

## 시뮬레이션에 의한 계통연계형 태양광발전의 동작특성 분석

차민영, 한병문  
명지대

### Operational Characteristic Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Generation by Simulation

Min-Young Cha, Byung-Moon Han  
Myongji University

**Abstract** - 본 논문에서는 기존의 승압형 DC-DC 컨버터에 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터를 추가한 2단 구성방식의 1.5kW급 계통연계형 태양광 발전시스템에 대해 설명한다. 이러한 태양광 발전시스템의 동작을 살펴보기 위해 PSCAD/EMTDC를 통해 태양전지 어레이를 모델링하여 출력특성을 알아보고, 계통연계시의 운전특성을 구현하였다.

$I_{SC}$ : 단락전류 [A]	$A$ : Ideality Factor[m <sup>2</sup> ]
$I_D$ : 다이오드 전류[A]	$q$ : 전하량[C]
$I_O$ : 다이오드 포화전류[A]	$k_B$ : 볼츠만 상수
$I_{sh}$ : 누설전류[A]	$T$ : 온도[K]
$V_D$ : 접합전압[V]	$R_S$ : 직렬저항[Ω]
$R_{sh}$ : 병렬저항[Ω]	

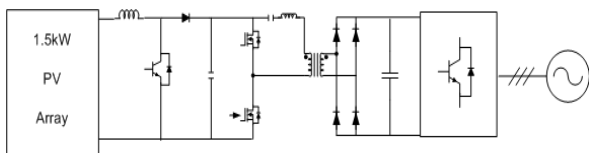
#### 1. 서 론

최근 들어 화석연료의 고갈과 환경오염의 심각성 및 기존 전력설비의 노후 및 용량 증대에 따른 지속적인 문제점이 대두되면서 신재생에너지원의 개발 및 기존 전력설비와의 연계에 대한 필요성을 느끼고 있다. 이러한 신재생 에너지원 중에서도 태양광 발전은 가장 실용화에 가깝고 운전이 쉬우며, 유지 및 보수가 간단하고 발전 규모 선택이 자유롭다는 여러 가지 장점을 가지고 있어 대체 에너지원으로 각광 받고 있다.

특히 계통연계 태양광 발전 시스템은 최대전력을 발전하는 시간대가 하절기 피크 전력 소비시간대와 비슷하여 주택 및 건물의 지붕이나 옥상, 벽면 등에 설치함으로써 전력 수급 불균형 해소에 기여할 수 있고 국토 효율적 사용이 가능한 전력공급원으로 그 활용이 가능하다.[1]

계통연계형은 태양전지의 출력이 부하의 수요에 비해 부족할 경우는 부족분을 전력계통으로부터 수전하고, 잉여출력이 있는 경우는 잉여분을 계통 측에 공급하는 것이다. 따라서 시스템과 전력계통은 상호 밀접한 관련이 있으며 태양광 발전시스템의 계통연계 시 시스템 출력변동, 고주파 발생 등으로 인한 계통 전력품질, 전압변동, 그 외에 단독운전에 대한 대책이 요구된다.[2]

본 논문에서는 1.5kW의 2단 구성방식의 DC-DC 컨버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템을 PSCAD/EMTDC를 통해 구현하였다.

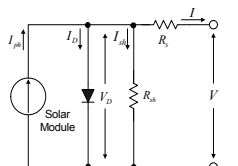


〈그림 1〉 계통연계형 PV시스템 구성

#### 2. 본 론

##### 2.1 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성

###### 2.1.1 태양전지의 구조 및 특성



〈그림 2〉 태양전지 등가회로

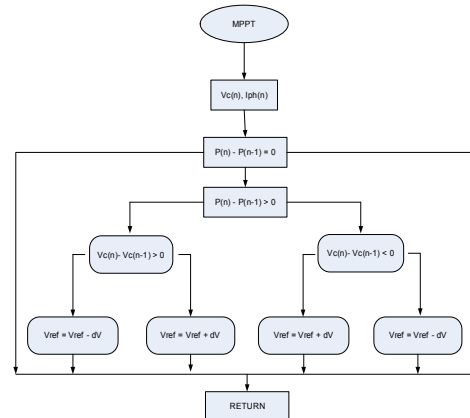
태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와  $I_{ph}$ 의 크기를 갖는 전류원으로 구성되어 있다. 그러나 실제로는 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접속 저항 및 표면층의 시트저항 등을 표시하는 직렬저항  $R_s$ 와 병렬저항  $R_{sh}$ 를 고려해야 한다. 실제 등가회로에서의 전압-전류의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_{SC} - I_o \left\{ e^{\frac{q(V + IR_s)}{Ak_B T}} - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2-1)$$

태양전지의 출력 특성은 주로 일사량과 동작온도에 따라 좌우된다. 이때 태양전지의 출력이 최대가 되는 점을 최대전력점(Maximum Power point)라고 한다. 이 최대전력점에서의 전압은 개방전압에 가깝고, 온도에 따라 약간 변화한다. 그러므로 태양전지의 출력은 주로 출력전류에 의존하게 된다. 또 부하상태도 계속 변화하기 때문에 태양전지 특성이 변화하지 않아도 동작점은 변해서 최대출력이 얻어지는 부하상태와는 같지 않게 된다.

