

# DC Nano-grid에서 DC Droop Control을 적용한 80kW급 SiC 양방향 컨버터

박성열<sup>1</sup>, 김연우<sup>1</sup>, 권민호<sup>1</sup>, 최세완<sup>1</sup>, 정세형<sup>2</sup>, 김민국<sup>2</sup>, 오성진<sup>2</sup>  
 서울과학기술대학교<sup>1</sup>, 데스틴파워<sup>2</sup>

## 80kW SiC Bi-directional Converter using DC Droop Control in DC Nano-grid

Sungyoul Park<sup>1</sup>, Yeonwoo Kim<sup>1</sup>, Minho Kwon<sup>1</sup>, Sewan Choi<sup>1</sup>,  
 Sehyoung Jung<sup>2</sup>, Minkook Kim<sup>2</sup>, Seongjin Oh<sup>2</sup>  
 Seoul National University of Science and Technology<sup>1</sup>, Destin Power Co., Ltd<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문에서는 DC droop control을 적용한 80kW급 SiC 양방향 컨버터를 제안한다. 시스템은 20kW 모듈 4개를 이용하는 모듈형 컨버터이며, 토폴로지는 넓은 입력전압 범위를 만족하기 위하여 Cascade 부스트 벅 컨버터 구조이다. 모듈 컨버터의 제어는 모듈 간 통신이 필요 없는 DC droop control에 부하분담과 전압 regulation 성능을 모두 향상시키기 위하여 Secondary control을 적용했다. 제안하는 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 20kW급 시제품 2대 실험을 통해 병렬 운영을 검증하였으며, 14kW에서 최고 효율 98.9%를 달성하였다.

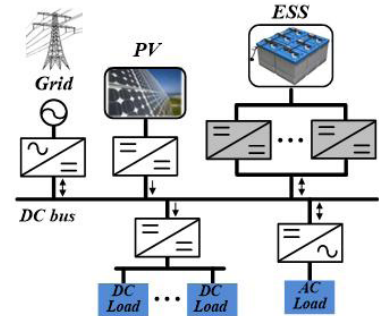


그림 1. DC Nano-grid System

### 1. 서론

최근 태양광, 풍력 등 신재생 에너지와 에너지저장장치(ESS)의 수요증가로 소규모 전력망에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 소규모 전력망 중에서 직류 나노그리드는 교류 나노그리드와 달리 안정도, 주파수, 동기화 및 무효전력 문제가 없을 뿐만 아니라 태양광, 연료전지 등과 같은 직류발전 시스템을 2차 전력변환 없이 직류부하에 공급이 가능한 장점이 있다[1] 그림 1은 태양광 등의 신재생 에너지, ESS, 직류 부하 등으로 구성되어 있는 직류 나노그리드 시스템이다.

직류 나노그리드에서 ESS용 컨버터는 용량의 확장성, 시스템의 보수편리, 신뢰성 향상 등의 이유로 주로 모듈화 되어 진다. 모듈화 된 컨버터는 모듈 간 특성차이로 인해 정확한 부하분담이 가능한 병렬 운전 제어기법이 요구되는데, 그 중 Droop control은 부하분담을 위한 모듈 간 통신이 필요 없으며, 장소와 환경에 무관하게 설치가 가능한 장점이 있다. 그러나 컨버터와 부하를 연결하는 선로 임피던스 차이 등으로 인해 모듈간의 부하분담이 정확히 되지 않고, 전압 크기 저하가 발생하게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 80kW급 모듈형 SiC 양방향 컨버터를 제안한다. 모듈 컨버터의 병렬 운전 제어는 DC droop control에 전류분담과 전압 regulation 성능을 모두 향상시키기 위하여 Secondary control을 적용하였다[2]. 제안한 토폴로지는 그림 2와 같다. 넓은 입력전압 범위에 승·강압이 가능한 Cascade 부스트 벅 컨버터의 구조이며, Hybrid SiC IGBT기반 3레그 IPM을 최적으로 사용하기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터의 Cascade 구조로 하였다.

### 2. DC Droop Control을 적용한 모듈형 컨버터

그림 3은 droop 병렬 운영을 분석하기 위해 간략히 나타낸 2 병렬 회로 모델로,  $v_{o,n}$ 는 각 컨버터 출력전압,  $R_{d,n}$ 은 가상저항,  $R_{L,n}$ 은 선로저항을 나타낸다. droop제어에 따른 출력전압( $v_{o,n}$ )은 식 (1)과 같으며, 부하분담을 위하여 출력전류( $i_{o,n}$ )

$$v_{o,n}^* = v_{Bus}^* - R_{d,n} \cdot i_{o,n} \quad (1)$$

에 따라 전압 지령치( $v_{o,n}^*$ )를 조절해주며 제어한다. 그러나 선로 저항차이로 인하여, 부하분담이 정확히 되지 않는 문제가 있어 가상저항을 적절하게 조절해주어야 한다. 그림 4(a)는 선로저항과 가상저항차이에 인한 droop slope를 나타낸 것이다. 실선은 가상저항이 작은 경우의 slope이며, 점선은 가상저항이 큰 경우의 droop slope를 나타낸 것이다. 가상저항이 작으면 선로저항의 영향을 크게 받아 부하분담 성능이 안 좋으며, 반

