

배터리 에너지 저장 시스템용 1MW급 PCS 개발

이승용, 우명호, 류승표

현대중공업(주)

Development of 1MW PCS for Battery Energy Storage System

Seong-Yong Lee, Myung-Ho Woo, Seung-Pyo Ryu

Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract

본 논문에서는 장주기(Long-Term, LT) 배터리 에너지 저장 시스템(Battery Energy Storage System, BESS)용 1MW급 PCS의 계통연계형 멀티레벨 컨버터 및 제어 시스템을 소개하고, 현장 시험을 통한 타당성 검증 결과를 제시한다. 또한 1.5 MW 풍력발전기 출력과 연계한 잉여 전력 충전 및 전력 피크 시간대 방전(Energy Shift) 기능을 통해 피크 부하 시간대 전력 문제에 효과적으로 대응할 수 있음을 확인하였다.

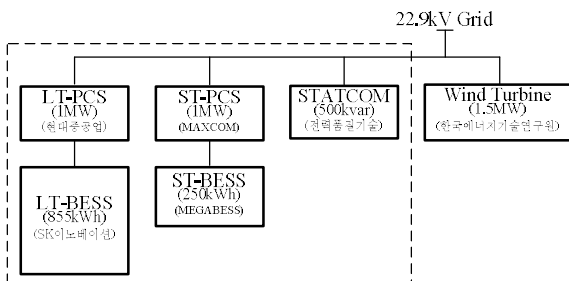
1. 서론

최근 계통 전력 공급원 중 풍력, 태양광 등과 같은 신재생 에너지원의 비중이 증가하고 있으나, 화석연료나 원자력을 이용한 발전과 달리 출력량 예측이 어렵고 출력량 변동이 심한 특성을 가지고 있기 때문에 세계 각국에서는 이를 보완하기 위한 연구 개발을 활발하게 진행하고 있다.

제주 Smart Grid 실증센터(현대중공업 컨소시엄)에서는 이러한 신재생 에너지원의 특성을 보완하기 위해 배터리 에너지 저장 시스템을 적용, 그 타당성을 실증하고 있다.



그림 1. 제주 Smart Grid 실증센터 전경(현대중공업 컨소시엄)



제주 Smart Grid 실증센터(현대중공업 컨소시엄)

그림 2. 제주 Smart Grid 실증센터 내 전력기기 구성도

장주기(LT) BESS 및 PCS는 심야시간 및 피크 시간대 전력 수요 패턴을 바탕으로 대용량의 전력량을 저장 또는 공급하는 역할을 수행하며, 단주기(Short-Term, ST) BESS 및

PCS는 풍력발전기의 출력과 연계하여 계통 연계점 출력을 비교적 일정하게 제어하는 역할을 수행한다.

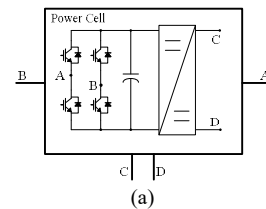
2. BESS용 1MW급 PCS 개발

2.1 계통 연계형 멀티레벨 컨버터의 구성과 사양

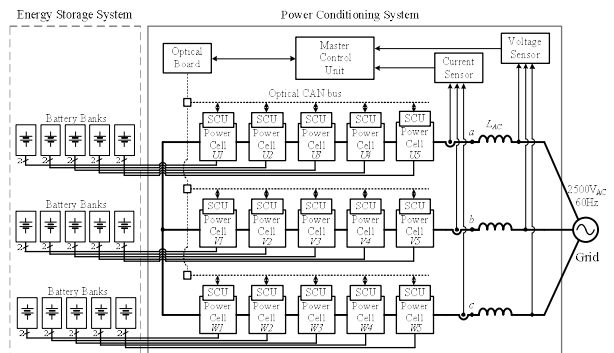
단일 배터리 뱅크 용량 확대의 난제 해결과 수 MW급의 출력을 위해서는 독립적인 직류 전원인 배터리를 통하여 다수의 직렬 연결된 저압 스위칭 소자를 사용하는 멀티레벨 토폴로지의 적용이 적합하여, 본 PCS에서는 Cascaded H-Bridge 방식의 멀티레벨 토폴로지를 적용하였다.

