

### 태양광 발전시스템의 일사량에 따른 전압-전류 특성

조재철<sup>2</sup>, 최웅성<sup>1</sup>, 최충석<sup>3</sup>, 이경섭<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>동신대학교, <sup>2</sup>초당대학교, <sup>3</sup>전주대학교

#### I-V Characteristics According to Irradiation for Photovoltaic Systems

Jae-Chul Cho<sup>2</sup>, Yong-Sung Choi<sup>1</sup>, Chung-Seog Choi<sup>3</sup>, Kyung-Sup Lee<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Dongshin University, <sup>2</sup>Chodang University, <sup>3</sup>Jeonju University

**Abstract** - In this thesis, output voltage, current and power of solar module were classified by irradiation and module temperature from data of overall operating characteristics collected for one year in order to manage efficient photovoltaic generation system and deliver maximum power. In addition, from these data, correlations between irradiation, module temperature of photovoltaic cell and amount of power given by photovoltaic cell was quantitatively examined to deduce optimization of the design and construction of photovoltaic generation system. The results of this thesis can be summarized as follows. As I-V characteristics according to a irradiation range of 100~900 [W/m<sup>2</sup>], voltage and current were increased with an increase in irradiation. The result is thought of as an increase in output power with increasing irradiation.

#### 2. 시료 및 실험방법

본 시스템의 운영 체계는 Window NT Base이며 계측 사항 샘플링 타임은 1분 이내가 되도록 하였다. 계측사항 백업 메모리 기간은 31일이고 PC사양으로 P4 core2 1[GHz], 120[Gbyte], 21" LCD 모니터로 구성하였으며 디지털 감시 화면을 통하여 태양광, 인버터 등의 동작 상태를 확인하고 인버터 보호 계전기(온도, 과전류, 과/저전압, 과/저주파수) 동작 상태를 확인할 수 있게 하였다. 계측 화면은 각 감시 요소별 아날로그 값을 막대 그래프와 디지털 값으로 분리 표시하여 나타내었으며 주요 계측 요소는 태양전지 출력전지 출력 (직류전류, 전압, 전류), 인버터 출력 (단상 전압, 전류, 유효전력, 전력량, 역률, 주파수) 그리고 기후 조건(외기온도, 태양전지 표면온도, 일사량 및 풍향 풍속)이다.

#### 1. 서 론

태양전지는 실리콘 웨이퍼에 박막 처리를 해 제작하며 빛에너지를 전기에너지로 바꾸주는 반도체로서 솔라셀(Solar Cell) 또는 포토볼타익(Photovoltaic)으로 불리는 태양전지의 역사는 1839년 프랑스 물리학자 Edmond Becquerel이 처음으로 어떤 물질이 빛에 노출될 경우 전류가 발생된다는 사실을 발견하면서부터 시작되었다.[1]-[5]

1870년, Heinrich Hertz에 의해 셀레니움(Se)과 같은 고체물질에 대한 포토볼타익 특성 연구가 시작되었고 셀레니움을 사용한 태양전지는 약 1~2[%]의 에너지 변환 효율(태양광 에너지를 전기에너지로 변환시키는 비율)을 구할 수 있었으며 태양전지의 상용화는 1940년 말과 1950년 대 초에 단결정 실리콘을 성장시키는 초콜라스키(Czochralski)법이 개발되면서 활기를 띠기 시작하였다.[6]-[8]

태양광 발전 시스템에서 발전 효율을 높이기 위해서는 일반적으로 높은 변환 효율을 갖는 태양전지를 사용하는 방법, 변환기의 변환효율을 높이는 방법 및 최대 전력을 추종하는 방법, 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법 등이 이용되고 있다. 그러나 셀 자체의 변환효율을 높이는 방법은 발전단가를 높이는 주된 요인이 됨으로 현재 효율성이 떨어지며 변화기 효율을 수[%] 높이기란 매우 어려운 실정이다.

