

ORIGINAL ARTICLE

## 국지 기상 요소에 의한 태양광 발전량 변동특성에 관한 연구

이순환\*, 김해동<sup>1)</sup>, 조창범<sup>2)</sup>

부산대학교 지구과학교육과, <sup>1)</sup>계명대학교 지구환경학과, <sup>2)</sup>국립기상연구소 응용기상연구과

### Study on the Variation Characteristic of the Photo-Volatic Power Generation due to Regional Meteorological Elements

Soon-Hwan Lee\*, Hae-Dong Kim<sup>1)</sup>, Chang-Bum Cho<sup>2)</sup>

Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>1)</sup>Department of Global Environment Division, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

<sup>2)</sup>Applied Meteorology Research division, National Institute of Meteorological Research, Jeju 240-713, Korea

#### Abstract

In order to clarify the characteristics of Photo-Volatic(PV) power generation over the Korean peninsula with complex terrain, special meteorological observation campaign was carried out for one year from 25 May 2011. Analysis is based on the comparison between observed meteorological elements and PV values generated at rated capacity 200 kW power plants.

Solar radiation observed at 15° inclined surface is 11 % larger than that observed at horizontal surface due to low elevation angel of the sun during winter season. The PV power generation tend to be more similar the variation of inclined surface irradiance than horizontal surface irradiance. Increasing air temperature often induce disturbance of the PV power generation. However, the higher the air temperature in winter season, the higher PV power generation because the PV module may be more activated at higher air temperature. PV generating efficiency tends to be conversed the value of 15%.

**Key words** : Photo-Volatic power, Meteorological data, Field experiment, Solar radiation

#### 1. 서론

전 지구적인 규모로 진행되고 있는 지구온난화는 급격한 인구와 산업 활동 증가, 그에 따른 석유, 석탄 계열의 화석연료 소비 증가 등에 기인한다. 이러한 화석연료의 소비는 에너지 소비량 증가와 맞물려 현재 급격하게 증가하고 있다. 따라서 각국 정부는 현재 진행되는 지구

온난화를 완화시키고 인구 증가에 따른 에너지 소비를 감당하기 위하여 화석연료가 아닌 청정에너지 개발에 집중하고 있다. 또한 우리 정부가 2020년까지 국가 내에서 배출되는 이산화탄소의 양을 현재의 30 % 절감하는 감축 계획을 확정함에 따라 청정에너지인 신재생 에너지의 수요가 급격히 증가할 것으로 판단된다(Choi 등 2014; Jo 등, 2013). 특히 태양광에너지는 풍력에너지

Received 22 October, 2014; Revised 12 November, 2014;

Accepted 17 November, 2014

\*Corresponding author : Soon-Hwan Lee, Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Phone: +82-51-510-2706

E-mail: withshlee@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지와 더불어 기술적인 성숙도가 다른 신재생에너지에 비하여 높으며, 전자, 전기기술의 발달로 인하여 태양광 에너지 획득 기술의 발달 정도가 매우 빠르다. 또한 태양광발전은 전력 수요지에 근접하게 설치할 수 있기 때문에 배전 시스템을 간소화할 수 있다. 또한 환경적으로 풍력 터빈과 같은 대형 시설물에서 발생하는 소음이 없다는 측면에서 화석연료의 대체 가능성이 높은 신재생 에너지이다.

전 세계적으로 태양광에너지 자원은 23,000 TW/year로 매우 풍부하고, 무한정 공급된다는 측면에서 개발 가능성이 높다. 우리나라의 경우, 중위도 지역으로 중위도 기압대에서 날씨변동이 심하게 나타나지만 전라남도과 경상북도 지역의 태양광 발전 가능성 및 경제성이 매우 우수하게 나타난다. 그러나 태양광 설비의 관리에 대한 인식부족 및 일반적으로 사용하는 단결정 실리콘 패널의 발전효율이 15% 정도에서 머물고 있기 때문에 이를 향상시키기 위한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다(New and renewable energy center, 2008; Perez와 Perez, 2008).

현재 태양광 발전 단지의 건설에는 지형, 부지 재비용, 접근성, 송전 및 배전 비용, 패널의 수명 등 다양한 경제적인 요소가 고려되지만 가장 중요한 요소로 태양광 자원의 시공간적인 분포 특성이 고려된다. 이에 국가 연구기관인 에너지기술연구원과 기상청은 관측 및 수치모형을 바탕으로 한반도 전역에 대한 태양광 자원 분포를 조사하고 이를 정량적으로 표준화한 태양광 자원 지도를 작성하고 이를 공개하였다(Choi 등, 2011; Kim 등 2012).

그러나 태양광 발전량은 단순히 지면에 도달하는 태양광에너지 뿐 아니라 태양광을 전력화하는 패널의 효율에 밀접하게 관계한다. Hart와 Raghuraman(1982)과 Kou 등(1998)은 태양광 패널의 효율이 패널의 표면온도에 매우 밀접하게 관계한다는 것을 실내 실험으로 제시하였다. 그리고 현재 태양광 패널의 소재로 널리 사용되는 결정성 실리콘의 경우, 주위 환경에 따라 최대 270℃까지 상승할 수 있으며, 이러한 고온의 패널에서는 발전 효율을 급격하게 떨어지고 급기야 패널의 발전이 중지될 수 있음을 보였다(Tina와 Scrofani 2008; Marañada와 Piotrowicz, 2010; Fesharaki 등, 2011).