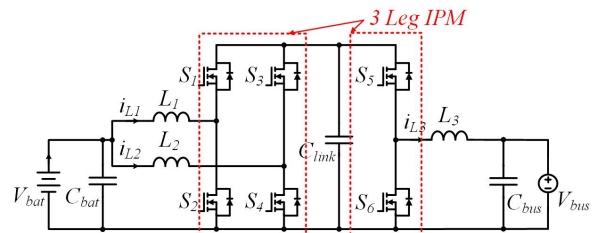


그림 2. 제안하는 SiC 양방향 DC-DC 컨버터

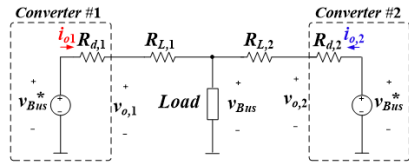


그림 3. 2병렬 DC-DC 컨버터 구성도

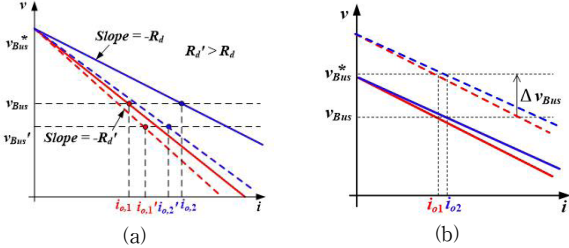


그림 4. Droop slope (a) Slope gain( $R_d$ )에 따른 current sharing 성능 (b) Secondary control

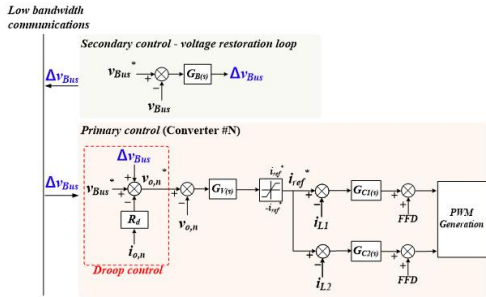


그림 5. 제어블록도

대로 가상저항이 크면 부하분담 성능은 좋아지지만 전압 크기 저하가 더 커지게 되는 trade off관계인 것을 알 수 있다. droop제어의 가상저항을 크게 가져갔을 때, 전압저하가 발생하지 않도록 할 수 있는 기법으로 Secondary control이 있다. Secondary control은 중앙제어기에서 크기가 저하된 Bus 전압을 제어해서, 보상 값( $\Delta v_{Bus}$ )을 통신을 통해 각 컨버터에 전송하여 droop 전압 지령치( $v_{o,n}^*$ )에 더해주는 기법이다. 그림 4.(b)의 실선은 Secondary control 적용 전, 점선은 적용 후의 droop slope로 부하분담 성능은 변하지 않으면서 전압이 보상되는 것을 알 수 있다.

### 3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계사양에 따라 시작품을 만들고, 실험하였다.

- $P_o = 10\text{kW}$
- $V_{bat} = 320\text{V}$
- $V_{bus} = 500\text{V}$
- $L_{1,2,3} = 600\mu\text{H}$
- $C_{bat} = 210\mu\text{F}$
- $C_{tink} = 90\mu\text{F}$
- $C_{bus} = 1320\mu\text{F}$
- $f_s = 20\text{kHz}$

그림 6은 제안하는 양방향 컨버터의 시작품이며, 전체크기는 520mm\*320mm\*135mm이다. 병렬운전 검증을 위하여 컨버터 2대를 실험하였다. 그림 7(a)는 Secondary control을 적용 전, 그림 7(b)는 적용 후의 실험파형이다. 적용 전에는 부하가 증가할수록 전압저하가 커지지만, 적용 후에는 부하가 증가하

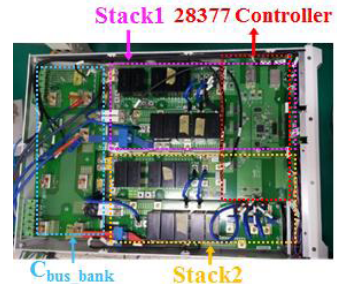


그림 6. 제안하는 모듈형 양방향 컨버터 시작품

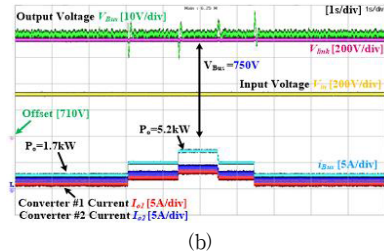
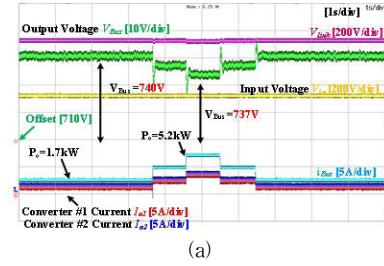


그림 7. Secondary control 실험 결과 (a) 적용 전 (b) 적용 후

라도 전압저하가 없으며 부하분담도 정확이 되고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 14kW에서 최고 효율 98.9%를 달성하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 DC Nano grid용 80kW급 모듈형 SiC 양방향 DC DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 Hybrid SiC IGBT기반 Cascade 부스트 벅 컨버터의 구조를 가지며, 병렬운전은 Secondary control을 이용한 droop 제어를 적용하여, 부하분담과 전압 regulation 성능을 향상시켰다. 20kW급 시작품 2대 실험을 통해서 병렬 운전을 검증하였으며, 14kW에서 최고 효율 98.9%를 달성하였다.

### 참고 문헌

[1] R. M. Pindoriya, N. M. Pindoriya and S. Rajendran, "Simulation of DC/DC converter for DC nano grid integrated with solar PV generation," Smart Grid Technologies Asia (ISGT ASIA), 2015 IEEE Innovative, Bangkok, 2015, pp. 1-6.

[2] Xiaonan Lu, Josep M. Guerrero, Kai Sun, Juan C. Vasquez, "An Improved Droop Control Method for DC Microgrids Based on Low Bandwidth Communication With DC Bus Voltage Restoration and Enhanced Current Sharing Accuracy," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 4, pp. 1800-1812, April 2014.