###### 2.1.2 최대출력점 추적제어(MPPT)기법

태양전지를 효율적으로 동작하기 위해서는 태양전지에서 최대출력을 항상 최대전력점에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다. 그 중 P&O (Perturbation&Observation)법은 태양전지의 동작점을 규정하는 직류단 전압제어 시 전압을 일정한 폭으로 변동시킨 후 태양전지 출력을 관측, 이전 출력과 비교하여 출력이 증가하는 방향으로 전압을 상승 또는 하강시키는 방법이다. 다음은 P&O법의 흐름도이다. 먼저 태양전지의 출력의 기울기를 판단한 후, 전압의 변동방향을 결정하는 제어흐름도를 나타낸다. 본 연구에서는 MPPT제어를 위하여 P&O기법을 사용하였다.[3]



〈그림 3〉 P&O법 Flowchart

###### 2.2 2단 구성방식의 DC-DC컨버터를 이용한 제어기법

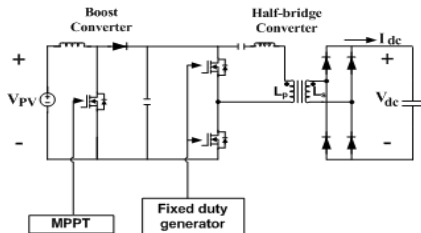
태양광 발전시스템에 적용되는 승압형 DC-DC컨버터는 최대 전력점이 존재하는 태양광의 특성에 따라 제어되고, 계통연계를 위한 400V 출력전압으로 유지되어야 한다. 이러한 태양전지의 특성에 맞춰 전력변환이 가능한 2단 구성방식의 DC-DC컨버터를 이용하였다.[4]

2단 구성방식의 DC-DC 컨버터는 제어 설계의 복잡성을 줄이고 회로가 갖는 스트레스를 분담하여 보다 높은 효율을 가진다. 그림 4와 같이 승압형 DC-DC 컨버터, LLC 하프브리지 공진형 컨버터로 구성되어 있으며, MPPT에 의한 가변 시비를 제어부, 고정 시비를 게이트 발생 회로를 가진다. 태양전지 어레이의 출력전압을 기준으로 280V의 입력전압을 설정하였고, 출력전압은 400V로 유지하게 된다.

승압형 DC-DC컨버터는 전류원으로 동작하는 태양전지로부터 그 출력이 최대인 지점에서 에너지를 입력 측에서 출력 측으로 넘겨주는 역할을 한다. 이를 위하여 태양광 발전시스템에 적용되는 DC-DC컨버터의 경우는 계속적으로 변하는 최대출력점을 찾아 스위칭을 통한 전류의 제어를 통해 최대 전력을 전달한다.

LLC 하프브리지 공진형 컨버터는 고정 시비율로 스위칭 소자에 게이

트 펄스를 공급하기 때문에 변압기를 입력 전압이 일정한 전압정격으로 설계할 수 있어 변압기의 이용률을 높일 수 있고, 변압비는 1:1로 계통과의 절연과 동시에 입력력단의 전압을 일정하게 유지한다.



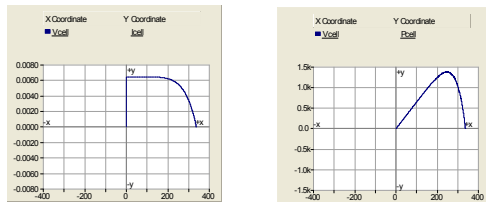
〈그림 4〉 2단 구성방식 DC-DC컨버터

### 2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

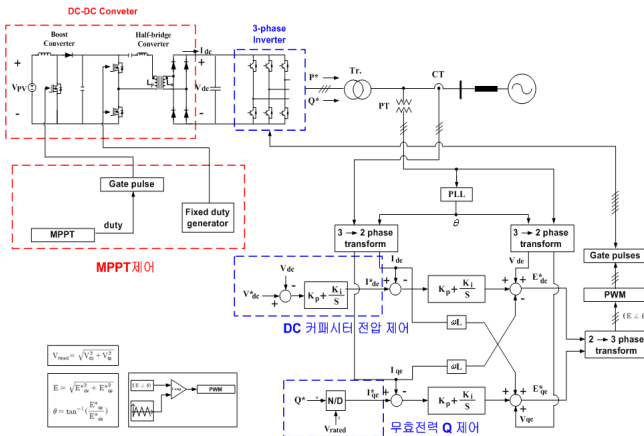
태양전지 어레이는 1.5kW로 60개의 모듈(8직렬×1직렬)로 구성된다. 모의 대상 태양전지 모듈은 A사의 SM-220PA6모듈이며, 기본적인 규격과 출력 특성은 다음과 같다.

