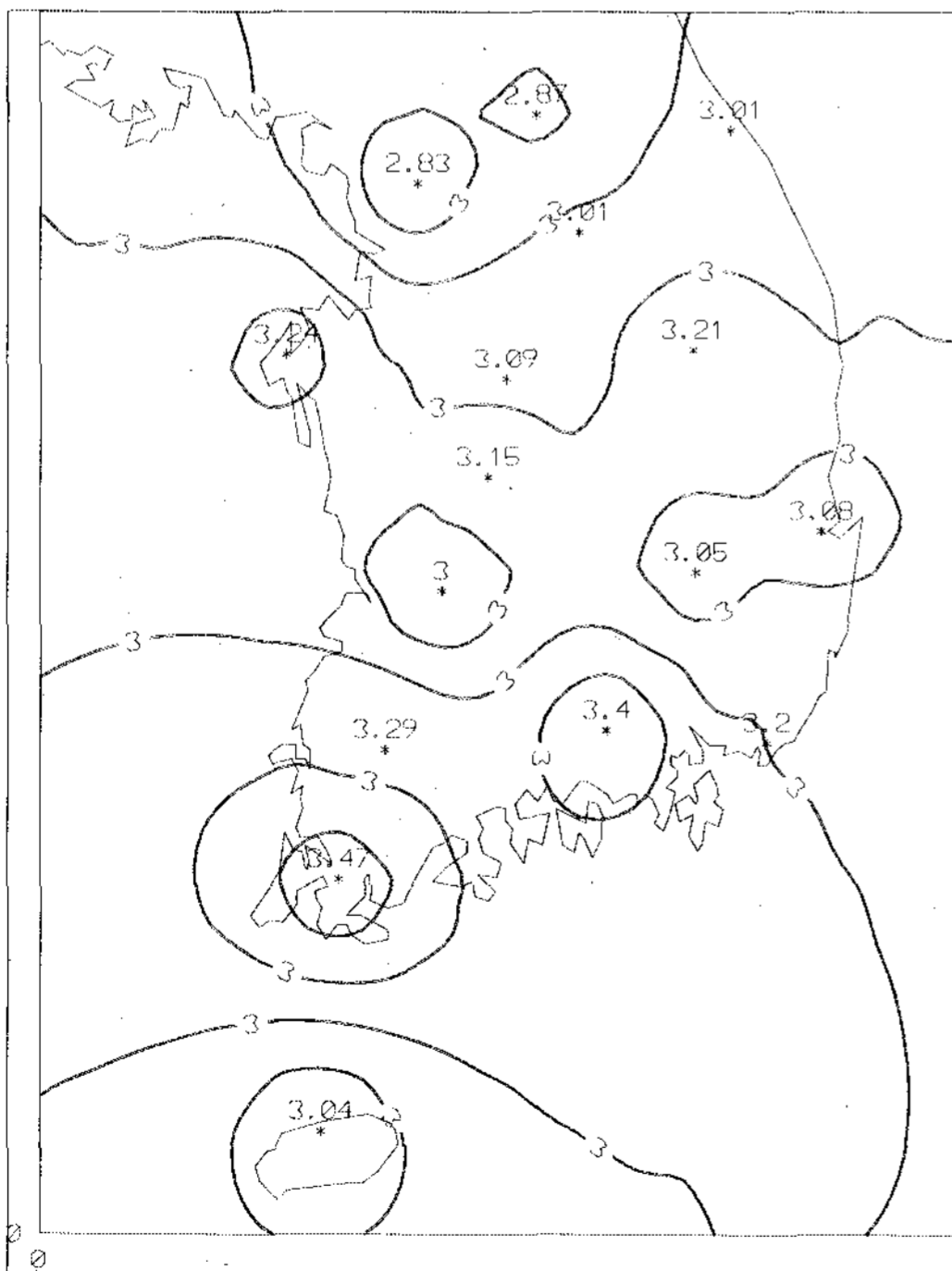
겨울 (12~2월)

그림 2. 전국 계절별 일평균 수평면 전일사량 자원분포도 (kWh/m².day)

또한, 우리나라의 태양광자원에 대한 계절별 일일 수평면 전일사량 분포특성은 그림 2에서 나타난 바와 같이 봄철과 가을철의 일사조건은 대체로 내륙지방의 지역보다는 해안지방의 지역이 좋으며, 여름철은 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 태양광이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

3.2 양적 비교평가

우리나라의 계절별 태양광자원의 수평면 전일사량 조건을 일년을 기준으로 분석하여 보면, 표 2에서 보는바와 같이 태양광조건이 가장 좋은 계절은 봄철과 여름철로 나타났으며, 연평균 일사량보다도 각각 24%, 21% 높게 나타났다. 반면에 가을철과 겨울철의 태양광조건은 각각 13%, 33% 정도 상대적으로 낮게 나타났다.