따라서 태양광에너지를 전기에너지로 전환하는 패

널의 표면 온도 특성은 태양광 발전 특성에 직접적으로 관계한다. 태양광 패널의 온도를 결정짓는 요소는 패널 재료가 나타내는 온도 전도 특성 뿐 아니라 패널에 접하고 있는 기온을 비롯한 기상학적인 요소가 관계한다. 따라서 이들 기상학적인 환경요소가 태양광 발전에 미치는 특성을 이해할 필요가 있다. 지금까지 대부분의 태양광 패널과 환경적인 요소의 특성은 매우 제한적으로 통제된 실내 실험을 통하여 정량적으로 제시하거나 매우 제한된 지역에서 관측된 자료로 제시되었다. 따라서 한반도와 같은 복잡한 지리적 특성이 포함된 야외 지역에서 연속적인 기상 관측을 바탕으로 한 태양광 발전 및 기상특성의 관련성에 관한 연구가 부족한 실정이다. 또한 종관적인 대기상태 뿐 아니라 국지적인 지형 특성에 따라 특징적인 기상환경이 나타날 수 있다는 점에서 복잡한 지형을 가진 지역의 태양광 발전 특성을 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 한반도 내 복잡지역인 경북 영천군지역에 위치한 태양광 발전소의 발전량과 장기 기상관측 자료를 분석하여 기온 및 일사량을 포함한 다양한 기상요소가 태양광 발전량에 미치는 영향을 살펴보고 태양광 발전 효율향상을 위한 방안을 제시해 보고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 태양광 발전 효율

온도에 따른 태양광 발전 효율은 아래와 같은 실험실 내 관측치의 선형관계를 갖는다(Notton 등, 2005).

$$\eta = \eta_{\text{exp}} (1 - \beta (T_c - T_{\text{ref}}) + \gamma \log_{10} R)$$

이다. 여기서  $\eta, \eta_{\text{exp}}$ 은 각각 실제 패널 작동온도와 기준온도에서의 발전 효율,  $\beta$ 는 실험실에서 측정된 패널 온도 변동계수,  $T_c, T_{\text{ref}}$ 는 각각 패널 온도와 실험실 기준 온도 (℃)이다. 그리고  $\beta, \gamma$ 는 각각 실험실에서 측정된 패널온도 변동계수와 태양광 전달계수이며, 석영 실리콘의 경우 그 값이 0.004 K<sup>-1</sup>와 0.12이다.  $R$ 은 일사량 (W/m<sup>2</sup>)을 의미한다.

위 식에서 발전 효율은 패널의 온도와 일사의 함수로 주어진다. 여기서 일사량은 독립변수이기 때문에 궁극

적으로 패널의 온도변화에 따라 태양광 발전효율이 결정된다. Kou 등(1998)은 패널작동 온도를 아래와 같이 제시하였다.

$$T_c = T_a + \left(\frac{R}{R_{NOCT}}\right)\left(\frac{D_{NOCT}}{D}\right)(T_{NOCT} - T_a)\left(1 - \frac{\eta}{\tau}\right) \quad (1)$$

여기에서 첨자 NOCT는 일반적으로 태양광 패널이 작동하는 온도 20 ℃를 의미한다. 그리고 D는 온도상승에 의하여 감소하는 전력량(W/m<sup>2</sup>K), τ는 투과하는 태양광을 나타낸다.

따라서 태양광 패널온도는 기상요소에 직접적으로 영향을 받고 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 관계식은 제한된 실내 공간에서 적용된 것이다. 실질적 태양광

발전소 환경에서 패널온도를 결정하는 요인은 매우 복잡하고 비선형적으로 작용한다.

본 연구는 직접적으로 관측한 기상요소와 태양광 발전량의 관계를 살펴보고자 한다. 일반적으로 두 변수 간의 다양성은 산포도로 평가하고, 도표상의 좌표 수치를 통하여 변수 간의 관련성을 분석하고 각종 기상요소의 변동성과 태양광 발전량의 변동 특성을 제시한 상관계수 특성을 살펴보고 이들의 관계 특성을 제시하였다.

2.2. 분석자료

본 연구에 사용된 태양광 발전량 자료는 경상북도 칠곡군에 위치한 태양광 발전소의 자료이다. Fig. 1은 태양광 발전소의 위치를 나타낸 것이다. 발전소는 대구광역시 북쪽의 경상북도 칠곡군 내 산악 지역의 하부 골짜기 부분에 위치하고 있으며, 남북으로 이어지는 고도 100 m 정도의 낮은 산지 사이에 위치하기 때문에 중규모 바람장인 산곡풍이 지배적으로 작용한다. 태양광 발

