

제주조천변전소 BESS 실증사례 및 향후과제

윤용범 <한국전력공사 전력연구원 수석연구원>

1. 에너지저장장치(ESS) 개요

전력저장시스템은 생산된 전력을 저장하여 두었다가 필요할 때 사용함으로써 전력수급문제에 능동적으로 대처할 수 있는 기술로서[1] 기본개념은 매우 간단하다. 예를 들어 전기에너지를 화학 또는 기계적 에너지로 변환하였다가 전력계통에서 필요 시 다시 전기에너지로 변환하여 사용하는 기술이다. 이때 저장된 전력을 흔히 단순한 에너지저장원으로 간주하는 경향이 있는데 이는 에너지저장기술이 갖는 여러 가지 이점 중 극히 일부 단면만을 보는 것이다. 에너지저장장치는 에너지 공급 또는 흡수 원(Source)으로 사용할 수 있어 전력수요와 동시에 생산(발전)이 이루어져야 한다는 기존의 전력수급 제약을 다소 완화할 수 있는 특징을 가진다. 또한 에너지 흡수원으로의 에너지저장장치는 기존 발전기들의 운전을 최적화하기 위하여 발전기로부터의 전력을 서서히 흡수할 뿐만 아니라 전력계통 안정도에 영향을 미치는 수급 불균형을 미연에 방지하기 위해 급격히 전력을 흡수하기도 한다. 한편 에너지공급원으로서 에너지저장장치는 피크와 비피크시간 사이의 부하이전 뿐만 아니라 에너지 생산 및 구매량 조절에도 사용될 수 있다. 그리고 에너지저장장치를 전력수급조절에 이용 시 기

존 발전기의 잦은 출력변동을 줄여줄 수 있을 뿐만 아니라 경감된 출력변동으로 인하여 소비자 측면의 전력설비 피해도 예방할 수 있다.

이와 같이 다양한 분야에 활용이 가능한 에너지저장기술 중에서도 특히 배터리에 의한 BESS (Battery Energy Storage System)는 음극 및 양극과 같은 재료의 지속적인 기술개발, 새로운 개념의 배터리 개발, 정보통신기술 개발로 인하여 점차 대용량화 추세에 있다[2]. 이로 인하여 대용량의 전력을 제어하는 전력계통에서도 BESS를 적용하는 시도가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 추세에 맞추어 한전전력연구원에서는 정부의 지원을 받아 국내 관련업체와 공동으로 4MW/8MWh 규모의 BESS를 개발하고[3] 제주조천변전소에 설치, 13.10월 이후 실증 중에 있다. 본 고에서는 상기내용과 관련하여 BESS 개발 및 실증결과와 함께 향후과제를 기술하였다.

