

가파도 마이크로 그리드에서의 카본 프리(Carbon-Free)를 위한 1MVA급 배터리 에너지 저장시스템 적용 및 실증

서영거, 손의권, 정병창, 이정민, 최영준
(주) 효성 중공업연구소

The Application and Verification of the 1MVA Battery Energy Storage System for Carbon-Free in Micro-Grid of Gapa Island

Young Ger Seo, Ui Kwon Son, Byoung Chang Jeong, Jeong Min Lee, Young Jun Choi
Hyosung Heavy Industrial Research Center

ABSTRACT

본 논문의 주제는 가파도 마이크로 그리드에 적용한 1MVA급 배터리 에너지 저장시스템(BESS Battery Energy Storage System)을 소개하는 것이다. 에너지 저장장치가 디젤발전기와 연계 및 독립운전 하여 탄소 배출 없이(Carbon Free) 가파도 전체 부하에 전원을 공급하는 실증 사례를 살핀다.

1. 서론

풍력발전이나 태양광발전과 같은 신재생 에너지원은 화석 연료에 대한 의존도와 온실가스 등을 줄일 수 있는 막대한 잠재력을 가지고 있다. 하지만 태양광 에너지와 풍력 에너지는 기존의 전통적으로 사용되는 발전소의 에너지원과 달리 출력이 가변되고 정확하지도 않다. 특히 가파도와 같은 마이크로 그리드의 경우 풍력발전과 태양광발전의 출력 변동, 수용가의 부하 변동은 독립된 디젤발전기 운용의 큰 부담이 된다. 에너지 저장시스템의 적용은 디젤발전기를 운용하는 측면에서도 큰 도움이 될 뿐만 아니라 디젤발전기의 운전을 완전히 정지하고 에너지 저장시스템의 출력만으로 수용가에 전원을 공급하여 배출되는 온실가스를 최소화 할 수 있다.

본 연구를 통해 1MVA급 PCS(Power Conditioning System)와 1080kWh 용량의 리튬이온 배터리로 구성된 대용량 배터리 에너지 저장시스템을 가파도 마이크로 그리드에 적용하여 풍력발전기, 디젤발전기와의 연계뿐만 아니라 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)로 병렬연계 운전을 하여 무정전 전원 설계를 확인할 수 있었다.

2. CVCF 제어 알고리즘

기존의 PI 제어기와 제안한 적분기 형태의 제어기를 비교하여 적분기 제어기의 장점을 살펴본다. 우선 제어기의 제어대상인 플랜트(Plant)는 저항성분을 포함한 LC필터로 제한하였다. 기존의 전압제어기는 부하전류 외란에 대해서 빠르게 응답할 수 있도록 내부에 전류제어기를 포함하고 있으며 동기좌표계로 등가 변환하여 설계하였다. 그리고 동기좌표계로 등가 변환할 때 발생하는 인덕터와 커패시터의 커플링(Coupling) 현상을 고려하여 디커플링(Decoupling) 또한 기본으로 포함하고 있다.

적분기를 이용한 제어기의 경우 그림 1과 같이 구성 하였으며 기존의 PI 제어기에 비해 전류제어도 포함되어 있지 않아

부하전류 외란에 대해 응답이 늦은 단점이 있다. 하지만 부하전류 외란에 대한 스텝 응답을 나타내는 그림 2를 보면 기존 PI 제어기의 경우 공진 요소가 있는 반면 적분기를 이용한 제어기는 공진 요소가 없는 장점을 확인할 수 있다.