따라서 본 논문에서는 효율적인 태양광 발전 시스템을 관리하고 최대전력을 전달하기 위하여 2007년 1월 1일부터 2007년 12월 31일 까지 1년 동안 실증운전을 통한 종합적인 운전특성 데이터로부터 태양전지 어레이의 출력 전압, 전류, 전력량을 일사량 및 모듈의 온도로 분류하여 태양이 태양전지 모듈에 입사되는 각과 발전량 즉 태양전지 발전량과의 상관관계를 정량적으로 규명하여 태양광 발전시스템의 설계 및 시공의 최적화가 이루어질 수 있도록 하였다.

그래프 감시(일보1)는 일 단위별로 경사면 일사량, 태양전지 발전전력 그리고 부하 전력소비량을 표시할 수 있도록 1일 24시간 그래프로 출력토록 소프트웨어를 개발하여 적용되었다. 이때 그래프 우측 상단에 일사량 적산치, 최대치, 발전 적산치, 최대치 및 부하량 최대치, 적산치를 표시할 수 있도록 되었으며 일일 발전 현황(일보2)으로 일일 시간대별 기상현황(경사면 일사량, 수평면 일사량, 외기온도, 태양전지 표면온도), 태양전지 발전 현황, 부하 현황 등을 표시할 수 있도록 소프트웨어를 구성하였으며 월간 발전 현황(월보1)으로 월간 일자별 기상현황(경사면 일사량, 수평면 일사량, 평균 외기온도), 태양전지 발전전력, 부하 소비전력 등을 표시할 수 있도록 하였다.

태양광 발전설비의 출력 및 상태를 감시하여 항상 최적의 상태로 동작되도록 하고 기동은 태양전지의 개방 전압을 감시하여 설정치를 넘으면 자동적으로 기동하며 정지는 태양전지의 출력 전류를 감시하여 설정치 이하가 되면 자동적으로 운전을 정지하도록 설계하였다.

Soft-start는 부하의 기기 또는 제품의 장치가 전원 스위치 ON 상태에서 전원을 공급해야 할 경우가 있으므로 돌입전류를 방지하기 위하여 2~20[s]의 Wait In Time 기능을 갖도록 하며 최대 출력점 추종제어는 태양전지의 출력특성이 온도, 습도 등에 따라 변동하므로 태양전지로부터 외부 변화 요인에 따라 최대출력을 낼 수 있도록 최대 출력점 추종제어를 하도록 하였다.

출력 과전압 검출회로는 인버터 제어회로 이상으로 출력전압이 상승될 경우 기기 또는 제품의 손상을 방지하기 위하여 출력전압이 ± 10[%]를 벗어나면 정지되는 기능을 갖추도록 하였다.

출력 과전류 검출회로는 과부하시 또는 선로의 단락시에 전류제한 모드에 의해 주어진 시간동안 동작하여야 하며 순간단락이나 급격한 부하변동에 의한 출력과 전류 변동현상이 수초 이상 계속되면 인버터는 정지해야하며 주어진 시간 내에 과전류 모드가 해제되면 인버터는 정상적인 모드에서 운전되는 기능을 갖추도록 하였고 과열

검출 및 정지는 전력소자에서 발생한 열에 의한 기기손상을 방지하기 위하여 일정한 온도 이상 운전 시 Thermal Relay 동작에 의하여 인버터를 정지하도록 해야 하며 단독운전 방지는 한전 배전선로의 단락 또는 인버터 고장 시 운전을 중단하고 계통 및 부하를 분리하도록 하였고 Trip후 재 기동은 계통 이상에 따라 발전설비 운전중단 상태에서 계통 정상화될 경우 일정시간 경과 후 발전설비가 정상 가동되도록 설계하였다.

