

전력저장시스템 기술개발 국외동향 분석 및 국내 활용방안 연구

(Study on the Oversea Technology Development of Electric Power Storage System and It's Domestic Application)

최경식*, 양승권*

(Kyung Shik Choi, Seung Kwon Yang)

Abstract

As the technology of a large scale battery have advanced, it's application to the electric power network have been active in foreign country. By providing the electric power energy stored in the electric power storage system when needed, there are many advantages that it is able to reduce the gap between the electric power demand and supply for day and night to increase capacity factor, to upgrade the electric power quality degraded from the unbalance between power demand and supply and to compensate the fluctuation of wind power plant and photovoltaic power generation. In this study, the current application of electric power storage system using battery is introduced in detail, and I have thought out it's application fields based on the foreign examples. These are demand side response, upgrade of the power quality, stabilization of fluctuation of renewable energy and distributed generation for filling elapse.

1. 서론

전력은 발전소에서 생산하여 송배전 계통을 걸쳐 고객에게 실시간으로 공급되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성으로 고객이 요구하는 전력을 실시간으로 공급해야 한다. 고객의 전력 수요량 만큼 공급하지 못할 경우 정격 전압 및 주파수 유지 곤란, 순간 정전 등 전기 품질에 직접적인 영향을 준다. 계절별, 일별 전력 수요 패턴을 분석하면 주간과 야간의 전력 사용량의 차이가 많고, 특정 시간 대 전력 피크가 발생으로 발전소 및 송배전 설비를 증설이 요구된다. 이러한 것들을 해결하는 기존 방법으로는 양수발전소, 순동 예비력 확보 및 수요관리 등의 수단을 이용하여 해결하여 왔다. 그러나 전력을 저장하는 기술을 활용하면 어떻게 될까? 전력 수요와 공급 불균형으로 정격 전압 및 주파수 저하와 순저가 발생했을 때 배터리에 저장된 에너지를 전기로 변환하여 전력을 공급하면 전력품질의 문제를 해결할 수 있을 것이다. 또한 주야간의 전력 사용량의 편차와 전력 피크가 발생했을 때 전력저장시스템에 저장된 에너지를 적기에 공급한다면 부하평준화를 꾀할 수 있어 발전소 이용률을 높이면서 발전소 및 송배전 설비 증설도 회피할 수 있다. 또한 부하 추종과 관계없이 발전하는 풍력발전소와 태양광 발전소에 전력저장시스템을 연계시켜 전력을 저장하여 수요에 맞추어 전력계통에 전력을 공급하면 발전소 이용률을 제고 할 뿐만 아니라 풍력발전소의 주파수 저하의 문제를 해결할 수 있다. 일본은 1980년 문라이트프로젝트 한 부분으로 전력을 대용량으로 저장할 수 있는 후보 배터리 4개 중 하나로 NaS 배터리를 선정하였고 1984년 동경전력은 NGK Insulators(주)와 공동으로 NaS 배터리 개발을 시작 '02

년에 본격적인 NaS 배터리 상업화에 들어갔다[1]. 또한 기존 연축전지의 수명을 연장시킨 장수명연축전지를 개발하여 전력저장시스템에 응용하기 시작했다. 전력저장시스템은 배터리를 이용하여 전력을 저장하는 것 뿐 만 아니라 공기를 압축시켜 에너지를 저장 필요시 전기에너지로 변화하는 CASE(Compressed Air Energy Storage), 회전체에 에너지를 저장 필요시 전기에너지로 변환시키는 플라이휠 에너지저장장치, 초전도 코일속에 에너지를 저장하여 전기에너지로 변화시키는 SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) 등 여러 가지 형태가 존재한다. 그러나 본 논문에서 배터리를 이용한 에너지 저장장치에 국한해서 전력저장시스템의 개요 및 국외 기술개발 동향을 소개하고 국내에 적용 가능한 활용분야에 대해 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 전력저장시스템 구성

전력을 저장할 수 있는 전력저장부와 전력변환장치(Power Conversion System)로 구성되어 있다. 전력저장부는 단전지와 단전지 여러 개를 직렬과 병렬 묶은 모듈과 모듈을 여러개로 연결시킨 집합체이다. 전력변환장치(Power Conversion System)는 직류를 교류로 또는 반대로 변화시킬 수 있는 장치이다.

2.2 단전지별 특성

단 전지의 종류는 현재까지 개발된 전지만 해도 10여종 이상이 있으며 본고에서 소개하고자 하는 단전지는 심충 방전 시에도 긴 수명을 유지하는 NaS 전지와, 납축전지, 장수명 연축전지(VRLA) 등에 대한 전지

의 특징 및 가격 등을 간략하게 소개하고자 한다.