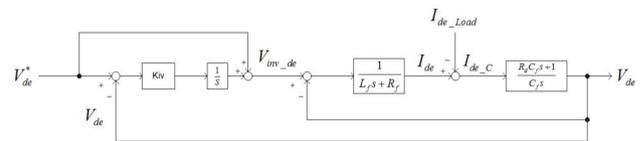


그림 1 적분기를 이용한 전압제어기의 블럭도
Fig. 1 Block diagram of voltage controller using integrator

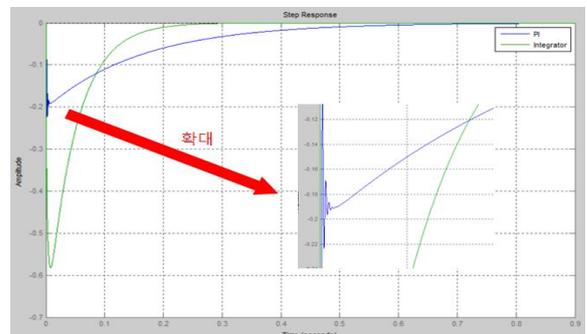
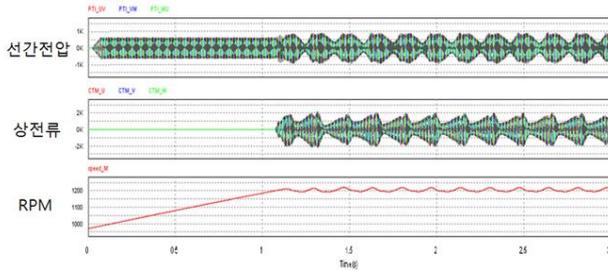


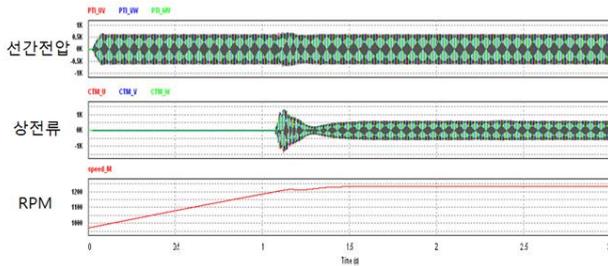
그림 2 외란에 대한 스텝 응답 비교
Fig. 2 Comparison of step response refer to distortion

3. Simulation 결과

본 논문에서 제안한 적분기를 이용한 전압제어기의 특성을 확인하고자 풍력발전기와의 연계 및 디젤발전기와 CVCF 모드로 연계하는 시뮬레이션에 적용하였다. 그림 3은 풍력발전기와 연계 시 제어기별 시뮬레이션 결과를 비교한 파형으로 적분기를 적용한 전압제어기의 장점을 확인할 수 있다. 그림 3의 (a)는 기존 PI 제어기를 적용했을 때는 풍력발전기 연계 후 공진이 있는 것을 확인할 수 있는데 PI 제어기를 잘못 설계한 것이 아니다. 가파도에 설치되어 있는 풍력발전기가 별도의 PCS가 없는 유도발전기 형태의 발전기이기 때문에 발생하는 현상으로 실제 현장에서도 확인되었다. 반면 적분기를 이용한 전압제어기의 경우 (b)에서 확인할 수 있듯이 연계 시 과도상태가 있지만 곧 안정된 정상상태를 유지하는 것을 확인할 수 있다.



(a) 기존 PI 제어기



(b) 제안한 제어기

그림 3 풍력발전기 연계 시 시뮬레이션 파형 비교

Fig. 3 Comparison of simulation results refer to controllers when the wind turbine is connected

그림 4는 섬 지역 주전원을 디젤발전기에서 에너지 저장장치로 절체 하는 과정을 나타내는 파형이다. 에너지 저장장치가 CVCF 모드로 디젤발전기와 연계된 후 디젤발전기 운전을 정지 시키면 무정전으로 부하에 연속적인 전원 공급이 가능하다.

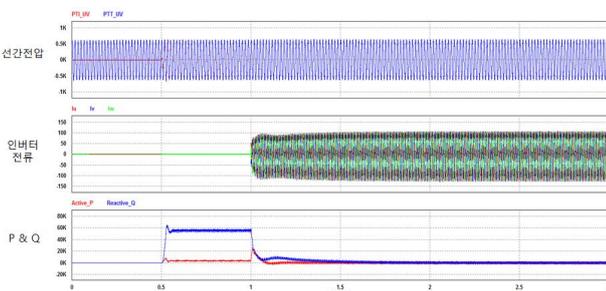


그림 4 CVCF 모드로 디젤발전기와 연계된 시뮬레이션 파형

Fig. 4 Simulation result when the PCS is connected with diesel generator using CVCF mode