인버터의 주요 사양은 인버터모델 Type LSP-S001L 이고 단상이며 운전방식은 계통 연계형, 정격전압은 324[Vdc]이다. 전압범위는 200~420[Vdc]이며 제어방식은 MPPT제어이다. 정격용량은 1000[W]이고 정격전압은 207~233 [Vac]이다. 주파수는 59.8~60.2[Hz]이며 전류 왜형율은 종합 5% 이하이고 각 차 3[%] 이하이다. 순수 정현파 출력이며 N+X 병렬 운전이 가능하도록 하였다. 또한, Wall-Mount 디자인으로 RS-232 통신 기능과 Power Saving Mode를 갖추며 부하에 따라 팬 스피드 자동 조절 기능을 갖추도록 하였다. 제어방식은 PWM이고 역률은 98[%] 이상으로 효율은 95[%] 이상이며 0.5초 이내로 단독운전방지로 설정되어 있다. 시스템 특성으로써 외형은 266×384×144[mm]이고, 무게는 12[kg], 냉각방식은 강제 공랭식이며 소음은 50[dB] 이하이고 외함 보호구조는 IP21이다. 통신은 RS-485이며 보호기능은 입력 저전압 및 과전압, 계통 저전압 및 과전압, 입력 과전류 및 출력과전류, 계통주파수 이상, 시스템과열, 단독운전 방지 등으로 되어 있다.

순수 정현파 출력이며 N+X 병렬 운전이 가능하고 Wall-Mount 디자인으로 RS-232 통신 기능과 Power Saving Mode를 갖추며 부하에 따라 팬 스피드 자동 조절 기능을 갖추도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 100~900 [W/m<sup>2</sup>]의 범위에서 일사량 변화에 따른 전압-전류특성을 나타낸 결과로서 그림 1 (a)은 100[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 0~25 [°C]로 증가함에 따라 전압은 240[V]에서 295[V]까지 증가하고 전류는 0.2~0.4[A]까지 거의 일정하게 나타남을 알 수 있다.

그림 1 (b)은 200[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 6~28 [°C]로 증가함에 따라 전압은 252[V]에서 299[V]까지 증가하고 전류는 0.5~0.7[A]까지 그림 1 (a)과 비교하여 다소 증가한 것을 알 수 있다.

그림 1 (c)은 300[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 6~33 [°C]로 증가함에 따라 전압은 264[V]에서 291[V]까지 증가하고 전류는 0.8~0.9[A]까지 그림 1 (b)과 비교하여 다소 증가한 것을 알 수 있다.

그림 1 (d)은 400[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 11~40 [°C]로 증가함에 따라 전압은 263[V]에서 296[V]까지 증가하고 전류는 1.0~1.5[A]까지 그림 1 (c)과 비교하여 증가한 것을 알 수 있으며 그림 1 (a)~(c)의 결과와 비교하였을 때 전압-전류 특성의 면적이 증가하였음을 볼 수 있는데 이 면적은 전력에 해당하는 것이므로 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가함을 알 수 있다.

그림 1 (e)은 500[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 11~40 [°C]로 증가함에 따라 전압은 257[V]에서 292[V]까지 증가하고 전류는 1.5~1.7[A]까지 그림 1 (d)과 비교하여 증가한 것을 알 수 있고 이는 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가함을 알 수 있다.

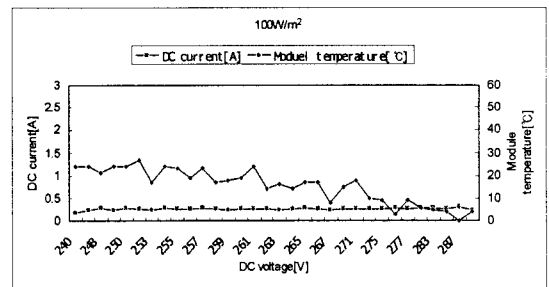
그림 1 (f)은 600[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 17~42 [°C]로 증가함에 따라 전압은 252[V]에서 291[V]까지 증가하고 전류는 1.7~1.9[A]까지 그림 1 (e)과 비교하여 전류가 안정되어 있으며 전압-전류 특성의 면적이 증가하였음을 볼 수 있는데 이 면적은 전력에 해당하는 것이므로 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가한 것으로 생각된다.

그림 1 (g)은 700[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 20~50 [°C]로 증가함에 따라 전압은 250[V]에서 284[V]까지 증가하고 전류는 2.1~2.4[A]까지 함께 증가하고 있음을 볼 수 있고 그림 1 (f)의 결과와 비교하였을 때 전압-전류 특성의 면적이 증가하였음을 볼 수 있는데 이 면적은 전력에 해당하는 것이므로 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가한 것으로 생각된다.

