

상용물을 이용한 120kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의 해석

황정희, 안교상, 김영섭\*, 임희천, 오제명  
한전전력연구원, ABB코리아\*

Commercial Tool Based Modeling and Simulation Analysis of a Grid-Connected for 120kW Photovoltaic Generation System

J. H. Hwang, K. S. Ahn, Y. S. Kim\*, H. C. Lim, J. M. Oh  
KEPRI, ABB\*

**Abstract** -In this paper, to evaluate the grid-connected 120kW class Photovoltaic(PV) system performance, as a consisted of solar cells, PCS, 150kVA transformer station. The paper address modeling and analysis of a grid-connected 120kW class photovoltaic generation system(PV system) PSCAD/EMTD and Psim. A PWM voltage source inverter(VIS) and its current control scheme have been implemented. A P&O(Perturbation and Observation) MPPT algorithms technique modeling has been simulated and analysed.

1. 서 론

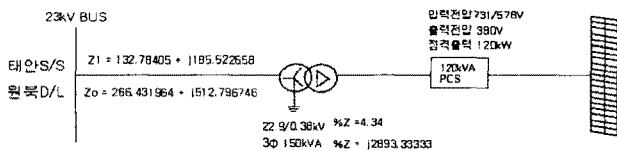
전력계통에 있어서 태양광발전은 상대적으로 새로운 기술이다. 지난 수년 동안 태양광발전에 관한 운전경험은 아주 높은 수준에 이르렀고 오늘날 설치된 태양광발전은 우수한 특성을 갖으며 특별한 문제없이 잘 운전되고 있다. 태양전지 모듈 및 BOS(주변장치)의 가격이 상당히 감소함에 따라 전력계통과 병렬 연계된 태양광발전은 매력적인 수단이 되고 있으며 정부의 신재생에너지 보급정책에 의해 많은 지원을 받고 있다.

따라서 태양전지 Array 출력을 배전선과 연계하여 상용전원과 조합해서 유효하게 이용하는 분산형 계통연계형 태양광발전이 장래 보급의 주축을 이룰 것으로 기대되고 있다. 그러나 불특정 다수의 태양광발전시스템을 계통연계하는 것은 배전선의 전력품질, 안전성, 안정성에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 이들 발전 전원의 본격적인 보급에 앞서서 미리 계통연계운전에 의해 발생할 기술적인 문제점을 해명하고 그 대책기술에 관해서 확립되어야 할 필요가 있다.

태양광발전의 배전계통연계는 기존의 전력계통 개념에서는 새로운 변화를 의미한다. 예를 들면 태양광발전은 계통에 연계되기 전에 태양전지 모듈의 직류전력이 교류전원으로 변환되는데 태양광발전과 전력계통 사이에는 상호간에 피해를 주지 않도록 보호 장치가 필요하다. 태양광발전의 계통연계기술을 확립하기 위해서는 시스템 자체성능확인 이외에 그 연계할 부분, 즉 배전선계통으로의 영향, 또는 그 주변부분에 존재하는 전기제품을 중심으로 한 부하에로의 영향확인도 필요하다. 이들의 확인, 즉 기술적 평가는 전력품질, 안정성, 안전성의 면에서 행하는 것이지만 구체적으로는 태양광발전에서 본 평가, 전기제품에서 본 평가, 전력계통에서 본 평가의 종합평가가 필요하다.

향후 신·재생에너지 보급이 일반화 되어 다수의 분산형 태양광발전이 계통에 도입될 경우 전압변동, 고조파, 단독운전 등 보호협조 문제 등이 이러한 관점에서 주로 고려되어 할 것으로 보이며 특성 모의 연구 및 실증실험을 통하여 분석해야 할 것이다.

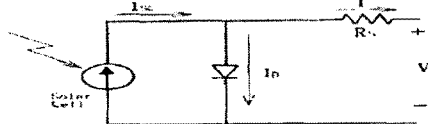
2. PSCAD/EMTDC 모델링



<그림 1> 120kW급 계통연계형 태양광발전시스템

2.1 120kWp 태양전지 어레이 모델링

상용물 PSCAD/EMTDC, Psim의 모델을 바탕으로 태양전지 어레이의 특성을 모의하고, 계통연계형 태양광발전시스템의 전체 출력성능 특성을 모의한다. 용량은 현재 한국서부발전소의 대안 화력발전소 내에 설치되어 있는 PV 어레이의 규격 데이터를 활용하였으며 용량은 122.4kWp이다.



