

**태양광발전 시스템의 출력 향상을 위한 시스템 구성에 관한 연구**

\*윤정필, \*박세준, \*강병복, \*\*조경재, \*\*\*차인수

\*동신대학교 대학원 전기전자공학과, \*\*담양도립대학 정보통신공학부, \*\*\*동신대학교 전기전자공학부

**A Study on the system composition for output elevation of Photovoltaic system .**

\*Jeong-Phil Yoon, \*Se-Joon Park, \*Byong-Bok Gang, \*\*Keong-Jae Jo, \*\*\*In-Su Cha

\*Dept. of Electrical & Electronics Eng. Graduate School Dongshin Univ.

\*\*School of Information & communications Eng. Provincial college of Damyang

\*\*\* School of Electrical & Electronics Eng. Dongshin Univ.

**Abstract** - This treatise composes 450 [W] small size PV systems as thing for output elevation of PV system, investigated kind of output loss parameter. And, referred clear day and cloudy day about loss among the much parameters.

Also, examined about loss between storage battery from system output part.

Experiment result, could know that loss between storage battery is big from output part, and could know that output by that get dirty of module surface is decreased.

**1. 서 론**

대체에너지의 큰 축으로 태양광 발전과 풍력발전이 보급되고 있다.

그 중에서도 태양광 발전은 설치의 간단함, 유지보수의 용이, 무소음 등으로 가정용 대체에너지로서 주목을 받고 있다. 하지만, 태양광 발전 시스템의 초기 설치비용이나 저효율 등으로 인하여 아직 시범 단계에서 그치고 있다.

효율 저하 요인으로는 일사량의 변화, 태양이 구름을 가려 생기는 그늘 손실, 태양 빛의 입사각의 변화에 따른 출력변화, 공기중 온도의 변화에 따른 모듈 표면온도의 증감 손실, 태양광 발전에서 직접 나오는 출력량을 제어하는 직류회로에서 오는 손실, 직/교류 변환시 야기되는 인버터손실 등을 들 수 있다.

본 논문에서는 450[W] 소형 태양광 발전 시스템을 이용하여 각 시간·기후별 출력량의 측정을 통하여 손실 폭을 조사하였다.

**2. 태양광 발전**

**2.1 태양전지의 특성**

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와  $I_{ph}$ 의 크기를 갖는 정전류원으로 구성되어 있지만 실제로는 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 시트(sheet)저항 등을 표시하는 직렬저항  $R_s$ 와 병렬저항  $R_{sh}$ 를 고려해야 한다. 태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자수는 지수 함수적으로 감소한다. 그림 1은 빛이 조사될 때 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다.

여기서  $I_{ph}$ 는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(Carrier)가 외부로부터 방해받지 않을 때 폐회로를

통해 흐르는 광전류이고,  $I_d$ 는 암전류로서  $I_{ph}$ 와는 반대 방향이다. 병렬저항  $R_{sh}$ 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시되는 누설저항을 나타내며,  $R_s$ 와  $R_L$ 은 각각 전지 내부에 존재하는 직렬저항과 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다.

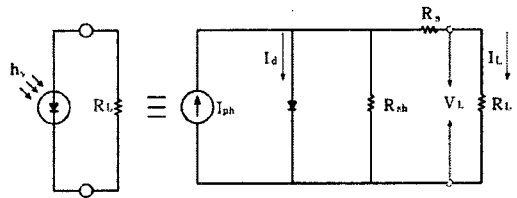


그림 1 태양전지의 등가회로

Fig. 1 The equivalent circuit of solar cell

등가회로에서의 태양전지의 출력전류는

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V}{R_{sh}} \tag{1}$$

$$= I_{ph} - I_0 \left( \exp \frac{qV}{A_oKT} - 1 \right) - \frac{V}{R_{sh}}$$

여기서,  $I_0$ 는 다이오드 포화전류이다.

위 식으로부터 태양전지의 출력전류를 구하면 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{q(V + IR_s)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{2}$$

그림 2에서 광 투사시  $R_s = 0$ ,  $R_{sh} = \infty$  이상적인 PN접합 다이오드인 경우 부하에 흐르는 전류  $I_L$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] \tag{3}$$

여기서,  $I_L$ 은 출력전류,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $I_0$ 는 다이오드 포화전류,  $n$ 은 다이오드 상수,  $K$ 는 볼츠만 상수이고  $q$ 는 전자의 전하량이다.