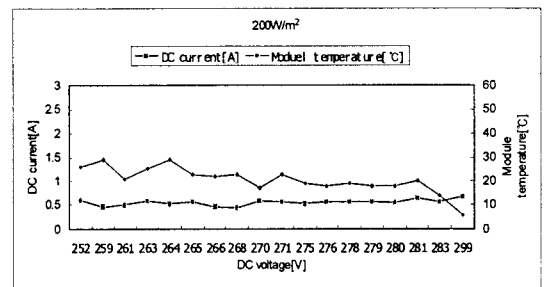
그림 1 (h)은 800[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 27~45 [°C]로 증가함에 따라 전압은 242[V]에서 277[V]까지 증가하였으며 전류는 2.4~2.6[A]까지 증가하고 있음을 볼 수 있고 그림 1 (g)의 결과와 비교하였을 때 전류가 안정되어 있으며 전압-전류 특성의 면적이 증가하였음을 볼 수 있는데 이 면적은 전력에 해당하는 것이므로 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가한 것으로 생각된다.

그림 1 (i)은 900[W/m<sup>2</sup>]에서 전압-전류특성으로서 모듈온도가 24~58 [°C]로 증가함에 따라 전압은 240[V]에서 277[V]까지 증가하였으며 전류는 2.6~2.8[A]까지 함께 증가하고 있음을 볼 수 있으며 그림 1 (h)의 결과와 비교하였을 때 전류가 안정되어 있고 전압-전류 특성의 면적이 증가하였음을 볼 수 있는데 이 면적은 전력에 해당하는 것이므로 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가한 것으로 생각된다.

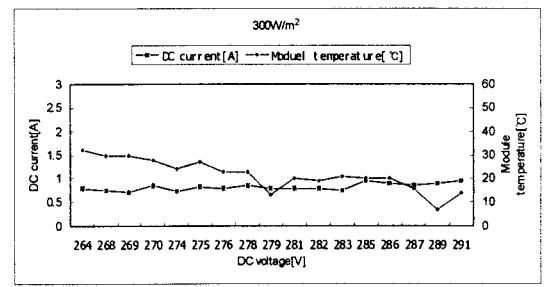
이상의 결과로부터 일사량이 증가함에 따라 출력전력이 증가하는 경향을 나타내었고 일사량과 관련한 출력전력과 관계를 비교하였을 때 일사량이 증가함에 따라 출력이 증가하는 결과와도 일치한다.



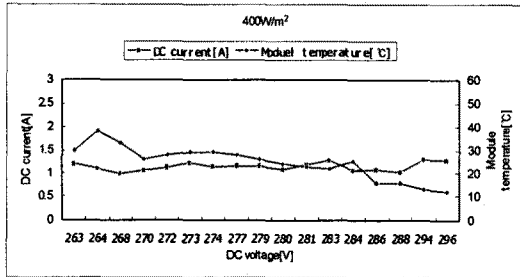
(a) 100[W/m<sup>2</sup>]



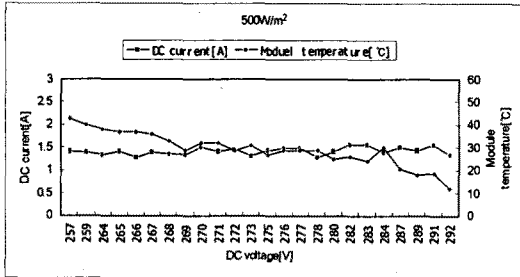
(b) 200[W/m<sup>2</sup>]



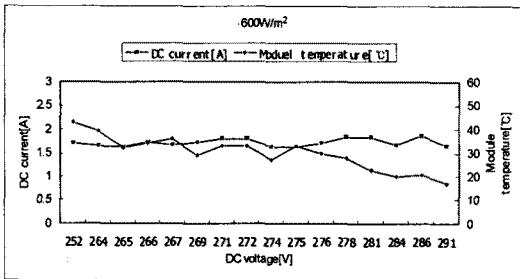
(c) 300[W/m<sup>2</sup>]



