

산업용 수용가의 에너지저장장치 적용

Application of Energy Storage System for Industrial Customer

홍종석* · 채희석** · 강병욱*** · 김태형§ · 김재철†

(Jong-seok Hong · Hui-seok Chai · Byoung-wook Kang · Tae-hyeong Kim · Jae-chul Kim)

Abstract - The ESS is composed of Battery Package, PCS(Power Conditioning System) Package, BCU(BESS Control Unit). In Jeju smart grid test-bed, we have developed a business model by ESS power system, renewable energy, transportation, such as customers, and have demonstrated above things. We have analyzed the EMS(Energy Management System) model of KPX where manages supply and demand of domestic electrical power system. We modified and launched EMS for microgrid but the cost was expensive and the system was large size. For releasing this system from industry as a whole, it is imperative to develop PMS(Power Management System) for microgrid. However, the cost of EMS for microgrid is expensive, some systems because it is a large development of the all of the first fruits in urgent PMS(Power Management System) for microgrid to be used in industry in general. Therefore, in this paper, we propose the ESS model considering the power systems characteristics and extensibility in Korea. and also we propose the PMS to manage the ESS systems.

Key Words : Smart grid, EMS(Energy Management System), PMS(Power Management System), Lithium, Battery, ESS(Energy Storage System), Micro grid

1. 서론

스마트그리드 제주 실증 국책과제 스마트리뉴어블(Smart Renewable)을 통해 한전컨소시엄, 포스코컨소시엄, 현대중공업 컨소시엄은 에너지저장장치(Energy Storage System, 이하 ESS)와 에너지관리시스템(Energy Management System, 이하 EMS)을 개발하여 대용량 풍력발전기 출력안정화를 목표로 하여 리튬, 인산철 등의 배터리 기술과 대용량 인버터 기술을 이용하여 ESS를 개발하여, 제주 실증 Test-Bed에 설치 및 실증을 완료하였다[1]. 이후 정부, 공공기관, 사업자들과 협력하여 전력계통 보조서비스 중 주파수 조정용 ESS 사업, 에너지 다소비 산업군 용 ESS 사업 등 사업모델 개발에 박차를 가하고 있다.

본 논문에서는 설치가 용이하고 확장 연계 및 옥외 설치가 가능한 20피트 컨테이너용 대용량 ESS를 연구, 개발하여 상업 운전 중인 산업용 수용가에 시범 설치하였다. 본 논문에서는 에너지 다소비 산업군 수용가 중 제철소 내 단위 공장을 선정하여

1MW/500kWh Lithium ESS 상용품적용, 실증하고, 향후 제철소 내 ESS 설비 보급 확장을 위한 산업용 ESS 사업 모델로 사용할 계획이다. 아울러, 계통 연계시 동기화, ESS 총방전 응답 특성, C-rate별 연속 운전 특성에 대한 결과를 분석하였다.

2. BCS 패키지

그림 1은 ESS의 구성도를 나타냈으며, 구성은 배터리 부분(Battery Conditioning System, 이하 BCS) 패키지, 전력변환 부분(Power Conditioning System, 이하 PCS) 패키지, ESS 통합제어기(BESS Control Unit, 이하 BCU)로 구성된다. 본 장

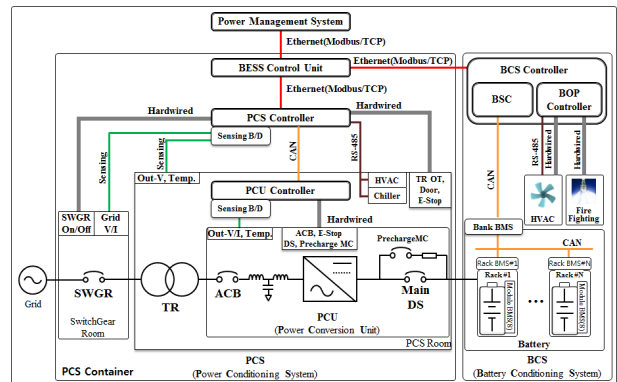


그림 1 ESS 구성도

Fig. 1 ESS configuration diagram

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ., Korea

** Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ., Korea

*** Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ., Korea

§ POSCO ICT, Korea

Received : March 18, 2015; Accepted : June 29, 2015

에서는 BCS의 구성에 대하여 언급한다.

2.1 BCS 구성

BCS는 20피트 하이큐빅(High Cubic, HC) 표준 컨테이너에 리튬 계열 배터리 랙(Rack)과 전지를 제어하기 위한 BMS (Battery Management System)와 배터리 충방전 시 적정 온도(23℃±5℃) 유지를 위한 공조설비(Heating, Ventilation and Air Conditioning, 이하 HVAC) 및 소방설비, Incoming Panel등을 포함한다. 표 1은 500kWh급 BCS에 대한 상세 사양을 나타냈다.

