

# 직류급전 시스템의 Autonomous Operation을 위한 교류연계장치와 에너지 저장의 Droop Control

이지현, 차민영, 한병문  
명지대학교

## A Droop Control for the Autonomous Operation of DC Distribution System using Grid-tied Converter and Energy Storage

Ji-Heon Lee, Min-Young Cha, Byung-Moon Han  
Myongji University

### ABSTRACT

This paper describes a droop control method for the autonomous operation of DC distribution system using distributed generations and energy storage. The method suppress the circulating current, and each unit could be controlled autonomously without communication system. Detailed model of wind power generation, photo-voltaic generation, fuel-cell generation and battery was implemented with the user-defined model of PSCAD/EMTDC software that is coded with C-language. The simulation and experimental results confirms that the proposed DC distribution system make it feasible to provide power to the load stably and verify effectiveness of the proposed method.

### 1. 서 론

본 논문에서는 분산전원을 이용한 소용량 DC급전시스템의 Autonomous Operation을 위한 Droop 제어 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 각 구성요소들 간의 통신을 요구하지 않으면서 DC 그리드의 전압만을 측정하여 DC급전에서 필연적으로 발생하는 순환전류를 억제한다. 이로 인해 높은 안정성과 신뢰성을 보이며 DC 그리드에 다른 전원이나 부하설비가 추가되어도 영향을 받지 않고 연계되어 있는 교류계통에 사고가 발생하여도 안정적인 전력운용이 가능하다.

## 2. DC 급전 시스템

### 2.1 DC 급전 시스템의 구성

그림 1은 제안하는 DC급전 시스템의 회로도이다. 여러 분산 전원 중에서 회전형전원인 풍력발전, 정지형전원에서는 태양광발전, 그리고 에너지저장장치로는 배터리를 포함하는 시스템을 구성하였다.

계통연계 컨버터와 에너지 저장장치에서 균등하게 DC Grid에 유입되는 전력을 제어하며 부담하고자 하는 용량을 미리 산정하여 컨버터의 용량을 조정할 수 있으므로 이는 설치될 부하의 용량과 전원을 고려하여 결정되는 조건이다. 배터리와 계통연계 컨버터의 전력 부담 비율은 각각 2/3와 1/3로 설정하였으며 제안하는 DC급전 시스템의 총 용량은 3kW이므로 계통연계 컨버터는 1kW, 에너지 저장장치의 용량은 2kW가 되도록 설계하였다.

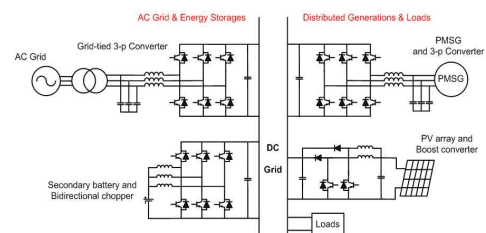


그림 1 DC급전의 회로도

### 2.2 순환전류의 발생과 억제기법

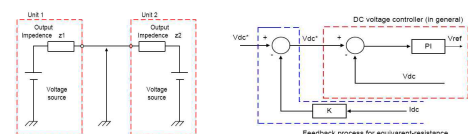
Autonomous Control Method을 사용하면 2대 이상의 전력변환기에서 직류배전망의 직류전압을 제어하게 되며 각 구성요소가 전압제어를 하는데 있어서 센서의 오차, 제어기의 오차, 선로 임피던스에 의해서 제어하는 전압에 차이가 발생하게 되고 이에 따라 직류배전망에 순환전류가 필연적으로 발생하게 된다. 순환전류는 교류의 무효전력과 유사하여 시스템 전체의 손실과 직결되는 부분이며, 연계되는 기기에 여러 가지 악 영향을 줄 수 있기 때문에 순환전류를 억제하기 위한 제어 기법이 반드시 필요하다.

