

## 수상 태양광발전 시스템의 데이터 분석을 통한 실증에 관한 연구

김은기\*, 최형철\*, 이종석\*, 신강욱\*  
K-water 연구원\*

### Data Analysis of Water Through the Photovoltaic Solar System to the Empirical Study

Eun-Gi Kim\*, Hyeong-Cheol Choi\*, Jong-Suk Lee\*, Gang-Wook Shin\*  
K-water Institute\*

**Abstract** - Photovoltaic solar energy policy in the keynote of the world in the development of new technologies in terms of renewable energy sources has been a great interest. Solar energy is the energy density, low light intensity, temperature, and a lot of areas affected by the difference, the effective use difficult. For the installation of photovoltaic solar power systems to develop farmland or forest land resulting from deforestation has become such a problem. In this paper, a way to resolve these issues as part of the development of the reservoir water through the efficient use of land and water resources through the eco-friendly energy production, water quality improvement, the cooling effect of solar modules, solar water system has the advantage of was installed. Terrestrial solar systems installed under the same conditions and solar radiation, power, module temperature, ambient temperature and analyzed. Through this award to demonstrate the effectiveness of the solar system is.

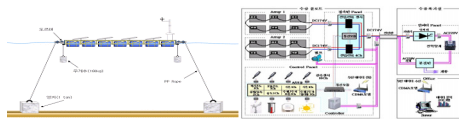
#### 1. 서 론

신재생 에너지원의 신기술 개발이라는 세계적인 정책적 기조에서 가장 큰 관심을 받고 있는 태양광에너지는 에너지 밀도가 낮고 일사량, 온도, 지역 차에 의해서 많은 영향을 받기 때문에 효율적인 이용이 어려우며, 태양광 발전시스템의 설치를 위하여 농지 또는 임야를 개발하는 과정에서 발생하는 산림훼손 등의 문제가 대두되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법의 일환으로 저수지 수면의 개발을 통한 국토의 효율적인 활용, 수자원을 통한 친환경에너지 생산, 수질개선 효과, 태양광 모듈 냉각효과와 장점을 가진 수상태양광 발전시스템을 설치하고, 동일한 조건으로 설치된 육상 태양광 발전시스템과 일사량, 전력, 모듈온도, 외기온도 등을 비교 분석하였다. 이를 통해 수상 태양광 발전시스템의 실효성을 실증하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1. 수면위 태양광 발전시스템



〈그림 1〉 수면위 태양광 발전시스템

주요 다목적댐에 설치한 수면위 태양광 실증플랜트는 2.4kW급으로 실증플랜트를 구성하는 요소는 크게 태양광모듈, 태양광모듈을 수면위에 부상시키기 위한 수상구조물(float), 바람이나 유체의 유동으로 인하여 방향이 변하지 않도록 고정하는 계류장치, 태양광모듈 어레이에서 생산된 DC 전압 및 전류를 처리하기 위한 접속반 및 각종 센서류에서 취득한 데이터를 처리하여 원격으로 전송하는 제어반(control panel), 생산된 전력을 교류로 변환하여 계통에 접속시키기 위한 인버터(inverter panel) 등으로 구성되어 있다. 실증플랜트의 PV시스템 구성 내용은 표 1과 같다.

〈표 1〉 수면위 PV시스템 사양

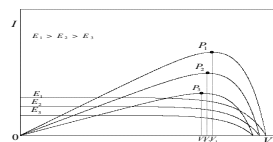
설비용량	2.4kW
모듈사양	200W×12매
모듈설치 각	11° 정남향 고정형
어레이 구성	모듈 6매/1어레이
인버터 용량	3kW