표 1 BCS 사양
Table 1 Specification of BCS

| 구성품 | | 상세 | Remark |
|----------------|------------|-----------------|----------|
| Battery | Cell | Lithium Polymer | 57.4 Wh |
| | Module | 14S4P Cell | 3.2 kWh |
| | | Nominal Voltage | 51.8 Vdc |
| | Rack | 14 Module | 45 kWh |
| | | Nominal Voltage | 726 Vdc |
| | | BPU | 1 set |
| | System | 13 Rack | 585 kWh |
| | Bank BMS | Rack BMS 제어 | 1 set |
| BSC | BMS 통합 제어 | 1 set | |
| UPS | 제어전원공급 | 2 kVA | |
| HVAC | 공냉식 | 25 RT | |
| Fire Fighting | 가스계(HFC23) | 1 set | |
| DVR | 감시 | 1 set | |
| Incoming Panel | ACB, MCCB | 1 set | |
| Container | 20FT HC | 1 set | |

2.2 Battery Management System(BMS)

배터리 밸런싱은 BMS에서 이루어진다. 고전압 BMS에서는 셀 밸런싱 기술을 도입하여 셀 간 전압 편차를 감소시키고자 하는 노력이 있었고, 밸런싱 방법으로는 저항에 의한 방전방식의 패시브 셀 밸런싱 방법과 DC 컨버터에 의한 액티브 셀 밸런싱 방법이 널리 알려져 있다[2].

패시브 셀 밸런싱 방법은 셀 간 전압 편차에 대한 정보를 실시간 전압측정을 통해 획득하며, 이 값에 근거하여 밸런싱 동작 여부를 결정하게 된다. 배터리사별 전지 특성에 따른 셀 밸런싱 토폴러지를 보유하고 있으므로 본 논문에서 적용된 L사 리튬 기반 BMS 셀 밸런싱에 대하여 서술한다[3]. 그림 2는 셀 밸런싱 장치를 포함하는 BMS를 표시하였고, 그림 3은 배터리 셀 밸런

싱 방법의 흐름도를 나타낸다.

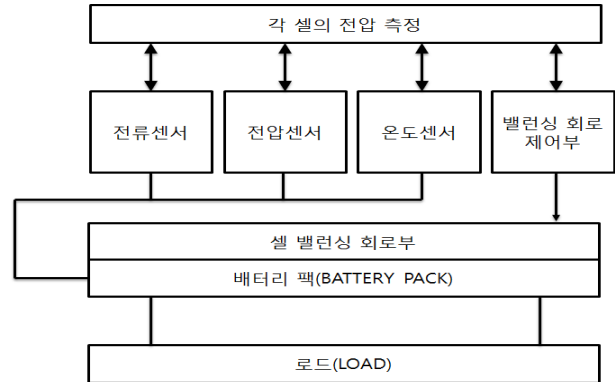


그림 2 셀 밸런싱 BMS 구성도

Fig. 2 Cell balancing BMS configuration

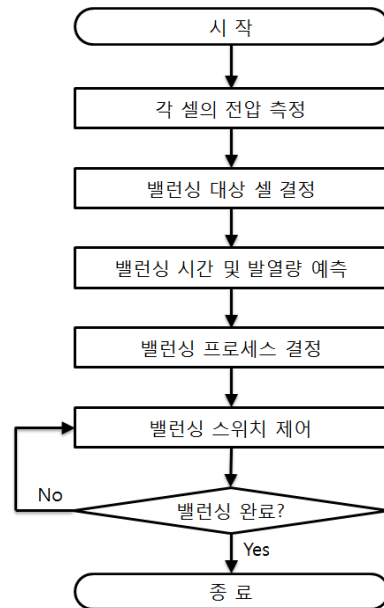


그림 3 셀 밸런싱 흐름도

Fig. 3 Cell balancing flowchart

3. PCS 패키지

앞서 2장에서는 ESS의 구성도에서 BCS 패키지에 대하여 언급했다. 본 장에서는 PCS의 구성에 대하여 언급한다.

3.1 PCS 구성

PCS는 BCS와 마찬가지로 20피트 하이큐빅 표준 컨테이너에 Power Conversion Unit(이하 PCU) 주설비와 건식 변압기, 스위치기어 등 계통 연계 설비와, HVAC, Chiller, UPS 등의 주변 설비로 구성되며, 제어 구성은 PCS, PCU, 주변설비 등을 통

합 제어하기 위한 Control Panel과 BCS와 PCS 및 계통 연계 제어를 위한 BCU로 구성된다.

