



외국의 대용량 ESS 기술 및 실증사례



홍인관
코캠일렉트로닉스 대표

1. 개황

지난 8월 정부가 발표한 '창조경제 시대의 ICT 기반 에너지 수요관리 신시장 창출방안'에 호응하여 최근 한전은 세계 최고의 ESS(Energy Storage System, 에너지저장장치)를 구축하겠다고 발표했다. 한전은 1단계 사업으로 '창조경제 구현을 위한 ESS

종합 추진계획'을 수립하여 2014년부터 2017년까지 4년간 약 6,500억 원을 투자함으로써 대용량 ESS 설비를 단계적으로 설치할 예정이다. 한전의 대규모 ESS 구축계획에 대해 배터리와 충전기기 관련 국내 기업들은 각별한 관심을 가지고 적극적인 참여의사를 밝히고 있지만, 이미 해외에서는 이러한 구축사업들이 충분한 수행기간을 거치면서 실증되었고, 현재

상용화 단계에 이르고 있다. ESS 기술은 저장하는 방식에 따라 다양하게 나누어지는데, 대표적인 배터리 방식을 중심으로 해외 ESS 산업의 기술개발동향 및 전망에 대해 살펴보고자 한다.

2. 해외의 대용량 ESS 산업동향 및 주요 ESS 기술현황

스마트그리드의 핵심기술인 ESS는 이미 2008년부터 미국, 독일, 일본 등 일부 선진국을 중심으로 약 850MW의 저장용량 보급(2조 원 시장 규모)이 이루어졌다. 이 중 전력계통용(장기 저장)이 80%, 전력계통 보조서비스용(단기 저장)이 20%인 것으로 분석되었으며 특히 전력계통용 시장의 경우 미국이 약 78%를 점유하며 최대 시장을 형성하고 있다. 이들 국가는 일부 기술을 상용화시켜 사업화 단계로 진입시키는데 성공했다.

ESS는 용도에 따라 크게 단주기와 장주기로 구분할 수 있다. 단주기 ESS는 보통 수초에서 1시간 이내에 단기 전력을 공급해야 하고 반응시간이 빠른 고출력 배터리가 요구되므로 LIB(Lithium-ion Bat-

tery)와 Flywheel이 대표적이다. 반면 장주기 ESS는 심야의 잉여전력을 저장하여 피크시간에 방전하는 목적으로 설치하기 때문에 보통 2~6시간 정도 지속 가능한 고용량, 저비용 특성의 배터리가 요구되고, NaS(Sodium-sulfur Battery), RFB(Redox Flow Battery)가 대표적이다.

LIB의 경우 점차 가격이 내려감에 따라 장주기 시장에 적용되고 있는 추세이며, 향후 LIB를 이용한 ESS가 시장을 주도할 것으로 전망된다. 그림 1은 2013년 현재 미국 내에 실증 중인 LIB용 대용량 ESS 설치현황이다.

가. 장주기형 ESS : NaS, NaNiCl

NaS(Sodium-sulfur Battery, 나트륨 유황 배터리는 300~350°C의 온도에서 용융상태의 나트륨(Na) 이온이 베타-알루미늄 고체 전해질을 이동하면서 전기화학에너지를 저장하는 배터리이다. NaS 배터리는 에너지 밀도가 높고, 비용이 저렴하며, 대용량화가 용이하다는 장점이 있지만, 고온 운용에 따른 안정성에 대한 부담감, 유해 물질(황) 배출, 변환효율이 낮아 운영비용이 높은 단점이 있다.

1995년 일본은 6MW 규모의 ESS를 오히토, 즈나



[그림 1] 2013 미국 내 리튬배터리 시스템 실증지역(자료 : Sandia Report, 2013)



[그림 2] Duke사에 설치된 FIAMM의 222kWh NaS ESS
(자료 : Sandia Report, 2013)



[그림 3] 루체른에 설치된 NaS ESS
(자료 : Sandia Report, 2013)



[그림 4] Durathon Battery
(자료 : GE Energy Storage)

