계통연계형 MW급 ESS의 모델링 및 제어알고리즘 개발

정세형, 김주하, 정아진, 양석현, 박성열, 최세완, 강병관*, 이충우*, 유안노*, 김희중*
서울과학기술대학교, LS산전*

Modeling and Development of control algorithm for Grid-Connected MW ESS

Se Hyung Jung, Joo Ha Kim, Ah Jin Jung, Seok Hyun Yang, Sung Youl Park, Se Wan Choi, Byung Kwan Kang*, Chung Woo Lee*, An No Yoo*, Hee Jung Kim*
Seoul National University of Science and Technology, LSIS*

ABSTRACT

본 논문에서는 부하평준화를 통한 전기요금 절감효과, 무효전력 보상을 통한 역률 개선 및 비상부하 전원공급을 위한 독립운전 기능을 갖는 MW급 ESS에서 PCS뿐 아니라 배터리, 변압기, 각종부하 및 디젤발전기 등 계통 내 구성 요소들을 실제 사양 및 데이터를 기반으로 모델링하였다. 또한 1MW PCS를 위한 유·무효전력, CC CV 충전 및 독립운전 제어알고리즘을 개발하였으며 시뮬레이션 및 축소시험을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 풍력, 태양광 등 신재생 에너지원에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 신재생 에너지를 이용한 발전시스템은 기후변화와 같은 주변 여건에 따라 발전량이 불확실하다는 단점이 있다. 이러한 전력 수급상의 문제점을 해결하기 위하여 전력저장 장치가 필요하게 되었다. 에너지저장 시스템(ESS : Energy Storage System)은 생산된 전력을 배터리와 같은 에너지 저장장치에 저장했다가 전력이 가장 필요한 시기에 공급하여 에너지 이용 효율을 높이는 시스템이다.[1] ESS의 가장 기본적인 활용용도는 전력사용이 적은 야간시간대에 남는 전력을 저장한 후에, 전력사용이 많은 주간시간대에 사용함으로써 피크조절(Peak Cutting)과 부하평준화(Load Leveling)를 통한 전력계통 운영의 최적화를 도모함으로써 안정적인 고품질의 전력을 공급하는 것이다.[2] 본 논문에서는 그림 1과 같이 1MW급 PCS와 배터리, 3상 △ Y 변압기, 비상용 디젤발전기, RLC 및 유도기 부하로 구성되는 MW급 ESS를 모델링하고 유·무효전력, CC CV 충전 및 독립운전 제어알고리즘을 제안하였다.

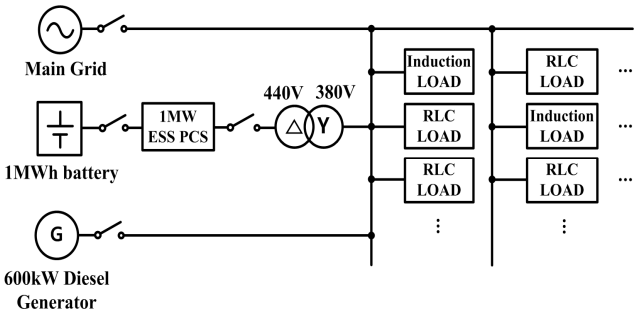


그림 1 MW급 ESS 구성도

2. 계통연계형 MW급 ESS의 모델링

그림 2는 MW급 ESS를 Psim으로 모델링 한 것이다. 부하는 여러 가지 상황들을 고려하여 다양한 용량과 역률을 갖는 RLC 부하와 펌프 및 팬 부하를 고려한 유도전동기 부하로 모델링하였다.