그리고 일정온도와 일정 일사 조건에서 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 그림 2와 같이 된다. 여기서 개방전압  $V_{oc}$ , 단락전류  $I_{sc}$ , Fill Factor( $FF$ ) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련된 파라미터로서, 우선

식(3)으로부터  $I_L=0$ 인 조건에서 개방전압  $V_{oc}$ 는 다음과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (4)$$

단락전류  $I_{sc}$ 는  $V_L=0$ 인 조건으로부터  $I_{sc}=I_{ph}$ 가 된다.

전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력  $P_{max}$ 가 얻어지게 된다.

$$P_{max} = V_m \cdot I_m \quad (5)$$

부하저항에서 소비되는 에너지를  $P_{out}$ 라하고 식은 다음과 같다.

$$P_{out} = V \cdot I = V \cdot I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

최적부하조건에서  $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$  임으로 최적동작전압  $V_m$ 은 다음 식을 만족한다.

$$V_m = \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_m}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) + 1 \quad (7)$$

또한 이때의 최적동작전류  $I_m$ 은 다음과 같다.

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \quad (8)$$

$P_m$ 이 커지기 위해서는 특성곡선에서  $I_m$ 과  $V_m$ 이  $I_{sc}$ 와  $V_{oc}$ 에 가까워야 한다.

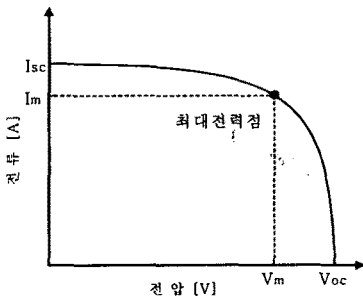


그림 2 태양전지의 전압-전류곡선  
Fig. 2. The voltage and current curve of solar cell

그리고 태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나는  $FF$ 이며 식(9)와 같이 정의되고 빛이 가해진 상태에서 전압, 전류 곡선이 얼마나 사각형에 가까운가를 나타내는 지표가 된다.

$$FF = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (9)$$

또한, 태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광 에너지로 나눈

값으로 즉, 최대전력과 입사광 에너지사이의 비율이 되고 식은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \quad (10)$$

여기에서,  $P_{in}$ 은 입사된 태양광에너지이다.

## 2.2 태양광 발전 특성 파라미터

태양광 발전에는 출력을 저감시키는 여러 가지 손실요인들이 존재하고 있다. 아래의 그림 3은 이러한 손실요인들을 블록화 한 것이다.

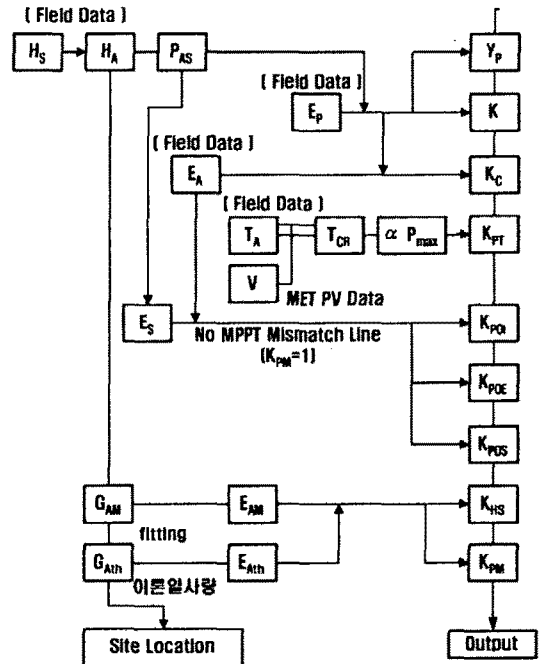


그림 3 특성 파라미터 출력 블록도  
Fig. 3 Block diagram for output of characteristic parameter

위의 블록도에서 제시된 손실인자들은 아래와 같다.