가. 전지 성능

대용량 전력장치의 상업용 전지개발을 위해 일본 NEDO는 문라이트프로젝트의 일환으로 부하평준화용 NaS 전지 개발을 1980년대 초에 시작하여 동경전력이 NGK Insulator사와 공동으로 2002에 상업화에 성공하였다. NaS의 에너지 밀도는 납축전지 다 3배 이상 크며 수명 또한 2배정도 길다. 납축전지의 짧은 수명을 길게 보강한 무보수 전전지인 장수명연축전지의 경우 에너지 밀도는 납축전지와 비슷하나 DoD 70%에서 수명이 4500 사이클까지 개발되어있다.[2]

표1. 단전지 성능[3]

	Lead Acid	Nickel Cadmium	Sodium Sulphur	Lithium ion	Sodium Nickel Chloride
Specific energy(Wh/kg)	30-50	75	150-240	150-200	125
Specific power(W/kg)	75-300	150-300	90-230	20-315	130-160
Cycle life (cycles)	500-1500	2,500	2,500	1,00-10,000+	2,500+
Chsrge/discharge energy efficiency(%)	~80	~70	up to 90	~95	~90
Self discharge	2-5%/month	2-5%/month	-	~1%/month	-

나. 용량 대비 출력

대용량 전력저장시스템의 용도는 부하평준화와 첨두 부하 삭제, 전력품질 제고를 위한 UPS, 비상전원공급으로 구분할 수 있으며 NaS배터리와 Flow Battery는 부하평준화 용으로, Li-ion 배터리, NiCd 배터리, 납축전지는 비상전원 및 전력품질 제고를 위해 사용할 수 있는 기술 수준에 도달해 있다.

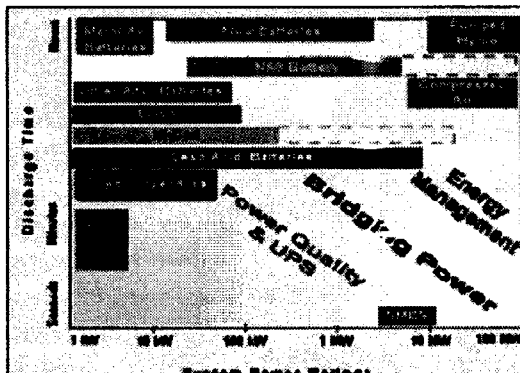


그림 1. 전력저장시스템의 용량 대비 출력[3]

2.3 전력저장시스템 국외 동향 분석

가. 일본

'92년에 가와사키에서 4kW 규모의 NaS 전력저장시스템을 부하평준화 목적으로 수송가 측에 설치하였다. '95년에 전력부하 평준화를 목적으로 가와사키 변전소에 0.5MW급 NaS 전지 설치하여 시스템 제어, 설계

기술 확립, 시스템 기능 검증, 계통연계시 운전성능평가, 장주기 운전 특성검증 및 장기운전 신뢰성 검증 등을 시험하였다. '01에 히라수카 상업건물에 부하평준화와 UPS 용도로 50kW급 규모 NaS 전력저장치를 설치 시험하였다.

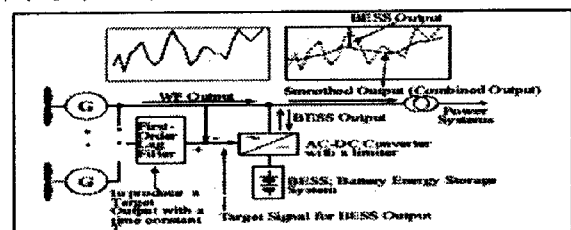
표2. NaS 전력저장시스템 설치[1]

운전 일자	위치	출력 (kW)	저장 에너지 (kWh)	목적*	설치장소
'92.12	Kawasaki Electric Energy Storage Test Facilities	50	40	Proof of Principle	Utility
'94.12		4	32	LL	Customer Site
'95.8		500	4,000	Subsystem of 6MW	Utility Substation
'95.12	TEPCO New Energies Park	50	400	LL+Hybrid Wind Power	Customer Site
'96.6	Kawasaki Electric Energy Storage Test Facilities	200	800	LL+UPS	Customer Site
'98.1	Kinugawa Power Station	193	772	LL+EPS	Customer Site
'00.10	Kawasaki Electric Energy Storage Test Facilities	12.5	75	PQ	Customer Site
'01.3	Hiratsuka Customer Service Office	50	300	LL+UPS	Customer Site
'02.3	Ebina Plant, Fuji Xerox Co	1,00	7,200	LL	Customer Site
'02.4	PACICO YOKOHAMA	2,000	14,400	EPS	

