

# 에너지저장장치(ESS)의 전력계통 적용

윤 용 범 / 한전 전력연구원 ESS연구사업단장

## 1. 개 요

일상생활에서의 에너지 중요성이 점차 증대되면서 소비 또한 지속적으로 증가하고 있다. 이와 함께 세계 유가의 불규칙한 변동, 기후변화 및 환경오염, 지형학적 긴장 관계 등으로 인하여 신재생에너지 및 기존 화석연료의 효율적 이용 등이 그 어느 때보다 중요한 이슈가 되어왔다. 현재 발전연료시장은 석유 및 개스의 가격변동이 크게 좌우되고 있으며 국가별 혹은 국가간 환경/에너지 위기와 갈등은 기존의 화석연료중심에서 깨끗하고 지속공급하고 효율적인 에너지로의 패러다임 변화<sup>1)</sup>를 불러왔다. 신재생에너지는 이와 같은 변화에 적합한 대안으로 개발, 보급되고 있으나 전력시스템에 연계되어 활용하는 데는 높은 투자비와 에너지 출력의 불규칙한 변동성과 같은 문제가 남아있다. 태양광이나 풍력과 같은 신재생에너지는 계절이나 하루동안의 주야간차등에 따라 변하기 때문에 일정한 에너지를 얻을 수 없다. 그리고 투자비는 신재생에 관한 기술개발이 얼마나 성공적으로 이루어지느냐에 따라 달라지며 경제성을 확보하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있으며 점차 그 비용이 감소추세에 있다. 따라서 신재생에너지가 신뢰성 높은 에너지원이 되기 위해서는 에너지저장이 중요한 요소가 된다. 즉 신재생에너지에 생산한 에너지가 수요량보다 많으면 남은 에너지를 저장하고 부

족하면 방출하는 것이다. 전력계통에서의 ESS 주요 적용 분야<sup>2)</sup>를 열거하면 다음과 같다.

- 전력수요의 단기적 변동(주로 수십분 이내)이나 랜덤 변동에 대응하여 충방전함으로써 기존발전기(석탄, 개스발전기 등)에 의한 주파수조정을 대신할 수 있게 된다. 또한, 순시고장 등으로 인한 전력공급 부족시 순시적으로 방전한다거나 고조파로 인한 전압, 전류 파형왜곡 감소, 순시전압 저하 및 썬어지에 대한 대책으로 활용된다.
  - 전력수요의 급격한 변동이나 발전기 트립, 송전선로 사고 등에 의한 발전력 변화에 대비하여 발전기가 부분부하로 운전되는 것을 최소화할 수 있다.
  - 하루동안의 전력사용시 수분 또는 수시간 동안 발생하는 피크전력을 저감할 수 있다.
  - 오프피크(주로 심야)시의 과잉전력을 저장하였다가 피크시의 전력수요에 충당함으로써 전력비용 감소 또는 지역적으로 설비투자 지연을 기대할 수 있다.
  - 신재생에너지 출력에 따라 충방전을 함으로써 변동율을 일정치 이내로 줄이거나 영(zero)으로 한다.
- 이와 같은 다양한 분야에서의 ESS<sup>1)</sup> 활용을 통하여 전력계통을 보다 경제적이고도 안정적으로 운용할 수 있을 뿐만 아니라 에너지 효율향상에 의한 연료사용량 절감, 에너지공급의 안전성 확보, 환경영향 감소와 같은 편익을 기대



할 수 있다. 전력계통에서의 에너지 저장은 전력계통에서 생산된 전력을 저장하는지, 혹은 저장된 전력을 일정하게 유지하는 지, 또는 전력계통에서 사용하는 지에 따라 세가지 형태, 즉 충전, 저장, 방전상태로 정의된다. 전력계통은 발전과 수요가 언제나 일치하여야 하므로 ESS는 각 상태에 적절한 정격power와 energy 용량을 가지고 있어야 한다. 각 상태별 지속가능시간, 상태간 스위칭 시간 및 효율 등은 전력계통 여건에 따라 달라지므로 ESS 설계시 심도 있는 분석이 있어야 한다. 입출력수단이 전기에너지인 ESS에는 다양한 종류가 있으며 저장되는 에너지 매체별로 구분하면 다음과 같다.