시마 변전소에 설치하여 대용량 분산전원공급을 수행함으로써 세계 최초의 베타-알루미늄 전해질을 적용한 대용량 ESS 기술개발에 성공하였고, 일본 NGK사는 2008년 미국 미네소타의 루체른에 50kW 풍력 모듈 20개와 7.2MWh ESS를 설치 및 실증하였다. 현재까지 NaS 시스템은 전 세계적으로 221개소에 설치되었으며 누적용량은 1,896MWh에 달한다. 주요 고객들은 미국의 AEP사(11MW, 5개소 설치 완료), PG&E사(6MW, 설치 중), Xcel Energy사(1MW, 설치 완료) 등이다. 최근에는 미국의 GE사와 이탈리아의 FIAMM사를 중심으로 NaNiCl(Sodium-nickel-chloride) 배터리를 이용한 대용량 ESS 시스템 설치 사례가 등장하고 있다. NaNiCl는 NaS와 같은 고온 배터리 장치이며, 전극을 분리할 수 있는 세라믹 전해질을 사용하여 에너지를 저장한다. 긴 수명과 낮은 유지비가 장점으로 꼽히고 있지만, 아직은 기술성숙도가 높지 않다는 것이 단점이다. 미국 GE사의 ESS 사업부는 Durathon 배터리를 개발하면서 오랫동안 NaNiCl 기술을 축적하였으며, 최근에는 영국에 100kWh ESS(각 5개소)를 설치하였다(FALCON Project).

나. 장주기형 ESS : RFB

RFB(Redox Flow Battery, 레독스 흐름 배터리)는 전해액 중의 활성물질이 산화·환원되어 충·방전 되는 배터리로 전해액의 화학적 에너지를 직접 전



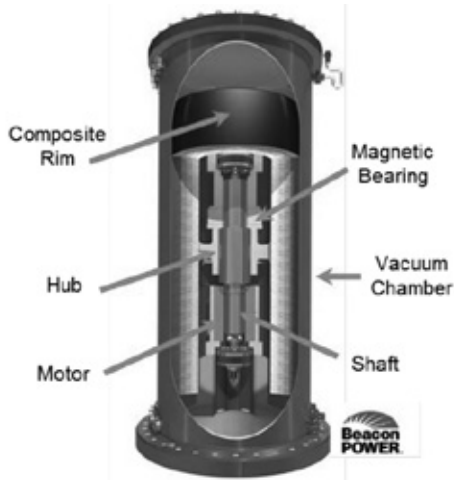
[그림 5] Sumitomo Electric의 RFB ESS
(자료 : Sumitomo Electric)

기에너지로 저장시키는 전기화학적 축전장치이다. RFB는 비용이 저렴하고, 대용량화가 용이하며 장시간 사용이 가능하다는 장점이 있지만 에너지 밀도와 효율이 낮다는 것이 단점으로 꼽힌다.

RFB에 대한 연구는 1974년 미국 NASA에서 시작되었고, 2000년경부터 일본 스미토모 전기공업이 판매를 개시해 풍력발전의 출력 균등화 등에 이용되며 지속적으로 그 시장이 확대되고 있다. 대표적인 설치 사례로 2012년 스미토모 전공이 요코하마에 설치한 태양광 연계형 1MW/5MWh ESS가 있다. 또한 미국 ZBB사에서는 UPS용 50kWh 모듈시험을 시작으로 500kWh 풍력 연계 실증연구를 진행한 바 있으며 최근에는 500kWh급 빌딩연계 실증시험을 수행하고 있다. 이밖에 독일 Fraunhofer ICT, 영국의 Plurion System, ITI Energy, 오스트리아의 Cellstrom GmbH, 호주의 Red Flow, 스위스의 EPFL 등지에

서 소재특성 연구에서부터 시스템 적용 연구에 이르기까지 활발한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

다. 단주기형 ESS : Flywheel



[그림 6] Beacon Power사의 Flywheel System Package (자료 : Beacon Power)



[그림 7] Beacon Power사의 1MW Flywheel System (자료 : Beacon Power)

Flywheel(플라이휠)은 전기에너지를 회전하는 운동에너지로 저장했다가 다시 전기에너지로 변환하여 사용하는 기술이다. 출력이 높고 에너지 효율이 높아 UPS 및 전력망 안정화용으로 적용이 가능하고, 수명이 길고 안정적이어서 순간적인 전력 공급이 가능한 것이 장점이다. 그러나 전력을 화학적으로 저장하는

것이 아니라 기계적·물리적으로 저장하는 것이기 때문에 장시간 저장이 불가능하며, 초기 구축비용이 높고 에너지 밀도가 낮다는 단점이 있다.

Beacon Power사는 PJM Interconnection과 중서부 발전사업을 합작하여 2010년부터 2013년까지 미국 메사추세츠의 타잉스보로사에 20MW 급의 Flywheel을 설치한 바 있다. 이 실증시험에서 Beacon Power사의 flywheel은 100kW의 출력과 25kWh로 설계되었으며, 200개의 flywheel이 병렬 연결됨으로써 20MW의 전력을 제공했다.