그림 4는 전력변환장치의 주 설비인 PCU 단선도를 나타냈다. 그림 4의 좌측이 계통(AC) 연계 측이며 우측이 BCS(DC) 측이다.

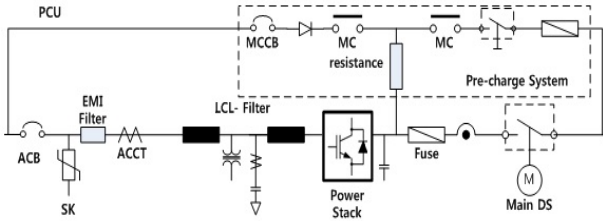


그림 4 PCU 단선도
Fig. 4 PCU single line diagram

PCU 구성은 계통부터 ACB, EMI Filter, L-C-L Filter, IGBT를 병렬 구성한 Power Stack, Fuse, DS순이며, 초기 기동시 돌입 전류 발생을 방지하기 위해 초충시스템(Pre-Charge System)을 병렬로 구성하였다. 표 2는 PCU 사양을 나타냈다.

표 2 PCU 사양

Table 2 Specification of PCU

| 구성품 | 상 세 | Remark |
|--------------|------------------|---------------|
| Capacity | 3w3φ | 1,100 kVA |
| AC | Voltage | 380 V |
| | Current | 1,670 A |
| DC | Voltage | 650~1,000 Vdc |
| | Current | 1,540 Adc |
| IGBT Stack | 3 Parallel/phase | 1,700 V |
| | | 1,000 A |
| PF | | ±0.99 % |
| DC Capacitor | Capacitance | 19,200 μF |
| | Voltage | 1,100 V |
| | Current | 1,600 A |
| Filter | LCL | 1 set |
| | % Impedance | 10 % |
| Chiller | for IGBT | 27,000 kcal/h |
| HVAC | for PCS | 10,600 kcal/h |

3.2 PCS 제어

ESS 적용 분야는 대표적으로 풍력 발전 출력안정화를 위한 Ramp 제어[4], 계약전력에 대한 연중 첨두부하삭감(Peak Shaving), 시간대별 전력차를 이용하는 부하평준화(Load Levelling) 등이 있으며[5, 6], 적용 분야에 따라 PCS 제어 방법과 알고리즘이 필요하다.

ESS 운전 방식 분류는 계통 연계형(Grid connected type) 운전과 마이크로 그리드망 또는 계통에 고장이 발생한 경우 중요 부하에 전원을 공급하기 위한 독립형(Grid independent type) 운전으로 분류할 수 있으며, 그림 5와 같다.

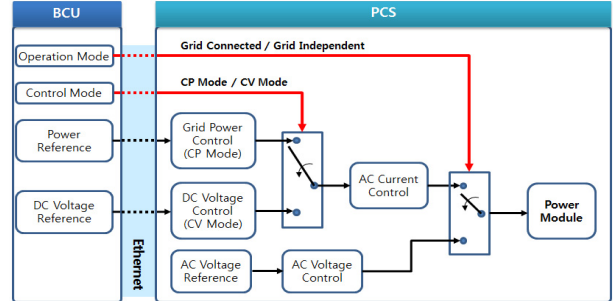


그림 5 ESS 제어 알고리즘
Fig. 5 ESS control algorithm

계통 연계 운전에서는 초기에 계통과 PCS를 연계하기 위한 계통 동기화를 수행하며, 계통 동기화가 완료 된 후에는 상위의 지령에 따라 동작하게 된다. 기존의 운전 방식의 경우에는 스위치 기어를 동작시켜 계통과 PCS의 출력측 변압기를 연계하고 전력모듈의 출력을 변압기 2차측 전압과 동기화 시키는 방법을 주로 이용하였으나, 이러한 경우 초기충전 회로 없이 연결되는 경우 과도상태에서 정격의 2배 이상의 돌입전류가 발생하여 계통에 문제를 발생시킬 수 있다[7].

PCS는 초기에 전력모듈의 출력단을 ACB를 통해 변압기에 연결하고 계통전압의 위상과 크기가 동일하도록 PCS의 출력을 서서히 증가시켜 변압기를 가압한 후 계통의 전압과 PCS의 출력전압이 일치하는 것을 확인하고 스위치기어를 동작시켜 계통과 연계하는 동작을 수행한다. 이러한 경우 계통 연계 시에 발생하는 과도상태의 전류를 정격전류의 10% 이내로 제한할 수 있다.