- 배터리 등과 같은 전기화학적 시스템
  - 플라이휠 에너지저장과 같은 kinetic 에너지 저장시스템
  - 양수 혹은 압축공기저장과 같은 potential 에너지 저장
- 본 논고에서는 전력계통 측면에서 현재 실용화되었거나 개발 중인 주요 ESS 기술을 우선 소개하고 이들 각각의 기술적 및 경제적 특성을 기술하였다. 또한 전력계통에서의 활용가능 분야 및 검토시 주요고려사항 등을 제시하였다.

## 2. ESS 구분 및 특징[2,3,4]

현재 발전연료로 쓰이는 일반적인 화석연료는 고농축의 에너지원이라는 점 외에도 저장이 가능하고 운반이 용이하다는 특징을 가지고 있다. 반면에서 바이오매스나 수력을 제외한 신재생에너지는 전기로 변환하지 않고는 저장뿐만 아니라 소비지로의 운반이 불가능하다. 전기가 우리의 일상생활에서 가장 다양하게 이용되는 최고급 에너지인 점을 고려할 때 신재생에너지를 전기로 저장하여 필요할 때 사용할려는 노력은 당연할 것인지도 모른다. 전기는 송전선로를 통하여 원격지까지 쉽게 운반할 수 있을 뿐만 아니라 배전선로를 통하여 소비자에게 배분할 수 있는 특징이 있는 반면, 생산량과 소비량이 언제나 일치하여야 하는 제약이 따른다. 이를 해결하기 위하여 많은 감시 제어설비들이 설치, 운전되고 있으며 ESS도 그 대안의 일환으로 부각되고 있다. ESS는 전기를 생산하기 위한 에너지를 충전하였다가, 방전하는 것이 효과적이라고 판단되

는 시점에 전기형태로 변환, 전력계통에 전기를 공급하는 설비이다. 이와 같은 ESS는 에너지 저장 및 방전형태에 따라 다양한 방법으로 전력시장에 참여할 수 있다. 여기서는 말하는 ESS는 외부의 에너지 교환은 전기로 이루어지는 모든 형태의 에너지저장장치를 포함한다. ESS는 반드시 전기에너지(전력)를 통하여 외부와 에너지 교환이 이루어져야 하며 이를 위한 설비가 에너지변환시스템(PCS: Power Conversion System)으로 전체 에너지저장시스템 비용의 25%이상을 차지한다. 전기저장은 다양한 방법, 즉 양수발전이나 압축공기와 같은 기계적 방법, 배터리와 같은 화학적 방법으로 직접 혹은 간접적으로 저장되며 주요 특징은 다음과 같다.

### 2.1 양수발전

본 ESS는 하부저수로부터 상부저수지로 펌핑된 물을 이용하여 전력수요가 높을 때 발전하는 방법이다. 전력수요가 높을 때 물은 상부저수지로부터 하부저수지로 떨어짐으로써 터빈을 돌려 발전을 하게 된다. 발전과 펌핑은 펌프-터빈변환이 가능한 단일기계 또는 별도의 펌프 및 터빈에 의하여 이루어진다. 그리고 발전과 펌핑으로의 전환은 수분 이내에 이루어지며 설치 위치 및 사용목적에 따라 하루 1~2회에서 40회이상 반복된다. 저장가능한 에너지는 상부저수지와 하부저수지와와의 고도차 및 저수량에 비례한다. 양수발전방식은 세계적으로 300개 시스템이 운전 중에 있으며 일반적으로 하루 24시간 또는 수일단위의 운용으로 구분된다. 그리고 양수발전은 비교적 에너지밀도가 낮기 때문에 대규모의 저수지 용량 및 높은 수위차가 필요하게 된다. 일반적으로 양수발전기 수명은 30~50년이며 효율은 65~75%, 투자비는 500~1,500Euros/kW, 10~20Euros/kWh, 그리고 고속의 응답시간(1분이하)으로 인하여 주파수 제어 및 예비력 자원으로 활용된다. 반면에 양수발전은 대형의 상부 및 하부저수지를 확보하여 하므로 지형적으로 제약과 함께 건설에 장기간(일반적으로 10년)이 소요된다.