##### 2.2. 태양광 발전 시스템의 외부조건에 의한 영향

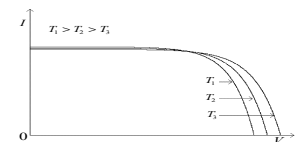
###### 2.2.1 일사량에 의한 영향

그림 2는 일사량에 의한 태양전지의 출력곡선으로서 태양전지의 최대전류, 전력은 일사량에 비례하여 변화하지만, 전압은 일사량이 60% ~ 100%의 범위에서는 대개 일정하며, 낮은 일사량인 30%미만에서는 비교적 크게 저하한다. 그리고 최대출력점이 얻어지는 전압 값은 점선과 같이 미소하게 변화함을 알 수 있다. 광전류  $I_{ph}$ 는 그림에서와 같이 일정 온도 아래에서 태양광(일사량( $E$ ))에 비례하며, 따라서  $I = I_{ph} - I_D$  특성은 일사량에 영향을 받는다.

- (1) 일사량이 증가함에 따라 단락전류  $I_{sc}$ 는 일사량(직렬저항  $R_s$  무시)에 비례해서 증가하며, ( $T = 25[^\circ C]$ ) 단결정 실리콘 전지의 경우  $1[kWm^{-2}]$ 의 일사량에 대해  $30[mAcm^{-2}]$ 가 요구된다.
- (2) 개방전압  $V_{oc}$ 는 일사량이 증가함에 따라 약간 증가하며, ( $T = 25[^\circ C]$ )에서 단결정 실리콘전지의 경우 일사량이  $1[kWm^{-2}]$ 에 대해  $590[mV]$ 가 요구된다.
- (3) 모듈의 최대전력은 일사량 증가에 따른 단락전류의 증가와, 개방전압의 증가에 의해 일사량에 비례하여 증가하게 된다. 이상과 같은 일사량의 변화는  $V_{max}$ 를 10% 이상 변화시킬 수 있다.



〈그림 2〉 일사량 변화



〈그림 3〉 온도 변화

###### 2.2.2 온도에 의한 영향

그림 3은 일정 일사량 아래에서 온도변화에 따른 특성곡선을 나타낸 것이며, 온도( $T$ )가 상승함에 따라 다음의 영향이 있다.

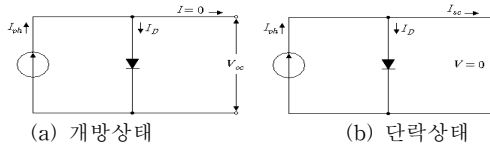
- (1) 개방전압  $V_{oc}$ 는 20 ~ 100  $[^\circ C]$  사이에서  $2[mV^\circ C^{-1}]$ 씩 감소한다.
- (2) 광전류는 온도  $T$  ( $0.1[\%^\circ C^{-1}]$  또는  $0.03[mA^\circ C^{-1}cm^{-2}]$ )가 상승함에 따라 약간 증가한다.
- (3) 최대로 이용 가능한 전력은 약  $0.35[\%^\circ C^{-1}]$ 씩 감소하며, 최대효율은 지수 함수적으로 감소한다.

###### 2.2.3 개방·단락 회로

그림 4는 태양전지의 개방회로와 단락회로를 나타낸다. 그림 4(a)는 개방상태의 등가회로로서 개방상태의 개방전압  $V_{oc}$  (open circuit voltage)는 태양전지의 외부에 연결된 부하 값이 무한대 일 때, 즉 개방되었을 때의 값을 의미하며, 이때 출력전류는 0이다. 또한 그림 4(b)는 단락상태의 경우를 나타내는 등가회로로서, 태양전지의 단락전류(short circuit current)는  $I_{sc} = I_{ph}$ 가 되고, 이때의 출력전압은 0이다. 따라서, 태양전지 양단의 출력전압을  $I = 0, V = V_{oc}$ 로 놓고 풀면 다음과 같다.

$$V_{oc} = \frac{Ak_B T}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (2.1)$$

이다. 개방전압  $V_{oc}$ 는 광전류  $I_{ph}$ 가 흐를 때, p-n 접합의 전압 강하와 관계한다.