계통연계 운전에서 제어모드는 2가지로 구성되며, 먼저 상위의 전력 지령치에 따라 에너지를 충/방전하는 계통전력제어(Constant Power Control, CP) 모드와 배터리의 전압을 유지하면서 SOC를 100%로 충전하는 직류전압제어(Constant Voltage Control, CV) 모드로 구성된다. 계통전력제어의 경우 상위 시스템에서 계통의 상황과 배터리 전력을 파악하여 필요한 충방전 전력을 제어하게 되고, 직류전압제어의 경우 배터리의 전압과 SOC를 확인하면서 완전 충전이 가능하도록 직류전압을 제어한다. 계통전력제어와 직류전압제어의 결정은 상위 시스템에서 결정하게 되며, 원하는 출력을 얻기 위해서 AC Current Control에 지령치를 입력한다. AC Current Control에서 계산된 지령치는 전력모듈로 전송되고 실제 출력에 반영된다. 독립운전은 정격의 크기와 주파수를 갖는 전압을 발생하며, 부하에 따라서 출력 전력이 결정된다. 출력 전압의 크기와 주파수는 PCS에 파라미터로 입력되는 계통 전압 크기, 주파수를 기준으로 사용한다. 출력 전압 기준값은 AC Voltage Control에 입력되며, 원하는 전압이 출력되도록 기준값을 전력모듈에 전송한다. CP/CP제어에서 제어기 상세 블록도는 그림 6과 같다.

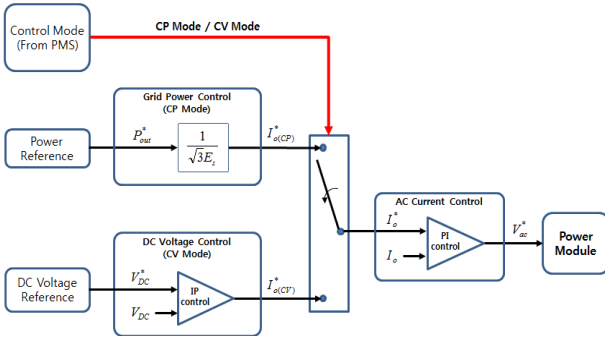


그림 6 계통연계 운전(CP/CV제어) 블록도

Fig. 6 CP/CV control block diagram

계통 전력 제어기는 계통 전압의 크기를 반영하여 전류 기준 값을 생성하며 수식 (1)과 같다.

$$I_{o(CP)}^* = \frac{P_{out}^*}{\sqrt{3} E_s} \quad (1)$$

여기서, $I_{o(CP)}^*$ 는 계통 전력 제어에서 계산된 출력 전류 기준 값, P_{out}^* 은 상위에서 ESS에 입력되는 출력 전력 기준값, E_s 는 계통전압의 크기를 나타낸다.

상위의 지령이 일정한 경우 계통 전압의 크기가 증가하는 경우 ESS의 출력 전류는 감소하게 되고, 반대로 계통전압의 크기가 계통 전압의 크기가 감소하는 경우 출력 전류는 증가하게 된다.

AC Current Control은 계통 전력 제어기에서 계산된 출력 전류의 기준값을 입력받아 PI제어를 수행하여 출력 전압 기준값을 생성하며, 수식 (2)와 같다.

$$V_{ac}^* = \left(K_{p(CC)} + \frac{K_{i(CC)}}{s} \right) (I_o^* - I_o) + E_s \quad (2)$$

여기서, V_{ac}^* 는 전력모듈에 입력되는 출력 전압의 기준값, I_o^* 는 출력 전류의 기준값, I_o 는 출력 전류의 피드백값, $K_{p(CC)}$ 는 AC Current Control의 비례 이득값, $K_{i(CC)}$ 는 AC Current Control의 적분 이득값을 나타낸다.

출력전류와 피드백전류의 오차에 대한 제어기 출력에 제어기의 특성을 향상시키기 위한 전향보상으로 계통전압 크기를 반영하여 출력전압 기준값을 생성한다.

직류 전압 제어기는 직류전압의 기준값과 현재 직류전압 크기를 비교하여 일정한 전압을 유지시킬 수 있도록 출력 전류 기준 값을 계산하며 수식 (3)과 같다.

$$I_{o(CV)}^* = \left\{ \frac{K_{i(DVC)}}{s} (V_{DC}^* - V_{DC}) - K_{p(DVC)} V_{DC} \right\} \quad (3)$$

여기서, $I_{o(CV)}^*$ 는 직류 전압 제어에서 계산된 출력 전류 기준 값, V_{DC}^* 는 직류전압의 기준값, V_{DC} 는 직류전압의 피드백값,

$K_{p(DVC)}$ 는 직류 전압 제어의 비례 이득값, $K_{i(DVC)}$ 는 직류 전압 제어의 적분 이득값을 나타낸다.

