

태양광발전시스템의 효율 향상을 위한 태양전지 모듈의 최적 설계에 관한 연구

김민\*, 이기제, 이진섭  
삼화기연주식회사 기술연구소

A Study on the Optimal PV-module Design for Efficiency Improvement of Photovoltaic System

Min Kim\*, Gi Je Lee, Jin Seop Lee  
SAMWHA Engineering Co., Ltd.

**Abstract** - The construct of photovoltaic module array, main power source of photovoltaic system, is very important to the efficiency improvement of whole photovoltaic system. Photovoltaic modules are usually connected in series or parallel to meet power capacity required. Since output characteristics of a photovoltaic module are greatly fluctuated on the variation of insolation, temperature and its type, the maximum open circuit voltage and output operating voltage of photovoltaic module array must exist in the admissible input voltage range of inverter system under any operating conditions. In this paper, we present the selection and array method of photovoltaic modules through simulation for the coupling loss reduction between photovoltaic modules and a inverter.

1. 서 론

무공해이며 무한한 태양에너지를 이용한 태양광발전시스템은 새로운 대체 에너지원으로 각광받고 있으며 꾸준한 연구개발의 결과로 가장 실용화에 근접하고 있다. 태양광발전시스템에서 태양전지의 출력은 일사량, 온도 등에 크게 영향을 받기 때문에 가능한 한 많은 에너지를 얻기 위해 태양전지 어레이를 최적으로 설계하여 태양전지의 출력을 항상 최대로 제어할 필요가 있다. 태양전지의 출력이 일사량에 의존하여 불안정하기 때문에 축전지나 보조전원을 병렬시켜 발전출력의 안정화를 도모해야 하며 배전선이 완비되어 있는 곳에서는 상용전력계통과 연계하고, 계통을 축전지 대신에 이용하는 방식이 효과적이다.<sup>(1)-(3)</sup> 태양광발전시스템에 있어서 통상 태양전지의 에너지 변환효율이 낮기 때문에(단결정 실리콘 태양전지 : 25%, 다결정 실리콘 태양전지 : 19%, 비정질 실리콘 태양전지 : 10%) 전체 발전시스템의 효율을 최대화 시켜 경제성이 있는 시스템을 만들기 위해서는 인버터 시스템의 효율을 극대화시켜야 할 뿐만 아니라 태양전지에서 얻은 에너지를 최대한으로 활용할 수가 있어야 한다.<sup>(4)</sup> 본 논문에서는 축전지 설치가 필요 없는 계통연계형 인버터 시스템의 구조와 특성을 기술하고 태양전지 모듈의 사양을 조사하였다. 태양광발전시스템에서 태양전지 모듈과 인버터 시스템과의 결합 손실을 줄이기 위해 온도 변화에 따른 태양전지 모듈의 최대 개방 전압 및 최대 출력 동작전압(MPPV)이 인버터의 허용 입력 전압 범위에 일치하도록 시뮬레이션을 통해 모듈 타입의 선정, 모듈 수 그리고 구성형태를 최적으로 설계하여 전체 시스템 효율을 향상하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 태양전지 모듈

태양광발전시스템은 수많은 태양전지 또는 태양전지 모듈이 직병렬로 연결된 형태로 구성되기 때문에 태양전지의 직병렬 연결 특성은 시스템 설계 및 운전특성에 필수적이다. 태양전지 모듈의 개방전압은 셀의 온도와 일사량에 따라 변한다. 태양전지 모듈의 최대 개방전압은 셀의 온도가 가장 낮은 포인트에 있을 때 발생하므로 태양광발전시스템 설계시 태양전지 모듈의 가장 낮은 온도와 모듈 타입을 인지함으로써 최대개방전압을 결정할 수 있다. 표 1은 제조사에 따른 태양전지 모듈의 특성 비교를 보여준다.

Table 1. Characteristics of photovoltaic modules

제조회사	Astro power	BP solar	alfa solar	Isofoton	Siemens solar
모델명	AP 150	BP 2150S	160P	I-159	SP 150/L
공칭전력(W <sub>p</sub> )	150	150	160	159	150
MPP 전압(V)	17.1	34	35.6	17.4	34.0
MPP 전류(A)	8.8	4.5	4.5	9.1	4.4
개방회로전압(V)	21.0	42.8	42.8	21.6	43.4
단락회로전류(A)	9.8	4.8	5	9.8	4.8
셀의 수(개)	36	72	72	108	72
MPP 전압@70℃(V)	15.1	28.3	30.3	14.5	28.9
MPP 전압@50℃(V)	13.4	30.8	32.7	15.8	31.2
MPP 전압@-10℃(V)	20.2	38.4	39.8	19.7	37.9
개방회로전압@-10℃(V)	24.5	48.4	47.8	24.4	48.4
온도계수[%/℃]	-0.48	-0.40	-0.33	-0.37	-0.33