- $H_S$  : 수평면 일사량
- $H_A$  : 경사면 일사량
- $P_{AS}$  : PV 어레이 정격용량
- $E_S$  : 태양전지 표준 출력량
- $E_A$  : PV 어레이 출력량
- $E_{Am}$  : 월별 최대 출력량
- $E_{Ath}$  : 태양전지 이론 출력량
- $G_{Am}$  : 경사면 최대 일사량
- $G_{Ath}$  : 경사면 이론 일사량
- $V$  : 풍속
- $T_A$  : 외기온도
- $T_{CR}$  : PV 모듈 온도
- $Y_P$  : 시스템 가동시간
- $\alpha P_{max}$  : PV 모듈 온도계수
- $K_{HS}$  : 그늘 보정계수

- $K_{POI}$  : 입사각 의존성 보정계수
- $K_{PM}$  :  $P_{max}$  제어 보정계수
- $K_{POE}$  : 직류회로 손실 보정계수
- $K_C$  : 인버터 보정계수
- $K_{POS}$  : PV 모듈 오염 보정계수
- $K$  : 시스템 출력계수
- $(K_{HS} \cdot K_{POI} \cdot K_{POE} \cdot K_{POS} \cdot K_{PT} \cdot K_{PM} \cdot K_C)$

### 2.3 태양광발전 시스템의 구성

태양광 에너지로부터 전기를 생산하는 여러 가지 방법이 있으나 에너지 변환 과정이 가장 짧은 태양광 에너지를 이용한 발전이 가장 효과적인 것으로 나타나고 있다. 태양광발전시스템은 태양광에 의해 기전력이 발생하는 태양전지로 구성된 발전부, 과충전을 방지하는 안전장치와 지지대로 구성되어 있다[2]-[4]. 태양광발전은 발생 전력이 일사량, 온도와 부하에 따라 전압이 변하게 된다. 그래서 만약 발전 전압이 너무 높아지면 축전지가 과충전 되므로 직접 부하에 연결하지 않고 과충전 방지 회로를 거쳐 전압 조정이 이루어진 후에 축전지단에 일정한 전압이 공급되며, 태양광의 일사량이 낮아지면 축전지의 전압이 높을 때 발생하는 역전류를 막기 위해 역전류 방지 다이오드가 꼭 필요하다. 이외에 AC 부하를 구동하기 위한 인버터 등이 필요하다. 태양전지는 광기전력(Photovoltaic) 효과에 의해 발생되는 기전력을 이용하여 발전된다. 태양광 발전기는 축전지에 전력을 공급하기 위해 삼성 SM-50 다결정형 모듈 9개를 병렬로 연결하여 사용하였다. 설치된 태양광 어레이의 최대 전압 17.1V 그리고 최대 합성 전류 26.3A, 합성 최대 전력 450W급의 특성을 가진 태양광 발전 시스템을 표 1과 같이 나타내었다.

표 1 태양광 발전 시스템의 사양  
Table 1. Specification of Photovoltaic system

구 분	사 양
적용모델	SAMSUNG SM-50
최대전력	450 [W] (Module당 50(W))
최대전압	17.1 [V]
최대합성전류	26.3 [A] (Module당 2.92 [A])
접속방법	병렬 연결
타 입	다결정

그림 4는 본 논문에 사용된 450(W) 소형 태양광 발전 시스템의 실제 사진을 보여 주고 있다.

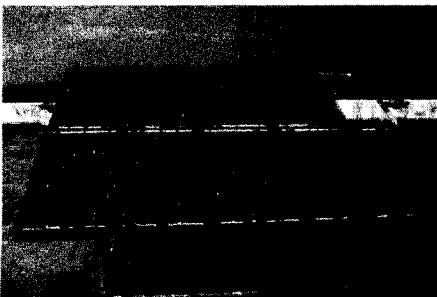


그림 4 450[W] 태양광 발전 시스템  
Fig. 4 450[W] PV System

### 3. 실험 및 고찰

그림 5는 실험에 사용된 PV 시스템의 후면 출력단을 보여주고 있다. 전류값의 변화 측정을 위하여 모듈간에 병렬연결 하였다.



그림 5 병렬로 연결된 PV Module  
Fig. 5 PV Module that is linked by parallel

구성된 시스템의 출력을 Oscilloscope를 이용하여 실제 측정된 결과를 텍스트 형식으로 저장하여 시간대별 파형으로 나타낸 결과 그림 6과 같은 특성을 나타내었다. 그 중 최대 일사량을 나타내었던 오후 2시경의 태양광 전압, 전류 측정값을 그림 7에 나타내었다.

