

# 산업용 수용가를 위한 ESS용 PCS 제어기 개발 및 실증

이승용, 우명호, 류승표  
현대중공업

## Development & Demonstration of ESS-PCS Controller for Industrial Customer

Seong-Yong Lee, Myung-Ho Woo, Seung-Pyo Ryu  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

배터리 에너지 저장시스템(Battery Energy Storage System, BESS)용 Power Conditioning System(PCS)은 양방향 순시 정격 출력이 가능하여 계통연계 및 독립운전을 수행할 수 있으며, 신재생에너지 연계시 그 효율을 증대시킬 수 있다.

본 논문에서는 산업용 수용가를 위한 ESS용 PCS 제어기 개발 및 실증 내용을 소개한다. 독립적 운전이 가능한 4개의 250kW PCS로 이루어진 1MW PCS는 Battery Management System(BMS)의 상태를 수신하여 운전가능여부를 판단하며, Energy Management System(EMS)의 지령으로 전력차액거래, 피크전력저감, 수요반응, 무효전력제어 등의 기능을 수행할 수 있다. 또한 원격지의 계통전압, 출력전류 등을 실시간으로 수신할 수 있는 모듈을 사용하여 비상전원 기능 및 신재생에너지 출력 단기 보상 기능을 수행할 수 있다.

### 1. 서론

산업용 수용가는 흔히 제조업 생산설비를 갖추고 있는 공장을 의미하며, 생산설비를 가동하기 위한 전력설비를 갖추고 있다. 생산 품목에 따라 소비전력이 24시간 일정하거나 주간 근무시간에만 피크가 발생할 수도 있으나 산업용 전력요금의 현실화가 눈 앞에 다가옴에 따라 다수 산업용 수용가에서는 피크 전력을 저감하거나 수요반응 프로그램 참여로 수익을 창출할 수 있는 ESS의 도입을 적극적으로 검토하고 있다<sup>[1]</sup>.

현대중공업에서는 1MW/1MWh ESS를 음성에 있는 태양광 모듈 공장에 설치하여 2015년 2월 말부터 상시 실증 운전 중에 있다.

### 2. 수용가 및 1MW/1MWh ESS 소개

#### 2.1 해당 산업 수용가의 부하 특성

1MW/1MWh ESS는 실증인 점을 감안하여 직접적인 생산설비 보다는 같은 산업용 요금제를 적용받는 공장 사무실, 식당 및 대형 자재 창고의 냉난방, 조명 부하 등이 있는 공장 본관동을 대상으로 하고 있다. 24시간 가동중인 태양전지 및 모듈 조립 공정의 생산설비와는 달리 점심시간을 제외한 3월 주간에는 1200~1400kW, 야간에는 600~800kW의 뚜렷한 패턴을 가지고 있음을 볼 수 있다.

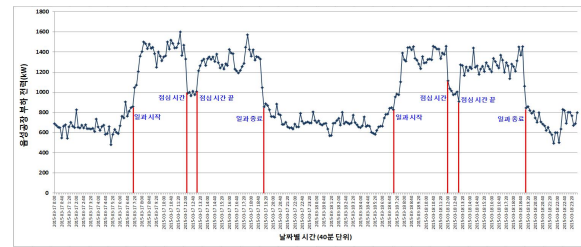


그림 1 현대중공업 음성공장 평일 부하 사용량(3월)

#### 2.2 1MW/1MWh Battery Energy Storage System

1MW/1MWh ESS는 기존 전력 설비가 아닌 병렬 연결된 추가 전력 설비이므로 옥외 컨테이너 형태로 설계되었으며 전기실에서 비교적 먼 거리에 설치됨을 감안하여 6,600V 연계 및 광통신 방식을 사용하였다. 1MW PCS는 독립적으로 제어되는 4대의 250kW PCS로 이루어져 있으며, 각 PCS는 85kW 스택 3개로 이루어져 있다. 직류단 전원은 4대의 PCS가 공통 사용하며, 순환전류의 영향을 최소화하기 위해 250kW PCS의 각 출력은 5권선 변압기로 분리되어 있다. 45kW의 태양광 PCS와는 AC 커플링 되어 있으며, 옥외전기실을 통해 6,600V로 송압되어 본관동 전기실 및 비상부하에 연결된다.