2. BESS 구성 및 설치

2.1 BESS 구성

BESS는 그림 1에 나타낸 바와 같이 제반 운전정보를 입력으로 하여 배터리의 충·방전제어 전략을

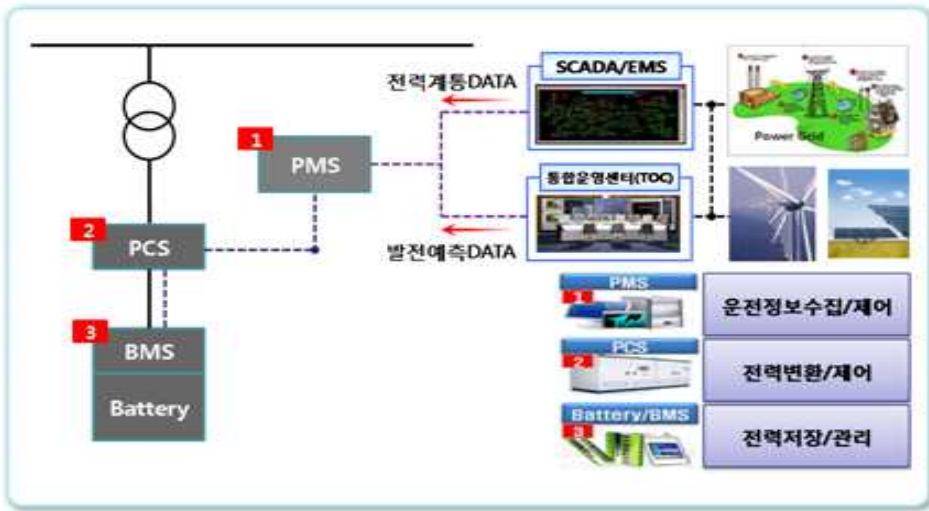


그림 1. BESS 구성도

결정하는 PMS(Power Management System)와 전력변환을 담당하는 PCS(Power Conversion System), 그리고 BMS(Battery Management System) 및 배터리로 구성된다. PMS에서는 부하이전 알고리즘과 주파수제어 알고리즘이 운용되며 이에 필요한 입력은 EMS 또는 SCADA로부터의 송배전망 구성 및 발전(수요)예측, 전력가격 예측정보 등이

사용되도록 하였다. 특히 신재생에너지 출력안정화 알고리즘은 출력변동 제어의 효율성을 위하여 PCS에서 운용된다.

2.2 BESS 설치

그림 2는 제주 154kV조천변전소에 설치하여 실증



그림 2. BESS 운전화면

운전 중인 BESS의 운전자 화면을 나타내고 있다. 본 화면에는 변전소 내부 구성도를 비롯하여 BESS 내의 운전상태가 실시간으로 표시된다.

BESS는 154/22.9kV 변압기를 통하여 22.9kV 모선에 연결되어 있으며, 특히 신재생출력 안정화 효과 및 실증과 관련하여 22.9kV 모선에는 9MW 규모의 해상풍력발전기가 연계되어 있다. BESS의 용량 및 구성은 표 1과 같다. PCS는 단위용량이 1MW로서 총 4대로 구성되어 있으며 각 PCS에는 단위용량이 1MWh인 배터리 컨테이너가 2개씩 연결되어 있다. 또한 배터리 종류로는 현재 우리나라가 국제경쟁력을 확보하고 있는 리튬이온 배터리로 구성되어 있다.

또한 효율적인 실증을 위해 전력연구원(대전)에서도 원격으로 감시, 제어할 수 있도록 시스템을 구축, 운전 중에 있다. 이와는 별도로 전력연구원에서는 향후 한전에서의 주파수조정사업을 고려하여 주파수 전용 제어기를 개발하여 BESS에 설치를 완료하고 실증 중에 있다.

표 1. PCS 및 배터리 구성

PCS		배터리(리튬이온)	
단위용량	대수	단위용량	갯수
1MW	4	1MWh	8

$$\begin{aligned}
 & \min P_{shave} \\
 & \text{s.t. } P_B(k) = P_L(k) - P_{shave}, \quad \text{if } P_L(k) > P_{shave} \\
 & \quad P_B(k) = 0, \quad \text{if } P_L(k) \leq P_{shave} \\
 & \quad E_B(k+1) = E_B(k) - (1+\alpha)(1+\beta)P_E(k)\Delta T - \gamma E_B(k) \\
 & \quad P_{Bmin} \leq P_B(k) \leq P_{Bmax} \\
 & \quad E_B(k) \geq E_{Bmin} \\
 & \quad E_B(m-1) = E_{Bo} : \text{given}, \quad \text{for } k = m, \dots, N
 \end{aligned}$$

식 (1)

3. BESS 주요기능 실증

3.1 부하이전(Peak shaving)[3]

부하이전은 전력요금이 낮은 비 피크 시간대의 전력을 저장하였다가 가격이 높은 피크시간대에 방전하는 것이다. 이를 통하여 부하패턴을 보다 평탄하게 하는 효과를 가질 수 있다. 에너지저장장치는 이와 같은 목적에 적합하며 충, 방전회수나 부하크기에 따라 설비용량이 정해지게 된다. 전력연구원에서는 하루 전에 예측된 다음 날의 시간대별 전력수요에 대하여 피크수요 감소 또는 구입전력비용 최소화를 목적으로 하는 알고리즘을 개발하여 실증 중에 있다. 위에 나타낸 식 (1)은 수요감소 알고리즘을 나타내고 있으며 그림 3은 식 (1)에 의한 수요감소 알고리즘 모의결과를 나타내고 있다. 심야시간에 7.8MWh 충전하였다가 피크시간대에 6.7MWh를 방전하는 패턴을 보이고 있다.

