

# 고가치 계통연계형 PV시스템에 관한 연구

박종찬, 바이스갈랑, 자야바타르, 허혜성, 최규하  
건국대학교 전기공학과

## A Study on High Value Grid Connected PV System

Jong-Chan Park, Bayasgalan Dugarjav, Zzyaabatar, Hae-Sung Heo, Gyu-Ha Choe  
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk. Univ.

### ABSTRACT

본 논문에서는 고 kW가치를 갖는 계통연계형 PV 시스템을 제안한다. 기존의 낮은 시스템 이용율을 향상 시킬 수 있으며, 고kW 가치 시스템을 통한 전력 예비율 확보에 도움을 줄 수 있다. 전력저장 장치 및 에너지 충 방전용 전력 변환 장치로 구성되는 전력 조절기를 추가 함으로써 기존 시스템에 비해 PV-array 용량을 작게 설치하여도 peak-cut 효과를 크게 할 수 있으며, PV시스템 설비 이용율을 높일 수 있다. 이를 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

국민생활 수준의 향상과 국가경제 발전에 따라 에너지자원의 급속한 고갈과 환경 문제가 대두되는 가운데 대체에너지에 대한 관심이 집중되고 있다. 우리나라는 2007년~2017년 기간 동안 전력이 평균 2.5% 증가할 것으로 전망된다. 그리고 최대 전력은 평균 2.7% 증가할 것으로 예상된다<sup>[1]</sup>. 그러므로 발전 설비 확충에 있어 태양광발전시스템은 발전소를 보완하는 분산 전원의 역할을 한다 하지만, 기존의 계통 연계형 PV 시스템은 청정한 신에너지원이라는 장점외에 연계시 발생할 수 있는 전기적 악영향, 시스템의 낮은 이용율, PV 시스템의 낮은 kW 가치, 그리고 높은 가격으로 인한 민수시장의 확대의 어려움과 같은 문제점을 가진다<sup>[2-4]</sup>.

이런 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 시스템의 가치를 높이기 위해 중점을 둔 부분은 계통 연계형 PV 시스템의 kW 가치를 향상시키고, 계획 가능한 전력원으로 반영시키는 것이다. 본 논문에서는 배터리와 같은 전력저장 장치 및 에너지 충방전용 전력 변환 장치로 구성되는 전력 조절기를 추가하였다. 이를 통해 출력이 년 평균 출력 보다 큰 경우와 작은 경우의 잉여분 또는 부족분을 제어하는 방법으로 계통 연계형 PV시스템의 kW 가치 상승 및 peak-cut 효과에 기여할 수 있다.

### 2. 고가치 계통연계 PV 시스템의 제안배경 및 정의

서론에서 언급한 바와 같이, 기존의 계통 연계형 PV 시스템은 청정한 신에너지원이라는 장점외에 시스템의 낮은 이용율, PV 시스템의 낮은 kW 가치, 그리고 높은 가격으로 인한 민

수시장의 확대의 어려움과 같은 문제점을 가진다. 이러한 문제점들은 다음과 같이 좀더 구체적으로 정리될 수 있다.

#### ① 낮은 kW 가치

PV 시스템의 에너지 측면에서 가치를 평가할 때 쓰이는 표현으로 'kW가치'의 용어를 생각할 수 있다. 그리고 kW가치는 전력 예비율 확보에 얼마나 도움을 줄 수 있는가 하는 개념으로서 peak 전력 소비 시간대의 시스템의 발전량이 클 수록 kW가치는 높다고 할 수 있다. 기존 시스템의 peak-cut 기여도는 35[%]~17[%] 정도이다(즉, 1[kWp] 시스템의 설치시 0.35[kW]~0.17[kW] 정도가 peak-cut에 기여). 이렇게 PV 시스템 출력의 불안정성으로 일정한 출력을 갖는 전원으로 평가되지 않는 PV 시스템에서는 그 kW 가치는 전력 수급 계획 수립시 PV 시스템의 반영을 어렵게 하였고, 최근 수립된 제 3차 전력수급계획에서는 PV 시스템의 피크 기여율을 30[%]로 반영하고 전력 계획을 수립하였다.

peak 전력 소비 발생시간대와 실제 PV시스템의 최대전력 발전시간대와의 불일치는 시스템의 kW 가치를 떨어뜨리는 큰 이유가 된다. 그리고 그림 3-2과 같이 일사량의 변화로 인한 비교적 빠르게 변화하는 출력 성분들 또한 부하 패턴과의 상관관계를 저하시켜서 kW 가치를 떨어뜨리는 요인이 된다. 표 1은 최근 5년간의 피크전력 소비 발생시간을 나타내고 있는데 대부분 12~15시 사이에서 최대 수요가 발생함을 알 수 있다.