* LL: Load Leveling, UPS: Uninterruptible Power Supply, EPS: Emergency Power Supply, PQ: Power Quality

일본 신코베에서 만든 장수명 연축전지를 사용하여 '04년에 제작한 100kW급 전력저장시스템 토구시마에 있는 오물처리장에 설치하여 비상전원 공급장치가 가동하는 공백시간에 커버하는 기능을 수행한다. 1.7MWh 규모의 장수명연축전지를 아오모리에 있는 태파 풍력발전소에 연계시켜 주파수 안정화를 제고시켰다.

전력저장치를 이용하여 풍력발전소의 주파수 요동을 안정화시키는 방법에는 여러 가지가 있다. 이중 하나로 SOC-FB(State-of-Charge Feed Back) 기술로 풍력발전소의 출력을 짧은시간(수초~수분)에서 평균한 값을 목표 출력으로 설정하며, 발전기의 출력값이 목표 출력값보다 크면 배터리로 충전, 작으면 배터리에서 계통으로 방전시켜 계통에서의 전력을 부분적으로 일정하게 유지시키는 방식이다. NEDO가 '03년에 호카이도 토마매 풍력단지에 풍력 주파수 안정화 제고를 위해 6MW(6MWh) 규모의 바나듐브로마이드 Flow Battery 설치하여 풍력발전의 주파수 요동(fluctuation)을 안정화시켰다.



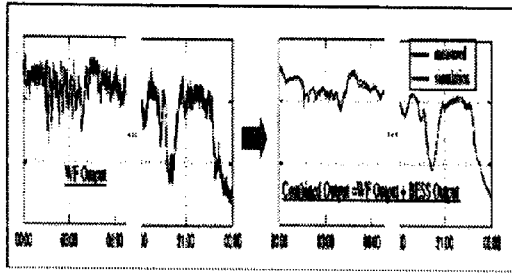


그림 2. SOC-FB 방식에 의한 풍력발전소 주파수 안정화[4]
나. 미국

AEP사가 '06년에 미 버지니아주 변전소에 1.2MW급 NaS 배터리 설치하여 실증시험을 하였다. 변압기 용량은 20MW급이고 46kV 입력 전압을 12kV로 강하시켜며 하계 피크시 변압기 용량 한계에 도달하는 변전소이다. 웨스트 워싱턴거리로 가는 배전 라인에 NaS 전력저장 시스템을 설치하여 하계 피크시 1MW 정도의 침두 부하를 경감시켰으며 변압기 이용률을 0.75에서 0.8로 향상시켰으며 변압기 내부 온도를 3~6℃도 낮출수 있었다.

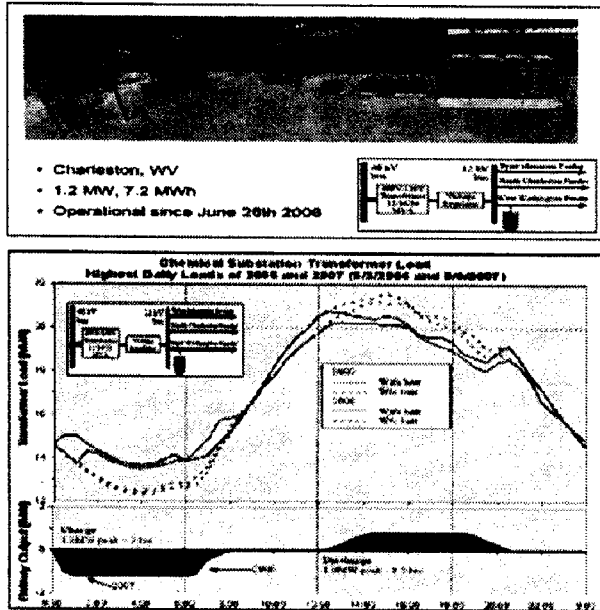


그림3. 찰레스턴 변전소의 부하평준화 효과[5]