3.2 신재생 출력안정화[3]

풍력발전량은 1차시지연함수에 의하여 안정화 출력패턴을 생성하게 되며 이 값과 풍력발전량과의 차이가 배터리의 충·방전량이 된다. 이와 같은 과정에서 배터리의 충·방전제약을 고려하게 된다. 그림 4는 신재생 출력안정화 효과를 나타내고 있다. 풍력발전기의 정격용량기준으로 출력변동률이 분당 10% 이내여야 한다는 기준을 고려할 때 1차시지연 시정수를 적절히 조정함으로써 배터리에 의한 출력안정화가 가능함을 확인할 수 있다.

3.3 계통주파수 응답[3-5]

BESS는 전력계통에서 주파수 변동을 감지하여 정상상태 및 과도상태를 판단하게 된다.

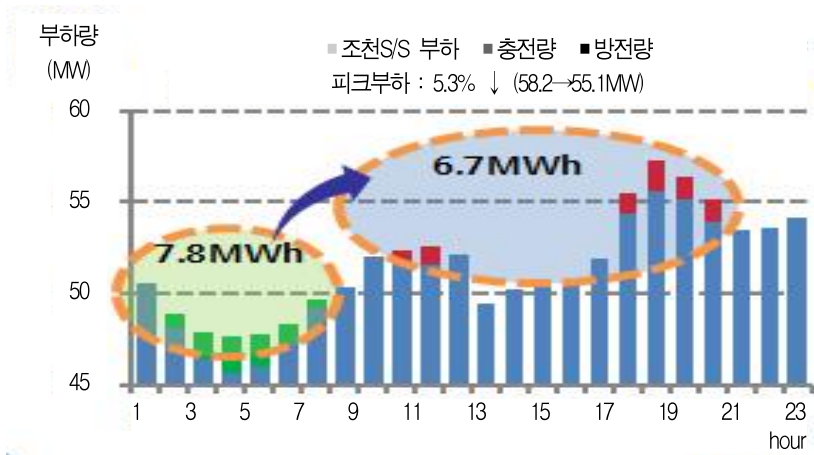


그림 3. 부하이전 효과



그림 4. 신재생출력 안정화

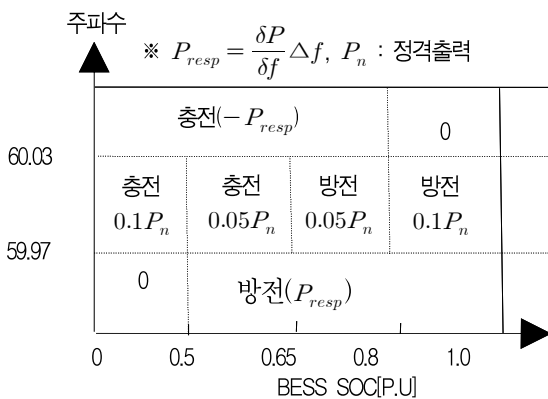


그림 5. 정상상태시의 배터리 방전전략

정상상태인 경우 규정주파수로 부터의 변동폭에 따라 그림 5와 같은 전략으로 충·방전을 하게 된다. 그림 6은 정상상태시의 주파수 응답을 나타낸 것이다. 그리고 과도상태인 경우 주파수 변동폭 및 부하정수를 이용하여 충·방전량을 계산하고 순간적으로 응답하게 된다. 과도상태는 시간당 주파수변동 폭이 일정 값을 넘어서는 경우 PMS에 설치된 주파수제어 알고리즘이 판단하게 되며 이때의 충방전 제어전략은 그림 7과 같다.