#### 2.2.1 계통연계 컨버터와 배터리 컨버터

순환전류를 쉽게 저감하는 방법은 그림 2(a)와 같이 각 장치의 출력과 DC 그리드 사이에 임피던스성분을 삽입하는 것이다. 그러나 이는 손실, 비용, 크기 측면에서 비현실적이다. 따라서 본 연구에서는 그림 2(b)와 같이 DC 전압제어기에 피드백 루프를 추가하였으며 식 (1)에 나타내었다.

$$V_{dc}^* = V_{dc0} - KI_{dc} \quad (1)$$

여기서, K는 등가저항의 역할을 하여 실제로는 저항이 존재하지 않아도 순환전류는  $KI_{dc}$  경로가 추가되므로 제어가 가능함을 알 수 있다.



(a) 등가회로 (b) 제어기 구성

그림 2 계통연계 컨버터와 배터리 컨버터의 전압제어

#### 2.2.2 등가임피던스 K값의 설계

등가임피던스 K는 저항성분으로 실수 값을 가지므로 DC 그리드의 정격전압은  $400 \pm 20V$ 로서 변동률은 5%로 설정하였으며 부담하는 용량에 따라서 계통연계 컨버터와 배터리 컨버터의

등가임피던스는 그림 3과 같이 구해진다. 여기서  $\Delta V_{dc}$ 는 전압의 변동분,  $V_{dc\_min}$ 은 DC 그리드의 최저전압, P는 전압제어장치의 정격용량을 나타낸다. 이 때, DC 그리드의 전압과 교류연계장치, 에너지 저장장치의 출력전류의 Droop 곡선은 그림 5와 같이 표현되며 2개의 사선으로 둘러싸인 영역이 등가저항과 정격용량의 관계를 나타낸 것이다. DC 그리드전압이 390V에 달하면 각각의 전류는 그림에서 A, B에 의해 결정되며 이때의 전류 값은 식 (2),(3)과 같이 계산된다.

$\Delta V_{dc} = 20[V] (5\%)$ $V_{dc\_min} = 380[V]$ $P_{GRID} = 1.0[kW]$ $K_{GRID} = \frac{\Delta V_{dc} \times V_{dc\_min}}{P_{GRID}} = 7.6[\Omega]$	$\Delta V_{dc} = 20[V]$ $V_{dc\_min} = 380[V]$ $P_{BATT} = 2.0[kW]$ $K_{BATT} = \frac{\Delta V_{dc} \times V_{dc\_min}}{P_{BATT}} = 3.8[\Omega]$
(a)	(b)

그림 3 전압제어장치의 등가임피던스

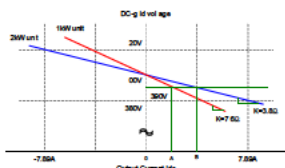


그림 4 DC 그리드의 전압-전류 특성

$$I_{dc2k} = (400 - 390) / 3.8 = 2.6A \quad (2)$$

$$I_{dc1k} = (400 - 390) / 7.6 = 1.3A \quad (3)$$

### 3. 시뮬레이션에 의한 검증

제안하는 DC 급전 제어의 타당성을 검증하기 위하여 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5(a)은 위에서부터 PMSG, PV Array의 출력을 나타내며 입력되는 일사량 데이터와 풍속 데이터에 따라서 출력이 가변되고 있으며 MPPT제어가 수행되고 있음을 보여준다. 세 번째 그래프는 부하의 소모전력을 나타내며 안정적으로 공급되고 있음을 확인하였다. 그림 5(b)은 교류계통, 배터리의 전력과 DC 그리드의 전압을 나타낸다. 앞서 용량 산정에서 에너지 저장장치의 용량이 계통연계 컨버터의 용량보다 두 배 높게 설정되었으며 결과 그래프에서 정확히 전력을 분담하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 5(c)는 계통연계 컨버터와 배터리 컨버터의 Droop 특성 그래프이다. 그림에 표시된 Point A, B는 DC 그리드의 전압이 390V일 때 배터리 컨버터와 계통연계 컨버터의 감당 전류를 나타내며 설정된 용량에 따라서 DC 그리드의 Droop 제어가 원활히 수행되고 있음을 보인다.