<그림 2> 간략화된 태양전지 등가회로 모형

태양전지 모델링을 위하여 다양한 등가회로 모형이 제시되어 왔다. 본 연구에서는 그림1과 같은 전류원, 다이오드로 구성되어 있는 등가회로 모형을 이용한다.

그림2의 등가회로 모형에서 식(1)과 같은 수리 관계식을 얻을 수 있다.

$$I = I_{sc} - I_0 \left( \exp \left[ \frac{V + IR_s}{nT} \right] - 1 \right) \quad (1)$$

단,  $I_{sc}$ : 태양전지 단락전류[A],  $I_0$ : 다이오드 포화전류[A],  $n$ : 다이오드 이상정수(1~2),  $I_0$ : 다이오드 전류[A],  $V$ : 부하전압[V],  $R_{ab}$ : 직렬저항[Ω],  $V_T$ : 열 전위차[V]. 단,  $V_T = m \cdot (kT/q)$ ,  $k$ : 볼츠만 상수( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K),  $T$ : 절대온도[K],  $q$ : 쿨롱상수( $1.6 \times 10^{-19}$  C),  $m$ : 태양전지 모듈내의 셀(cell) 수

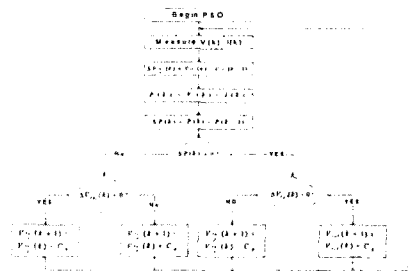
<표 1> PV시스템 모델의 파라미터

파라미터 값	파라미터 값		
$V_{oc}$ (개방전압)	21.8[V]	$N_p$ (병렬연결수)	35
$I_{sc}$ (단락전류)	4.85[A]	$m$ (모듈내cell수)	36
$P_{max}$ (최대출력)	80[Wp]	$T_{ref}$ 내(기준온도)	25[°C]
$N_s$ (직렬연결수)	34	$T_{ref}$ 내(기준일사량)	1000[W/m2]

2.2 계통연계 태양광 발전용 PCS 제어 알고리즘 개발

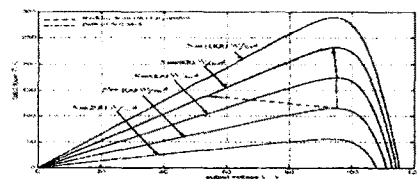
가. P&O 기법 MPPT 알고리즘

태양전지의 출력은 일사량, 표면온도 등의 환경에 따라 동작전압과 전류의 상태를 나타내는 I-V특성이 비선형적으로 변화하는 비선형특성을 가지며, 특성곡선상의 전압-전류의 동작점이 결정되면 이에 따라 출력량이 결정된다. 계통연계형 전력제어기는 태양전지에서 발전된 전력을 최대 이용할 수 있도록 하는 최대출력점추종(MPPT)제어를 수행하여야 한다