라. 단주기형 ESS : LIB

LIB(Lithium-ion Battery, 리튬 이온 배터리)의 원리는 리튬이온이 양극과 음극을 오가면서 전위차를 발생시켜 충·방전 시키는 배터리이다. 에너지 밀도 및 효율이 높아 적용범위가 가장 넓지만 다소 비용이 높다는 것이 단점이다. 최근 EV, ESS를 중심으로 LIB의 수요가 가속화되고 있으며 ESS의 설치규모도 기존 1MWh 급에서 수십 MWh 급으로 급증하며 가격이 점차 낮아지는 추세다. 선진국의 송배전망은 주로 1960~1970년대에 건설되었다는 점과 평균 40년을 사용한다는 점을 감안하면, 향후에는 LIB ESS로 상당한 교체 수요발생이 예상된다.

3. 리튬 배터리를 이용한 해외 주요사례

가. 주파수 조정용(Frequency regulation) ESS 설치 사례

계통의 부하변동에 따라 실시간으로 변하는 주파수에 즉각적인 충·방전으로 전력균형을 유지하는 주파수 조정 예비력 시장에 ESS를 도입함으로써, 화력발전소의 감발운전을 최소화할 수 있고 1초 미만의 빠른 속응성으로 양질의 전기를 계통을 통해 수용가에 공급할 수 있게 된다.



[그림 8] "Project Barbados"
2MW/ 500kWh ESS 시설 전경
(자료 : AES)



[그림 9] NY Johnson City
32MW/8MWh ESS 시설 전경
(자료 : AES)



[그림 10] AES 12MW/3MWh급 ESS 시설 전경
(자료 : AES)

미국 인디애나폴리스 Barbados 변전소에 설치된 2MW급 ESS는 주파수 조정용 ESS의 대표적 사례이다. 이 시스템은 2MW로 충·방전이 가능하며 최대 15분 동안 2MW의 출력을 낼 수 있다. 2009년부터 2011년 4월까지 20,000시간 동안 운영함으로써 2년간 약 2억 8천만 원의 순수익을 창출했다. 뉴욕 Johnson City에 설치된 32MW/8MWh ESS는 전력 수급 및 주파수 조정용으로 설치되어 운영되고 있으며 Northern Chile에 설치된 AES의 12MW/3MWh ESS는 4,500MW 발전소의 운전 예비력 확보 및 주파수 조정을 목적으로 2011년부터 운영 중이다.

나. 분산전원 설치 사례(CES : Community Energy Storage)

배전선로에 분산되어 설치되는 CES는 수요지와 밀접하게 설치함으로써 분산전원(Distributed Generation)의 원리와 마찬가지로 장거리 전력 수송에 따른 손실을 최소화하고 배전계통의 신뢰도를 높일 수 있으며 배전선로의 공급 능력을 향상 시키게 된다.

CES의 선진국 기술개발 사례로는 디트로이트 주에 설치된 25kW/50kWh CES를 예로 들 수 있다. 미국 중부 전력회사인 DTE사가 주도하여 S&C사의 PCS와 코캠사의 리튬이온 배터리를 사용한 CES 프로젝트는 전력망 근처에 50kWh급 20여 개의 리튬이온 배터리 유닛을 설치하는 프로젝트였으며 총 500kW/2MWh 규모로 디트로이트의 약 100여 가구



[그림 11] 25kW/50kWh CES 설치 전경
(자료 : 코캠)

에 전력 분산 시스템 역할을 하고 있다. 뿐만 아니라 피크부하 저감(peak shaving), 수요대비(demand response), 전압보상(VAR Support)의 목적으로 사용하고 있다.

다. 신재생에너지 연계형 ESS 설치 사례

태양광 및 풍력 발전 설비 등 신재생에너지 발전설비는 기상 등 외부 환경에 따른 출력 변동성이 심한 전원으로 발전량이 변화하는 단점을 가지고 있다. 신재생에너지 연계형 ESS는 전력 품질을 개선하고 에너지 사용 효율을 향상시킬 뿐만 아니라 신재생에너지의 불안정한 전력공급 및 단전을 효율적으로 관리

하는 시스템의 역할 또한 수행하고 있다.