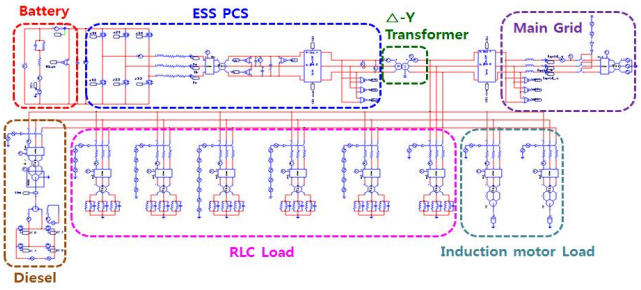


그림 2 MW급 ESS Psim 모델

배터리는 그림 3과 같이 가변 전압원과 내부 임피던스로 모델링 하였고, 식 (1)은 배터리 충전상태(State Of Charge, SOC)와 개로전압(Open Circuit Voltage, OCV)에 대한 관계, 식 (2)는 ampere hour counting method를 적용하여 SOC를 계산하는 수식을 나타낸다.[3] 이를 이용하여 배터리에 대한 모델을 Psim으로 구현하였다.

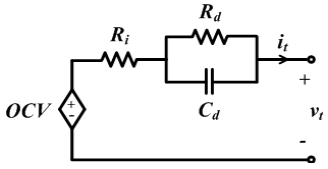


그림 3 리튬이온 배터리 모델

$$OCV = \sum_{n=1}^{i} a_i \times SOC^{21-n} \quad (1)$$

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{C_N \times 3600} \int_{t_0}^{t} i(\tau) d\tau \quad (2)$$

3. 제어 알고리즘

그림 4는 MW급 ESS의 전체 회로도이고, 그림 5는 3상 인버터의 제어블록도이다. 인버터가 계통연계 동작 중 배터리 방전 시는 유·무효전력을 제어하고, 충전 시는 CC CV 제어와 동시에 무효전력을 제어한다. 계통 정전 시 인버터는 독립운전

동작을 하는데, 외부 루프로 캐패시터 전압을 제어하고, 내부 루프로 인버터측 인덕터 전류를 제어하여 부하에 전력을 공급한다.

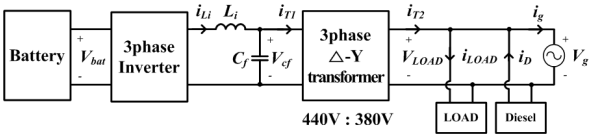
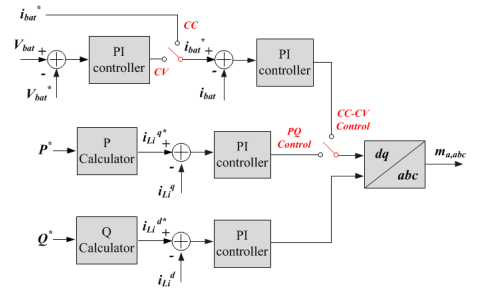
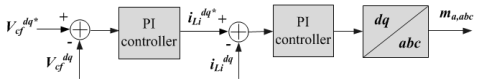


그림 4 1MW급 PCS 구성도



(a)계통연계 제어블록도



(b)독립운전 제어블록도

그림 5 1MW PCS 제어블록도

4. 시뮬레이션 및 실험결과

표 1은 MW급 ESS의 Psim 시뮬레이션 및 축소시험 사양이며, 그림 6은 축소시험 환경이다. 그림 7은 MW급 ESS의 Psim 시뮬레이션 및 축소시험 파형이다. 그림 7(a)는 DC링크 캐패시터의 초기충전 파형으로 캐패시터 전압이 서서히 증가하는 것을 볼 수 있고, 그림 7(b)를 통해 유·무효전력 제어 시 인버터 출력전류가 제어되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(c)는 CC 충전 시 실험파형으로 배터리 전류가 일정하게 제어되는 것을 볼 수 있다. 그림 7(d)는 정전 상황을 고려한 독립운전 파형으로 부하전압이 제어되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(b)~(d)의 결과를 통해 제어알고리즘이 검증되었으며, 시뮬레이션 및 실험파형이 일치하는 것을 통해 제안한 모델링 기법의 타당성이 검증되었다.