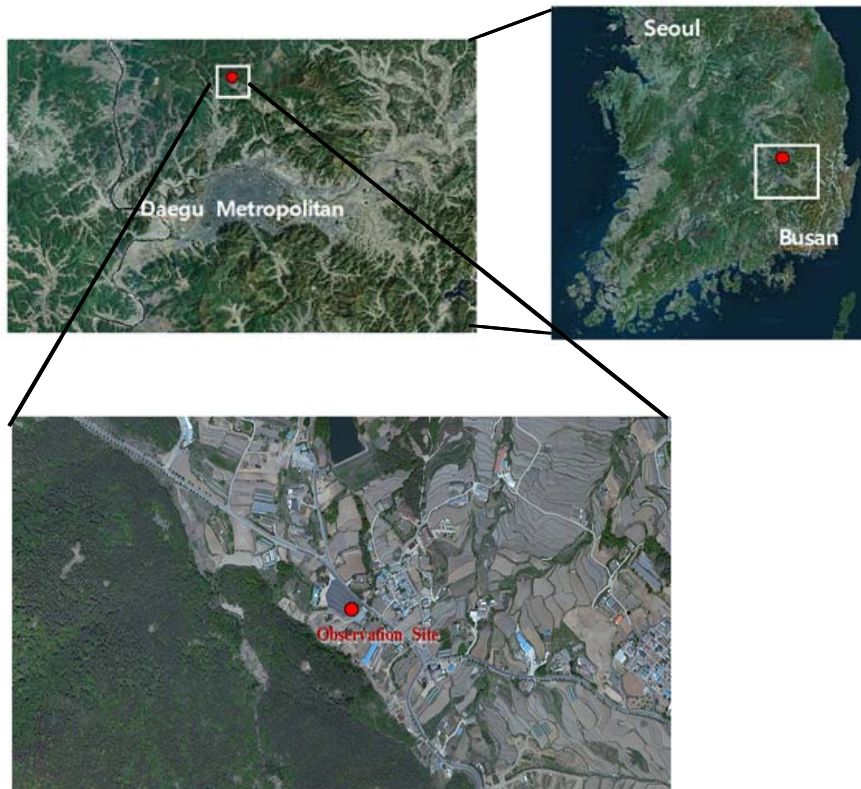


Fig. 1. Location of Photo-Voltaic(PV) power system and its satellite image.

전량은 5 kW급 단결정 실리콘 40면의 패널로 구성되어 최대 설비용량은 200 kW이다. 태양광 발전소는 최초의 민간 발전소로 2004년 9월부터 상업 운전을 실시하고 있다.

분석에 이용된 기상 자료는 발전소 부지 바로 옆에 설치한 자동기상관측장비(AWS)에서 측정된 자료를 사용하였다. Meyer와 Dyk(2000)은 남아프리카 공화국에서 실시한 실험에서 태양광 발전량을 산정하는 연구를 할 때에는 반드시 패널이 위치한 지역과 동일한 기상 영역 내 자료를 필요하다는 것을 제시하였다. 특히 본 연구 지역과 같은 복잡한 지역에서는 기상의 대표성을 가지는 영역이 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서 설치된 기상측정 장비에서 관측된 자료는 태양광 발전 패널 상의 기상 자료로 최적화되어 있다고 볼 수 있다.

측정 장비는 Vaisala 사의 온습도계 및 복사계이며, 특정 요소는 10 m 고도의 기온, 풍향 풍속, 습도, 전천 일사, 장파복사이다. 따라서 본 연구에서는 일사량, 기온, 바람, 습도의 요소를 중심으로 분석하였다.

분석은 기상관측장비가 설치된 2011년 5월 25일부터 2012년 5월 24일 까지 약 1년 동안 자료를 이용하였다. 또한 동일한 기간 동안의 시간별 태양광 발전량 자료를 분석하여 통계적으로 두 요인과의 관계를 분석하였다. 자료는 데이터로거에 매 10 초마다 측정되며, 본

연구에서는 1시간 평균 자료를 활용하였고 자료의 수집은 매 1주일 간격으로 이루어졌다.

### 3. 결과

#### 3.1. 기상자료 및 발전량 추이

태양광 발전량은 다양한 기상요소에 의하여 결정된다. 따라서 기상요소의 변동 특성을 파악하고 이들이 태양광 발전량에 미치는 영향을 파악하여야 한다. 따라서 다양한 기상자료의 변동특성을 분석하였다. Fig. 2는 특별 기상 관측 기간인 2011년 5월 25일부터 2012년 5월 24일까지 1년 동안 나타난 기온과 바람의 변화를 나타낸 것이다. 기간 동안 관측된 연평균 기온, 풍속, 상대습도는 각각 15.2 °C, 1.2 m/s, 67.5 % 이다. 기온의 계절 변동성은 뚜렷하였으나, 바람의 계절 변동성은 겨울철 풍속이 여름철 풍속보다 약간 강하게 나타나는 정도로 명확하지 않다.

관측상 특이 기상 값을 살펴보면 최고기온은 2011년 7월 17일에 관측된 31.6 °C이고, 최저기온은 2012년 2월 2일에 -14.6 °C로 연교차는 46.2 °C 이다. 풍속의 경우 2011년 6월 26일에 최대 풍속 4.4 m/s가 나타났으나 하계(6,7,8월) 평균풍속은 1.1 m/s로 낮은 풍속대가 관측되었다. 동계(12, 1, 2월) 평균풍속은 1.5 m/s로 하

