

신재생 에너지원의 간헐적인 출력과 ESS를 고려한 마이크로 그리드에서의 안정적인 운전 전략

한상훈, 배성진, 최재호
충북대학교

Microgrid System Control Strategy Considering Power of Renewable Energy Sources and Energy Storage System (ESS)

Sanghoon Han, Seongjin Bae, Jaeho Choi
Chungbuk National University

ABSTRACT

최근 신재생 에너지를 이용한 분산전원에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 신재생 에너지원과 에너지 저장장치로 이루어진 마이크로 그리드에서 안정적인 운전 전략을 제안한다. 신재생 에너지원은 기상에 따라 출력이 달라지기 때문에 부하에 안정적인 전력을 공급하기 위해 에너지 저장장치를 사용한다. 에너지 저장장치의 안정적인 운전을 위해 SOC를 고려하여 제어한다. 배터리 충전/방전 시 외부조건에 의해 각 배터리 셀마다 충전량이 달라져 에너지 저장장치가 충분히 전력을 공급해주지 못하는 경우가 발생한다. 그러므로 각 셀마다 SOC를 측정하여 운전함으로써 부하에 안정적인 전력을 공급하는 제어전략은 제안한다. 제안된 마이크로 그리드 운전 제어 전략은 PSIM 시뮬레이션으로 검증하였다.

1. 서 론

신재생 에너지 기반의 마이크로 그리드는 화석연료의 사용을 줄일 수 있는 방법으로 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 운전모드로 계통 연계형과 독립형으로 나눌 수 있다. 도서 산간지역에는 계통과 연계하기에 많은 비용이 들기 때문에 독립운전을 사용한다. 이러한 그리드는 분산전원과 에너지 저장장치를 이용하여 부하에 전력을 공급하는 구조로 이루어져 있다. 마이크로 그리드는 연결과 제어 방식에 따라 교류로 그리드를 구성한 AC 마이크로 그리드와 직류로 구성된 DC 마이크로 그리드로 구분할 수 있다. AC 마이크로 그리드는 계통을 활용할 수 있지만 동기화, 무효전력 문제 등 단점을 가지고 있다. 그에 반해 DC 마이크로 그리드는 AC에서 가지는 문제점이 전혀 없으며 신재생 에너지원의 전력을 2단계로 변환할 필요가 없어서 시스템의 손실과 비용이 낮아지는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 독립운전 모드에서 태양광발전과 에너지 저장장치로 구성된 DC 마이크로 그리드에서의 모델링과 안정적인 출력을 보장하는 운전 전략을 제시한다. 에너지 저장 장치에서 배터리 셀마다 충전량이 다르게 된 경우가 발생하게 된다. 제안하는 운전 전략은 배터리 셀마다 SOC를 측정하고 서로 다른 경우 셀마다 연결된 양방향 dc/dc 컨버터를 제어하여 보다 여유로운 출력을 확보한다.^[1] 또한 에너지 저장장치가 부하가 요구하는 전력을 안정적이고 지속적으로 공급할 수 있는 시스템을 제안된 제어전략을 이용해 PSIM으로 시뮬레이션 하여 검증하였다.

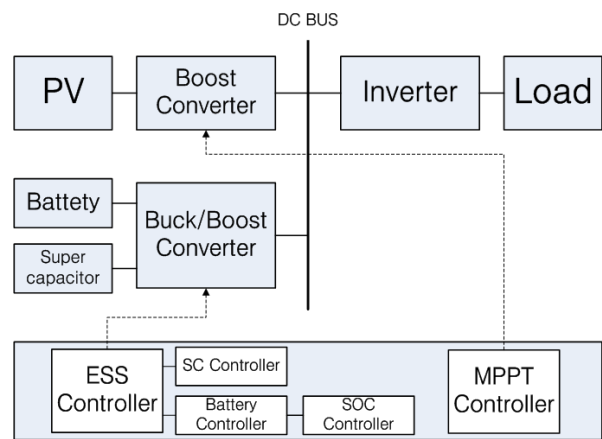


그림 1. DC 마이크로 그리드의 구성
Fig 1. Configuration of DC Micro Grid

2. DC 마이크로 그리드의 구성

그림 1과 같이 DC 마이크로 그리드를 구성하였다. 주전원을 태양광 발전으로 하며 에너지 저장장치와 컨버터를 통해 DC BUS에 연결되어 있는 구조이다.