### 2.2 압축공기저장

본 ESS에서는 오프피크 또는 전기요금이 낮은 시간대의

1) 본 논고에서는 에너지저장장치를 Energy Storage System 표기하였음

전력을 이용하여 공기를 압축하여 공기저장장치내에 저장하는 방식이다. 터빈-발전기가 양방향, 즉 충전 및 방전 용으로 동작할 수 있도록 하는 특수한 형태의 클러치가 필요하게 된다. 공기저장은 대수층이나 동굴, 또는 인공적으로 만든 공간을 이용하게 되며 현재 대수층 저장방식이 비용측면에서 가장 유리한 것으로 평가되고 있다. 충전할 때는 발전기는 모터로 동작하여 공기압축에 필요한 에너지를 공급하여 압축공기를 저장장치에 보내게 된다. 그리고 방전할 때는 압축공기는 연료와 함께 연소되면서 터빈을 회전시켜 발전하게 된다. 본 장치는 현재 세계적으로 2개소(독일 290MW, 미국 110MW)에서 운전 중이다. 에너지 밀도는 12kWh/m<sup>3</sup> 인 반면, 추정효율은 70%, 수명은 약 40년을 예상하고 있으며 투자비는 지하공기저장조건에 따라 달라지는데 400~800\$/kW 정도이다. 또한, 자가방전율이 매우 낮기 때문에 양수발전에 비하여 장기간 에너지저장이 가능한 것으로 평가되고 있고 전력계통에서 대용량의 power와 에너지 저장을 필요로 하는 분야에 적합하다.

### 2.3 배터리

#### 가. 납 배터리(Lead-acid battery)

배터리 중에서 가장 기술이 성숙하고 가격이 저렴한 기술로 음극에는 lead, 양극에는 lead dioxide(PbO<sub>2</sub>), 전해질은 sulfuric acid을 사용한다. 가격은 \$300~600/kWh, 효율은 70~90%인 반면에 저온 및 고온에는 성능이 저하되고 상대적으로 수명이 짧으며 power 및 energy 밀도가 낮다는 단점이 있다.

#### 나. 니켈계열배터리(Nickel-based battery)

흔히 NiCD 배터리로 불리고 있으며 음극에는 cadmium hydroxide, 양극에는 nickel cadmium, 그리고 전해질로는 potassium 을 사용한다. 높은 에너지 밀도와 3,500cycle 이상의 장수명, 낮은 유지보수비용 등으로 인하여 흔히 납 배터리와 비교된다. 그럼에도 불구하고 납 배터리에 비하여 10배이상 가격이 높기 때문에 상업적 성공을 거두지 못하고 있다.

#### 다. NaS 배터리(Sodium-sulfur battery)

보다 높은 power 와 energy 밀도를 얻기위하여 많은 연

구가 진행중에 있으며 Nas 배터리는 그 결과물의 하나로써 1980년이후 일본을 중심으로 세계적으로 20개 이상의 site가 운전중에 있다. Nas는 양극은 liquid sulfur, 음극은 liquid sodium, 그리고 그 사이에는 solid beta alumina ceramic 전해질이 사용된다. 본 배터리는 납 배터리에 비하여 4배정도 에너지밀도가 높고 수명은 90% 방전심도에서 2,500cycle, 충방전을 위한 반응시간 수 millisecond 수준이다. 추가적으로 낮은 자가 방전율과 유지보수비용으로 세계적으로 많은 활용이 기대되고 있다. 초기건설비는 비교적 높은 편으로 약 \$2000/kW, \$350/kWh 수준이며 운전중 300~350℃ 온도를 유지하여야 하는 단점이 있다.