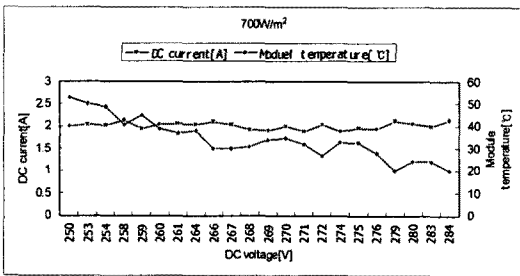
(d) 400[W/m<sup>2</sup>]



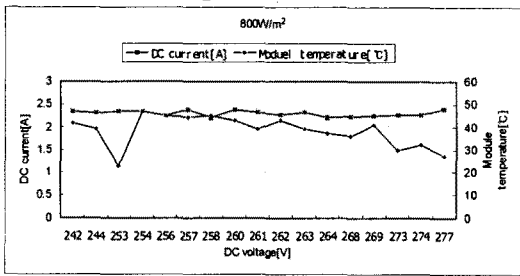
(e) 500[W/m<sup>2</sup>]



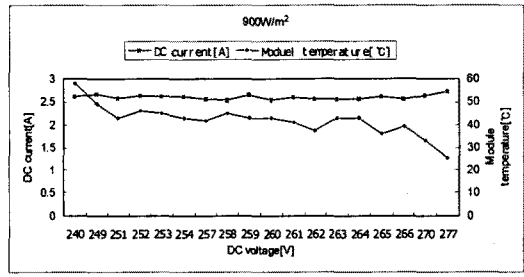
(f) 600[W/m<sup>2</sup>]



(g) 700[W/m<sup>2</sup>]



(h) 800[W/m<sup>2</sup>]



(i) 900[W/m<sup>2</sup>]

그림 1. 일사량에 따른 전압-전류특성

Fig. 1. I-V characteristics according to irradiation

#### 4. 결 론

본 논문에서는 효율적인 태양광 발전 시스템을 관리하고 최대전력을 전달하기 위하여 1년 동안 실증운전을 통한 종합적인 운전특성 데이터로부터 태양전지 어레이의 출력 전압, 전류, 전력량을 일사량 및 모듈의 온도로 분류하였으며 이들 데이터로부터 일사량과 태양전지의 모듈온도와 태양전지 발전량과의 상관관계를 정량적으로 규명하여 태양광 발전시스템의 설계 및 시공의 최적화가 이루어질 수 있도록 하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

100~900[W/m<sup>2</sup>] 범위의 일사량에 따른 전압-전류특성부터 일사량이 증가함에 따라 전압, 전류가 증가하였는데 일사량이 증가함에 따라 출력 전력이 증가한 것으로 생각된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Roger A Messenger, Jerry Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering", CRC Press, 2004.
- [2] 김 세찬 외 3인, "퍼지제어기를 사용한 태양광발전 시스템의 최대전력 추종제어", 전자공학회 논문지 제32권 B편 제4호, pp.110-119 (1995).
- [3] 이 선근, 권 오석, "DC-DC 컨버터를 위한 강인한 성능을 가지는 퍼지제어기의 설계 및 구현", 전력전자학회 논문지 제4권 제6호, pp.531-538 (1999).
- [4] 정 영석 외 3인, "태양광발전용 PCS의 MPPT 제어 알고리즘 고찰", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (2003).
- [5] Yong-Yu Tzou, Tien Sung Kuo, "Design and Implementation of an FPGA-Based Motor Control IC for Permanent AC Servo Motors", 1998.
- [6] Tazi K., Monmasson E., "Contribution to Multimachine Speed Control Device Architectures Preliminary DSP Based Control Realization with View of FPGA Architecture Design", Proceeding PCIM '97 Intelligent Motion (1997).
- [7] B. S. Borowy and Z. M. Salameh, "Dynamic Response to a Stand-alone Wind Energy Conversion System with Battery Energy Storage to a Wind Gust", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.12, No.1, pp.77-78 (1997).
- [8] F. Valenciaga, P. F. Puleston, and P. E. Battaiotto, "power Control of a Solar/Wind Generation System without Wind Measurement: A Passivity/Sliding Mode Approach", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.18, No.4, pp.501-507 (2003).