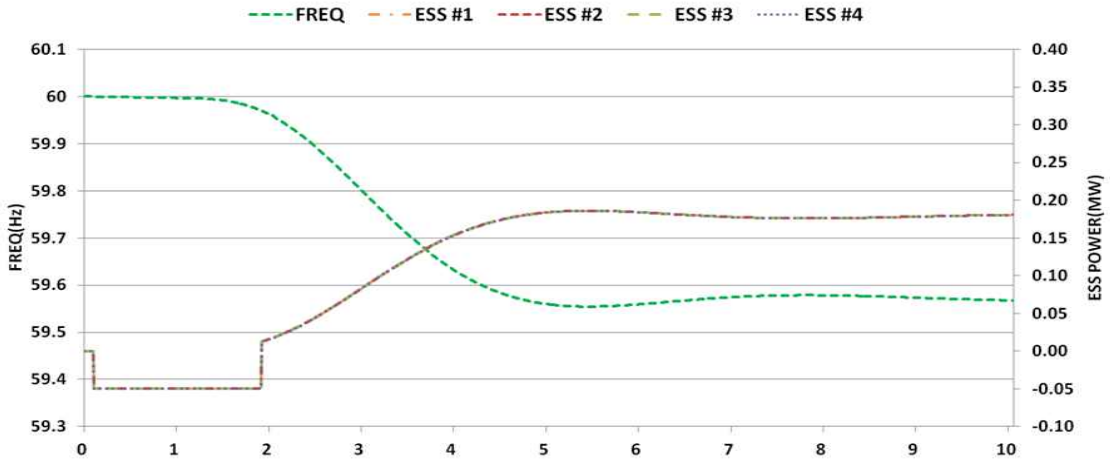


그림 6. 정상상태시의 주파수 응답

if $0\% \leq SOC \leq 40\%$, $P_{BESS} = 0$
 if $40\% \leq SOC \leq 100\%$ and $f \geq 60Hz$,
 then $P_{BESS} = 0$
 if $40\% \leq SOC \leq 100\%$ and $f < 60Hz$,
 then $P_{BESS} = \min[P_n, P_{resp}]$

그림 8은 상기제어전략을 이용한 주파수제어 모의 결과를 나타낸 것이다. 실선으로 나타낸 부분은 주파수 변동을, 점선으로 표시된 부분은 배터리의 방전을 나타내고 있다.