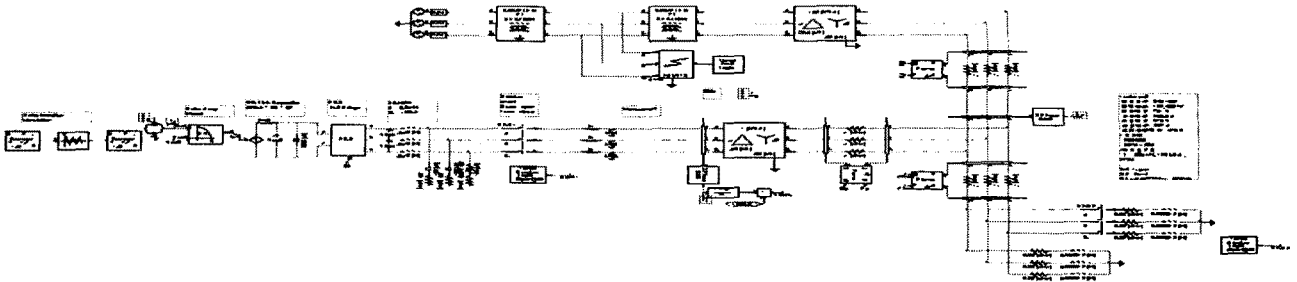


<그림 3> P&O MPPT 알고리즘 순서도

P&O 기법은 넓게 MPPT 접근을 위해 사용되고 있다. 입력값으로는 태양전지의 출력전압과 전류, 출력값으로 요구되는 동작전압  $V_{ref}$ 를 CPU에 입력하여 처리한다. 이것은 전압 제한 제어기에서 요구되는 동작전압  $V_{ref}$ 로 사용할 수 있다.



<그림 4> P&O 알고리즘을 가진 MPPT와 실제 출력점의 경로

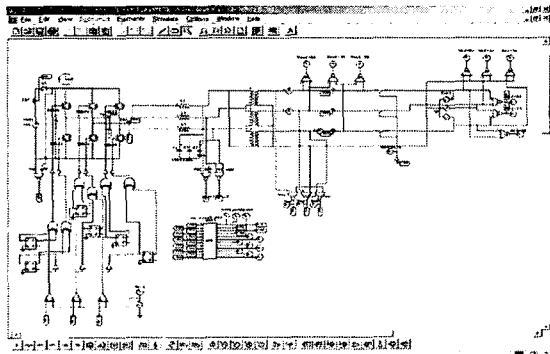


<그림 5> PSCAD/EMTDC를 이용한 120kW PV 시스템

하지만 이 시스템은 온도 또는 일사량의 빠른 변화에서 응답이 매우 느리게 될 수 있다. 이상적인 스텝 폭에 대한 값은 시스템에 중속적이며 경험적인 결정이 필요하다. P&O 기법의 다른 결점은 일사량 S의 갑작스런 증가의 경우에 P&O 알고리즘은 어레이 동작전압의 이전 설정의 결과로써 일어나게 되는 증가처럼 반작용한다. 그러므로 다음 설정은 이전의 설정과 같은 동일한 방향이 되어버린다. 이 시스템이 최대 출력점 주위에 진동하고 있다고 가정한다면 그림4에서 볼 수 있듯이 한 방향에서 연속적인 설정은 실제 최대 출력점으로부터 멀리 떨어진 동작점에 이르게 된다. 이 과정은 일사량이 천천히 줄어들거나 일사량이 없을 때까지 계속된다. 그 결과 태양전지 어레이의 손실이 발생하게 된다.

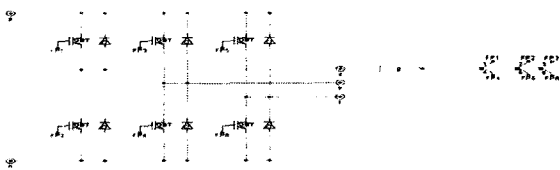
나. 제어기의 컴퓨터 시뮬레이션

앞에서 설명한 인버터 제어 알고리즘을 실제 하드웨어에 적용하기 전에 제어의 실효성과 명확성을 확보하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 시뮬레이터는 전력변환회로 시뮬레이터 중 가장 일반적으로 사용되고 있으며, 제어 알고리즘을 동적 라이브러리 링크(DLL : Dynamic Library Link)에 적용하여 실제 제어와 유사한 환경으로 시뮬레이션 할 수 있는 Psim Ver.4.1을 사용하였다.