1MWh 배터리는 10개의 100kWh 랙으로 이루어져 있으며, EMS는 IEC 61850규정을 준수하는 HiMAP 계전기 및 Power Meter를 통해 공장의 소비 전력량, PV 출력, PCS, BMS의 상태를 수집하며, 부하 예측 및 신재생에너지 출력량 예측, 수요반응 참여 알고리즘 등을 통하여 산업용 수용가의 효익을 최대화시킬 수 있는 ESS 지령을 PCS에 전달한다. 최종적으로 PCS는 BMS의 데이터를 참조하여 배터리가 안정한 상태인지 확인하면서 EMS 지령에 해당하는 전력을 제어한다. 또한 본 ESS는 계통 정전 발생시 비상전원을 공급할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 한전 계통에서 VCB의 개폐를 이용해 독립계통을 형성하고, 비상부하에 전압을 공급한다.



그림 2 1MW PCS 컨테이너(좌) 및 1MWh 배터리 컨테이너(우)

### 3. ESS용 PCS 제어기 개발 및 실증

#### 3.1 1MW PCS 제어기 구성

1MW PCS의 주제어기(Master of Main Control Unit, MMCU)는 기본적으로 EMS로부터 지령을 수신하여 각 250kW PCS로 분배하고, 각 PCS의 상태를 수신, 전체 정보를 종합하여 EMS로 보고하는 역할을 한다. 또한 운전 지령을 받더라도 각 PCS 및 스택의 상태정보, BMS의 상태정보를 바탕으로 최종 운전여부 및 지령을 결정한다. 즉, 가용한 PCS가 없거나, 배터리의 상태정보와 충전율(State Of Charge, SOC), 최대-최소 셀전압이 정상 범위를 벗어나면 정지하도록 구성되어 있다. 운전 중 일부 PCS 고장시에는 전체 출력을 자동 분담하고 전력 변환 효율 향상을 위한 부분 운전도 가능하다.

Main Control Unit(MCU)은 MMCU로부터 지령을 전달받아 독립적인 250kW PCS 전류제어 또는 전압제어를 수행하며 통신을 통해 Stack의 상태를 감시하는 등 계통 보호 기능과 기기 보호기능을 갖추고 있다.

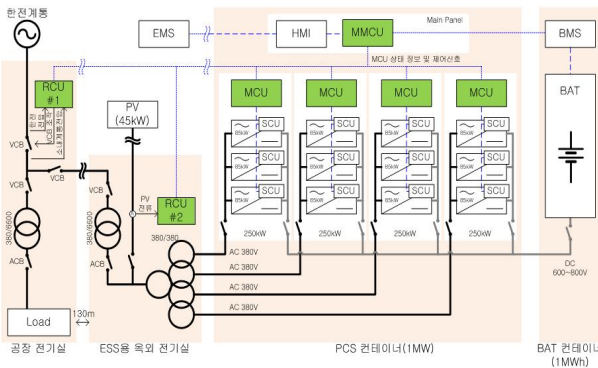


그림 3 ESS 설비 및 PCS 제어기 구성 단선도

HMI, MMCU, MCU, RCU 등 각 제어기 간 통신은 노이즈 면역을 위해 광통신을 이용한 CAN 및 Ethernet, RS485 등으로 구성되어 있으며, Modbus RTU 등의 프로토콜이 적용되어 있다. 그리고 EMS, MMCU, BMS의 장시간 통신 오류시에는 시스템 에러를 통해 정지하여 안정성을 높였다.

