

# 직류전원 공급용 태양광 발전 시스템 기반 독립형 하이브리드 분산전원 시스템 일례

윤여영, 김홍성, 최재호\*  
 한빛이디에스(주), 충북대학교\*

## A Stand-alone hybrid distributed power system example based on the Photovoltaic Power System for DC power supply

Yeo Young Yoon, Hong Sung Kim, Jaeho Choi\*  
 Hanbit EDS CO., Ltd, Chungbuk National University\*

### ABSTRACT

본 연구에서는 독립형 직류 배전망 구성에 이용될 수 있는 태양광 발전 시스템 및 ESS(Energy Storage System)를 이용한 하이브리드형 분산 전원 시스템의 구성 일례를 제시한다. 제안된 시스템의 전력회로는 태양광 발전 시스템용 PCS에는 직렬 공진 탱크를 가지는 절연형 풀브리지 방식, ESS용 PCS에는 비절연형 양방향 컨버터로 구성되었다. 태양광 PCS의 제어방식으로는 직류 제어가 사용되었으며, ESS 용 PCS에는 비직접식 제어방식이 적용 되었다. 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 100[kW]급 태양광 시스템, 100[kW]급 ESS를 기반으로 하이브리드 시스템을 구현하고 직류 계통 전압 제어 특성, 부하급변에 대한 전력분담 제어 실험결과를 제시하였다.

### 1. 서 론

전 세계적으로 지구 온난화 및 화석에너지의 고갈과 함께 DC 출력형 신재생 에너지원의 수요 증가, 산업계에서 IDC(Internet Data Center)등의 대규모 DC 부하에 대한 에너지 절감을 위해 DC 급전계통에 대한 관심이 높아지고 있다. DC 급전 계통이 갖고 있는 장점으로는 AC 급전 계통에 내재되어 있는 단점인, 동기화, 안정도, 무효전력 소모 등을 해결할 수 있다. 또한 IT 전력기기와 같은 DC 부하들은 현재 대부분 AC 계통에서 전력을 공급을 받기 위해 AC/DC 변환기가 필요하고, 태양광, 풍력 등 DC 출력형 신재생 에너지원들은 AC 계통에 연계하기 위해서 DC/AC 변환 장치가 필요하다. 이에 반해 DC 급전 계통의 구성 시는 신재생 에너지원들의 DC/AC 변환 과정 및 DC 부하에 구비되어 있는 AC/DC 변환기가 생략될 수 있으므로, AC 급전 계통에 비해 약 4~15[%] 정도의 전력 손실 감소를 기대 할 수 있다.<sup>[1]</sup>

이에 본 연구에서는 독립형 직류 배전망 구성에 이용 될 수 있는 직렬형 공진 탱크를 갖는 풀브리지 방식의 단방향 태양광 발전 시스템 및 비절연형 양방향 컨버터 방식 ESS(Energy Storage System)로 구성된 하이브리드형 분산 전원 시스템의 구성 일례를 제시하고 제안된 방식의 타당성 검증을 위해 100[kW]급 태양광 발전 시스템 및 ESS를 기반으로 하이브리드 시스템을 구현하고, 직류 계통 전압제어 특성, 부하 급변에 대한 전력분담 제어 실험결과를 제시하였다.

### 2. 시스템 구성

### 2.1 DC Mini-Grid System

그림1 에 제안된 DC Mini Grid 시스템 구성도를 나타내었다. DC Mini Grid 시스템은 100[kW]급 태양광 발전시스템, 100[kw]급 ESS, 100[kW]급 저장 부하로 구성되어 있다. DC Mini Grid 시스템에서 태양광 발전 시스템은 태양광발전의 출력 특성 상 전력 균형 제어가 어렵기 때문에 고속의 양방향 전력제어가 가능한 ESS에서 전력 균형 제어기능을 담당한다. 아직 DC 마이크로그리드 동작 전압 에 대한 규격이 없어서, 임의로 동작전압을 대부분의 빌딩 배전 시스템은 저압 AC 시스템, 3상 380[V] AC를 다이오드 브리지 정류기를 통해 변환한다고 가정하여 DC 동작전압을 500[V] ± 0.1[PU]로 선정하였다.

