800kW 에너지 저장 시스템 실증운전

이재홍, 이진희, 최준영, 손의권, 이정민
㈜효성 중공업 연구소

Demonstration of the High Power Energy Storage System

Jae Hong Lee, Jin Hee Lee, Jun Young Choi, Ui Kwon Son, Jung Min Lee
Hyosung Corporation, Power & Industrial System R&D Center

ABSTRACT

본 논문은 당사에서 개발한 800kW Energy Storage System(ESS)의 실증 운전에 관한 내용이다. Battery, PCS(Power Conditioning System), EMS(Energy Management System)로 구성되는 ESS는 평활화, 정출력 제어와 같은 다양한 운전모드의 실현으로 풍력, 태양광과 같은 신재생 에너지가 연계된 계통의 출력 안정화에 크게 기여한다. 본 논문은 Smart Renewable 국책과제로 진행된 800kW 에너지 저장 시스템의 실증운전 결과에 대해 중점적으로 기술하였다.

1. 서 론

풍력발전기와 같은 신재생 에너지 발전원이 풍부한 제주도는 현재 스마트 그리드에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 에너지 저장 시스템은 풍력발전기와 같이 출력변동이 심한 신재생 에너지에 연계되어 출력변동완화 및 전력품질개선 등 계통의 안정적인 운영에 크게 기여한다. 2011년 당사에서 개발하여 제주 행원리 풍력단지 내(풍력발전기 14호기와 연계)에 설치 운용 중인 800kW 에너지 저장 시스템은 경제성 있는 비즈니스 모델을 도출하기 위한 목적으로 실증운전 중 이다.

2. 본 론

2.1 실증 시험 구성[1]

그림 1은 에너지 저장 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 일반 배전선로에 연계된 660kW 풍력발전기, 800kW PCS, 200kWh Li ion Battery(4C rate에서 800kW), 1MVA STATCOM(무효전력보상장치) 그리고 그림 2와 같은 ESS의 제어 및 실시간 계통의 상태, 각 구성기기들의 구체적인 정보를 제공하는 EMS로 구성된다.

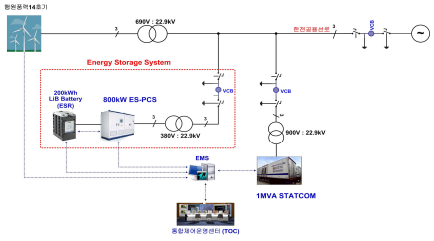

그림 1 에너지 저장 시스템 구성도
Fig. 1 Configuraton of Energy Storage System

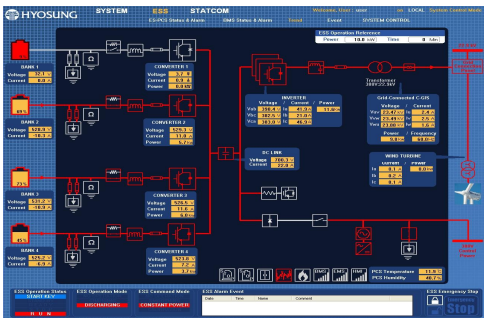

그림 2 에너지 저장 시스템의 소프트웨어
Fig. 2 Software of Energy Storage System

2.2 제어 알고리즘 설계

ESS가 풍력발전기와 연계하여 정출력 및 평활화 모드로 운전하기 위한 제어 알고리즘을 설계하였다. 제어요소의 정의는 다음과 같다.

P_{wind} : 풍력출력발전량 [kW]
P_{offset} : 충·방전 편중의 보상을 위한 지령값 [kW]
P_{target} : EMS의 지령값 [kW](계통출력목표값)
P_{ref} : PCS출력요청값 [kW]
P_{loss} : PCS의 자체 손실 [kW]
$P_{control}$: 수정된 PCS 출력요청값 [kW]

2.2.1 정출력 제어[2][3]

그림 3은 정출력 제어를 위한 알고리즘을 나타낸다. EMS로부터 전달받는 지령값이 일반배전선로에 연결되어 있는 ESS가 출력을 유지해야 하는 계통출력 목표값이 되고, 이를 실현하기 위해 실시간 변동되는 풍력출력발전에 응동하여 PCS가 충·방전을 수행한다. EMS는 실시간 변동되는 풍력발전출력 및 배터리 용량을 고려하여 적절한 지령값을 산출할 수 있어야 한다.

2.2.2 평활화 제어[2][3]

그림 4는 평활화 제어를 위한 알고리즘을 나타낸다. EMS로부터 전달받는 지령값 대신 PCS 내부에서 계통출력목표치를 만들어 낸다. 이는 실시간 변동되는 풍력발전출력에 저역통과 필터를 삽입하여 출력변동을 완화시킨 것으로 PCS는 이 값을 추종하기 위해 충·방전을 수행한다. 이 제어에 있어 풍력출력에 대한 평활화 정도는 필터의 속성을 결정짓는 시정수의 조정으로 결정된다. 실시간 풍력출력상황, 배터리의 용량 등을 고려한 적절한 시정수가 요구된다.

2.2.3 배터리 SOC 관리

그림 5는 배터리 SOC 관리를 위한 알고리즘을 나타낸다. 각개의 배터리에 동일한 충·방전 특성을 기대할 수 없기 때문에 다수의 배터리를 각개 제어해야 할 경우 PCS는 각 배터리의 SOC(State of Charge)를 고려하여 충·방전량을 조정하는 알고리즘이 필요하다. 경제적인 측면에서 배터리 SOC의 효율적인 관리는 수명을 연장하고, 이는 곧 비용과 연결된다.