태양광 발전은 PSIM에서 Solar Module 을 사용하였으며 부스트 컨버터를 통해 일반적인 MPPT제어를 한다.

에너지 저장장치는 배터리와 슈퍼 캐패시터로 이루어져 있으며 하프 브릿지 dc/dc 컨버터를 통해 연결되어 있다. 배터리는 리튬 폴리머 배터리의 평균모델을 사용하였고, 슈퍼 캐패시터는 등가회로를 만들어서 사용하였다. 에너지 저장장치와 연결 되어있는 dc/dc 컨버터가 태양광 발전 시스템과 DC link의 전압제어를 수행한다.

3. 시스템 제어 전략

3.1 SOC 밸런싱

에너지 저장장치에 연결된 dc/dc 컨버터는 태양광 발전 시스템과 함께 부하에 전력을 공급하는 역할을 한다. 컨버터에 연결된 에너지 저장장치의 배터리는 복수개의 배터리 셀을 직렬/병렬로 연결하여 전압과 용량을 확보한다. 배터리 셀은 제조상의 차이와 충전/방전 시 발생하는 오차 등으로 인해 용량의 불평형이 발생하여 이용률 감소 등의 문제를 야기하므로 배터

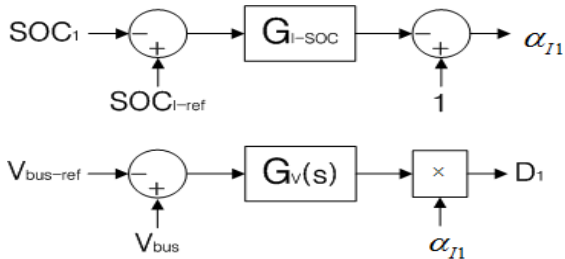


그림 2. 방전모드에서 제어 블록 다이어그램
Fig 2. Control Block Diagram for Discharging Mode

리 셀 간의 SOC를 밸런싱 하여 안정적인 운전을 하게 한다.^[2] 그림2 는 본 논문에서 배터리가 방전 모드일 때 SOC 밸런싱의 기본적인 블록 다이어그램을 보여준다. 배터리의 SOC와 레퍼런스 값의 차를 이용하여 컨버터의 듀티 비(D_1) 를 변화시키는 제어 방법이다. 배터리 팩이 N개의 파워 유닛 으로 연결 되어 있을 때, 배터리 유닛의 모든 SOC가 같다고 가정하면 SOC 레퍼런스 값은 식 (1)과 같은 값을 갖는다.

$$SOC_{I-ref} = (SOC_1 + SOC_2 + \dots + SOC_N) / N \quad (1)$$

배터리 파워 유닛은 병렬로 연결되어 있기 때문에 DC BUS 단 전압 V_{bus} 는 모든 팩의 전압과 동일하다.

$$V_{bus} = V_1 = V_2 = \dots = V_N \quad (2)$$

dc/dc 부스트 컨버터의 각 출력은 식 (3)과 같다.

$$\frac{I_{cellr}}{I_r} = \frac{V_{bus}}{V_{cellr}} = \frac{1}{1 - \alpha_r D} \quad (3)$$

$$I_{cellr} = \frac{1}{1 - \alpha_r D} I_r \quad (4)$$

I_{cellr} 과 V_{cellr} 는 배터리의 전류와 전압이며, I_r 과 V_{bus} 는 부스트 컨버터를 통과한 전류와 전압이다. 제어기에서 각 배터리를 제어기의 출력인 D와 α 로 컨버터를 제어하여 서로 다른 SOC가 같아지게 한다.