그림 7. 과도상태시의 배터리 방전전략

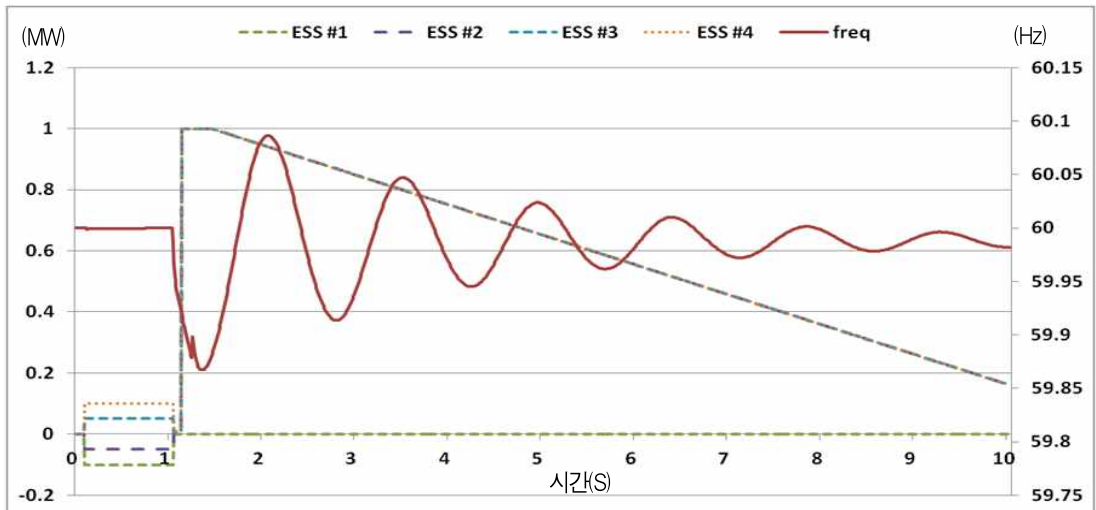


그림 8. 과도상태시의 주파수 응답

4. 에너지저장장치에 관한 주요이슈

에너지저장장치를 어떻게 최적으로 투자·운전할 것인가가 주요한 문제로 다른 시스템 설계와 마찬가지로 편익에 영향을 미치는 다양한 변수들 사이의 절충문제로 귀착된다. 많은 변수들 중에서 특히 용량(capacity) 대비 전력(power), 충·방전 사이클, 투자비용이 주요 관심사이다. 전력과 같은 하나의 변수를 조정하면 전체 에너지저장장치 설계에 영향을 미치게 되어 결국에는 경제성이 영향을 받게 된다. 예를 들어 전력품질 보상을 위한 에너지저장장치는 순간적인 응답 특성을 가져야 하며 이에 적합한 PCS 및 주변설비들과 연계되어야 하고 이는 결국 투자비와 직결된다.[6]

4.1 용량(capacity)대비 전력(power)

에너지저장장치에서 우선적으로 고려하여야 할 변수는 다양한 전력으로 충·방전할 수 있는 용량이다. 이러한 변수는 전력계통에서 에너지저장장치 역할을 규정하는데 매우 중요하며, 예를 들어 에너지용량(kWh)은 일종의 에너지저장장치의 크기(Volume)를 의미하는 것으로 얼마나 오랫동안 운용할 수 있는가를 나타낸다. 반면에 전력량(kW)은 에너지를 방전 또는 충전할 수 있는 속도를 나타내며 예를 들어 어떠한 전력시장에 적용할 것인가를 결정하는데 이용된다. 일반적으로 MW급은 도매전력시장에 적합한 반면, kW급은 산업용 및 상업용 고객설비로서 적합하다. 전력량에 대한 용량비는 화학배터리의 경우 대부분 고정되어 있는 반면 다른 종류의 에너지저장장치는 분리되어 있어서 시스템 설계에 있어서 자유도가 높다. 따라서 화학배터리를 특정한 목적에 맞추기 위해서는 원하는 용량대비 전력비를 얻기 위하여 배터리 직병렬 개수를 조정하여야 한다. 그러나 플로우(Flow)배터리와 같이 용량과 전력크기를 분리할 수 있는 경우는 필요로 하는 요구특성을 독립적으로 설

계할 수 있다. 예를 들어 전력크기는 변환설비(모터, 셀스택)를 변경함에 따라 조절가능하고 에너지용량은 저장매체의 밀도를 높이거나 저장모듈을 추가하거나 넓히면 된다. 물론 공간적인 제약은 추가적으로 고려하여야 한다.

4.2 충·방전 사이클 수명

에너지저장장치 설계 시 두 번째로 중요한 것은 충방전 사이클 수명이다. 모든 에너지저장장치들은 제한된 사용수명을 가지며, 이는 적용분야에 적합한 에너지저장장치를 고려하는데 매우 중요하다. 충·방전 사이클 수명은 에너지저장매체의 물리적 특성 및 저장방법에 따라 크게 달라진다. 또한 동일한 배터리라도 방전깊이(DOD : Depth Of Discharge)나 방전 속도, 배터리가 운전되는 환경조건에 따라 달라진다. 이 중에서 배터리 수명에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 DOD이다.

5. 향후과제

에너지저장기술이 향후 경쟁력을 가지고 시장점유율을 높이기 위해서는 많은 과제들을 극복하여야 한다. 그 중 대표적인 사항들을 열거하면 다음과 같다[6].