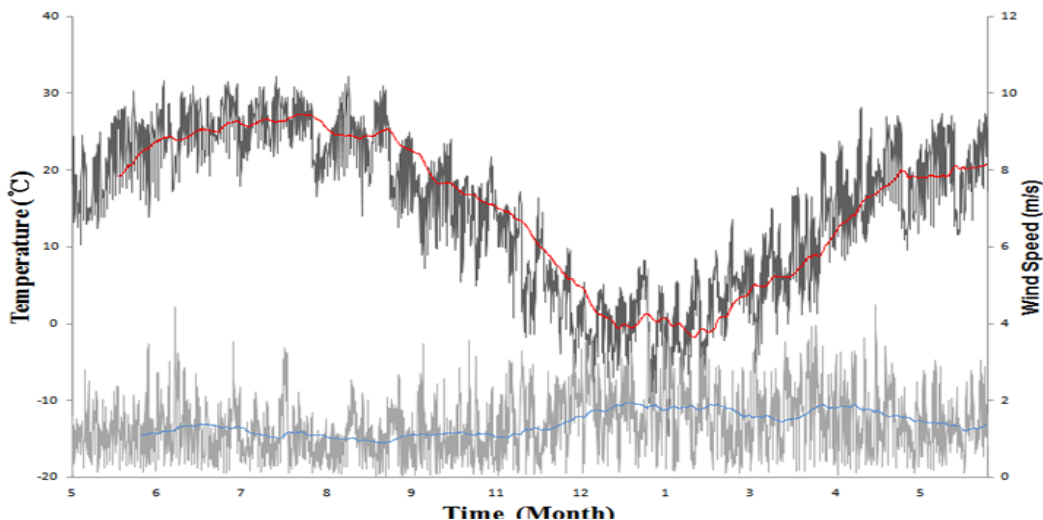


Fig. 2. Temporal variation of air temperature and wind speed at 10 m high above ground level during the campaign period. The solid lines are moving averaged of temperature and wind speed with 10 days window.

계 평균풍속보다는 크게 나타났지만 전체적인 풍속의 강도는 크지 않았다. 이는 태양광 발전 관련 특별 관측 사이트가 남북으로 평행한 골짜기 사이에 위치하기 때문에 종관바람의 영향을 적게 받는 것으로 판단된다. 상대습도는 종관장에 의하여 좌우되는데 기온이 높은 여름철의 평균 상대습도는 81.3 % 이고, 겨울철 평균 상대습도는 52.6 % 로 여름철과 겨울철의 상대습도 차이가 크게 나타난다.

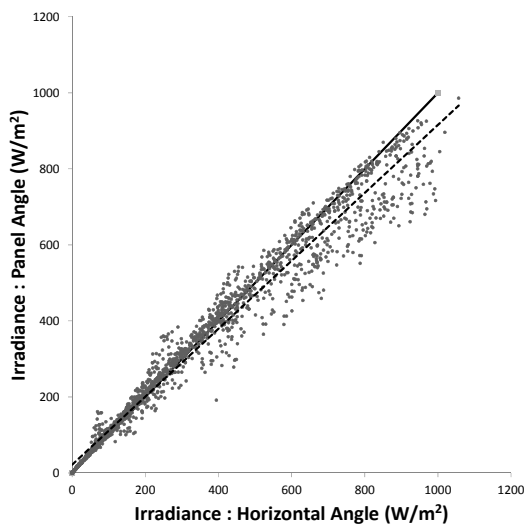


Fig. 3. Scatter plot of vertical and inclined surface quantity of solar radiation during the campaign period. Solid line indicate the trend between two different solar radiation, and dashed line is diagonal line.

태양광 발전량에 1차적으로 영향을 미치는 기상요소는 지면 도달 일사량이다. 따라서 태양광 발전소의 입지를 결정하는 가장 중요한 요소는 그 지역의 일사강도와 일조시간이다. 본 연구에서 측정한 일사량은 두 종류로, 이들은 각각 지면에 평형하게 일사계를 설치하여 측정한 일사량과 지면과 일정한 각도(15°)를 두고 설치한 일사계를 통하여 측정한 일사량이다. 이때 경사면 일사량의 경사는 실제 발전소에 설치된 태양광 패널의 경사와 동일하다. Fig. 3은 연구기간 중 측정된 수평면 일사량과 경사면 일사량의 상호 관련성을 나타낸 것이다. 그리고 두 자료의 추세선을 실선으로, 또한 대각선을 점선으로 제시하였다. 두 가지 일사량은 전체적으로 잘 일

치하고 있으며 R2가 0.97로 상관도가 매우 높다. 그러나 이 두 관측치의 추세선과 대각선을 살펴보면 수평면 일사량보다 경사면 일사량이 높게 나타난다. 즉 동일한 일사에 대하여 수평면에서 측정하는 일사량보다 경사면에서 측정하는 일사량이 크게 나타나는 것을 의미한다. 따라서 태양광 발전시 태양광 패널을 경사지게 설치하는 것이 태양광 발전에 유리하다.

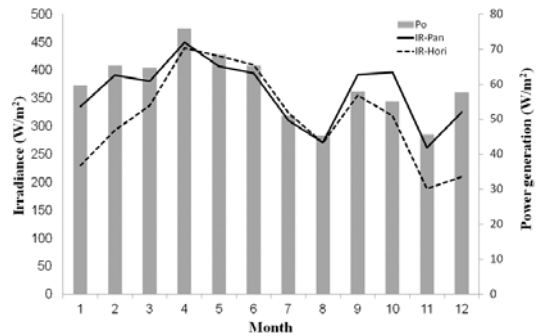


Fig. 4. Monthly mean solar radiation detected horizontal and inclined surface and monthly mean PV power generation.