#### 라. 리튬계열 배터리(Lithium-based battery)

모바일폰이나 소형 전자기기와 같은 분야에 널리 사용되고 있는 배터리로서 연간 약 200억개의 셀이 생산되고 있으며 활용분야를 더욱 확대하기 위하여 보다 높은 power 및 energy 배터리를 개발하고 있다. 일반적으로 본 배터리는 음극에 carbon, 양극에 oxide, 그리고 전해질로는 lithium salt 를 사용한다. 자가 방전율은 월 5%이하로서 매우 낮은 편이며 수명은 1500 cycle 수준이나 운전온도 및 방전심도에 달라진다. 이와 같은 측면에서 완전한 방전을 필요로 하는 백업전원과 같은 분야에서는 적절치 않은 것으로 알려져 있다. 본 배터리는 소형기기 시장에서 점유율이 높은 편이지만 대형화에 의하여 전력계통에 적용한 사례도 다수 알려져 있다. 가격은 특수한 내부구성 조립과 과충전 보호장치 등으로 인하여 \$600/kWh 수준이며 향후 지속적인 기술개발로 점차 낮아질 것으로 전망 [11]하고 있다.

#### 마. 플로우배터리(Flow battery energy storage)

본 배터리는 타 배터리에 비하여 비교적 새로운 개념의 기술로 두 개의 액체전해질탱크사이의 (가역)화학반응에 의하여 충,방전을 하는 방식이다. 기존의 배터리 기술과는 달리 액체전해질은 별도의 탱크사이 담겨지게 되며 동작시 액체전해질은 화학적 반응이 발생하여 전기가 생산되는 리액터로 펌핑된다. 전해질을 리액터와는 별도의 탱크에 저장할 수 있으므로 배터리의 성능을 유연하게 할 수 있다. 다시 말하면 배터리의 정격 power 와 energy 용량을 독립적으로 결정할 수 있고 전해질의 용량을 용이하게 늘

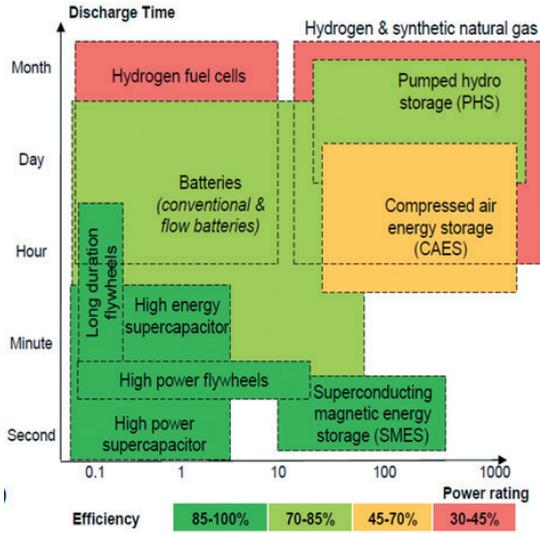


그림 1 ESS 별 방전지속시간 및 용량 특성[5]

리거나 교체할 수 있는 특징을 가진다. 더군다나 power 용량은 전해질 용량과는 별개이므로 전력계통에서 필요로 하는 수준에 맞춰 설계가 가능하고 10시간이상 고출력으로 방전이 가능하다. 이러한 특징으로 시스템이 커질수록 투자비가 낮아지게 될 뿐만 아니라 자가방 전율도 매우 낮아 타 배터리에 비하여 수명이 길고 유지보수비용이 낮은 편이다.

상기와 같은 ESS 들을 중심으로 한 방전지속시간 및 용량특성을 도식적으로 나타내면 그림1.과 같다.