2.2 계통연계 인버터 시스템

태양광발전시스템에 적용한 계통연계형 인버터 회로의 전체 구성은 태양전지, 보호용 다이오드, IGBT를 이용한 H-bridge 회로, 정현파 필터, 계통측과의 연계를 위한 변압기, 부하, 센서, 보호회로, 제어 시스템 등으로 그림 1과 같다. 태양전지가 최대출력점에서 동작할 때 출력전압인 직류전압은 인버터에 의해 교류전압으로 변환되며 출력 필터를 거쳐 고조파 성분이 제거된 정현파에 근접한 출력전압을 얻고 부하 및 계통측으로 전류를 공급한다.<sup>(5)(6)</sup>

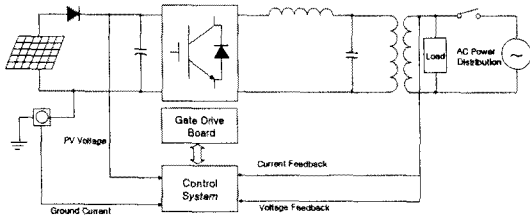


Fig 1. Grid-connected inverter system

계통연계형 인버터는 직류전원과 교류부하 사이의 전력을 균형있게 유지하기 위하여 상용계통을 이용하는데, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 클 경우, 그 잉여전력은 계통선상의 다른 부하에 공급하기 위해서 계통선으로 공급되고 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 부족할 경우, 부족한 전력은 자동적으로 상용계통에서 공급된다. 태양전지의 직류 전력을 저장하기 위한 비싸고 비효율적인 축전지를 사용할 필요가 없고 야간이나 우천시에도 항상 부하에 전력을 공급할 수가 있다. 또한 인버터 출력과 계통선 사이에 60 [Hz] 절연 변압기를 설치하므로 직류전원측 내부사고시 계통측으로의 직류분의 유출을 방지하도록 전기적인 절연을 행할 수 있으며, 변압기 자체가 계통선으로 주입되는 고조파 전류를 허용치 이하로 줄이는데 기여하는 직렬 임피던스 역할을 하므로 인버터와 계통선 전압의 인터페이스를 용이하게 해준다.<sup>(2)</sup>

### 2.3 시뮬레이션

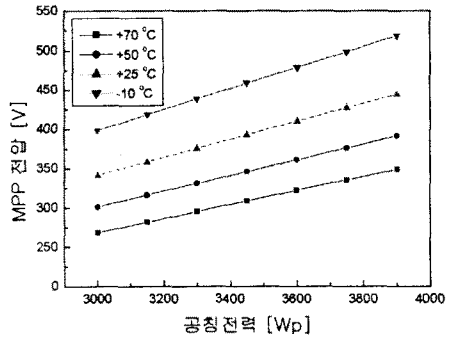
태양전지 모듈의 온도 변화에 따른 최대 전력전압과 최대 개방전압이 어떤 동작 조건에서 인버터의 최대 허용 입력전압 범위와 일치하는가는 "GenAu" 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 본 시뮬레이션에 사용된 인버터의 사양은 표 2와 같다.

Table 2. Inverter specifications

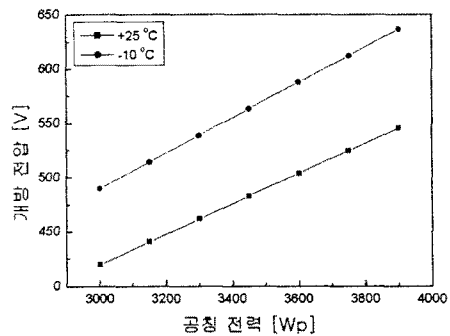
입력 정격	
입력 전압	$V_{PV}$ 290 ~ 550 V DC
최대 입력 전압	$V_{PV}$ 600 V DC
최대 입력 전류	$I_{PV}$ 11 A
최대 입력 전력	$P_{PV}$ 3250 W
전압 리플	$V_{pp} < 10 \%$
출력 정격	
공칭 출력 전력	$P_{ACnom}$ 2600 W AC
최대 출력 전력	$P_{ACmax}$ 3000 W AC
정격 출력 전압	220 V
정격 출력 주파수	60 Hz
출력단 파형 왜율(THD)	$THD_{iac} < 4 \%$
효율	90 % 이상

태양전지 모듈 중에서 Astropower사의 AP-150과 Siemens solar사의 SP 150/-L의 모델을 선정하여 모

뮬의 수를 증가시켜 온도 변화(-10 ~ +70 °C)에 따른 최대 전력 동작전압과 최대 개방 전압을 살펴보았다. 그림 2-(a)와 2-(b)는 각각 모델 AP-150의 온도 변화에 의한 최대전력동작전압과 개방전압의 특성을 보여주고 있으며 그림 3-(a)와 3-(b)는 모델 SP 150/-L의 경우를 보여준다.