이들 두 가지 태양광 일사량이 태양광 발전에 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 4는 특별 관측 기간 중에 측정된 월평균 수평면 일사량과 경사면 일사량 그리고 실제 태양광 패널을 통하여 생산된 발전량을 나타낸 것이다. 경사면 일사량은 봄철에 가장 높은 값을 나타내고 여름철에 가장 낮은 값을 보인다. 수평면 일사량은 경사면 일사량과 마찬가지로 봄철에 가장 높게 나타났으나, 가장 낮게 나타난 것은 경사면 일사량과 달리 겨울철에 가장 낮은 값을 나타낸다. 또한 이 둘의 차이는 겨울철에 최대이고, 봄, 여름철에는 큰 차이가 나타나지 않는다.

겨울철 수평면 일사량이 최소가 되는 것은 겨울철 태양고도가 낮아지는 것과 비례하여 단위면적당 입사되는 태양에너지양이 경사면에 비하여 크게 작아지기 때문이다. 여름철 경사면 일사량이 최소가 되는 것은 종관 기상학적으로 여름철 대기 불안정에 따른 구름 및 강수 발생 빈도가 증가하기 때문에 일사 차체가 차단되기 때문이다. 따라서 전체 평균 경사면 일사량은 389.7 W/m<sup>2</sup> 인데 비하여 수평면 일사량은 349.5 W/m<sup>2</sup> 로 경사면에 비하여 약 11 % 적게 관측된다. 따라서 태양광 발전소

입지를 선정할 때 지역의 겨울철 태양광 입사 특성을 파악하여 태양광 패널의 각도를 정확히 산정하는 것이 요구된다.

서로 다른 일사량에 따른 발전량의 추이를 분석하였는데 실제 발전량은 경사면 일사량과 매우 유사한 경향성을 가진다. 또한 발전량은 여름철의 태양광 발전량추이와 비슷하지만 가을철과 겨울철에 이르는 기간 동안 수평면 일사량의 변동성은 실제 발전량의 변동성과 차이가 난다. 이는 실제 발전을 유도하는 태양광 패널이 일정한 경사를 가지고 설치되었기 때문이다. 따라서 가을과 겨울철 태양광 발전량의 효율적인 확보를 위하여 태양의 이동경로를 고려한 태양광 패널의 경사의 크기를 정확히 파악하여야 한다.

3.2. 기상자료와 태양광 발전 상호 관련성 분석

실질적으로 태양광 발전량은 태양광 패널의 표면 및 내부 물리적 상태에 따라 그 효율이 결정된다. 식 (1)에서 제시한 바와 같이 일사량 뿐 아니라 바람, 기온, 습도 등 기본적인 기상요소들도 이러한 패널의 물리적 특성에 영향을 미치고 이들은 최종적으로 태양광 발전량의 변화를 초래한다. 기상청(2011)은 잘 통제된 실내 실험을 통하여, 바람이 강할수록 기온과 더불어 패널의 표면 온도가 뚜렷하게 하강하며, 이러한 패널의 온도 강하는 생산되는 발전량에도 직접적으로 영향을 줄 수 있다고 제시하였다(Fig. 5).

그러나 실험에서는 매우 정교하게 통제된 실내에서 실시하였기 때문에 바람의 풍속에 매우 일정하게 작용하지만 실제 자연환경 다양한 바람이 불규칙하게 불기 때문에 실제 태양광 발전소 주변의 바람을 적용하여 분석하여야 한다. Fig. 6은 특별 관측 기간 중에 측정된 바람과 태양광 발전량간의 산포도를 나타낸 것이다. 태양광 발전량과 풍속의 상관관계를 보면, 비록 상관 계수는 높지 않지만 뚜렷한 양의 상관을 가진다. 즉 풍속이 증가할수록 태양광 발전량이 증가하는 경향을 가진다. 이는 바람이 가지는 온도 이류 효과와 패널에서 방출되는 현열플럭스가 크게 증가되기 때문인 것으로 판단된다. 즉 일사에 의하여 온도가 높아진 패널 표면에 차가운 공기의 이류에 의하여 패널 온도 상승이 억제되며, 동시에 바람에 의하여 패널에서 방출되는 높은 현열이 효율적으로 이동하기 때문이다. 특히 일사가 강한 낮 시간에

이러한 냉각효과가 뚜렷하다. 특히 주목하여야 할 점은 태양광 발전량에 따른 풍속 최저치의 증가가 매우 뚜렷하다는 것이다. 즉 고발전량에서는 풍속이 매우 중요하게 작용할 수 있음을 의미한다.

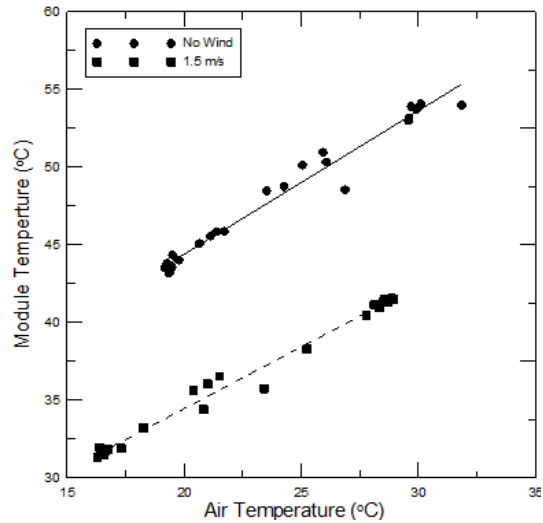


Fig. 5. Variation of air temperature and panel module temperature for different wind speed in indoor experiments (Korea Meteorological Administration, 2011).