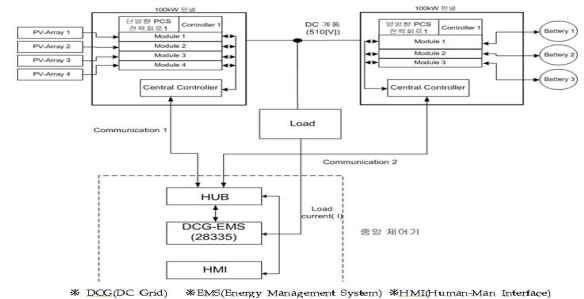


그림 1 제안된 DC Mini-Grid System 구성도

### 2.2 태양광 발전 시스템용 PCS

태양광 발전 시스템용 PCS의 DC/DC 컨버터 Topology는 DC 계통 연계 전압이 일정한 전압 특성을 가지므로, 입력전압 적용 범위를 넓게 갖기 위해 승·강압 모드로 운전이 가능한 Fixed Frequency SR Converter, ZVS PWM FB DC/DC 컨버터, ZVZCS PWM DC/DC 컨버터를 검토하였다. 이중 ZVS 타입은 상대적으로 큰 누설 인덕터의 필요, freewheeling 기간 순환전류로 인한 전류 손실, 도통 손실증가, 부하의존 출력 특성, 변압기 2차 측 ringing 현상 등의 단점이 있으며, ZVZCS 타입은 변압기 2차 측에 ringing 현상에 의한 과전압 발생, Duty 손실, 복잡한 회로 구성 등의 단점이 있어서, 본 연구에는 Fixed Frequency SR Converter를 선정하였으며, 그림 2에 시스템 전력회로 구성을 나타내었다.

PWM 기법으로는 그림 3의 위상 천이 PWM 방식을 사용하였으며, 그림 3을 보면 스위치 Q3, Q4는 Q1, Q2와 각각 보수로 동작하며, Q1, Q3의 스위칭 신호는 고정시킨 상태에서 Q2,

Q4의 스위칭 신호의 위상을 이동시켜 듀티비를 조정하여 출력을 제한한다. 스위칭 시 Q1, Q3는 영전압 상태에서 턴온하여, ZVS 동작을, Q2, Q4는 영전류 상태에서 턴오프하여 ZCS 동작을 하여 스위칭 손실을 감소시킨다.[2]

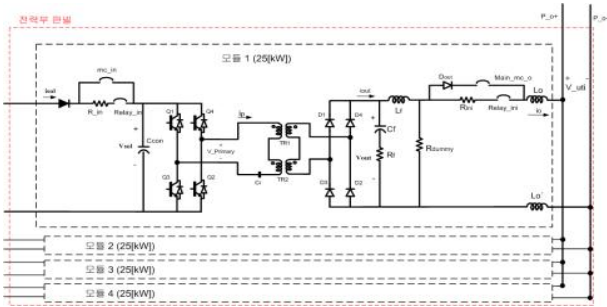


그림 2 태양광 발전 시스템용 PCS 전력회로

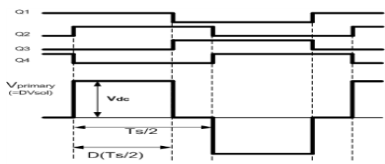


그림 3 위상 천이 PWM 기법

### 2.3 ESS용 PCS

ESS 용 PCS는 100[kW]급 분산 제어기반 모듈타입으로 그림 3과 같이 전력회로는 2상한 초퍼를 적용하였으며, 33[kW]급 모듈 3대로 구성 되어있다. 각 모듈 전력원으로는 배터리를 사용하였다. ESS 용 PCS 는 DC 급전계통에서 단방향 태양광 발전시스템용 PCS에 발전되는 전력과 부하 전력간의 균형 제어 (Power Balance Control) 역할을 수행한다. 분산 제어기반 모듈형 ESS는 각각의 모듈이 DC 급전계통의 DC 전압을 제어함에 있어서, 센서 오차, 제어기 오차 및 선로 임피던스에 의해서 제어하는 DC 전압에 오차가 생기며, 이런 문제점은 DC 급전 계통에 순환전류를 발생시키고, 시스템 전체에 손실 및 연계되는 기기에 악영향을 줄 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 ESS에는 Droop 제어기법을 사용하여 전압제어를 수행하였다. Droop 제어기법 장점으로는 각 모듈 간 통신이 필요 없으며, DC 급전계통에 발생하는 순환 전류를 억제하므로 높은 안정성 및 신뢰성 확보가 가능하다.

