

# DC배전용 3상 AC/DC 컨버터의 새로운 Droop 제어를 이용한 병렬운전

박윤욱\*, 신수철\*, 이희준\*, 이택기\*\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*, 한경대학교\*\*

## Parallel Operation using New Droop Control of Three-Phase AC/DC Converter for DC Distribution Systems

Yun-Wook Park\*, Soo-Cheol Shin\*, Hee-Jun Lee\*, Taek-Kie Lee\*\*, Chung-Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan University\*, Hankyong National University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 DC배전용 전력변환장치를 모듈화하여 병렬운전을 하기 위한 새로운 Droop 제어를 제안한다. 제안한 방식은 동일용량의 모듈을 병렬로 용이하게 연결할 수 있으며 모듈간 제어진동을 최소화하고 순환전류를 억제한다. 이에 따라 병렬운전 시스템이 갖는 과도응답 및 정상상태 특성 등을 시뮬레이션과 실험을 토대로 그 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 디지털 부하의 급속한 보급으로 인하여 직류전원의 수요가 점점 증가하고 있다. 따라서 디지털 부하에서 요구하는 전력을 공급하기 위해서는 직류출력을 갖는 신 재생 에너지에 대한 공급이 증대되어야 한다. 이러한 흐름에 맞게 직류전원을 출력으로 발생하는 전원장치가 증가하고 있다. 하지만 교류 전원과의 연계 및 부하에 전력을 공급하기 위해서는 발전된 전력을 교류로 변환해야 한다. 따라서 낮은 에너지 밀도를 갖는 신재생 에너지원의 효율을 더욱 저하 시키게 된다.<sup>[1]</sup> 따라서 최근에는 직류전원을 직접 디지털 부하에 공급하고 신재생 에너지원과 효율적인 연계가 가능한 DC 배전이 각광을 받고 있다.<sup>[2]</sup> 따라서 본 논문에서는 DC 배전을 위한 직류배전용 AC/DC 컨버터의 병렬운전 방법인 새로운 Droop제어 방법을 제안한다. 제안한 제어기는 주 모듈과 보조 모듈이 부하를 동일하게 분담하며 동일용량의 모듈이 병렬운전 시에도 병렬 모듈간에 제어진동을 최소화한다. 제안한 방법은 전력변환기의 다 병렬 운전에 용이하게 적용 할 수 있다.

### 2. 본론

#### 2.1 DC배전 시스템

본 논문에서 제안하는 Droop 제어기를 적용한 DC배전 시스템은 그림 1과 같다. 3상 양방향 AC/DC 컨버터를 사용하여 교류입력 선간전압 380[V<sub>rms</sub>]를 직류 출력 700[V<sub>dc</sub>]전압으로 변환하여 부하에 전력을 공급한다. LCL필터의 경우 AC/DC 컨버터의 스위칭에 따른 고조파를 감쇠시키기 위하여 5[kHz] 스위칭에 맞게 설계되었다. 또한 전체시스템의 용량을 모듈 하나로 증가시키는 것은 소자의 정격 및 방열설계 측면에서 한계가 있으므로 AC/DC 컨버터 모듈 2개를 병렬로 연결하여 전체시스템을 구성하였다.

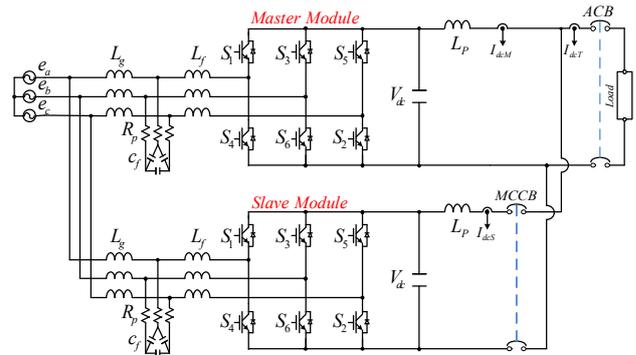


그림 1. 병렬구조를 갖는 직류배전시스템의 구조

#### 2.2 주 모듈의 제어

그림 2는 잘 알려진 안티와인드업을 갖는 PI 전압제어기이다. 전류제어기도 전압제어기와 같은 구조를 갖는다. 본 논문에서 주 모듈은 전압제어를 수행하여 직류배전 전압을 700[V<sub>dc</sub>]로 유지한다.