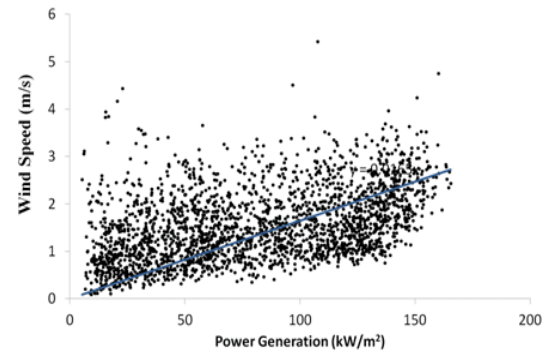


Fig. 6. Scatter plot of wind speed and PV power generation and its trend line.

대기중의 수증기량을 나타내는 상대 습도는 기온의 함수로 표현된다. 강수 또는 구름이 많이 나타나는 날은 상대 습도가 높아 일사가 직접적으로 차폐되고, 맑은 날에도 대기중의 수증기는 일사를 산란시키는 작용을 한다. 따라서 수증기량은 태양광 발전량 추정의 독립변수



가 아닌 종속변수의 역할을 할 수 있다. Fig. 7은 관측한 상대습도와 태양광 발전량의 산포도를 나타낸 것이다. 상대습도가 증가할수록 태양광 발전량의 감소 경향은 뚜렷하다. 특히 발전용량이 100 kWh 이상에서는 상대습도가 80 % 이하이며, 140 kWh 이상에서는 60 % 이하로 매우 건조한 상태를 나타낸다. 따라서 대기중의 수증기량은 태양광 발전을 방해하는 요인으로 작용하며, 상대습도는 감소할수록 발전량이 증가하는 경향을 보인다.

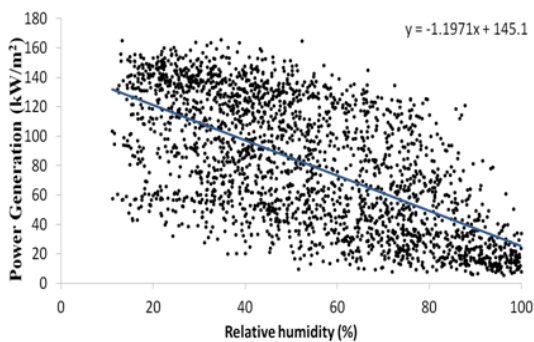


Fig. 7. Same as Fig. 6 except for relative humidity and PV power generation.

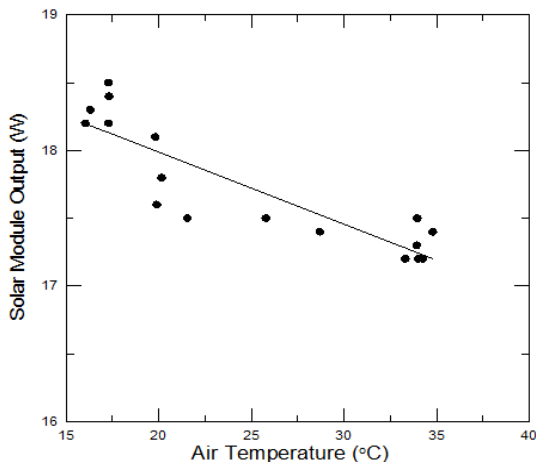


Fig. 8. Relation between air temperature and power generation from solar module in indoor experiments (KMA, 2001).

기상청(2011)은 바람과 마찬가지로 정교하게 제어된 실내 실험을 통하여 실내 기온과 태양광 패널에서 생산되는 전력량을 조사하였다. Fig. 8은 기상청(2001)에서

실험한 자료로 기온이 증가할수록 패널에서 생산되는 전력량이 선형적으로 감소하고 있다고 제시하였다. 또한 이전 연구에서 기온은 태양광 발전량과 음의 상관관계를 가진다고 제시하였다. 기온 또는 패널 표면의 온도가 높으면 태양광 패널의 전기적인 활동성 즉 효율이 떨어지는 것을 의미한다. 그러나 이들 연구의 대부분은 패널의 특성곡선을 살펴보기 위한 실험으로 주로 실내의 제한된 환경에서 실시되었다(Notton 등, 2005).

Fig. 9는 계절별 기온과 발전 효율의 관계를 나타낸 것이다. 발전 효율은 특정한 일사조건상에서 패널이 가지는 최대 발전량에 대한 실제 발전량을 의미한다. 관측 기간 전체에 대한 기온과 태양광 발전량은 이전 연구와 마찬가지로 음의 관계를 가진다. 그러나 계절적으로 분리하여 계절별 태양광 발전량과 기온과의 관계를 살펴보면 다른 경향을 볼 수 있다. Fig. 9에서 제시한 바와 같이 겨울철을 제외한 봄, 여름, 가을에서 음의 상관관계를 갖는다. 특히 각 계절별 추세선의 기울기를 보면, 봄철에는 -0.12, 가을철에는 -0.11인데 비하여, 여름철에는 기울기가 -0.32로 다른 계절에 비하여 약 3배 정도 강한 음의 상관관계를 나타낸다. 이는 기온에 대한 태양광 발전량의 민감도가 기온이 높은 여름철에 크게 나타나며, 발전기의 효율이 떨어질 개연성이 크다는 것을 의미한다.