〈그림 4〉 태양전지의 개방회로와 단락회로

개방전압은 일사량이 증가함에 따라 지수함수적으로 증가하고, 온도가 증가함에 따라 선형적으로 감소한다. 온도에 의한 영향은 온도가 증가함에 따라 포화전류  $I_o$  에서는 지수함수적으로 증가한다. 포화전류는  $p-n$  접합 영역에서 가속화와 터미널 여기에 의하여 발생된 소수캐리어의 흐름이다. 또한, 단락전류  $I_{sc}$  는 출력전류를  $V=0, I=I_{sc}$  라 놓고 풀면 다음과 같다.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left\{ e^{\left( \frac{qR_s I_{sc}}{Ak_B T} \right)} - 1 \right\} - \frac{R_s I_{sc}}{R_{sh}} \quad (2.2)$$

일정 일사량일 경우 단락상태에서는 직렬저항에 의한 영향을 무시하면, 그림 4(b)에 나타난 것과 같이 단락전류  $I_{sc}$  는 광전류  $I_{ph}$  와 같다. 즉 일사량  $E [Wm^{-2}]$  에 비례한다.

$$I_{sc} = I_{ph} = K E \quad (2.3)$$

여기서  $K$ : 일사상수

태양전지에서 최대전력을 얻기 위한 동작점은 여러가지 방법으로 구할 수 있으나, 그 기본 원리는 모두 동일하다. 즉 태양전지 양단의 전압과 태양전지에서 흘러나오는 전류의 곱이 최대가 되는 점이 최대출력점이 된다. 따라서 마이크로프로세서를 사용하여 전압과 전류의 곱을 계속 구하면서 최대출력이 나오는 점을 구할 수도 있지만, 태양전지의 전압, 전류의 관계식으로부터 구하는 방법이 있다. 일반적으로 태양전지의 출력전류와 전압 사이의 관계식은 다음과 같이 근사화 시킬 수가 있다.

$$I = I_{sc} + I_o \left\{ 1 - e^{\frac{q(V+IR_s)}{k_B T}} \right\} \quad (2.4)$$

여기서, 포화전류  $I_o = C_o T^3 e^{\frac{-qE_g}{k_B T}}$  이고,  $C_o$  는 태양전지 상수,  $E_g$  는 반도체 에너지갭이다. 식 (2.4)의 양변에 태양전지전압 ( $V$ ) 을 곱한 후에  $V$  로 양변을 미분하게 되면, 최대전력이 발생하는 태양전지전압 ( $V_{max}$ ) 을 얻을 수가 있다. 이 값을 다시 (2.4)식에 대입하게 되면, 최대전력을 발생하는 전류값 ( $I_{max}$ ) 을 얻을 수가 있으며, 내부저항 ( $R_s$ ) 을 무시했을 때 식 (2.5)와 같이 주어지게 된다.

$$I_{max} = \frac{\frac{qV_{max}^2}{k_B T_c}}{1 + \frac{qV_{max}}{k_B T_c}} (I_{sc} + I_o) \quad (2.5)$$

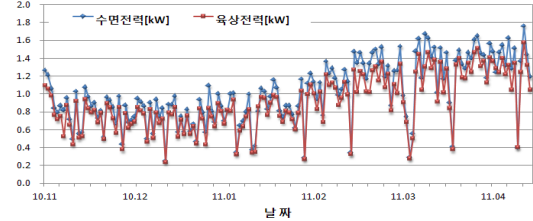
일반적으로  $I_{sc} \gg I_o$  이고,  $V_{max}$  값의 변동은 일사량이나 주위 온도 변화에 대해서 크게 변하지 않으므로  $I_{max}$  값은 근사적으로 단락전류  $I_{sc}$  에 비례하게 된다. 따라서 단락전류 값만 알면 순시적으로 최대출력점에서 동작시킬 수가 있게 된다. 단락전류 값은 간단하게 일사량계로 측정할 수도 있지만, 식 (2.4)를 이용하여 태양전지 전압, 전류를 매 순간 측정하여 계산하면 곧바로 추정된다. 그러나 단순한 비례식만을 사용하게 되면 동작온도나 태양전지의 경화정도에 따라서 오차가 발생하므로 식 (2.5)는 대략적인 동작점을 구하는데 이용한다.