미국의 듀크에너지사는 2012년 태양광 에너지의 불안정한 전력공급 문제를 해결하기 위해 1MW/750kWh ESS를 설치한 바 있다. 이 ESS는 코캄사의 이차전지로 구성된 750kWh ESS를 S&C사의 1MW PCS에 통합하여, Marshall 지역의 1.1MW급 태양광 발전소에 설치되어 운용 중이다. 미국의 전력회사 KCP&L은 2011년 코캄사의 1MW/1MWh ESS를 미주리 주의 그린 임팩트 존에 설치하여 안정적인 전력을 공급하고 있다. 또한 PV-EV-ESS 간의 스마트 연계 프로젝트의 성공사례로 SDG&E의 ‘Solar-to-

EV 프로젝트’를 들 수 있다. 이 프로젝트에서는 미국 샌디에이고 동물원 내에 90kW의 태양광 발전 설비와 이와 연동된 5대의 전기자동차 충전소가 설치되었고 EV 충전소에 ESS를 설치하여 샌디에이고 동물원 인근 가구의 전력 수급 및 전기차 충전을 담당한다. 그밖에 프랑스 사프트사는 스페인에 1.1MWh ESS를 설치하였고(Eurogia Tudela Project), S&C사와 BYD사는 2012년 샌프란시스코 인근에 있는 Alameda 감옥의 Microgrid에 2MW/4MWh ESS를 설치하여 운영 중이다.



[그림 12] Marshall Project 1MW/750kWh ESS 설치 전경 (자료 : 코캄)



[그림 13] 미국 미주리 주에 설치된 1MW/ 1MWh ESS 설치 전경(자료 : 코캄)



[그림 14]미국 샌디에이고 태양광 연계 EV 충전소 ESS 설치 전경(자료: 코캄)



[그림 15] Alameda 감옥에 설치된 S&C/BYD의 2MW/ 4MWh ESS(자료 : BYD)

4. 국내 대용량 ESS 산업발전 전망 및 시사점

해외사례를 살펴본 바와 같이 적용분야에 따라 다양한 ESS 기술들이 존재하므로 다양한 시장특성에 부합하는 특화된 기술로 세계시장 점유율을 높이기 위한 전략적인 접근이 필요하다고 할 수 있으며, 국내 ESS 시장은 다음과 같은 사업모델 위주로 전개될 것으로 예상된다.

가. 주파수 조정용 ESS

현재 발전기 출력을 5%로 제한하여 주파수 조정을 위해 사용하고 있으나 ESS를 통해 석탄 화력발전기 출력제한(약 110만kW)을 해소할 경우, 연료비 절감과 발전기 효율 향상에 따른 연간 약 6,500억 원의 국가 편익 및 경영효율화를 기대할 수 있다. 이는 ESS를 전력계통의 신뢰성 및 전기품질을 유지하는데 기여하는 계통운영 보조서비스로 사용하는 ESS로 분류하는 모델이다.

나. 피크감소용 ESS

ESS를 통해 경부하 시에는 유휴전력을 저장하고 과부하 시에는 저장된 전력을 사용함으로써 부하관리(peak shaving/load shifting/load leveling)를 통하여 전력운영을 최적화 시킬 수 있다. 나아가 DR(Demand Response) 시장의 확립 시 ESS를 수요자원으로 하는 신뢰성 DR 및 경제성 DR 시장에 참여가 가능하다. 이러한 용도로 ESS를 사용하게 되면 고객의 전기요금 절감분이 전력예비율 부족으로 인

한 순환정전의 예방 효과를 얻게 된다. 뿐만 아니라 지능형 DR로 인하여 전기요금 절감은 물론 수요 감축 시 감축 지원금을 지급 받을 수 있다.

다. 신재생출력안정용 ESS

ESS는 태양광이나 풍력과 같은 신재생에너지와 연계하여 사용될 수 있다. 신재생에너지가 계통에 연계하여 활용될 때 ESS는 신재생에너지 출력의 간헐성을 최소화하는데 기여한다. 또한 산간 도서지역과 같은 전력 소외지역에서 ESS는 신재생에너지원의 활용성을 극대화시킬 수 있다. 국내에서는 2020년까지 전체 발전설비 대비 약 13%에 달하는 신재생에너지 발전설비가 국내 전력계통에 연계될 것으로 예상하고 있는데 대규모 풍력발전과 같은 경우 출력 불안정과 전압변동이 심해지는 등 전력품질이 악화될 수 있어 이에 대한 대책으로 ESS를 설치하는 모델로 분류하고 있다.

위와 같은 다양한 ESS 적용모델은 이미 전 세계적으로 실증되어 운용되고 있지만 경제성을 확보하기 위한 노력은 앞으로도 계속 해결해야 할 과제라고 하겠다. 앞서 언급된 선진국에서는 현재 ESS의 상용화에 따라 제품가격을 낮추기 위한 기술개발과 시스템의 안정성 확보 그리고 대용량화 등에 많은 노력을 기울이고 있다. 2012년부터 리튬 배터리가 적용된 ESS의 실증 및 보급이 국내에서도 활발히 진행되고 있는데 2014년부터는 대규모 사업화 계획이 구체화 될 것으로 전망된다. 