직류 전압 제어는 과도상태에 오버슈트가 발생하지 않도록 PI 제어기로 설계하였다. 출력 전류의 기준값은 계통 전력 제어와 마찬가지로 AC Current Control에 입력되며 제어기 출력을 전력모듈에 전송한다.

독립운전 모드에서의 제어 블록도는 다음 그림 7과 같다. 독립운전의 경우에는 PCS출력의 기준이 되는 계통전압이 존재하지 않기 때문에 PCS에 입력된 계통 정격 전압 크기, 주파수 파라미터를 적용하여 AC 전압 기준값을 생성하며 이는 AC Voltage Control의 입력이 된다.

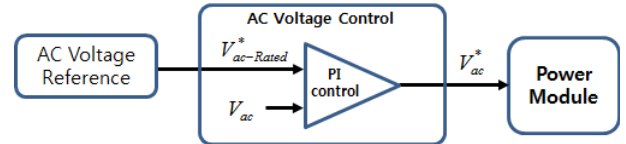


그림 7 독립 모드 블록도

Fig. 7 Grid independent control block diagram

AC Voltage Control은 PI로 제어되어 있으며, 수식 (4)와 같다.

$$V_{ac}^* = \left(K_{p(VC)} + \frac{K_{i(VC)}}{s} \right) (V_{ac-Rated}^* - V_{ac}) \quad (4)$$

여기서, V_{ac}^* 는 전력모듈에 입력되는 출력전압의 기준값, $V_{ac-Rated}^*$ 는 출력전압의 기준값, V_{ac} 는 출력전압의 피드백값, $K_{p(VC)}$ 는 AC Voltage Control의 비례 이득값, $K_{i(VC)}$ 는 AC Voltage Control의 적분 이득값을 나타낸다.

출력전압 기준값과 출력전압을 비교하여 기준값을 추종하도록 전력모듈에 기준값을 전송한다.

4. 사례 분석

4.1 ESS 계통 연계 구성

본 장에서는 사례 분석을 위해 ESS 시험 설비와 산업용 수용가 ESS 계통 연계를 나타냈으며, 그림 8은 ESS를 계통에 연계하기 위한 전력계통 단선도이다. 전압 레벨에 따라 22,900V 등 고압 이상에 연계하였지만 그림 8은 산업용 수용가 내 ESS를 설치하여 기존 첨두부하삭감(Peak Shaving, 이하 PS), 부하이동(Load Shifting, 이하 LS)뿐만 아니라 비상전원 Back-up용으로 적용하기 위해 중요 비상 부하 전원단인 저압 440V에 연계한 것이다. 본 논문에서 다루는 산업용 수용가는 비상발전기가 없으며, UPS만 설치되어 있다. 정상시에는 PS, LS를 스케줄링에 따라 운영하며, 비상시에는 UPS 기동 후 ESS를 비상전원 Back-up용으로 최대100kW 4시간동안 사용할 수 있다.

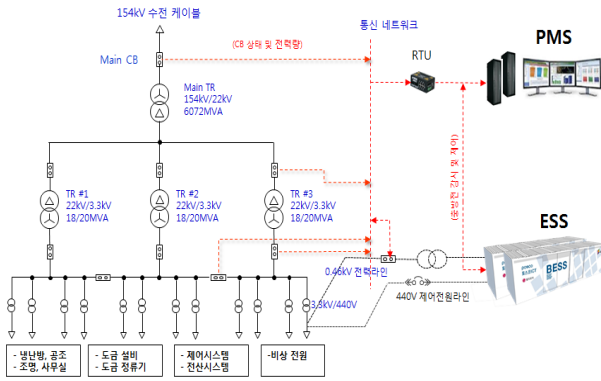


그림 8 ESS 연계 전력계통단선도
Fig. 8 Single line diagram for ESS

4.2 ESS 시험 설비 구성

그림 9는 ESS를 계통과 연계, 단독 시험하기 위한 장비를 나타냈다. 시험 장비 종류로는 전압별 전원 공급 장치와 4MVA 부하장치로 구성되었다.

그림 10은 4MVA ESS 시험 단선도 및 배터리 모의 설비를 나타냈으며, 해당 시험 설비 구성은 전압별, 부하별 시험뿐만 아니라 배터리 모의에 대한 시험 등 다양한 시험을 수행할 수 있다.