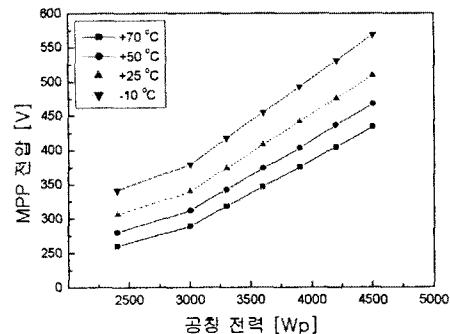


(a) Nominal power and maximum power point voltage for temperature change



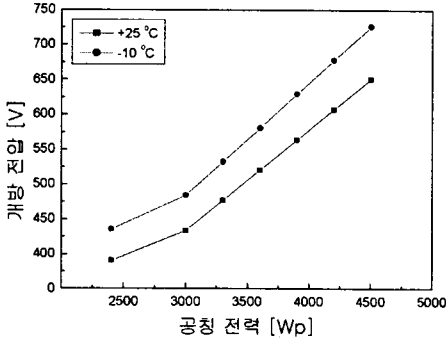
(b) Nominal power and maximum open voltage at -10 °C, +25 °C

Fig 2. Model AP-150



(a) Nominal power and maximum power point voltage for temperature change

(참 고 문 헌)



(b) Nominal power and maximum open voltage at -10 °C, +25 °C

Fig 3. Model SP 150/-L

시뮬레이션 결과에 따르면, 입력 전압 범위가 290 ~ 600(V)인 3kW 인버터에 대한 태양전지 모듈의 어레이는 AP-150의 경우 모듈 21개까지 직렬로 연결했을 때 온도 +70 °C에서 MPP 전압이 인버터 최소입력전압보다 낮았으며 25개 이상 연결했을 경우 온도 -10 °C에서 개방전압이 인버터 최대입력전압보다 높아졌다. 따라서 모듈 22 ~ 24개를 직렬 연결하여 사용할 수 있다. SP 150/-L의 경우는 병렬 연결이 필요한데 모듈 10개를 직렬 연결했을 경우 온도 +70 °C에서 인버터 최소입력전압보다 낮고 13개를 직렬로 연결하면 온도 -10 °C에서 인버터 최대입력전압을 초과하므로 각각 직렬로 연결된 11 ~ 12개 모듈을 병렬로 연결해야 한다.

3. 결 론

태양광발전시스템에서 태양전지 모듈과 인버터 시스템과의 결합 손실을 줄이기 위해 온도변화(-10 ~ +70 °C)에 따른 태양전지 모듈의 최대전력동작전압과 최대 개방전압이 인버터 최대 허용 입력전압의 범위에 일치하도록 모듈의 수와 타입 그리고 배열방법을 시뮬레이션을 통해 조사하였다. 태양전지의 동작특성은 태양전지가 서로 똑같은 일사조건이나 재질의 형태가 물성적으로 같은 전기적 특성을 갖고 있을 경우로 간주하고 태양전지 모듈의 온도특성에 대한 데이터를 근거로 시뮬레이션 하였다. 태양광발전시스템을 설계할 때 시뮬레이션을 먼저 행하고 태양전지 모듈 선택의 경제성과 설치공간을 고려하여 필요한 용량에 가장 적합한 시스템을 설계할 수 있을 것이다. 향후 국내에서 개발되는 태양전지 및 태양전지 모듈의 특성을 분석하고 국내 제품에 적합한 시뮬레이션 프로그램을 개발하고자 한다.

- [1] S.Nonaka, K.Kesamaru, K.Yamasaki, et al, "Interconnection System with Sinusoidal Output PWM Current Source Inverter between Photovoltaic Arrays and the Utility Line", IPEC-Tokyo, pp.144151, 1990.
- [2] 한전 기술연구원, "소규모 계통선 연결형 태양광발전시스템 개발", KRC-89G-J08, pp.149-151, 1992. 8.
- [3] 유권중, 송진수 외, "PV 시스템의 Matching 손실저감을 위한 태양전지 및 축전지 최적전압 구성법", 전력전자학회논문지, v.2, n.4, pp.11-18, 1997.
- [4] 정용호, 설승기 외, "태양광 발전용 직류/교류 변환장치의 개발 동향", 전기학회, v.39, n.10, pp.37-46, 1990.
- [5] Ho-Gyun Ahn, Ji-Yoon Yoo, "A Study on parallel Operation Between Inverter System and Utility Line", KIEE Trans, pp. 369-378, 1992.
- [6] Keiju Matsui, Yan Hu, "Utility-Interactive 3kW Photovoltaic Power Conditioning System by Using Forward Converter", IPEC-Yokohama '95, pp. 189-196, 1995.