표 1 Psim 시뮬레이션 및 축소시험 사양

	P[kW]	$V_{inv,LL}$[V]	$V_{g,LL}$[V]
시뮬레이션	1000	440	380
축소시험	1.5	79.5	220

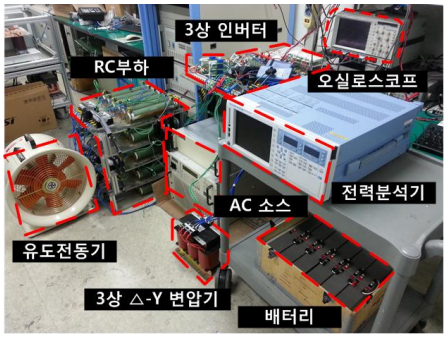


그림 6 축소시험 환경

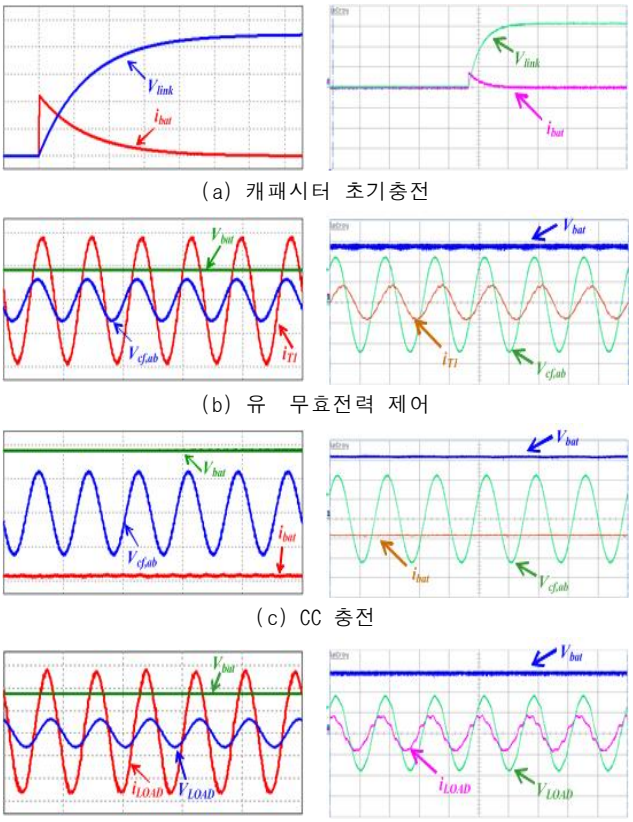


그림 7 MW급 ESS Psim 시뮬레이션(좌) 및 축소시험(우) 파형

5. 결 론

본 논문에서는 1MW급 PCS와 배터리, 3상 △ Y 변압기, 디젤발전기, RLC 및 유도기 부하로 구성되는 MW급 ESS 전체 시스템을 실제 사양 및 데이터를 기반으로 모델링하였다. 또한 1MW PCS를 위한 유·무효전력, CC CV 충전 및 독립운전 제어알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션 및 축소시험을 통해 타당성을 검증하였다. 제안된 모델은 PV, Wind turbin 등 신재생에너지 모델을 추가하여 마이크로그리드 응용분야에도 적용이 가능하다.

이 논문은 LS산전(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었슴

참 고 문 헌

[1] Zhao, H, Wu, Q, Ostergaard J, Nielsen T.S and Madsen H "Evaluation of Energy Storage System to Support Danish Island of Bornholm Power Grid", in Proc. IPEC, pp. 242 247. 2012.

[2] Liming Liu, Zhichao Wu and Hui Li "A Single stage Grid connected Inverter with Wide Range Reactive Power Compensation using Energy Storage System (ESS)" in Proc. APEC, pp. 223 230, 2010.

[3] 강병관, 이충우, 류강열, 오승훈, 이윤재, 최은식, 고광수, 김희중 "1MW 계통연계형 에너지저장시스템 연구", 전력전자학회 2013년도 추계학술대회 논문집, 2013. 11, pp. 239 240