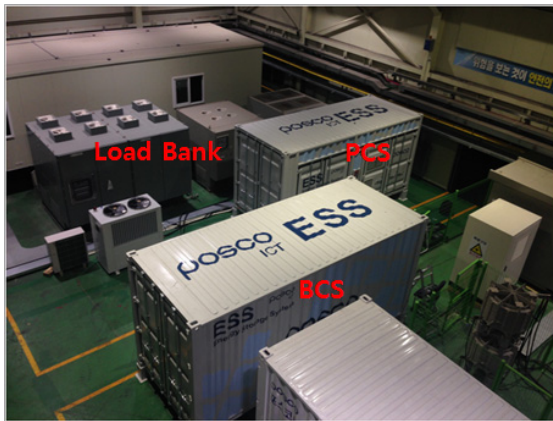


그림 9 4MVA ESS 시험 설비
Fig. 9 4MVA ESS test equipment

4.3 ESS 시험 결과

그림 11은 스위치 기어를 직접 동작시켜 변압기를 가압하는 경우에 나타나는 파형으로 과도상태에서 2배 이상의 정격전류가 발생하며, 이는 계통에 문제를 발생시킬 수 있다.

그림 12는 PCS의 출력전압을 계통전압과 동일하게 발생시켜 스위치기어를 연결하는 경우 계통과 연계시에 발생하는 전류를 최소화 시킬 수 있으며, 계통과 PCS가 연계되는 경우에도 전류가 정격전류의 10% 이내로 제한되는 것을 알 수 있다.

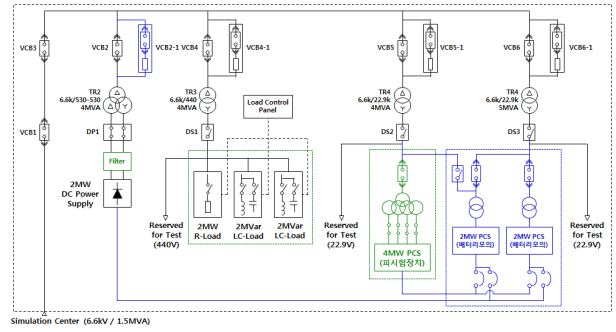


그림 10 4MVA ESS 시험 설비 단선도
Fig. 10 4MVA ESS test equip. single line diagram

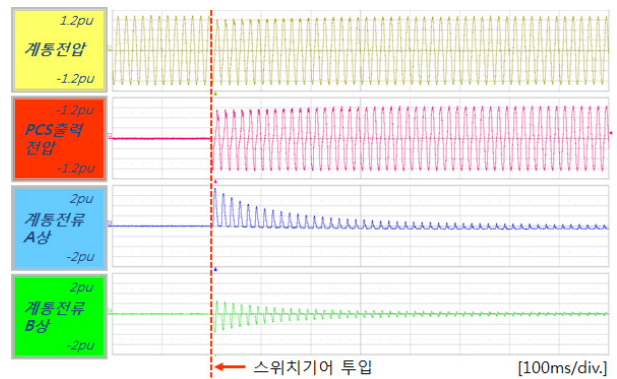


그림 11 계통 연계 시 변압기 돌입 전류 파형
Fig. 11 Tr. inrush current wave on grid connected

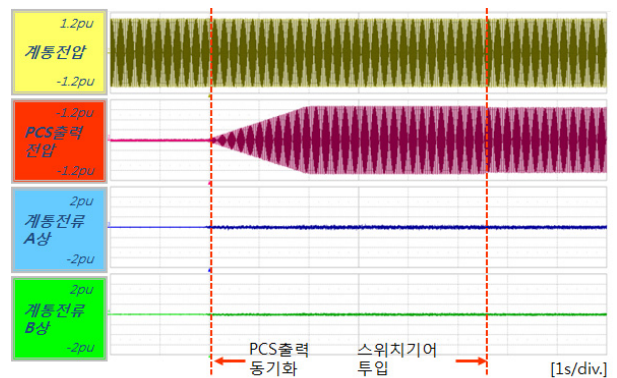


그림 12 계통 연계 시 인버터 동기화
Fig. 12 Inverter sync. on grid connected

그림 13과 14는 ESS의 충전과 방전시에 파형을 나타냈으며, 출력전류의 기준방향을 PCS에서 계통 측으로 나가는 방향을 양의 부호로 기준으로 설정하였으며, 방전은 양의 부호, 충전은 음의 부호로 나타냈다.

그림 13은 충전 동작 시 파형으로 출력 전류가 기준치를 약 10ms내에 추종하며, 출력 전류는 계통전압과 반대의 위상을 갖

는다. 그림 14는 방전시 파형으로 출력 전류가 기준치를 10ms내에 추종하고 출력 전류의 위상은 계통전압과 동일한 것을 알 수 있다. 기준치가 변동하여 출력 전류와 일치하지 않는 구간에서 기준치가 변동하는 것은 PCS의 전력출력에 따라서 계통전압의 크기가 변동하여 발생하는 현상으로 정상상태에서는 기준값이 변동하지 않는 것을 확인 할 수 있다.