그리고 태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소중의 하나는 충전율(Fill Factor: FF)이며, 다음과 같이 최대전력  $V_{max} I_{max}$  를  $V_{oc} I_{sc}$  의 나눈비로 정의된다.

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.6)$$

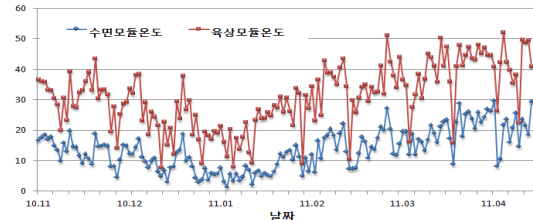
### 3. 실증 연구

주요 다목적법에 태양광 발전량 및 발전량에 영향을 미치는 일사량, 모듈 온도, 외기온도 및 풍량 등의 데이터를 비교 분석하기 위하여 수면위 태양광 발전시스템과 동일한 조건의 육상태양광 발전시스템 2.4kW급 태양광 실증플랜트를 각각 설치하였다. 이를 통해 각각 취합된 데이터를 이용하여 태양광 발전량 분석, 수면위 냉각효과에 따른 일사량 증가 및 모듈온도 저하로 인한 발전효율 변화를 비교분석하였다.

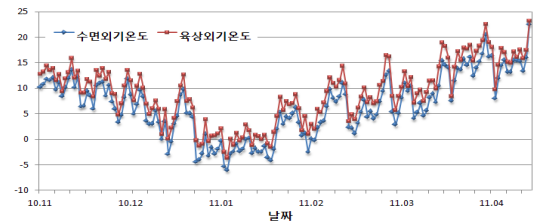


〈그림 5〉 수면-육상 전력비교

그림 5는 수면 태양광 시스템과 육상 태양광 시스템의 전력량을 비교하였으며, 그림 6과 그림 7은 각각 모듈과 외기 온도를 비교한 것이다. 수면 태양광 시스템의 전력량은 평균 2.01[kW], 육상 태양광은 평균 1.8[kW]로 수면 태양광 시스템이 약 11.69% 많은 전력량을 보인다. 또한 수면 태양광의 모듈 및 외기온도는 13.57도와 6.48도이며, 육상태양광 시스템은 30.97도, 8.98도를 나타낸다.



〈그림 6〉 수면-육상 모듈 온도 비교



〈그림 7〉 수면-육상 외기 온도 비교

### 4. 결 론

본 논문에서는 수면위에 태양광 발전시스템 실증플랜트를 설치하여 육상 및 수면위의 전력량(일사량), 모듈 및 외기 온도 데이터를 비교하였다. 결과에서 알 수 있듯이 수면위 태양광 발전 시스템이 육상태양광시스템에 비해 전개된 장소 및 수면 위라는 장점으로 모듈 및 외기 온도가 낮고, 온도의 영향을 받는 모듈의 특성상 약 11.69%이상 출력력을 높음을 확인하였다. 향후 보다 많은 장기간의 데이터를 수집하여 분석하고 적용하는 연구가 지속되어야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

[1] R. katan, V.G. Agelidia, C. V. Nayar, "Papice Modelling of Photovoltaic Engineering Education" pp. 319-332, October 1995.  
 [2] Charles. R. Sullivan. Matthew J. Powers. "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic array in a solar-powered race vehicle", Proceedings of the IEEE. 1993. pp. 574-580  
 [3] K.H. Hussion. "Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE.vol. 142. No. 1. pp. 59-64, 1995  
 [4] A. S. Dobakhshari, "A Reliability Model of large Wind Farms for Power System Adequacy Studies", IEEE Trans on Energy Conversion, VOL. 24, NO. 3, 2009  
 [5] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability evaluating of engineering system", Plenum Press, 1992.