### 3. 전력계통 적용분야 및 과제

ESS 와 전력계통과의 연계는 그림2에 나타난 바와 같이 크게 에너지저장설비(ES : Energy Storage), 전력변환설비(PCS : Power Conversion System), 관련제어설비(PMS : Power Management)로 구성된다. ES 는 저장가능한 에너지용량( $E_s$ )으로 정의되며 정격 power  $P_s$  로 일정시간 총, 방전하기 위하여 ES 내부에 일정량 충전하고 있어야 한다. 그리고 PCS 용량은 충전시의 정격용량  $P_c$  또는 방전시의 정격용량  $P_d$  에 의해 정의되며  $P_s$  는  $P_c$  와  $P_d$  중 큰 값과 동일하게 된다. PMS 는 ES 및 PCS를 통한 충, 방전 제어를 위한 것으로써 제반 감시제어 알고리즘들이 위치하게 된다. 이와 같은 시스템을 통하여 전력계통에 연계되어 주어진 역할하게 되며 주요 적용분야는 다음과 같다.

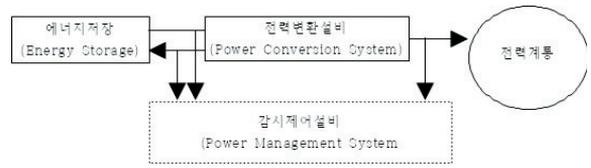


그림 2 ESS 구성개념[6,7]

#### 3.1 전력계통 주요 적용분야[2,3]

##### 가. 전력품질

전력품질은 모선전압 및 부하전류에서 발생하는 고조파, 순간전압 강하, 기타 민감한 부하설비에 영향을 미치는 전압 및 전류 왜곡 등을 말한다. 이러한 전력품질 문제는 전력계통 운용상 불안정이나 제품생산 공정상의 문제를 야기하게 된다. 이에 대한 대책으로 수 millisecond 의 응답특성을 가지는 ESS가 사용되며 대표적인 기술로는 플라이휠, 배터리(기존의 납배터리 제외), SMES, 캐패시터 등이 있다. 이중에서도 배터리는 고속의 응답특성을 가질 뿐 아니라 장시간 방전시간을 유지할 수 있기 때문에 어느 설비보다도 적합하다.

##### 나. 주파수 조정

전력계통의 주파수가 규정주파수(우리나라의 경우 60Hz)를 벗어나게 되면 전력설비에 악영향을 미치게 된다. 전력계통 주파수의 급격한 하락은 발전기 트립이나 부하차단, 나아가서는 계통붕괴 등을 야기할 수 있다. 이와 같이 전력계통에서 발생할 수 있는 발전과 수요의 불균형은 ESS가 순간적으로 불균형 정도를 감지하고 에너지를 방전함에 의하여 막을 수 있다. 주파수 조정에 필요한 에너지는 짧은 시간동안에 공급되어야 하므로 이에 적합한 설비들로는 플라이휠이나 SMES, 배터리 등이 있다.

##### 다. 부하이전

전력수요의 변동과 함께 신재생에너지의 불규칙한 출력특성으로 인하여 전력계통에서 발전과 수요의 불균형이 언제나 발생한다. 이로 인하여 전압 및 주파수 변동이나 신재생에너지원의 계통연계제약과 같은 기술적 문제들이 발생하게 된다. 부하이전은 신재생전원에서 발생하는 에너지를 전력수요가 낮은 시간에서 높은 시간으로 옮기는 것으로 ESS에 의하여 이루어진다. 예를 들어, 풍력발

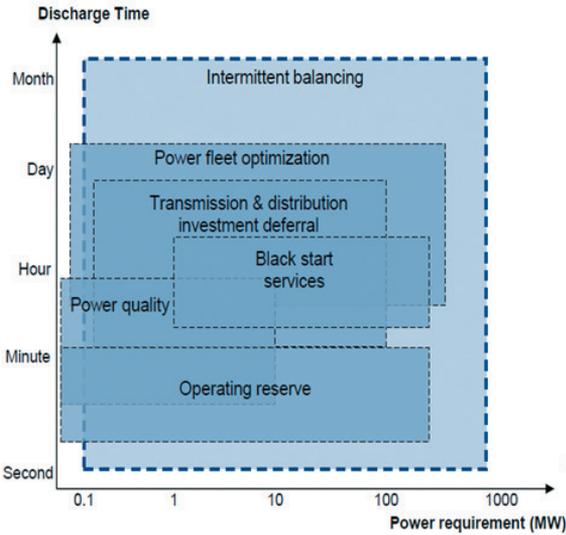


그림 3 전력계통에서의 ESS 적용분야[5]