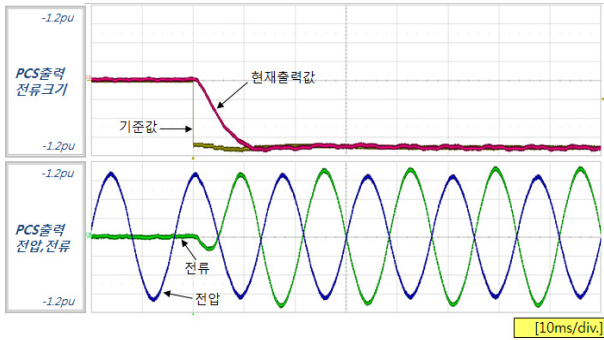


그림 13 충전 동작 시 응답 특성
Fig. 13 Step response on charge operation

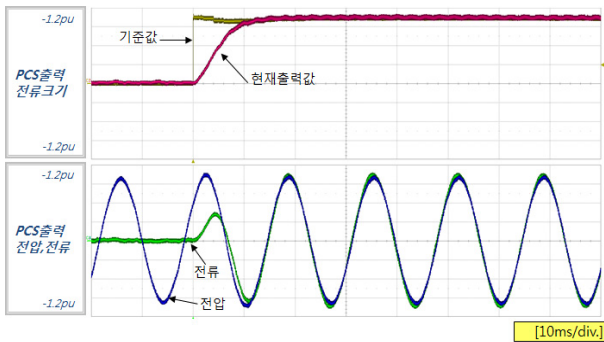


그림 14 방전 동작 시 응답 특성
Fig. 14 Step response on discharge operation

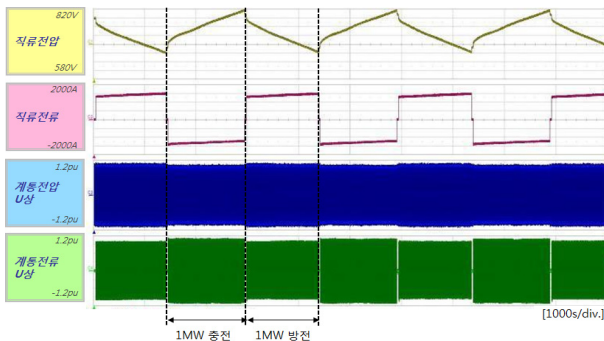


그림 15 1MW 총방전 연속 운전(2CP-rate)
Fig. 15 Charge-Discharge continuous operation at 2CP-rate

그림 15와 그림 16은 각각 1MW, 500kW로 총방전 연속운전을 수행한 파형이다. 충전 동작 시에는 배터리 전압이 상승하면서 직류전류는 감소하지만 계통 전압과 전류는 일정한 것을 확인할 수 있다. 반대로 방전 동작 시에는 배터리 전압이 하강하면서 직류전류는 증가하게 된다.

그림 17은 CP-CV모드 동작을 확인한 파형이다. CP모드에서는 1MW로 일정하게 충전을 수행하고 배터리 전압이 설정전압(795V)에 도달하게 되면 CV모드로 전환한다. CV모드로 운전하는 경우 배터리 전압은 일정하게 유지되고 충전되는 전류가 점점 감소하는 것을 확인할 수 있다.

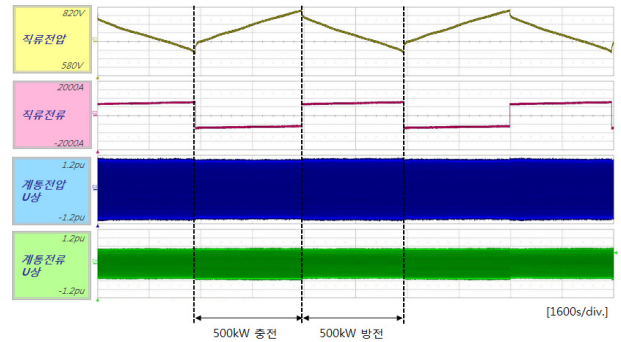


그림 16 500kW 총방전 연속 운전(1CP-rate)
Fig. 16 Charge-Discharge continuous operation at 1CP-rate