해당 토폴로지의 기본 모듈인 Power-Cell은 각각 1개의 배터리 뱅크와 연결되며, 다른 Power-Cell 및 프레임과 절연된 형태로 단상 PWM(Pulse Width Modulation) 출력, 배터리 전압 승압, 단상 전력으로 인한 배터리 전류 리플 저감 등의 역할을 수행하며, 각각의 Slave Control Unit(SCU)을 통해 제어된다.

Master Control Unit(MCU)는 계통 연계를 위한 상위 통신 및 3상 계통 전력 제어를 수행하며, 광케이블을 사용한 CAN(Controller Area Network) 통신을 통하여 SCU와 제어에 필요한 데이터들을 송수신한다[1].



(a)



(b)

그림 3. BESS용 1MW 멀티레벨 PCS의 시스템 구성

(a) Power-Cell (b) Cascaded H-Bridge방식의 PCS 전력회로

BESS는 독립적인 15개의 배터리 뱅크들로 이루어져 있으며, PCS의 Power-Cell도 15개로 구성된다. 각각의 정격

사양은 표 1과 같다. 모듈화된 Power-Cell, 고전압 토폴로지와 절연 특성을 고려하여 설계된 PCS 관렬을 그림 4와 같이 제작, 현장 설치하였다.

표 1. LT-PCS와 LT-BESS의 정격 사양

항 목	사 양	비 고
LT-PCS	정격 용량	1MW
	정격 전압	2500V
Power-Cell	정격 용량	67kW
	정격 전압	290V
LT-BESS	정격 용량	855kWh
배터리	정격 용량	57kWh
뱅크	정격 전압	380V

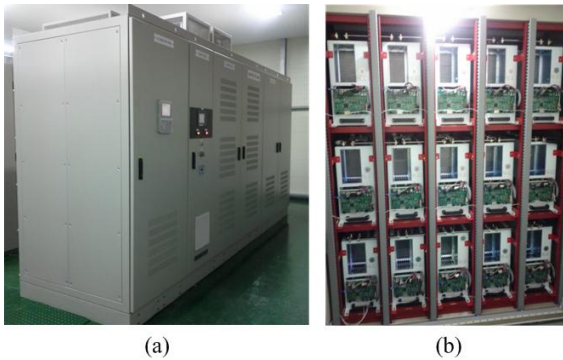


그림 4. 실증센터에 설치된 1MW 멀티레벨 PCS 시제품 사진
(a) 전체 외관 (b) 컨버터 관렬 내부

2.2 Master-Slave방식의 BESS용 PCS 제어

개발된 PCS는 1개의 MCU가 15개의 SCU를 상대로 전압 지령 전달, 센싱값 획득, 조정 기능, 설정 기능, 보호 기능 등의 역할을 수행해야 하므로 Master-Slave 방식, Modbus방식 등의 통신 프로토콜이 적용되어 있다.

멀티레벨 PWM구현시 Phase Shifted PWM(PSPWM)의 정확한 위상차 유지를 위하여 위상 동기 신호를 사용하였고, 계통 연계시의 낮은 AC 인덕턴스로 인한 전류 왜곡현상을 개선시키는 PWM 방법을 적용함으로써 전류 THD를 저감할 수 있었다.

또한, 3상 계통 연계시의 전력 품질은 그대로 유지하면서 다수의 배터리 뱅크의 SOC의 편차를 일정값 이하로 유지하도록 배터리 뱅크의 SOC를 밸런싱하는 기능을 적용하였다[2].