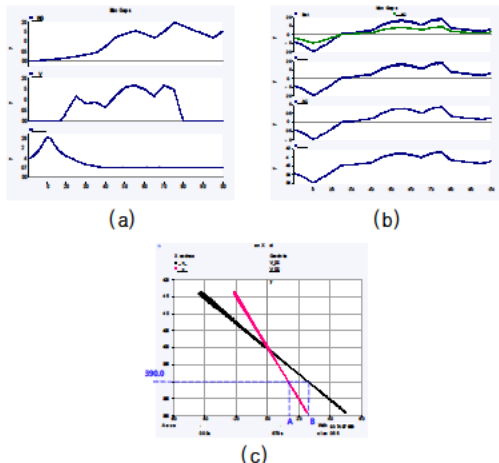


그림 5 시뮬레이션 결과

### 4. 하드웨어 실험

제안하는 제어기법의 실제적인 타당성 검증을 위하여 3kW급 DC급전 시스템을 제작하고 실험을 수행하였다.

먼저 DC 그리드에 잉여전력이 공급되고 있는 상황에 대해 수행하였으며 그림 6에 결과를 나타내었다. 그림 6(a)는 순서대로 교류계통, 배터리, PV Array, PMSG의 출력을 나타내며, 설정한 대로 계통연계 컨버터에서 제어되는 전력은 배터리 컨버터에서 제어되는 전력의 1/2임을 확인하였다. 그림 6(b)는 계통연계 컨버터 출력전류, DC 그리드 전압, 배터리 컨버터 출력전류를 나타내며 DC 그리드의 전압은 유입되는 전력량의 변동에 따라서 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

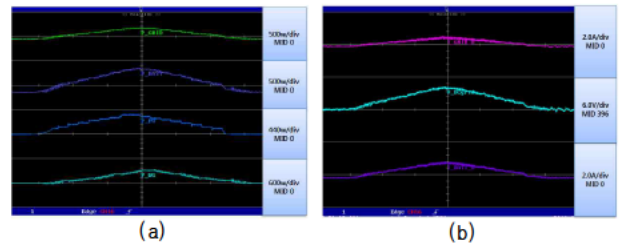


그림 6 실험 결과 I

그림 7(a)는 DC 그리드에 전력이 부족한 경우의 실험 결과이며 계통연계컨버터 전력, 배터리 컨버터 전력, DC 그리드 전압을 나타낸다. 설정된 전력 분배치 만큼 전압제어장치가 서로 전력을 균등하게 감당하고 있는 것을 확인할 수 있고 3kW의 부족전력에 대해서 DC 그리드의 전압은 380V에서 제어되고 있음을 보였다.

실험결과 I, II를 토대로 그림 7(b)에 계통연계 컨버터와 배터리 컨버터의 Droop 특성 그래프를 나타내었다. 시뮬레이션에서와 동일한 특성을 하드웨어 실험에서도 얻을 수 있었다.

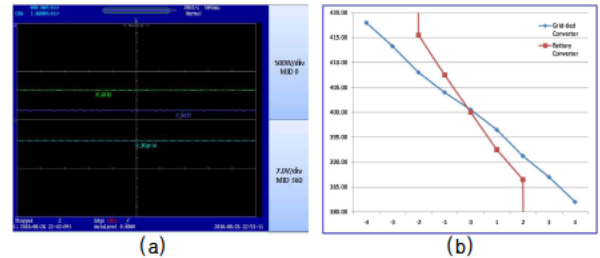


그림 7 실험 결과 II

### 5. 결론

본 논문에서는 분산전원을 이용한 소용량 DC급전시스템의 Autonomous Operation을 위한 Droop 제어 기법을 제안하였다. 실제적인 모의실험을 위해 분산전원과 배터리 모델을 개발하였으며 시뮬레이션 결과를 토대로 3kW급 DC 급전 시스템을 제작하고 제안하는 시스템의 타당성과 유효성을 검증하였다. 제안하는 기법은 각 구성요소들 간의 통신을 요구하지 않으면서 DC급전에서 필연적으로 발생하는 순환전류를 억제하여 이로 인해 높은 안정성과 신뢰성을 보였다.

#### 감사의 글

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.