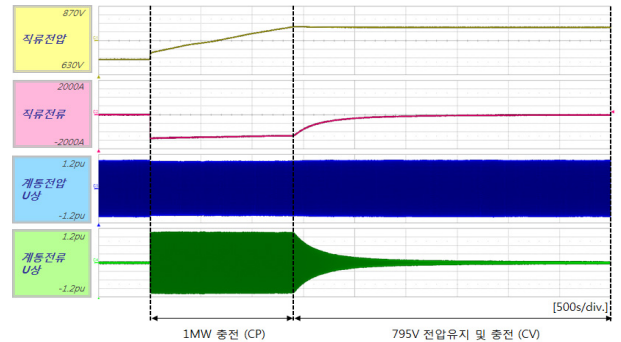


그림 17 CP-CV 모드 운전
Fig. 17 CP-CV mode operation

5. 결 론

ESS는 사용목적이 계통연계, 독립계통, 신재생에너지 출력안정화, 에너지 효율화 등의 목적에 따라 계통 구성방법, ESS의 용량 및 구성요소가 결정된다. 또한, ESS 적용에 따른 전력계통의 해석이 필수적이며, 그 계통에 포함된 분산전원과의 상관관계를 분석해야만 운전시 문제를 야기하지 않는다. 분석 요소로는 조류계산, 고장전류계산, 부하분석 등이 있으며, 이러한 분석을 통하여 시스템 설계 및 운영 시나리오를 확정할 수 있다.

본 논문에서는 에너지 다소비 산업용 수용가에 ESS를 적용하기 위한 준비단계로 특정한 목적(침투부제한, 부하이동 등)을

위한 운전방식이 적용되지 않았다는 점에서 한계는 있을 수 있으나, 실제 산업용 수용가에 ESS를 설치 운영하고, 계통연계 및 운전방식에 따른 결과를 실측하여 이에 대한 결과를 분석하였다는 점에서 의미를 둘 수 있다.

계통연계시 인버터에 의한 계통과의 동기 및 전압 크기에 대한 조정 없이 투입할 경우 정상 전류에 비해 2배 이상의 큰 전류가 흐르게 되며 이를 PCS를 통해 제어할 경우 10% 까지 줄일 수 있는 것으로 판단된다. 또한 본 논문에서 적용한 PCS 제어 알고리즘이 C-rate에 따른 충방전 운전을 이상 없이 수행할 수 있으며, CP-CV 운전에 의한 배터리 충전도 원활한 것으로 확인되었다.

References

- [1] J. S. Hong, C. H. Choi, J. Y. Lee, J. C. Kim, "Assessment of Performance for Output Power Control of Wind Turbine using Energy Storage System", The Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63P, No. 4, pp. 254-259, Dec., 2014
- [2] White Paper - Dissipative VS. Non-dissipative balancing(Passive VS. Active balancing), based on section 3.2.3.3 of the book "Battery Management System for Large Lithium - Ion Battery Packs"
- [3] H. S. Kim, S. J. Kim, I. H. Lee, "Method and Device for Cell Balancing of Battery Pack", PCT/KR2011/001856, LG Electronics In., 2011
- [4] J. W. Park, Y. H. Park, S. I. Moon, "Instantaneous Wind Power Penetration in Jeju Island", PES General meeting, July, 2008.
- [5] K. C. Divya, Jacob Ostergaard, "Battery Energy Storage Technology for Power Systems-An Overview", Electric Power System Research, pp. 511-520, 2009.
- [6] Sergio Vazquez, Srdjan M. Lukic, Eduardo Galvan, Leopoldo G. Franquelo, Juan M. Carrasco, "Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 57, No. 12, pp. 3881-3895, 2010.
- [7] J. H. Shin, G. S. Jang, Y. B. Yoon, "The Effect on Real Power System by the Inrush Current of a Transformer", KEPRI, pp. 318-321, Nov. 1999.

저 자 소 개



홍 종 석(Jong-seok Hong)

1972년 12월 2일생. 2000년 안양대 전기공학과 졸업. 2002년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료

Tel : 02-817-7966

E-mail : entrany@gmail.com



채 희 석(Hui-seok Chai)

1984년 10월 6일생. 2011년 숭실대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석박통합과정 수료.

Tel : 02-817-7966

E-mail : selaff@ssu.ac.kr



강 병 욱(Byoung-wook Kang)

1985년 1월 21일생. 2010년 숭실대 전기공학과 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 수료.

Tel : 02-817-7966

E-mail : kangbw@ssu.ac.kr



김 태 형(Tae-hyeong Kim)

1983년 7월 2일생. 2008년 광운대 전기공학과 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 ㈜포스코ICT R&D 센터 선임연구원

Tel : 031-723-3966

E-mail : th2kim@poscoict.com



김 재 철(Jae-chul Kim)

1955년 07월 12일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학부 교수.

Tel : 02-820-0647

E-mail : jckim@ssu.ac.kr