$P_{\#n}$: 각 배터리에 요청되는 충·방전 파워값[kW]
$P_{\#n_comp}$: 재 요청되는 충·방전 파워값 [kW]
$I_{B\#n}$: 각 배터리에 요청되는 전류값[A]
$V_{B\#n}$: 각 배터리의 전압값[V]
$ch_{rate\#n}$: 각 배터리의 충전량 비율
$dis_{rate\#n}$: 각 배터리의 방전량 비율

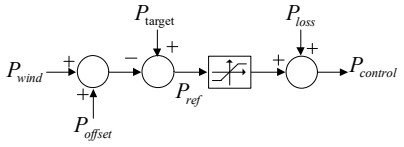

그림 3 정출력 제어 알고리즘
Fig. 3 Algorithm of Constant Power Control

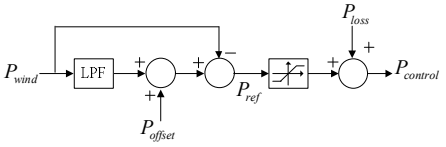

그림 4 평활화 제어 알고리즘
Fig. 4 Algorithm of Smoothing Control

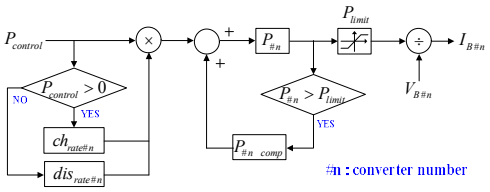

그림 5 배터리 SOC 관리 알고리즘
Fig. 5 Algorithm of Battery SOC Management

2.3 실증 운전 결과

그림 6은 2012/01/05 14:45~15:02 구간에 정출력 운전결과를 나타낸 것이다. WIND의 변동에 ES PCS가 실시간으로 응동함에 따라 GRID가 400[kW]로 유지되고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 2011/12/23 13:52~14:38 구간에 정출력 운전결과를 나타낸 것이다. P_{target}이 500[kW]로 운전을 유지하다가 EMS의 지령변경에 의해 700[kW]로 출력을 변경하고 있는 것을 적색 박스에서 보여주고 있다. 출력변경에 의한 응동시간은 1C rate 기준으로 0.5초 이내의 응답속도를 가진다. 그림 8은 2011/12/23 13:52~14:38 구간에 평활화 운전결과를 나타낸 것이다. WIND의 출력변동에도 불구하고 GRID의 출력이 크게 완화되고 있는 것을 확인 할 수 있다. 현재 평활화 정도의 정량적인 목표가 없기 때문에 시정수는 임의로 설정하였다. 표 1은 실증기간 중에 수행한 시험 항목, 시간 및 성능을 측정한 것을 나타내었다. ESS의 성능을 분석하기 위해 출력변동특성을 정규분포로 나타내는 분석 이론방법을 이용했고, 완화된 출력변동률 및 변동량 그리고 표준편차의 산출을 통해 정량적으로 출력안정화 효과를 검증하였다.

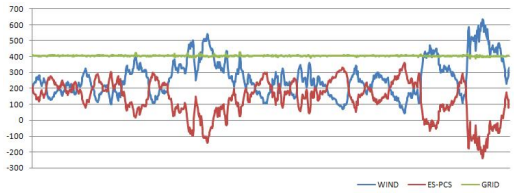

그림 6 정출력 운전결과(P_{target} : 400[kW])
Fig. 6 Result of Constant Power control

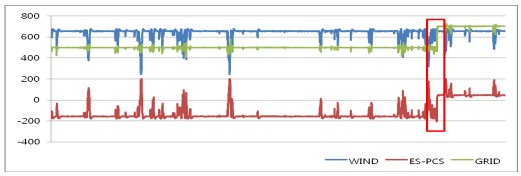

그림 7 정출력 운전결과(P_{target} : 500 -> 700[kW])
Fig. 7 Result of Constant Power control

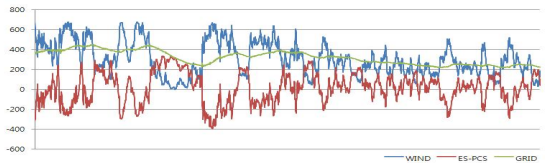

그림 8 평활화 운전결과(시정수: 600[S])
Fig. 8 Result of Smoothing control(T: 600[S])

표 1 실증운전 시간 및 성능측정
Table 1 Per unit values of the system parameters

시험	시간[h]	기간	성능
정출력	518	2011.11.13~ 2012.03.16	출력변동률 ±3.3[%]
평활화	535	2011.11.13~ 2012.02.16	출력변동 표준편차 ±6.2[%] 감소

3. 결 론

본 논문은 스마트 리뉴어블 국책과제의 실증운전 결과를 기술하였다. 제주 행원에 설치한 에너지 저장 장치는 22.9kV 일반 배전 선로에 연계되어 출력안정화를 위한 평활화 및 정출력 제어를 수행하였고, 운전 결과를 나타내었다. 향후 누적된 실증운전정보를 통해 에너지 저장 장치의 적정용량을 산출하고 경제성 있는 비즈니스 모델의 도출을 위한 분석 및 연구가 이루어져야 한다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(20112010100060)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (*No. 20112010100060*)

참 고 문 헌

[1] 최준영, 이진희, 이재홍, 김영욱, 손의권, 이정민 " 에너지 저장 시스템을 위한 800kW 계통연계형 전력변환장치", 전력전자하계학술대회, pp 324~325, 2011. 7
[2] 일본 NEDO 보고서 "풍력발전 전력계통안정화 기술개발" 2006. 3
[3] Muyeen S.M., Ali M.H., Takahashi R., Murata T. and Tamura J." Wind Generator Output Power Smoothing and Terminal Voltage Regulation by Using STATCOM/ESS", Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, pp 1232 1237