〈표 1〉 태양전지 모듈 규격

모델명	SM-220PA6
최대출력	220Wp
개방전압	36.4V
단락전류	8.18A
최대전력점 전압	29.3V
최대전력점 전류	7.51A
Temperature coefficient of Isc	0.08%/℃



〈그림 5〉 PV Array 출력 특성



〈그림 6〉 시스템 제어구성도

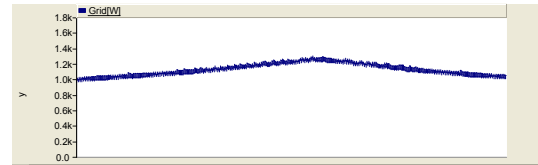
태양광 발전시스템은 2단 구성방식의 DC-DC컨버터 제어부, 계통연계 인버터 제어부로 나눌 수 있다. DC-DC컨버터 제어부는 MPPT제어를 수행하고, DC-AC인버터 제어부는 DC 커패시터의 전압과 무효전력 Q의 제어를 수행한다.

DC-DC컨버터 제어부는 태양전지 어레이의 출력전압과 기준전압의 오차를 PI제어를 통해 시비율을 제어하여 최대출력점의 전압과 전류를 생성한다. LLC 하프브리지 공진형 컨버터는 고정시비율을 갖고 변압기의 권수비에 의해서 전압을 출력한다.

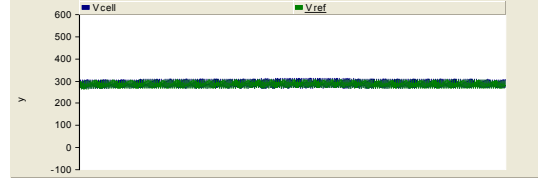
DC-AC인버터 제어부는 계통 전압, 전류 값을 검출하여 PLL(Phase-Locked Loop)을 통해 얻은 위상각을 이용하여 d-q변환을 한다. 이 때 얻은 d축과 q축의 전류 성분을 제어하여 나온 전압은 PWM방식에 의해 인버터의 6개의 주 스위치 소자 IGBT의 게이트를 생성한다.

다음은 PSCAD/EMTDC를 이용한 1.5kW의 2단 구성방식의 DC-DC컨버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템의 출력특성이다. 태양광 발전시스템은 일사량에 따라 전력계통으로 유효전력을 안정적으로 출력하도록 제어하였고, 계통연계형 인버터는 DC 커패시터의 전압을 400V

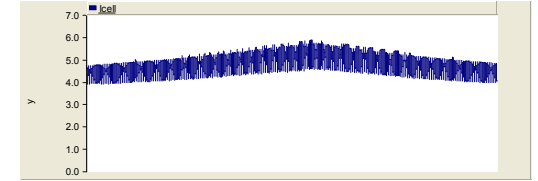
로 일정하게 유지하면서 무효전력을 제어하고 있다.



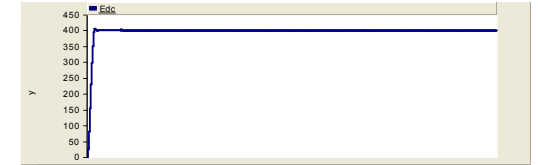
(a) 일사량 변동에 따른 PV Array 출력전력



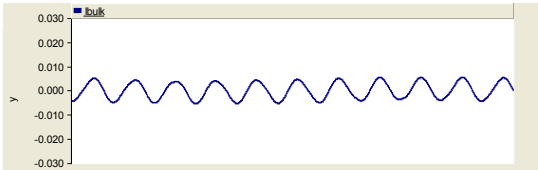
(b) PV Array 출력전압 및 기준전압



(c) PV Array 출력전류



(d) DC 커패시터 전압



(e) 인버터 출력전류

〈그림 7〉 계통연계 시스템 출력 특성

### 3. 결 론

본 논문에서는 1.5kW의 2단 구성방식의 DC-DC컨버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 구현하였다. 태양광 발전시스템의 일반적인 구성과 등가모형을 제시하고, 제시된 모델의 타당성을 위하여 최대출력과 최대출력에서의 전압, 전류 값을 검토하고 일사량의 변화에 따른 특성을 알아보았다. 전력변환기로 사용되는 2단 구성방식의 DC-DC컨버터는 태양광발전의 출력에 따라 전력계통으로 안정적으로 출력하고 있음을 볼 수 있고, 향후 다른 분야에도 적용이 가능할 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

### 참고 문헌

- [1] S.J.Chiang, K.T.Chang, C.Y.Yen, "Residential Photovoltaic Energy System", IEEE Trans. Indus. Electronics, vol.45, No.3, pp.385-394, 1998.
- [2] H. Kobayashi, K. Takigawa, "A New Protective Method for Grid Connected Dispersed PV systems to Detect Short Circuit Fault in Distribution Line", PVSEC-9 Technical digest, pp.59-60, 1996.
- [3] Eftichios Koutroulis, Kostas Kalaitzakis, Nicholas C. Voulgaris. "Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System", IEEE Trans. Power Electron., vol.16, No.1, pp.46-54, 2001.
- [4] 유효원, 전용민, 임승범, 이준영, 홍순찬, "1kW급 연료전지 발전용 2단 구성 방식의 DC-DC 컨버터 설계", 전력전자학회, 6, pp. 46~48, 2008