또한 여기서 주목하여야 할 점은 다른 계절과 달리 겨울철에는 기온이 증가할수록 태양광 발전 효율이 증가하고 있다는 것이다. 또한 두 요소의 추세선 증가율도 0.22로 다른 계절에 비하여 크다는 것을 볼 수 있다. 이는 태양광 발전 효율이 기온이 높을 때 뿐 아니라 기온이 너무 낮은 경우에도 떨어질 수 있음을 의미한다. 패널의 전기적 활동성이 낮은 기온에서는 발전효율이 약화되기 때문에, 겨울철에는 기온이 높을수록 발전 효율이 증가하는 것으로 판단된다. 따라서 지역적으로 기온의 차이가 큰 경우 기온 분포도 태양광 발전 능력을 결정하는 요인으로 작용할 수 있다.

Fig. 10은 전체 기간중의 일사량과 발전 효율의 관계를 제시한 것이다. Fig. 4에서 제시한 바와 같이 일사량이 높을수록 태양광 발전량은 증가하고 상관관계 역시 매우 높다. 그러나 발전효율 측면에서는 일사량이 높을수록 발전효율이 일정한 값(15.3 %)에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 일사량이 증가하면 1차적인 태양광 발전량

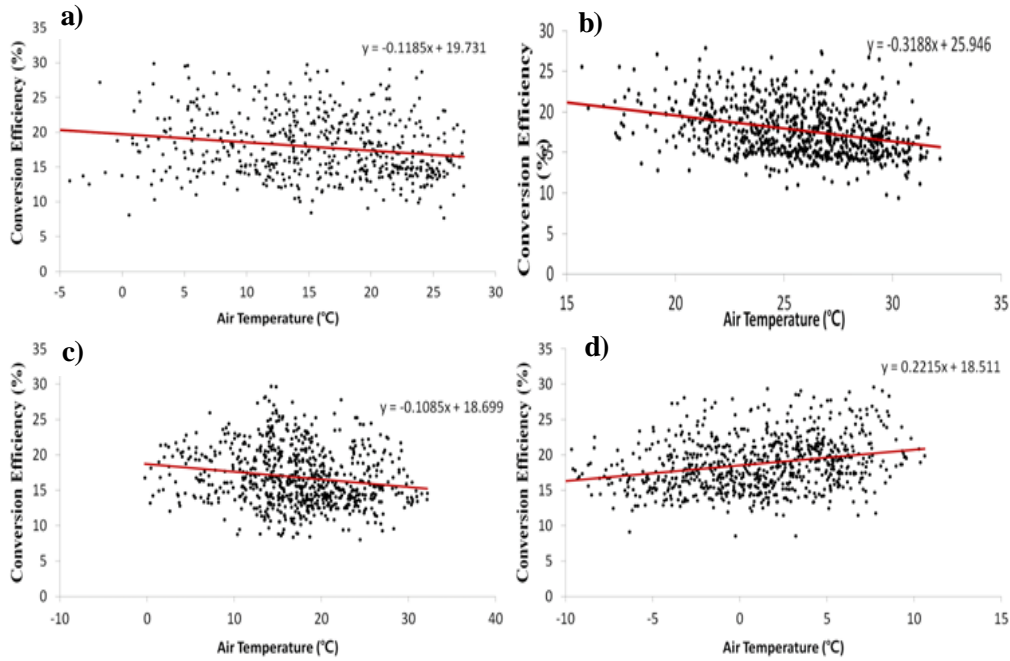


Fig. 9. Scatter plot of air temperature and conversion efficiency for a) spring, b) summer, c) autumn, and d) winter season. Solid lines are trend lines for each season.

이 증가하는 동시에 기온과 패널 표면의 온도도 동시에 증가한다. 증가된 기온과 패널 온도는 패널의 전기적 효율을 떨어뜨리는 역할을 하기 때문에 발전량 증가 속도가 감소한다. 그림에서 일사량이 400 W/m<sup>2</sup> 이상 발전 효율이 뚜렷이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 온도 및 발전 효율성 경향은 실제 발전량에서도 잘 나타난다.

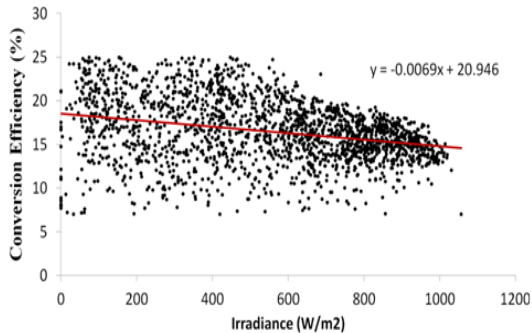


Fig. 10. Scatter plot of irradiance and conversion efficiency and its trend line.