3. 실험 결과

본 전압제어기 개발의 핵심 목표는 가파도에 설치되어 있는 250kW급 농형 풍력발전기와의 안정적 연계와 CVCF 모드로 디젤발전기와 연계되어 무정전으로 부하에 연속적인 전원을 공급하는 것이다. 그림 5는 풍력발전기가 고품속 모드로 BESS와 연계되는 과도상태를 보여주는 파형으로 고조파가 나타나는 과도상태가 수 초 지속되다가 전압 THD가 3% 미만인 정상상태에 들어간다. 그림 6은 BESS가 CVCF 모드로 디젤발전기와 연계되는 파형으로 연계 후 전압 파형의 왜곡이나 전류 혹은 전력이 발산하는 불안정 요소는 없었다. 디젤발전기의 유효전력과 무효전력 모두 안정적으로 제어 되었으며 디젤발전기의 탈락 과 재연계 모두 과도상태 없이 가능하게 되어 무정전으로 전원을 절체 하여 섬 지역의 탄소 프리(Carbon Free)가 가능

하게 되었다.

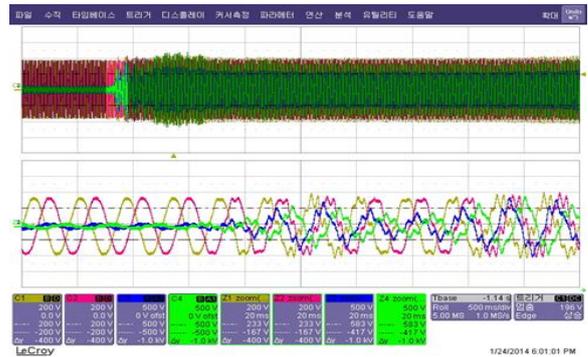


그림 5 풍력발전기 연계 시 실험 파형

Fig. 5 Experimental results when the wind turbine is connected

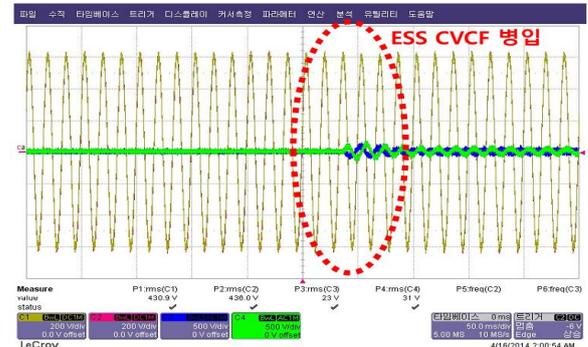


그림 6 CVCF 모드로 디젤발전기와 연계된 실험 파형

Fig. 6 Experimental result when the PCS is connected with diesel generator using CVCF mode

4. 결론

전압 제어기의 민감도를 낮추어 풍력발전기 등과 같은 특수 부하와 실제 수용가 부하에 동시에 전원을 공급할 수 있도록 하였다. BESS가 CVCF 모드로 운전하여 디젤발전기와의 연계를 통해 무정전으로 전원을 절체할 수 있도록 구성 하였으며 풍력발전기와 태양광발전기를 통해 충전된 에너지를 방전하여 전원을 공급, 이를 통해 1MVA BESS만을 이용하여 탄소 배출 없이 가파도 마이크로그리드 전 지역에 전원을 공급하였으며 향후 다른 섬지역의 적용 가능성을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Shuitao Yang, Qin Lei, Fang Z. Peng, Zhaoming Qian, "A Robust Control Scheme for Grid Connected Voltage Source Inverters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 1, pp. 202-212, 2011, Jan.
- [2] Antonino Riccobono, Enrico Santi, "Positive Feed Forward Control of Three Phase Voltage Source Inverter for DC Input Bus Stabilization with Experimental Validation", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 49, No. 1, pp. 168-177, 2013, Feb.