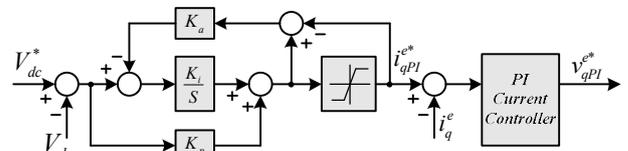


그림 2. 안티와인드업을 갖는 PI 전압제어기 블록도

#### 2.3 제안하는 Droop 제어 기법

그림 3은 제안하는 제어기법을 보조 모듈에 적용한 제어 알고리즘 블록도 이다. 보조 모듈은 주 모듈과 동일하게 직류 700[V<sub>dc</sub>]를 제어한 이후에 주 모듈과 연계될 때 주 모듈의 출력전류와 동일한 전류를 출력할 수 있도록 전류 제어를 수행한다. 이때 보조 모듈의 제어응답이 주 모듈과 비교하여 더욱 빠르거나, 동일할 때 두 모듈간에 전류진동 및 전압진동이 발생할 수 있다. 그러므로 보조모듈의 제어응답을 주 모듈에 비하여 느리게 제어하거나 제어량을 축소할 필요성이 있다.

$$\begin{cases} x = \frac{1}{I_{dcMRate}}(I_{dcM} - I_{dcS}) \\ f(x) = i_{qMax}^e [Ax^3 + (1-A)x] \end{cases} \quad (1)$$

식 1을 통하여 주 모듈과 보조 모듈의 전류 오차를 제한한 3차 방정식을 이용하여 오차량을 변화시킨다.  $I_{dcMRate}$  는 주 시스템의 정격 출력전류이고,  $i_{qMax}^e$  는 VSC의 최대 q축전류,  $A$  는 0~1사이의 범위를 갖는 계수로서 Droop 제어를 위하여 사용자가 임의로 설정하는 계수이다.

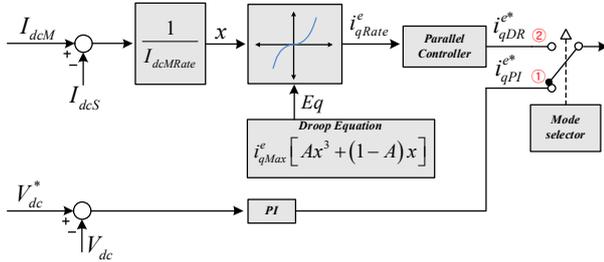


그림 3. 제안한 Droop 제어기 블록도

모듈간 출력전류의 오차를 단위법으로 환산하고 이를 제안한 비선형 방정식을 이용하여 모듈간 제어진동을 최소화하기 위한 계산을 수행한다. 이를 병렬로 연결된 보조 모듈의 출력전류가 주 모듈과 동일한 출력전류를 출력하도록 q축전류 제어기의 레퍼런스를 생성한다. 결국 VSC의 q축전류를 제어함으로써 직류전류는 간접적으로 제어되고 병렬로 연결된 모듈간의 출력전류 오차를 0으로 제어함으로써 순환전류를 억제할 수 있다.

