

# 분산전원을 가진 직류수배전반의 DC/DC 컨버터 연구

김경만\*, 강찬호\*, 정지훈\*\*, 류명호\*\*\*, 백주원\*\*\*, 김주용\*\*\*\*

(주)이지트로닉스, 울산과학기술원, 한국전기연구원, 한국전력공사 전력연구원

## A Study of DC/DC Converter for DC Distribution System in Building with Distributed Power System

Gyoungman Kim, Chanho Kang, Jeehoon Jung, Myunghyo Ryu, Juwon Baek, Juyong Kim  
EGTRONICS Co., Ltd., UNIST, KERI, KEPRI

### ABSTRACT

최근 저압직류배전에 대한 연구가 급속도로 진행되면서 배전망에 적용되는 구성요소에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 대용량 수용가 배전반에 접속된 구성요소 중 배전계통으로부터 직류전력 공급하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터, 수용가 직접 전력공급을 위한 직류 저압 태양광 발전시스템용 DC/DC 컨버터, 저압 직류 에너지저장시스템용 DC/DC 컨버터의 운전에 있어서 배전계통간 전력조류를 양방향 운전의 타당성에 대해 비교하고, 운용상 얻어지는 효율 개선 등에 대한 것을 비교 검토하고자 한다.

### 1. 서론

전 세계적으로 화석연료의 고갈 및 환경문제에 대응하기 위해 신재생 에너지 시스템 개발과 보급이 증가하고 있고, 배전망 수요부하에서는 반도체 전력변환장치를 사용하는 직류성 디지털 부하 급증으로 직류 전력 수요가 점차 증가하고 있다.<sup>[1]</sup> 현재의 교류방식 배전시스템에서 태양광발전시스템과 같은 신재생에너지원은 직류전력을 교류로 변성하고, TV, AV기기, PC, LED 램프 등 가전용 기기는 교류전력을 직류전력으로 변성하는 등 이중 전력변환으로 인해 공급전력의 20% 정도가 손실로 낭비된다는 것이다.<sup>[2]</sup> 이와 같은 손실을 저감시키기 위해 배전계통에도 직류의 필요성이 대두되고 이를 실증하기 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 이러한 직류 배전에서 1500V 이하의 전압영역을 가진 배전시스템을 LVDC(Low Voltage Direct Current) 배전시스템이라고 하고, 1500V의 단극(unipolar)형과 ±750V의 양극(bipolar)형으로 나뉜다. 국내에서도 초창기 단극형이 적용되었으나 최근에는 접지로써 사용가능한 중성점을 가진 양극형이 적용되고 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 직류배전계통으로부터 대용량 건물 수용가에 380V 직류 전력을 공급하고, 신재생 에너지원인 태양광발전시스템(Power Conditioning System, PCS)과 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)을 가진 수배전시스템에 적용되는 DC/DC 컨버터들 | 전력조류제어 효율성을 검토한다.

### 2. 본론

#### 2.1 다중전원을 가지는 수배전반

대형 건물과 같은 직류 대용량 수용가에 신재생에너지 등과

같은 다양한 전원이 있으나 그림 1과 같이 3개의 직류 전원을 가진 배전반시스템으로 검토한다. ±750V 배전계통으로부터 수용가 저압 직류전원사이에 양방향 전력조류가 되도록 절연형 양방향 DC/DC 컨버터가 있고, PCS는 PV 패널의 직류전원으로부터 수용가에 전력을 공급하기 위한 단방향 DC/DC 컨버터가 있으며, ESS는 수용가 전압의 안정화 및 필요시 배전계통에 전력을 공급하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터가 있다.

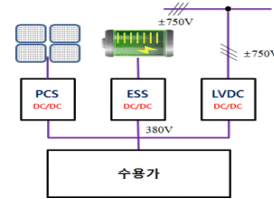


그림 1 직류 대용량 수용가 배전반시스템 구성도  
Fig 1 Configuration of DC distribution panel system for a building.

#### 2.2 배전반 적용 DC/DC 컨버터들 토폴로지

배전반 주전력변환 LVDC용 DC/DC 컨버터는 직류배전 ±750V 계통으로부터 수용가에 380V를 공급하기 위하여 그림 2와 같이 2개의 DC/DC 컨버터 모듈을 1차 직렬, 2차 병렬로 결선하고, 각 모듈들은 마스터와 슬레이브 운전을 한다. 양방향 동작을 위하여 모듈들은 3상 DAB(3 phase Dual Active Bridge)로 구성하였고, PCS의 잉여전력과 ESS로부터 ±750V 계통에 전력을 공급하기 위해 양방향 동작이 필요하다.

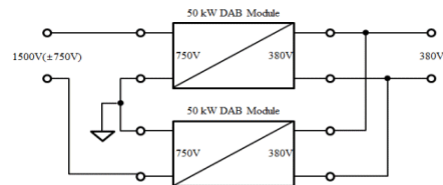


그림 2 2개 모듈로 구성된 양극 양방향 컨버터  
Fig 2 Bipolar DC/DC converter with 2 modules

PCS와 ESS용 DC/DC 컨버터는 각각 단방향 동작과 양방향 동작을 하지만, 효율을 높이기 위해 비절연형 토폴로지를 적용하였고 동기정류방식을 적용하여 그림 3과 같은 3상 인터리브드 컨버터 토폴로지를 적용하였다.