<그림 6> Psim에 의한 시뮬레이션 회로

그림6,7에 Psim 및 PSCAD/EMTDC시뮬레이션 회로를 나타내었다. 회로에서 태양전지 입력은 가상의 직류입력으로 모델링하였고, 인버터부는 삼상 IGBT 인버터 모델을 사용하였다. 필터와 변압기는 실제 설계된 회로정수를 입력하여 모델링 하였고, 계통연계부는 실제 시스템에서 사용되는 회로와 동일하게 구성 하였으며, 계통전압은 이상적인 삼상 380V 계통을 모델링하여 회로를 구성하였다. 그리고 인버터 제어부는 실제 제어 소프트웨어를 동적 라이브러리 링크(DLL : Dynamic Library Link)에 이식하여 동작하도록 하여 시뮬레이션을 실시하였다.

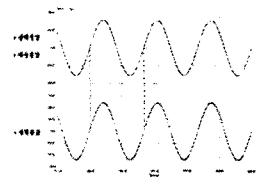


<그림 7> PSCAD/EMTDC PCS 회로

그림8에서 계통연계 특성 시뮬레이션 결과 파형을 보였다. 시뮬레이션 시작 후 약 1초 후 계통에 연계되어 계통전압의 주파수를 추종하며 이로부터 약 2초 후의 전류제어 개시점부터 소프트 스타트(soft start)하며, 즉 약 1.5초 이내에 전류지령치까지 서서히 전류를 상승 시키며 계통에 전류를 주입하고 있는 것을 볼 수 있다. 연계시점이나 전류 주입 시점에서 전류 오버슈트(overshoot)가 전혀 일어나지 않는 것도 알 수 있다.



<그림 8> 계통연계 특성 시뮬레이션 결과 파형

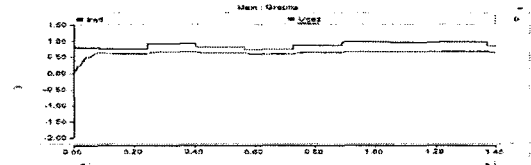


<그림 9> 인버터 출력전류 제어 시뮬레이션 결과 - 183[A]

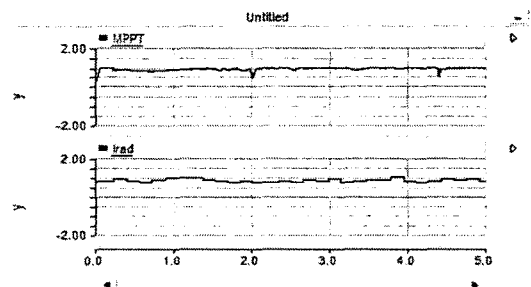
3. 성능모의

가. 태양전지 어레이의 출력특성

그림10은 어레이의 출력전압으로서 일사량 변동에 따른 응답 특성을 보인다. 어레이최 출력과 인버터의 출력은 일사량 변동을 직접적으로 반영한다. 일사량 변동 시 인버터 출력이 어레이 출력에 비하여 미소한 시간지연을 보이는 것은 인버터 제어에 따른 것으로 볼 수 있다.



<그림 10> 일사량 변동에 따른 태양전지 어레이 출력전압



<그림 11> 일사량에 따른 MPPT 제어 특성

3. 결 론

신뢰성있는 상용틀을 이용해 120kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의 해석을 하였다. 사용자 정의 기능을 이용하여 태양전지 어레이, 저압원인버터 및 MPPT 기법을 적용 구현하였다.

구현된 120kW급 계통연계형 태양광발전 시스템은 한국서부발전(주) 대안발전본부에 설치되어있는 설비로서 앞으로 실제 계통과 같은 조건을 만들어 상정사고 및 다양한 보호협조 방식에 대한 모의, 배전선의 전력품질, 보호 안정성예의 영향 등에 대하여 모의를 추가할 것이다. 이는 향후 대규모 MW급 계통연계형 시스템개발을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김술기, 김진홍, 김용상, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의 해석" 대한전기학회 Vol. 54A, No. 3, MAR, 2005
- [2] 안교상, 김수창, 김신섭, 황인호, 박성연, 김영섭, 임희천, 오제명, "120kW 태양광발전시스템의 설계/제작", 대한전기학회 하계학술대회2005.7
- [3] 산업자원부, "120kW급 태양광 발전시스템의 설계/제작 연계운전 적용 및 평가" 최종보고서, 2006.