2.2 에너지 저장장치

에너지 저장장치의 기본제어 전략은 태양광 발전의 간헐적인 출력에 대하여 부하전력에 따른 남거나 부족한 전력을 보상하는 것이다. 태양광 발전의 경우 출력이 일정치 않아 증가되는 배터리의 충전/방전 사이클을 슈퍼캐패시터를 이용해 배터리의 스트레스를 줄이며, 빠른 응답특성을 가질 수 있게 한다. 배터리와 슈퍼캐패시터의 분담은 로우패스 필터를 통해 저주파 성분은 배터리가 고주파 성분은 슈퍼 캐패시터가 분담하도록 한다.

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 태양광 발전 시스템 10kW, 배터리는 3.7V 40Ah 80개를 직렬로 연결하였으며 슈퍼 캐패시터는 165F, 2.5V 500개를 직렬로 연결했다. 부하는 7kW에서 2kW씩 변화

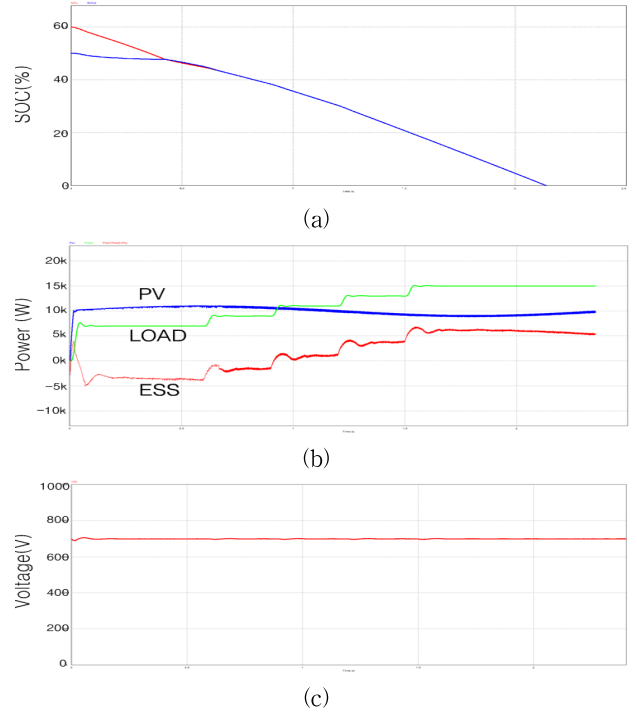


그림 3. 시뮬레이션 결과 (a) 배터리 SOC, (b) 부하전력과 PV변화에 따른 에너지 저장장치 출력, (c) DC BUS 전압
Fig3. Simulation Result

하도록 설정했다.

그림 3(a)는 SOC가 각각 0.6, 0.5로 설정하여 배터리간의 SOC가 서로 다름에도 제어를 통해 값이 다른 SOC가 같아지는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(b)를 통해 부하와 태양광 시스템의 전력의 변화에도 ESS가 보상하여 전력을 안정적으로 공급하는 것을 보여주고, 그림 3.(c)에서 DC BUS가 700V로 일정하여 전압 역시 안정적인 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 DC 마이크로 그리드에서 에너지 저장장치의 안정적인 출력을 보장하는 운전전략을 제안하였다. SOC 밸런싱을 통하여 SOC가 다른 배터리들이 배터리 출력에 대한 안정성을 확보하였고, 간헐적인 태양광 시스템의 출력에 대해 에너지 저장장치가 출력을 보상하여 변하는 부하출력에 대해 안정적인 전력공급이 가능하도록 하였다.

참고 문헌

- [1] Hao Qian, Jianhui Zhang, Jih-Sheng Lai, Wensong Yu "A High-Efficiency Grid-Tie Battery Energy Storage System". IEEE Trans. on Power Electron, VOL. 26, NO. 3, MARCH 2011
- [2] Laxman Maharjan, Shigenori Inoue and Hirofumi Akagi "State-of-Charge (SOC)-Balancing Control of a Battery Energy Storage System Based on a Cascade PWM Converter", IEEE Trans. on Power Electron, , VOL. 24, NO. 6, JUNE 2009