가을 (9~11월)

한편, 분석결과 우리나라의 태양광조건은 표 2에서 나타난바와 같이 우리나라와 동일 위도상에 있는 일본의 중부지방에서 '41 ~ '70년 기간동안 측정된 일사값과 거의 비슷한 수준임이 밝혀졌다. 동경을 비롯한 11개 측후소에서 30년간에 걸쳐 관측된 일사량 자료와 연구사업에서 얻은 자료가 양적으로 매우 흡사한 것은 같은 위도상에 분포되는 태양광과 일치한다는 점에서 실측사업이 신뢰받을 수 있는 근거가 될 것이다.

표 2. 계절별 1일 평균 수평면 전일사량의 비교
(단위 : kWh/m².day)

| 계절 국가 | 봄 | 여름 | 가을 | 겨울 | 연평균 | 증감 |
|----------|------|------|------|------|----------|----------|
| 한국 | 4.43 | 4.33 | 3.12 | 2.38 | 3.57 (A) | B/A=1.00 |
| /A | 1.24 | 1.21 | 0.87 | 0.67 | 1.00 | |
| 일본중부 | 4.29 | 4.77 | 3.00 | 2.23 | 3.57 (B) | |
| /B | 1.20 | 1.34 | 0.84 | 0.62 | 1.00 | |

참고로 우리나라 주요지역에 대한 1982 ~ 2002년 기간동안의 태양광자원, 즉 월별 일평균 수평면 전일사량 값을 표 3에 제시하였다. 이 자료는 우리나라에서 추진되고 있는 태양광에너지 이용 기술과 관련하여 각종 연구와 보급사업에 보다 활성화하기 위한 기준설계 자료의 대표 값으로 이용할 수 있으리라 생각된다.

5. 결론

지금까지 수행해 온 국내 태양광자원의 수평면 전일사량 분포특성 분석에 대한 실측평가 사업을 종합해 보면, 다음과 같은 결론을 얻게 된다.

1) 1982년 1월부터 2001년 12월까지 기간동안 우리나라 주요 20개 전지역에서 측정된 수평면 전일사량은 연평균치로 계산하였을 때, 전국이 하루에 3.57 kWh/m².day 정도의 태양광에너지 받는다.

표 3. 우리나라 주요지역의 월별 1일 평균 수평면 전일사량
(1982~2001)

(단위 : kWh/m².day)

| 지역명 | 월 별 | | | | | | | | | | | | 평균 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 춘천 | 2.04 | 2.80 | 3.59 | 4.56 | 4.93 | 4.84 | 4.05 | 4.25 | 3.74 | 2.88 | 1.99 | 1.71 | 3.45 |
| 강릉 | 2.33 | 2.95 | 3.60 | 4.59 | 4.98 | 4.44 | 4.08 | 3.83 | 3.61 | 3.10 | 2.31 | 2.08 | 3.49 |
| 서울 | 1.97 | 2.73 | 3.41 | 4.33 | 4.59 | 4.30 | 3.32 | 3.57 | 3.54 | 2.95 | 2.01 | 1.66 | 3.20 |
| 원주 | 2.07 | 2.81 | 3.50 | 4.51 | 4.88 | 4.72 | 3.97 | 4.21 | 3.78 | 3.10 | 2.13 | 1.80 | 3.46 |
| 서산 | 2.26 | 3.07 | 3.86 | 4.83 | 5.29 | 5.03 | 4.12 | 4.42 | 4.09 | 3.38 | 2.25 | 1.93 | 3.71 |
| 청주 | 2.17 | 2.95 | 3.59 | 4.61 | 5.04 | 4.72 | 4.14 | 4.21 | 3.84 | 3.22 | 2.21 | 1.87 | 3.55 |
| 대전 | 2.24 | 3.03 | 3.79 | 4.79 | 4.97 | 4.56 | 4.23 | 4.35 | 3.82 | 3.30 | 2.33 | 2.00 | 3.62 |
| 포항 | 2.41 | 3.01 | 3.63 | 4.66 | 5.51 | 4.58 | 4.11 | 4.12 | 3.55 | 3.19 | 2.50 | 2.25 | 3.59 |
| 대구 | 2.28 | 2.94 | 3.73 | 4.64 | 4.97 | 4.56 | 4.09 | 3.99 | 3.55 | 3.22 | 2.36 | 2.09 | 3.53 |
| 전주 | 2.06 | 2.72 | 3.43 | 4.48 | 4.77 | 4.41 | 3.94 | 4.00 | 3.65 | 3.18 | 2.16 | 1.81 | 3.39 |
| 광주 | 2.28 | 3.01 | 3.76 | 4.73 | 5.05 | 4.52 | 4.19 | 4.36 | 3.97 | 3.47 | 2.42 | 2.01 | 3.65 |
| 부산 | 2.50 | 3.15 | 3.68 | 4.52 | 4.92 | 4.47 | 4.26 | 4.37 | 3.60 | 3.38 | 2.63 | 2.31 | 3.65 |
| 목포 | 2.31 | 3.07 | 3.95 | 5.00 | 5.36 | 4.86 | 4.56 | 4.94 | 4.19 | 3.67 | 2.56 | 2.04 | 3.88 |
| 제주 | 1.42 | 2.24 | 3.18 | 4.41 | 4.99 | 4.58 | 4.92 | 4.51 | 3.71 | 3.24 | 2.18 | 1.51 | 3.41 |
| 진주 | 2.73 | 3.41 | 4.03 | 4.87 | 5.15 | 4.56 | 4.38 | 4.39 | 3.88 | 3.58 | 2.75 | 2.47 | 3.85 |
| 영주 | 2.33 | 3.02 | 3.85 | 4.86 | 5.28 | 4.82 | 4.21 | 4.27 | 3.96 | 3.30 | 2.38 | 2.09 | 3.70 |