전의 경우 풍속이 강할 때 발전하여 저장하였다가 전력수요가 높을 때 방전하는 것이다. 이로 인하여 전체적인 전력수요 변화가 완만하게 될 뿐 아니라 신재생전원의 가치가 높아지게 된다. 한편, 신재생전원이 없는 일반적인 경우 전기요금이 낮은 시간대에 에너지를 저장하였다가 전기요금이 높은 시간대, 예를 들어 주간에 방전함으로써 전기요금 절감과 함께 피크수요를 줄이는 것도 부하이전의 한 방법이다. 이와같은 목적의 부하이전 효과를 거두기 위해서는 풍력발전설비용량이나 피크수요크기를 고려한 적정용량 이상의 ESS 설비를 가져야 하며 충, 방전시간도 수분에서 수 시간 정도이어야 한다. 여기에 적합한 기술 들로는 CAES, 양수발전, 배터리 등이 있다.

상기와 같은 전력계통에서의 ESS 적용가능 분야를 도식적으로 나타내면 그림3과 같다. 앞에 나타난 그림1과의 비교를 통하여 적절한 ESS 종류 및 용량을 추정할 수 있다.

### 3.2 ESS 선정시 주요고려사항[2]

각각의 ESS 는 고유한 특성을 지니고 있어 전력계통에 적용할 수 있는 분야 및 용량또한 각각 다르다. 따라서 전력계통에 ESS 도입하기 위해서는 우선적으로 다양한 종류의 ESS 들에 대한 기술적, 경제적 분석 및 이해가 선행되어야 하며 주요 고려사항을 열거하면 다음과 같다.

○power 및 에너지 밀도 : power 밀도는 W/kg 또는 W/liter, 에너지 밀도는 Wh/kg 또는 Wh/liter로 나타

내며 각각 정격 power 및 저장가능에너지를 ESS 부피로 나눈 값이다.

- 자가방전을 : ESS 가 사용되지 않을 때 소비되는 에너지 비율을 나타낸다.
- 응동시간 : ESS 방전 또는 충전되는 속도를 나타내며 주파수 조정 또는 안정도 확보용인 경우 최대 수 millisecond 이내이어야 한다.
- 비용 및 경제적 규모 : ESS 구축에 필요한 총비용은 배터리와 같은 저장장치 뿐만 아니라 전력변환설비(PCS) 및 기타 부대설비 비용(PMS)들로 이루어진다. 따라서 ESS 종류에 따라서는 일정 규모 이상에서만 경제성이 확보되므로 이에 대한 고려가 필요하며 특히, 부하평균화용 ESS 경우는 충, 방전 회수당 비용을 고려하여야 한다.
- 수명 : ESS 의 전체적인 비용은 초기투자비용과 수명에 따라 달라지므로 수명을 정확히 추정하는 것은 매우 중요하다.
- 저장용량 : 충전 후 ESS 내에 존재하는 에너지(Wh)를 나타내며 실제로 쓸 수 있는 에너지보다 많다.
- 감시제어시스템 : 성능 감시, 제어가 용이한 ESS 가 있는 반면 어떤 ESS 는 가용에너지를 감시, 제어하는 데 많은 어려움이 발생할 수 있다. 특히, 안전설비가 추가적으로 필요한 ESS 는 이에 대한 시스템까지도 고려하여야 한다.
- 효율 : 에너지를 충전하고 방전하는 과정에서 일정에너지가 손실로 잃게 되고 보조장치 또한 일정한 에너지를 필요로 하게 되므로 이에 대한 세밀한 검토가 필요하다.
- 운전제약 : 환경제약이나 안전설비 필요유무 및 관련 비용도 고려하여야 한다.