## 2.4 시뮬레이션 및 실험결과

표 1은 시뮬레이션과 실험에 사용한 파라미터이다. 본 논문에서는 25[kW] 부하로 시뮬레이션 및 실험을 하여 제안한 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

표 1. System parameters

Parameters	Value
Rated capacity	50[kW]
Grid voltage	380[V <sub>rms</sub> ]
Output voltage	700[V <sub>dc</sub> ]
Grid frequency	60[Hz]
Switching frequency	5[kHz]
Protection inductor	1.5[mH]
Line filter inductor	120[μH]
Boost inductor	500[μH]
Line filter capacitor	50[μF]
Load resistance	20[Ω]

그림4와 5는 3상 AC/DC 컨버터의 새로운 Droop 제어를 적용한 병렬운전에 대한 시뮬레이션과 실험결과 파형이다.  $V_{dc}$  는 전력변환장치의 출력전압이고  $I_{dcM}$  과  $I_{dcS}$  는 각각 주 모듈과 보조 모듈의 출력전류이다. 또한  $I_{qRate}^e$  는 제안한 Droop 곡선의 출력 값이고 사용자가 설정하는  $A$  계수 값은 0.2로 설정하였다.

각 모듈이 서로 다른 전류응답특성과 동일한 직류전류를 출력함을  $I_{dcM}$  과  $I_{dcS}$  파형을 통하여 확인 할 수 있다. 또한 제안한 제어기에 의하여 동일한 용량의 모듈은 병렬운전 시 출력전압의 진동이 최소화되는 것을 출력전압

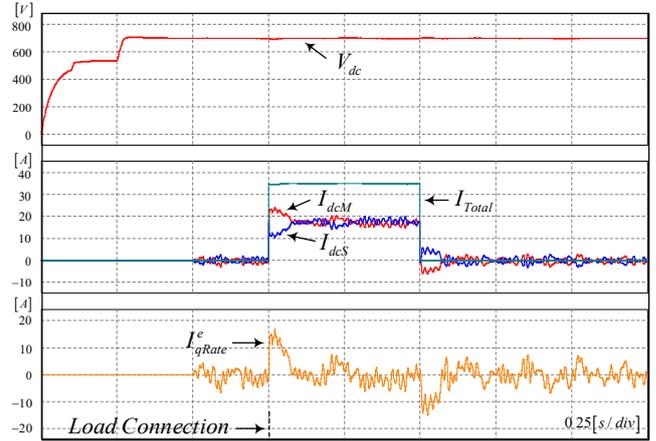


그림 4. 제안한 Droop 제어의 시뮬레이션 결과파형

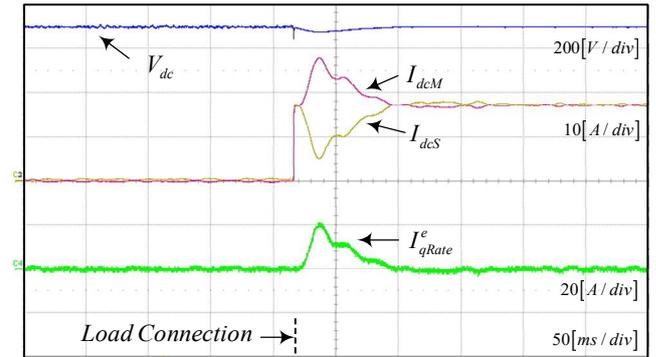


그림 5. 제안한 Droop 제어의 실험 결과파형

파형을 통하여 확인 할 수 있다. 그리고 제안한 Droop 제어에 의하여 순환전류가 억제되고 정상적으로 제어됨을  $I_{qRate}^e$  파형을 통하여 확인 할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 병렬운전 시 모듈간에 제어진동을 최소화하고 순환전류를 억제하기 위하여 새로운 Droop 제어를 제안하고 이를 50[kW] DC배전 시스템에 적용하였다. 시뮬레이션과 실험결과를 통하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였고 이 제어기법을 적용할 경우 DC배전 시스템의 용량증설을 용이하게 할 수 있을 것이다.

본 연구는 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0015584)

## 참고 문헌

- [1] 안선주, 박진우, 정일엽, 문승일 "분산전원의 구성 및 출력 제어 방법에 따른 Droop 계수 설정 방법" 전기학회논문지, 제 57권 제 11호 2008.11, pp.1954-1961
- [2] 이지현, 김현준, 한병문 "Droop 제어를 기반으로 한 직류 마이크로그리드의 자율 동작 분석" 전력전자학회, 전력전자학회 논문지, 제16권 제 4호 2011.8, pp.342-350