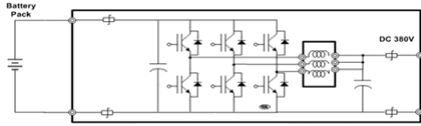


그림 3 ESS용 DC/DC 컨버터 토폴로지  
Fig 3 DC/DC converter topology of ESS

### 2.3 전력조류에 대한 흐름

그림 4와 같이 PCS와 ESS가  $\pm 750V$  배전계통에 위치할 경우 수용가 전력공급을 위해 PV 패널에서 2개 DC/DC 컨버터를 거쳐야 하고, 잉여 전력이 발생한 PCS에서 ESS를 거쳐 수용가에 전력공급을 위해 4개 DC/DC 컨버터를 거쳐야 한다.

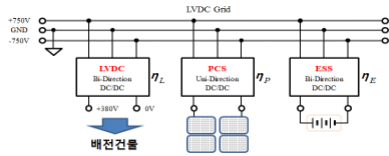


그림 4  $\pm 750V$  그리드에 컨버터들 연결  
Fig 4 To connect the converters to  $\pm 750V$  grid.

그림 5와 같이 PCS와 ESS가 380V 수용가에 위치할 경우 수용가 전력을 공급하기 위해서는 PV 패널에서 1개 DC/DC 컨버터를 거치고, PCS에서 ESS를 거쳐 수용가에 전력공급을 위해 3개의 DC/DC 컨버터를 거치므로  $\pm 750V$ 에 PCS와 ESS를 접속한 경우보다 효율이 높음을 알 수 있다.

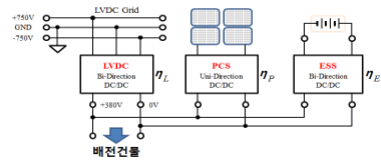


그림 5 380V 그리드에 컨버터를 연결  
Fig 5 To connect the converters to 380V grid.

그림 5에서 PCS에서  $\pm 750V$  계통으로 공급할 경우 PV 패널, PCS용 컨버터, LVDC 컨버터를 거치게 되므로 계통까지 전력변환효율은 두 컨버터 효율의 곱이 되고, LVDC 컨버터를 통해 전체는 절연형이 된다. 마찬가지로 ESS와  $\pm 750V$  배전계통도 거의 동일하다.

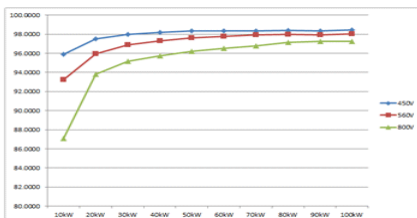


그림 6 ESS 컨버터 효율곡선  
Fig 6 Efficiency curve for ESS converter

ESS용 배터리는 100kWh로 설계하였으며 수용가 380V 전원을 고려하여 배터리 저전압을 420V, 동작전압은 504 ~ 705V로 선정하였다. ESS 컨버터를 제작하여 시험한 결과 효율 그

래프는 그림 6과 같이 나타났다. 비절연 컨버터 토폴로지를 적용하여 배터리 전압과 낙차가 작을수록 효율이 높게 나타남을 알 수 있고, 3상 인터리브 방식으로 듀티비에 따라 리플전류가 0이 되는 배터리 전압을 입력하였으나 손실저감 효과는 크지 않음을 알 수 있었다.

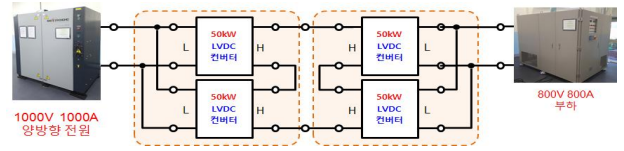


그림 7 LVDC 컨버터 시험환경 구성  
Fig 7 Block diagram of LVDC converter test

LVDC 컨버터는 그림 7과 같이 구성하여 저전압에서 고전압 및 고전압에서 저전압의 양방향 동작에 대한 시험을 함께 평가하였으며 부하를 가변시키면서 효율을 측정된 결과 최고효율 97.3%를 확인하였다.

표 1 배전반 DC/DC 컨버터의 특징

Table 1 Characteristic of distribute panel DC/DC converters

	LVDC 컨버터	PCS용 컨버터	ESS용 컨버터
최고효율	97.3%	98.7%	98.7%
유형	절연 양방향	비절연 단방향	비절연 양방향
토폴로지	3상 DAB	3상 인터리브	3상 인터리브
용량	100kW	30kW	100kW

### 3. 결론

대용량 직류 수용가용 PCS와 ESS 컨버터는 에너지 효율이 높은 비절연형으로 적용하고,  $\pm 750V$  배전계통 전원과는 수용가 사이는 절연형 LVDC 컨버터로 고전압 혼축을 방지하였다. 한편 PCS와 ESS의 전력이  $\pm 750V$  배전계통으로 공급시 절연형 LVDC 컨버터를 포함으로써 전체 시스템은 절연형을 유지하였다. 향후, 개발된 단품 시스템들의 연동운전으로 배전반 시스템 운용효율에 대한 연구와 지능형배전시스템을 통해 효과적 인 고효율 운전 모델에 대한 연구를 진행할 예정이다.

이 논문은 한국전력의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

### 참고 문헌

[1] [1] Dong Dong, Fang Luo, Xuning Zhang, Dushan Boroyevich, Paolo Mattavelli, "Grid Interface Bidirectional Converter for Residential DC Distribution Systems Part 1 : High Density Two Stage Topology", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 4, pp. 1655 1666, Apr, 2013.

[2] William Tschudi Lawrence, "DC Power for Improved Data Center Efficiency, " January 2007

[3] P. Salonen, T. Kaipia, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, J. Partanen, "An LVDC Distribution System Concept", NORPIE, 2008.