표 1 최대 전력 수요 발생시간 및 발생 일자[5]

1996년 8월 13일 (화)	15:00
1997년 8월 20일 (수)	12:00
1998년 9월 10일 (목)	15:00
1999년 8월 17일 (화)	17:00
2000년 8월 18일 (금)	12:00
2001년 7월 26일 (목)	15:00
2002년 8월 29일 (목)	15:00
2003년 8월 22일 (금)	12:00
2004년 7월 29일 (목)	15:00
2005년 8월 17일 (수)	12:00
2006년 8월 16일 (수)	12:00

#### ② 낮은 시스템 이용율

- 시스템 이용율을 다음과 같이 정의하고 실증실험을 통하여 시스템 이용율을 구하면,

$$\text{시스템이용율} = \frac{\text{시스템년간발전량}(kWh)}{\text{시스템정격용량}(kWp) \cdot 24 \cdot 365} \times 100[\%] \quad (1)$$

일본(동경)의 경우 이용율은 11.4[%]로 하루 24시간 중 2.7 시간 정도 시스템이 정격으로 운전된다(즉 1[kWp] 시스템의 설치시 하루의 총발전량은 하루 2.7 시간정도 PV 시스템이 정격운전하는 것으로 환산될 수 있음).

### ③ 높은 가격

표 3-2는 PV 시스템 설치시 보조금을 지원하며 PV 시스템의 보급을 촉진해온 일본에서의 3[kWp] 시스템의 가격 및 보조금 추이를 나타낸다(3[kWp] 시스템은 국내에서도 보급용 계통연계형 PV 시스템의 표준형이다). 전체 시스템 가격 및 보조금은 줄어들고 있으나 시스템 설치 대수는 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 자료를 통해 시스템 가격이 낮아질 수록 PV 시스템에 대한 국민의 관심이 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 3[kWp] 시스템 가격은 한화로 환산시 1000만원 이상으로 매월 전기료 절감을 통하여 설치비용을 보전하기에는 다소 부담스러운 금액일 수 있고, 또한 일본과 달리 국내에서는 전력 사업자에 한해 한국 전력에서 PV 시스템이 생산한 전력을 비싼 가격으로 매입하는 정책을 채용하고 있으므로 일반인이 개별적인 시스템을 설치하기에는 다소 부담스러운 부분이 있다.

이러한 불안정한 PV-array 출력에 의한 kW 가치 하락, 전원의 질 저하 등을 정리하여 그림으로 나타내면 그림 3-3과 같이 요약 정리할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 기존의 계통연계형 PV의 문제점들을 개선한 시스템을 고가치 PV 시스템이라 칭하고, 시스템의 낮은 이용율, kW 가치를 개선한 PV 시스템을 제안한다.

## 3. 제안된 시스템의 구성

본 연구에서는 그림 1과 같은 시스템에서 양방향 DC/DC 컨버터를 생략한 시스템의 제어방법 및 전력회로를 제안한다. 양방향 DC/DC 컨버터를 생략한 시스템은 그림 2와 같이 구성되는 가능하다. 그림 2에서 PV-array 출력을 전력저장 디바이스로 전달하는 단방향 DC/DC 컨버터를 승압형 으로 사용하는 이유는 가정용 PV 시스템의 PV-array 동작점이 DC link 전압에 비해 낮기 때문이다.

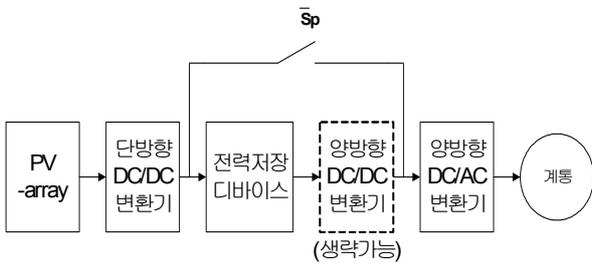


그림 3 제안된 시스템의 블록 다이어그램

또한, 본 연구에서는 강압형 컨버터의 경우 부하측의 전류가 연속될 수 있는 특징을 이용하여 그림 2에서와 같은 승압 컨버터를 제안한다. 그림 2에서와 같이 승압 컨버터를 구성하면 전류  $i_{dsol}$  이 연속으로 제어 가능하며, 연속조건 하에서 전압  $v_1$  이 다음과 같이 표현되므로,

$$v_1 = \frac{N3}{N1} D v_{sol} \quad (2)$$

여기서 D : 스위치 Sd의 듀티비

듀티비와 절연변압기의 권선비를 이용하면 다음과 같이 전압을  $V_{sol}$ 보다 높게 제어할 수 있다.