#### 4. 결론

복잡한 지형 및 기상 환경을 가진 한반도의 태양광 발전 특성을 분석하기 위하여 2011년 5월 25일부터 2012년 5월 24일까지 태양광 발전소와 동일 영역내에서 특별 관측을 실시하였다. 관측 요소는 기온, 바람, 습도, 수평면 일사량, 경사면 일사량, 태양광 발전량이다. 태양광 발전량 자료는 관측지점과 동일한 위치에 조성된 최대 용량 200 kW 급 발전소에서 생산되는 전력량을 활용하였다. 분석은 태양광 발전량에 미치는 기상인자의 특성을 중심으로 이루어졌다.

1) 복잡지역에서 1년에 걸친 장기간 태양광발전 자료 뿐 아니라 정밀기상 관측을 실시하였고, 관측지에 대한 지속적인 관리와 장비 확인을 통하여 신뢰성있는 관측 자료를 확보하였다.

2) 특별 관측지역의 일 평균 일사량은 14.5 MJ/m<sup>2</sup>로 한반도내 전체 평균 12.0 MJ/m<sup>2</sup>보다 높게 나타나며, 평균기온 15 °C, 평균 풍속 1.3 m/s로 나타났다. 기온의 변동성은 명확하였으나 바람의 계절 변동성은 뚜렷하



지 않았다.

3) 일사량의 특성 분석을 통하여, 경사면(15°) 일사량이 수평면 일사량보다 약 11 % 크게 나타나며, 이는 겨울철의 태양고도의 변동에 의한 것이다. 또한 일사량과 발전량 모두 가을철(9월, 10월)과 봄철(4월, 5월)이 높게 나타난다. 실제 발전량은 경사면 일사량의 변동과 유사하게 나타난다.

4) 계절적으로 봄, 여름 가을은 기온증가에 따라 발전량이 감소하는데 이는 기온 증가에 따른 패널 표면의 온도 증가가 태양광 발전량을 저해하는 요인으로 작용하기 때문이다. 반면 겨울철 기온이 증가할수록 발전량이 증가하는데 이는 저온에서는 태양광 패널의 온도 증가가 발전량 효율성 증가 요인으로 작용한다. 태양광 패널의 발전 효율은 발전량이 증가할수록 일정한 값(15.3%)에 수렴하는 특성을 보인다.

5) 풍속은 태양광 발전량과 비례하고, 특히 고일사량일 경우 효과가 크게 나타난다. 상대 습도의 경우, 구름 및 강수 발생 산란 등의 영향으로 태양광 발전과 음의 관계를 가진다.

본 연구는 1년간의 자료를 바탕으로 산악 골짜기 지형의 발전량 자료를 바탕으로 분석된 것으로 복잡한 지형을 가진 한반도의 경우 유용하게 활용될 수 있다. 향후 다양한 지형 특성을 가진 지역의 발전량 및 기상 자료 분석을 통하여 지역적인 태양광 발전 특성을 분석할 필요가 있다.

### 감사의 글

이 연구는 국립기상연구소 주관의 “응용기상기술개발연구”의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고문헌

- Choi, K.S., 2014, Analysis of Economical efficiency for renewable energy in Steam Power Plant, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 23(1), 11-17.
- Choi, Y.J., Lee, B.W., Jeon S.H., Seo B.K., Ji J.B., Park Y.S., Lee S.W., 2011, Map of meteorological resources and data service, *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*, 2011, 310-311.
- Fesharaki, V.J., Dehghani, M., Fesharaki, J.J., Tavasoli H., 2011, The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency, *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation*, Tehran, Iran, 20-21 November 2011
- Hart, G.W and Raghuraman, P., 1982, Simulation of thermal aspects of residential photovoltaic systems, MIT Report, DOE/ET/20279-202.
- Jo, H.K., Kim, J.Y., Park, H.M., 2013, Carbon Storage and Uptake by Evergreen Trees for Urban Landscape -For Pinus densiflora and Pinus koraiensis, *Journal of Korean Society of Environment & Ecology*, 27(5), 571-578.
- Kim G.D., Yun C.Y., Jo M.H., Kim S.J., 2012, Mapping Solar Photovoltaic Energy Resource Using LiDAR Data, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(3), 148-157.
- Korea Meteorological Administration, 2011, Development of Solar index for the improvement of the PV power efficiency at Daegu-Kyeongbook provinces.
- Kou, Q., Klein, S.A., Beckman, W.A., 1998, A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems, *Solar Energy*, 64, 33 - 40
- Maranda, W., Piotrowicz, M., 2010, Extraction of thermal model parameters for field-installed photovoltaic module, in *Proceedings of Microelectronics conference (MIEL 2010)*, pp. 153-156.
- Meyer, E.L., Dyk, E.E., 2000, Development of energy model based on total daily irradiation and maximum ambient temperature, *Renewable Energy*, 21, 37-47
- New and renewable energy center, 2008, *New and renewable energy guide book-2008*, Korea energy management cooperation.
- Notton, G., Cristofari, C., Mattei, M., Poggi, P., 2005, Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences, *Applied Thermal Engineering*, 25, 2854 - 2877
- Perez R., M. Perez, 2008, Making the Case for Solar Energy. *Daylight & Architecture Magazine by Velux*. Autum 2008, Issue No.9, pp. 8~17
- Tina, G.M., Scrofani, S., 2008, Electrical and thermal model for PV module temperature evaluation, in *Proceedings of IEEE Mediterranean electro-technical conference (MELECON 2008)*, 585-590.