2.3 현장 시험 결과

PCS 현장 시험 결과, 부하율 50%이상에서 표 2와 같이 효율 96.5%이상, 역률 0.98이상, THD 3%미만의 우수한 계통 연계 특성을 확인할 수 있었다. 또한, 배터리 뱅크 SOC 밸런싱 시험에서는 SOC편차가 5%미만으로 유지됨을 확인하였다.

표 2. BESS용 1MW PCS의 주요 성능

항 목	결 과	비 고
효율	96.5%이상	Power-Cell 효율
역률	0.98이상	-
THD	3%미만	-
배터리뱅크 SOC밸런싱	5%미만	SOC 편차

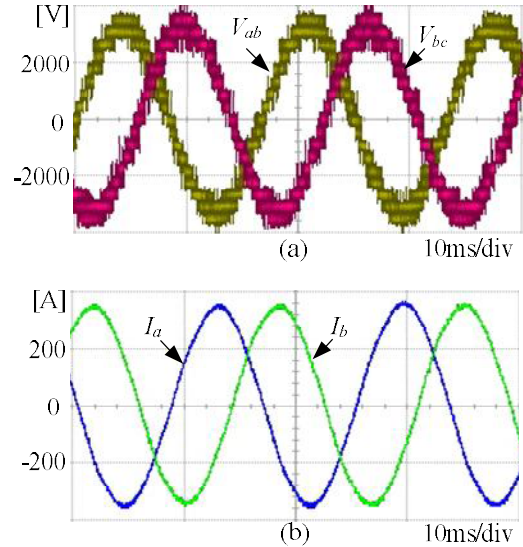


그림 5. 1MW 멀티레벨 PCS의 PWM 출력전압, 전류
(a) 멀티레벨 출력 전압 (b) 1MW 출력시 계통 전류

그림 6은 상위 시스템과 연계한 PCS의 출력량 제어 시험 결과를 나타내고 있다. 그림과 같이 심야 시간대의 잉여전력 충전 기능과 전력피크시간대의 방전 기능이 상위시스템의 명령에 따라 원활하게 동작함을 확인할 수 있다.

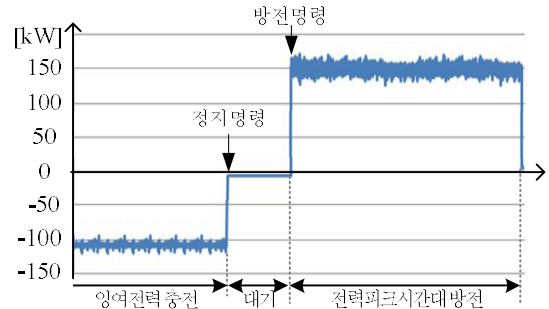


그림 6. 전력수요시간대에 따른 PCS의 충/방전 출력량

3. 결론

본 연구에서의 BESS용 1MW급 PCS 개발 및 제작, 시험을 통하여 대용량 BESS 연계 가능 및 우수한 계통 연계 특성을 검증하였으며, Energy Shift기능을 통해 향후 신재생 에너지원의 확대에 따른 에너지 저장 시스템에 적용 가능함을 확인하였다. 향후 Energy Shift기능과 시스템 신뢰성 검증을 위해 제주 Smart Grid 실증센터에서 장기간의 실증 시험을 실시할 예정이다.

Reference

[1] Young-Min Park, Han-Seong Ryu, Hyun-Won Lee, Myung-Gil Jung, and Se-Hyun Lee, "Design of a Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter Based on Power Electronics Building Blocks and Control for High Performance" *KIPE Journal of Power Electronics*, Vol. 10, No. 3, May 2010. pp. 262-269

[2] Laxman Maharjan, Shigenori Inoue, and Hirofumi Akagi, "A Transformerless Energy Storage System Based on a Cascade Multilevel PWM Converter With Star Configuration," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 44, No. 5, September/October 2008.