$$v_{dsol} = v_{sol} + v_1 \quad (3)$$

이러한 방식으로 승압형 컨버터를 구성할 경우 스위칭 손실을 무시하면 정상상태에서 다음과 같은 전력 균형 방정식을 쓸 수 있다.

$$P_{sol} = V_{sol} I_{sol} = V_{dsol} I_{dsol} = V_{sol} I_{dsol} + V_1 I_{dsol} \quad (4)$$

여기서  $V_{sol}$  : 리플을 무시한 정상상태에서의 PV-array 단자 전압

$I_{sol}$  : 리플을 무시한 정상상태에서의 PV-array 출력전류

$V_{dsol}$  : 정상상태에서의 승압 컨버터 출력 전압의 평균치

$I_{dsol}$  : 정상상태에서의 승압 컨버터 출력 전류의 평균치

$V_1$  : 정상상태에서의 전압  $v_1$ 의 평균치

식 (4)에서 승압 컨버터에 의하여 전달되는 전력은  $v_1 i_{dsol}$   $V_2 i_{dsol}$ 에 해당하며 이 전력을 전달하는 과정에서만 스위칭 손실이 발생함을 알 수 있다. 그러므로 제안된 승압 방식은 그림 3-7에서의 승압방식(PV-array로부터 발전된 전력이 승압형 컨버터를 통해서 100[%] 전력 저장 디바이스 측으로 전달하는 방식)에 비해 효율이 높아지는 장점을 가진다. 그리고 전류  $i_{dsol}$  이 연속으로 제어되기 때문에 배터리와 같은 전력 저장 디바이스를 이용하여 시스템의 구성시 배터리 수명측면에서 유리한 시스템 구성방법이다. 그리고 그림 2에서 고주파 변압기의 권선 N2는 스위칭 한주기 내에서 변압기의 자화전류를 reset시키기 위한 demagnetizing 권선이다. 그림 2와 같이 구성되는 전력회로의 제어계통은 그림 3과 같이 구성된다.

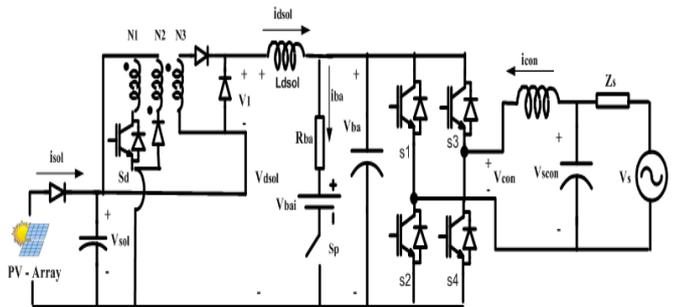


그림 2 제안된 승압 컨버터를 갖는 시스템

제안된 시스템은 양방향 DC/DC 변환기의 생략이 가능할 수도 있다. 그리고 양방향 DC/DC 변환기 사용시 사용 시간이 짧

아서 전력 변환회로에 의한 손실이 적다.

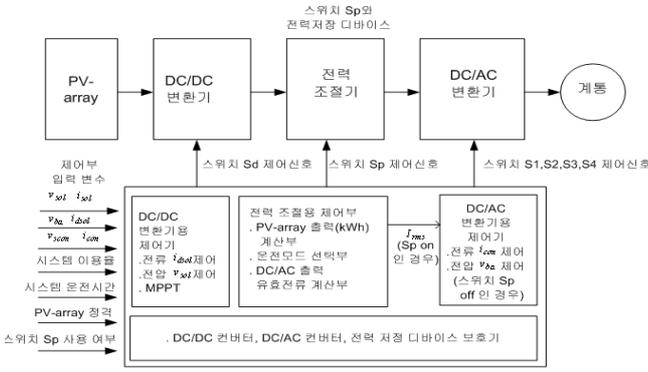


그림 3 제안된 고 kW 시스템의 제어계통

#### 4. 시뮬레이션 및 검토

본 장에서는 그림 2와 3과 같이 구성되는 시스템의 타당성을 검증한다. 표 2는 운전조건을 나타내며 전력 저장 장치는 배터리를 가정하였다. 시스템 시뮬레이션은 다음의 2가지 시나리오에 따라 이루어졌다.