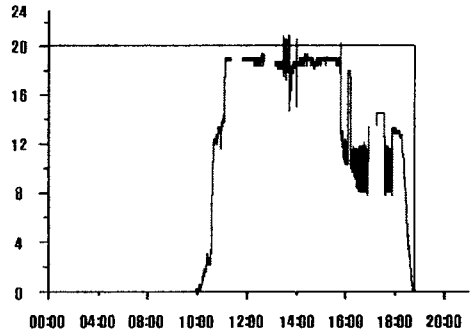


그림 6 시간대에 따른 태양전지 출력량 변화  
Fig. 6 Output Voltage change of solar cell by change during time

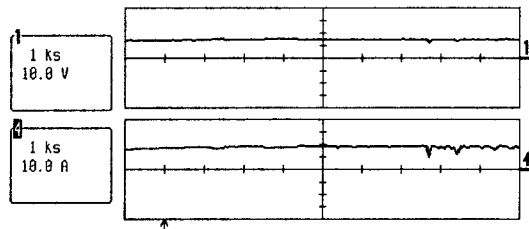


그림 7 태양광 시스템 출력량 (맑은 날)  
Fig. 7 output of PV System (Clean day)

그림 6과 7에서 도출된 측정값을 통하여 불 때 기준 이론값인 450(W)에 미치지 못하는 최대전압 20(V)와 최대 전류 18(A) 에 의한 약 360(W)의 출력전력량을 보임으로서, 효율은 최대 80%밖에 달성하지 못하였다. 또한, 위의 맑은 날과 달리 흐린날 부하저항을 이용하

여 전압, 전류 값을 측정된 결과 그림 8과 같이 전류가 약 2[A] 정도 밖에 출력되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 실제 역전류 방지 다이오드를 거치지 않고 PV어레이 출력단에서 직접 측정하였을 경우 약 3.8[A]의 측정값을 가져왔는데 여기에서 출력상의 손실이 약 1.8[A]정도 측정되는 것을 알 수 있었다.

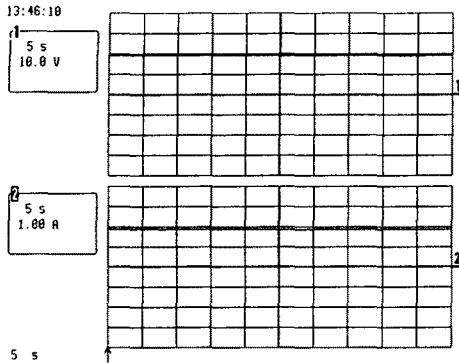


그림 8 태양광 시스템 출력량 (흐린 날)  
Fig. 8 Output of PV System (Cloudy day)

### 3. 결 론

본 시스템에서 이론값과 달리 측정되는 출력 손실의 원인으로서는 첫번째로 기후적인 요인을 들 수가 있는데, 황사현상으로 인한 모듈 표면의 더러워짐과(표면을 깨끗이 한 후 출력값의 상승을 확인할 수 있었다.) 모듈에 직접적으로 쬐여지는 햇빛의 강도가 입사각에 따라 변하여 쾌청한 날이라 하더라도 그 출력값이 이론치에 도달하기 힘들다는점과 두 번째로, 시스템이 설치된 장소로부터 축전지에 이르는 구간에 설치된 도선 저항에 따른 손실, 역전류 방지 다이오드 내부저항으로 인한 손실 등을 측정을 통하여 알 수 있었다.

본 실험은 태양광 발전 시스템에서 나오는 단순한 출력을 측정하기 위한 것이 아닌 시스템 구성시 고려되어야 할 여러 가지 손실 파라미터를 제시하였으며 이에 대한 것으로서, 기존 연구되어지던 손실인자들에 대한 연구의 필요성에 대하여 고찰할 수 있었고, 다음과 같은 부분에 대한 깊은 연구의 필요성을 제기하게 되었다.

차후 연구방향은, 태양광 발전 시스템의 효율향상을 위하여 본 논문에서 깊게 연구하지 못한 도선 과 인버터 부분에 대한 연구를 진행 하고자한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Z. Salameh, D. Taylor, "Step-Up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays", Solar Energy, Vol. 44, No. 1, pp. 57-61, 1990.
- [2] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE, pp. 507-512, 1982.
- [3] 太陽光發電技術研究組合, "태양광 발전 지역발전특성에 관한 기초적 문제의 해명", 東京農工大學, pp 51-78, 平成 11年 3月