2) 우리나라의 월별 수평면 전일사량의 태양광조건을 일년을 기준으로 볼 때, 태양광조건이 가장 좋은 달은 5월로 하루에 5 kWh/m².day인 것으로 나타났으며, 가장 낮은 달은 12월로 하루에 1.98 kWh/m².day로 나타났다. 계절별로는 연중 여름철과 봄철의 태양광조건이 가장 좋으며, 가을철과 겨울철은 연평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 나타났다. 연 평균치에 대한 계절별 태양광은 봄과 여름철은 각각 24%, 21% 높았으며, 가을과 겨울철은 13%, 33% 정도 상대적으로 낮았다.

3) 우리나라의 일사조건은 우리나라와 동일 위도상에 있는 일본의 중부지방에서 '41 ~ '70년 기간동안 측정된 일사값과 거의 비슷한 수준임이 밝혀졌다.

4) 전국적인 수평면 전일사량 분포상의 특징을 일사조건이 좋은 순으로 지역대를 나누면, 남해중

서부지방과 태안반도 일대, 그리고 영주분지 일원의 일사조건이 전국에서 가장 좋은 곳으로 나타났다으며, 그 다음은 호남 및 김해평야 일대, 중부이남 및 중부이북지방, 제주도 순으로 나타났다고, 대기오염이 심각한 서울지방은 전국에서 가장 낮은 일사량을 기록하였다.

또한, 우리나라의 수평면 전일사량 자원에 대한 계절별 태양광자원 분포특성은 봄철과 가을철의 태양광조건은 대체로 내륙지방의 지역보다는 해안지방의 지역이 좋으며, 여름철은 전국이 고른 분포를 나타낸 반면에, 겨울철은 남해지방 일원 지역의 일사량이 다른 지역들보다 상대적으로 높은 형태를 나타내었다.

그러나, 측정기간이 충분치 못하기 때문에, 현재까지의 결과만을 가지고 우리나라의 전반적인 태양광자원을 평가한다는 것은 아직 어려운 실정이다. 따라서 국내에서도 태양광에너지사업 수행지역과 북한과의 경협이 확대됨에 따라 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 정확한 태양광자원 자료가 절실히 요구되고 있으나 태양광 측정네트워크가 일부 남한 지역에만 국한됨에 따라 북한지역을 포함한 한반도 전지역에 대한 태양광에너지 자원 산출은

현실적으로 불가능 실정이다. 따라서, 태양광자원을 측정하지 못하는 일부 특정지역에 대하여 인공위성 영상 등을 이용한 태양광자원 예측기법을 적용하여 한반도에서의 전반적인 태양광에너지 이용가능성에 대한 평가를 시도할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2000N-S001-P-03).

참 고 문 헌

1. 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2002.
2. 소선섭 / 이천우, 기상관측법, 교문사, 1986.
3. Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3-145.
4. Garg H.P., Treatise on Solar Energy, John Wiley & Sons, 1982, pp. 26-131.
5. Dickinson, William C., and Chermisinoff Paul N., Solar Energy Technolog Handbook, Dekker, Inc., 1982.