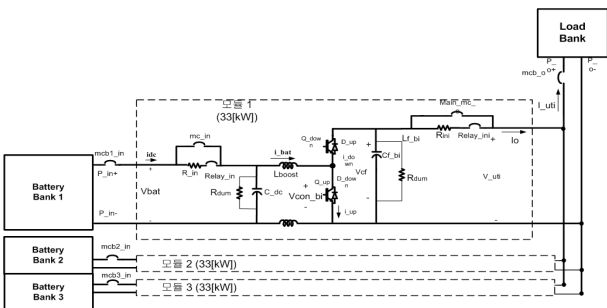


그림 4 ESS용 PCS 전력회로

### 3. 실험 결과

그림 5는 부하 변동 시 ESS의 과도 특성을 나타낸다. 그림 5에서  $V_{uti}$ 는 DC 계통 전압이며,  $I_{uti}$ 는 ESS 전체 출력 전류,  $I_o$ 는 모듈 1대의 출력전류를 나타낸다. 부하급변 구간(B C

사이)에서도 오버슈트와 언더슈트는 5% 이하로 안정적이며,  $I_{uti}$  와  $I_o$ 를 확인해보면 부하 급변 시 각 모듈별로 부하 분담이 1/3로 균등하게 이뤄지고 있음을 확인 할 수 있다.

그림 6은 ESS와 태양광 PCS 연계운전 실험과형이다. 실험 조건은 부하조건 50[kW]에서 ESS 운전 상태에서 태양광 PCS 출력을 5[%] 15[%] 30[%] 50[%] 45[%] 35[%] 20[%] 0[%]로 변화시켰다. 실험과형에서 태양광 PCS 출력이 증가·감소함에 따라 ESS가 출력을 감소·증가하며 전력 균형 제어 기능을 원활하게 수행함을 확인 할 수 있다.



그림 5 ESS용 PCS 병렬운전(부하 분담 시험) 실험파형  
 $V_{uti}$ [100V/div],  $I_{uti}$ [50A/div],  $I_o$ [50A/div]

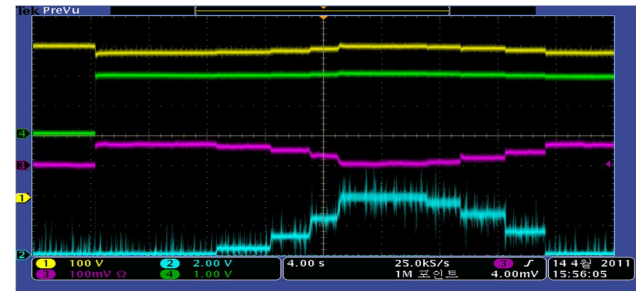


그림 6 태양광 PCS-ESS 연계운전 실험 파형  
DC 연계점 전압[100V/div], 부하전류[50A/div]  
ESS 출력 전류[100A/div], 태양광 PCS 출력 전류[50A/div]

### 4. 결론

본 논문에서는 직류전원 공급용 태양광 발전 시스템 기반 독립형 하이브리드 분산전원 시스템의 일례를 제시하였으며, 제안된 방식 타당성 입증을 위해 실증 시스템을 구성하고 직류 계통 전압제어 특성 및 부하 분담 실험 등을 진행하였으며, 부하 급변시도 원활하게 부하 분담 및 전력 균형제어가 수행됨을 확인 하였다. 이러한 실험 결과를 통해 제안된 하이브리드 시스템은 독립형 DC 급전계통에 적용 가능함을 확인 하였다.

이 논문은 중소기업청(S1059426) 기술 혁신 개발 사업의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음

### 참고 문헌

- [1] 한병문, 이지현 “DC 마이크로그리드의 동작해석 시뮬레이션 모델” 전력전자 학회지 2010.04.
- [2] J.a Sabate, F.C. Lee, “Offline Application of the Fixed Frequency Clamped Mode Series Resonant Converter” proceedings of APEC, 1989.