Remote Control Unit(RCU)는 MMCU-MCU와 광통신 CAN버스를 공유하는 유닛으로서 PCS에서 떨어진 본관동에 설치된다. RCU는 한전 계통 정전시 VCB를 Open하고 계전기와 인터록하여 ESS가 독립계통에서 비상전원으로서 기능할 수 있게 해주며, 복전시 한전계통과의 연계를 위해 전압 동기화 유무 감지(전압 및 위상각 차이 송신)해 줄 수 있는 모듈이다. 또한 이를 신재생 에너지의 출력 측정용으로 사용하면 수 십 ms에 불과한 단주기 출력 변동도 보상할 수 있다.

#### 3.2 계통연계 상시운전

해당 공장의 전력 피크는 겨울철에 이미 발생 및 경과하여, 3월부터는 그림 4와 같이 전력요금차액거래를 위하여 최대부하시간대 (10:00 ~ 12:00, 13:00 ~ 17:00)에 방전, 경부하시간대 (23:00 ~ 09:00)에 충전을 수행하는 스케줄 운전 중에 있다. PCS는 지령 수신을 통하여 산업 수용가용 EMS의 타 운영전략인 수요반응과 무효전력공급에 대해서도 충분히 대응이 가능하다.

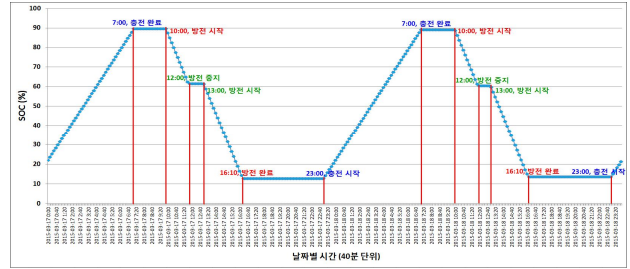


그림 4 계통연계 상시운전시 배터리 SOC 변화

#### 3.3 실 부하 연계 독립운전 시험

비상부하를 위한 운전은 비상발전기와 같이 정전 후 복전을 기본적으로 수행할 수 있어야 한다. 이에 맞추어 500cycle에 걸쳐 Black Start 시험을 실시하였다. PCS로부터 본관동 실 부하 사이에는 1~1.2MW급 변압기가 3직렬 연결되어 있고, 그 외에 역률 보상용 캐패시터 뱅크, 단상 유도전동기, 전등용 안정기 등의 부하가 연결되어 있어 초기 전압 형성시 정상상태 전류의 수 배에 해당하는 여자 전류 및 충전 전류가 필요한 것을 볼 수 있다.

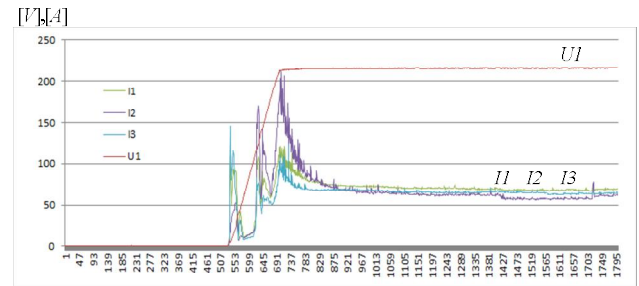


그림 5 실 부하 연계 독립운전 시험 결과(WT3000)

### 3. 결론

현재 한전 전력 요금 체계에서 산업용 수용가를 위한 ESS가 효율을 갖기 위해서는 한전 수전 계약과 관계된 전력차액거래와 피크전력저감, 설비 투자 지연 성격의 무효전력제어, 분산전원 성격의 수요반응 서비스, 비상전원 성격의 독립운전 기능 등의 역할을 수행할 수 있어야 할 것으로 보인다.

1MW/1MWh ESS용 PCS는 현대중공업 음성공장에서 실증 운전을 수행하며 주요 기능을 지속적으로 개선할 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부 에너지효율향상 기술개발 사업 과제를 통해 수행되었음. (과제번호 20132010101890)

#### 참고 문헌

- [1] 한국전기연구원, "산업용 수용가의 전력소비실태 및 부하조정에 대한 반응 분석", 대한전기학회 하계학술대회, 2010.