## 4. 결 론

- 본 논고에서는 실용화되었거나 개발 중인 주요 ESS 기술소개와 함께 각각의 기술적 및 경제적 특성을 기술하였다. 또한 전력계통에서의 활용가능 분야 및 검토시 주요고려사항 등을 제시하였다.
- 이와 같은 다양한 종류의 ESS를 어떻게 적절히 선정하고 효과적으로 사용할 것인가는 일반적으로 전력



계통의 공급인프라 및 소비특성에 많이 좌우된다. ESS는 심야에 충전했다가 피크시에 방전함으로써 부하평준화 뿐만 아니라 주파수 제어 및 계통 안정화 등 다양한 분야에서의 활용이 기대되는 기술이다. 부하평준화를 통해서 부하율을 높이고 발전기의 최적으로 운전으로 연료를 절감하는 효과를 거둘 수 있다. 또한 신재생에너지 출력변동을 완화함으로써 전력계통 연계할 수 있는 신재생전원량을 증대할 수 있어 기존 전원의 운전부담을 경감하는 효과를 거둘 수 있다. 특히 ESS의 고속응동 특성을 이용해서는 안정도 향상이나 주파수 조정, 전압안정화 등에 효과적이므로 결과적으로 대형정전사고를 미연에 방지하는 수단으로 활용이 기대되고 있다. 특히 배터리의 경우 지속적인 기술개발로 인하여 성능향상과 함께 비용이 점차 감소하고 있어 전력계통에서의 보급 및 역할이 더욱 증대할 것으로 예상<sup>8,9</sup>되고 있다.

○ 이와 같은 점을 고려하여 전력계통 측면에서는 ESS별 역할분석과 함께 최적설비 산정기법, 기존 제어설비와의 협조운전 기법 등에 대한 연구가 수반되어야 하며 ESS 측면에서는 power 및 에너지 밀도를 높이는 연구와 함께 실 계통 운전실적 기반의 수명진단 및 State of Charge 추정기법 등이 필요하다. 또한, 향후 다양한 종류의 배터리가 전력계통에 설치, 운용된다는 점을 고려하여 배터리 성능시험 및 운전정보 확보를 위한 인프라 구축이 시급하다.

○ 또한, ESS는 부하이전을 비롯하여 주파수 조정, 수요관리 등 다양한 분야에서 활용이 가능한 반면, 설치비가 고가인 ESS는 단일목적으로 활용하는 경우 전력시장 환경에 따라 경제성을 확보하는 것이 어려운 경우가 발생할 수 있다. 따라서 다목적용 활용을 통한 부가가치를 제고함으로써 경제성을 확보하는 연구개발<sup>10</sup>도 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] Philipp Grunewald, Tim Cockerill, Marcello Contestabile, Peter Pearson, "The role of large scale in a GB low carbon energy future : Issues and policy challenges", Energy Policy 39 (2011) 4807-4815
- [2] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. El Rhafiki, Y.

Zeraoui, "Energy storage : Application and challenges", Solar Energy Materials & Solar Cells 120(2014) 59-80

- [3] Ioannis Hadjipaschalis, Andreas Poullikkas, Venizelos Efthimiou, "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(2009) 1513-1522
- [4] H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, "Energy storage systems - Characteristics and comparisons", Renewable and Sustainable Energy Reviews 12(2008) 1221-1250
- [5] SBC Energy Institute, "Electricity Storage", September, 2013
- [6] A. G. Ter-Gazarian, "Energy Storage for Power Systems", IET Power and Energy Series 63
- [7] 한국전력연구원, "신재생에너지 연계형 MW급 리튬이차전지 시스템 운용기술개발", 2013.6
- [8] 한국전지산업협회, "전라남도 ESS 산업육성 기본계획 수립 최종보고회", 2014.9.26.
- [9] 장병훈, "전력계통주파수 조정용 28/24MW ESS 제어 시스템 개발", 한국전력공사 전력연구원, 2014.9.26.
- [10] Xian He, Erik Delarue, William D'haeseleer, Jean-Michel Glachant, "A novel business model for aggregating the value of electricity storage", Energy Policy 39 (2011) 1575-1585
- [11] Navigant Research, "Energy Storage and Advanced Batteries", April 3 2014