5.1 가시적 역할도출

어떤 기술이든지 고유의 역할을 갖는 것은 시장점유율을 높이는 것이 필수적이다. 에너지저장기술이 현재까지 높은 관심을 받지 못한 이유는 대부분 보조역할에 그쳤기 때문이다. 정전 등에 대비하여 백업(Backup)전원으로 사용하는 배터리를 비롯하여 부하평준화에 이용하는 양수발전설비나 빙축열 설비 등은 독립적인 에너지원으로 운용되기보다는 피크 시에 필요한 자원을 확보할 수 있도록 함으로써 다른 설비의 활용도를 높이는 목적으로 운용된다. 따라서 향후

주파수 조정과 같은 독립적인 역할모색이 필요할 것으로 판단된다.

5.2 경제성 확보

에너지저장장치가 극복해야 할 또 하나의 장애물은 투자경제성을 확보하는 일이다. 에너지저장장치에 의하여 투자비에 상응하는 수익이 발생하거나 타 설비의 투자자연이나 손실저감을 통한 비용 감소가 있어야 한다. 경제성은 투자비 회수기간이나 전주기 동안의 비용으로 평가되며 이때 초기 투자비용 및 전주기 비용이 중요한 변수가 된다. 이와 관련하여 에너지저장장치에 의하여 발생하는 가치 또는 사업모델을 가지고 있어야 한다. 주야간 전기요금차에 의한 차액거래나 보조서비스시장 참여 등이 고려할 수 있는 대표적인 모델이라 할 수 있다.

5.3 다수의 수익자 및 편익문제

다음으로 고려해야 할 점은 다수의 수익자 및 다수의 편익에 관한 문제이다. 대부분의 에너지저장장치는 가변적인 속응성을 가지고 전력을 충전하거나 방전이 가능하다. 전력계통은 다수의 설비들(발·송·배전설비)이 연계되어 있으므로 에너지저장장치 동작에 의한 모든 편익은 그 소유자에게 모두 돌아가지 않는다는 점이다. 따라서 에너지저장장치 기능 및 역할을 정확히 정의하는 노력이 필요하다.

6. 결 론

본 장에서는 제주조천변전소에 설치하여 성능검증 중인 4MW/8MWh급 리튬이온 BESS에 대하여 주요구성 및 실증결과를 기술하였다.

향후 보다 다양한 시나리오를 대상으로 BESS 성능을 지속적으로 검증할 예정이며 본 실증결과는 향후 주파수 조정사업의 기반이 될 것으로 전망된다.

BESS는 배터리 자체의 기술개발에 따라 대용량화가 가능하게 되어 국내외 적으로 전력산업에서의 활용성이 더욱 증가할 것으로 전망된다. 이를 고려할 때 전력계통과의 연계 등을 포함한 다양한 분야의 활용 기술 개발을 통하여 BESS의 부가가치를 제고하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Jim Eyer, Garth Corey, "Energy Storage for the Electricity Grid : Benefits and Market Potential Assessment Guide", SANDIA REPORT, Feb. 2010.
- [2] Ioannis Hadjipaschalis, etc. "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1513-1522.
- [3] 한전전력연구원, "신재생에너지 연계형 MW급 리튬이차전지 시스템 운용기술개발", 2013.6.
- [4] 한준범, 유가람, 국경수, 장병훈, "전력계통 적용을 위한 배터리 에너지저장장치의 동적제어모드 판단기준에 관한 연구", 전기학회논문지, 제62권 4호, 2013.4.
- [5] 윤준영, 유가람, 국경수, 장병훈, "전력계통 주파수 조정을 위한 SOC 기반의 배터리 에너지저장장치 제어전략", 전기학회 논문지, 제63권, 5호, 2014.5.
- [6] Richard Baxter, "Energy Storage - A nontechnical Guide", PennWell.

◇ 저 자 소개 ◇



윤용범(尹用範)

1958년 9월 28일생. 서울대학교 전기공학과 석·박사(1986, 1995). 한전 경제경영연구원 팀장. 전력연구원 HVDC PM. 現 한전 전력연구원 ESS 연구개발사업단장.

E-mail : yunybon@kepeco.co.kr