표 2 시스템 운전 조건

PV-array 정격	1[kWp]
정격 PV-array 전압	340[V]
배터리 정격 전압	380[V]
배터리 전압 변동 범위	357~462[V]
배터리 내부저항(Rba)	0.66[Ω]
계통전압	220[V]

① 시나리오 1 - AC 측으로 발전하지 않을 경우의 충전 특성 - 조건

- . PV-array 출력: 0.9[kW]
- . 배터리 전압 : 357[V] (=10.8\*33)
- . 발전 전력 : 0[KW]

② 시나리오 2 - 방전 특성 - 조건

- . PV-array 출력: 0[kW]
- . 배터리 전압 : 363[V]
- . 발전 전력 : 1[KW] ( DC/AC 컨버터 출력)

그림 4는 AC 측으로 발전하지 않을 경우의 충전 특성(시나리오-1)을 나타내며, PV-array 단자전압 (Vsol)의 초기치는 300[V]로 모의 하였다. PV-array 단자전압(Vsol)은 약 10[V] 정도의 오버슈트를 보인 후 정상 상태(출력 0.9[kW], 340[V])에 도달함을 볼 수 있다. 충전 모드로 동작하므로 배터리 내부 저항의 영향으로 배터리 개방 전압인 357[V]이상에서 안정화 됨을 볼 수 있다. 그림 5는 PV-array로부터 발전이 되지 않을 경우(시나리오-2) 방전 특성을 나타낸다. 방전 모드이므로 배터리 전압은 개방 전압(363[V])에 비하여 감소함을 알 수 있다. 그리고 DC/AC 컨버터 출력 전류는 5주기 후 정상상태에 도달하다

록 소프트 스타트 기능을 내장하였기 때문에 서서히 출력이 증가하여 5주기 후 정상상태에 도달함을 볼 수 있다.

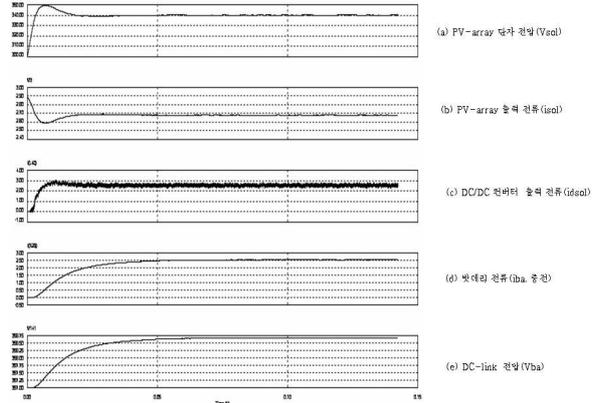


그림 4 시스템 각부 파형(시나리오-1)

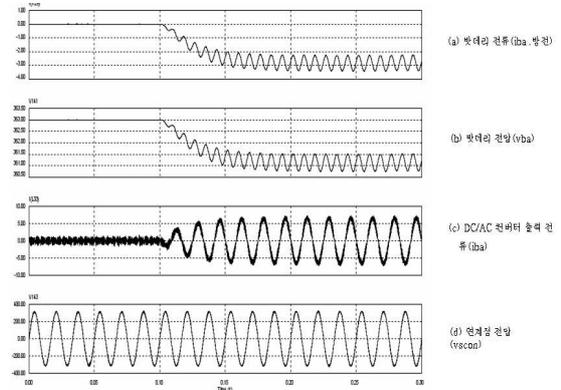


그림 5 시스템 각부 파형(시나리오-2)

#### 5. 결론

본 연구에서는 고 kW 가치를 갖는 계통 연계형 PV시스템을 제안하고, 국산 가정용 3[kW] 계통 연계형 인버터의 성능을 평가하였다. 배터리와 같은 전력 저장 디바이스의 추가와 소프트웨어적인 운용알고리즘을 변화시켜 현재 PV 시스템의 구성 요소 중 가장 비싼 PV-array의 용량을 1/3정도로 줄여도 기존의 3[kWp]시스템 수준의 kW가치를 유지할 수 있는 시스템을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안된 시스템의 타당성을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부 연구비 지원에 의하여 기초전력연구 주관으로 시행되었음

#### 참고 문헌

- [1] 박정민, 김지훈, 최연욱, 김대곤, 장용해, “조선대학교 기숙사 선원용 50kW 태양광발전시스템 발전 특성”, 전력전자학회 학술대회 논문집, Vol. 1, pp. 720-722, 2005, July
- [2] 김홍성, 최규하, 유권중, “PV 어레이 순시률변동에 의한 외란의 억제기능을 갖는 계통연계형 PV 시스템”, 한국 태양 에너지 학회, Vol.19, No.4, 1999.
- [3] “太陽光発電システムの有効利用方策の検討”, 일본 전력 중앙연구소 보고서 T97515, 平成10年.
- [4] “新エネルギー技術開発関係データ集作成調査(太陽光発電)”, NEDO, 平成12年
- [5] 한국전력공사, 전력통계속보 제337호, 2006년 11월