또한 AEP사는 '02년에 오하이오 자사 빌딩에 UPS 겸용 피크부하 평준화 NaS 배터리 설치하였다. 18개월 간에 걸쳐 순간정전 및 전압 순저 등 전력품질 실증시험과 부하평준화의 경제성 분석하였다. 전력저장시스템의 규모로 전력품질 제고를 위해 250kW 규모로 30초간 투입할 수 있게 설계하였으며 피크부하 삭감의 목적으로 50kW 출력으로 7.2시간 침두부하 평준화를 할 수 있도록 제작하였다. 그림4은 부하측에 전력저장시스템을 설치한 후 ITIC Curve를 만족시키지 못한 순간 정전, 순저 등 25회의 전력품질 시험결과 부하 측의 전력이 ITIC가 요구하는 전력품질을 모두 만족시키는 것을 보여준다. 그림5은 건물 피크 부하 시 전력저장시스템을 이용하여 침두부하를 경감(Peak Shaving) 시킬 수 있음을 보여준다.[6]

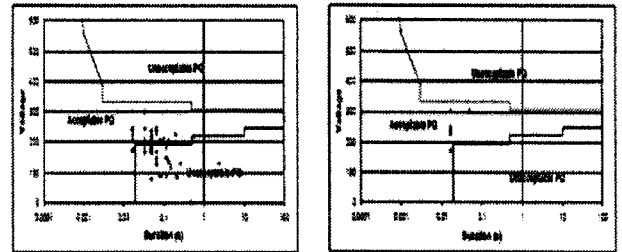


그림4. 전력품질(ITIC) 시험 결과

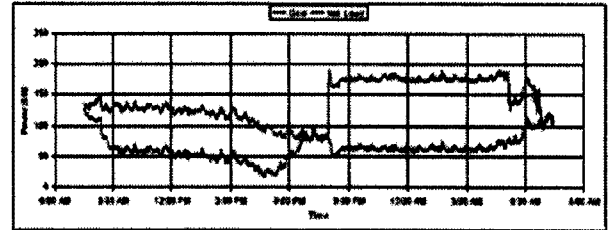


그림5. 부하 측의 침두부하 경감 결과

풍력발전소 출력을 안정화시키는 방법으로 Statcom에 대용량 전지를 결합시켜 풍력발전소의 출력을 짧은 시간(수초~수분)에서 평균한 값을 목표 출력으로 설정하며, 발전기의 출력값이 목표 출력에 크거나 작으면 배터리에 연결된 Capacitor의 에너지를 이용하여 무효 및 유효 전력을 공급 또는 흡수 함으로써 계통의 전력을 부분적으로 일정하게 유지시킨다.

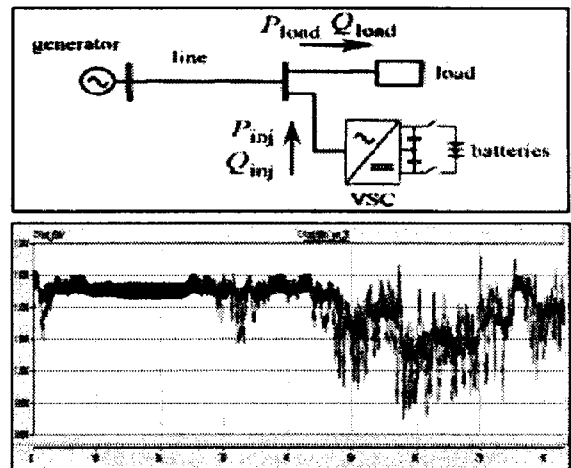


그림 6. 10MWh STATCOM으로 풍력발전소 출력 전압 안정화[7]
S&C Electric사에서 2MW급 NaS 배터리를 사출공정이 일어나는 공장에 설치하여 전력공급 신뢰성 제고하였다. 사출 공정에서 큰 부하가 걸림으로 순간정전이 일어나고 전체 가동장비 중지된다. 본 시스템은 비상전원 장치가 전력을 단절 없이 공급 가능하도록 중간에서 무정전으로 전력을 공급함으로 1년만에 설비투자비 5억을 회수할 수 있었다. Puerto Rico Electric Power Authority는 납축전지 20MW(14 MWh) 대용량 전력저장시스템을 설치하여 대기 예비력의 기능과 전력계통 주파수 안정화에 역할을 통한 전력 품질을 확보하였다.[8]
다. 국내

'89년에 3년간 한전 전력연구원과 한국전기연구 공

등으로 “전력저장 전지 시스템 기술개발”에서 20kW급 저장시스템을 개발 하였으며 '94년에 한국전기연구원과 이화전기 공동으로 “1MW급 전지전력저장시스템 기술 개발”을 수행 통해 AC/DC 변환장치를 구현하였다.

2.4 국내 활용방안

대용량 전력저장시스템의 국내 활용 분야를 수요관리 분야, 주파수조정서비스 분야, 신재생에너지원 계통연계 안정화 분야로 나눌수 있다.

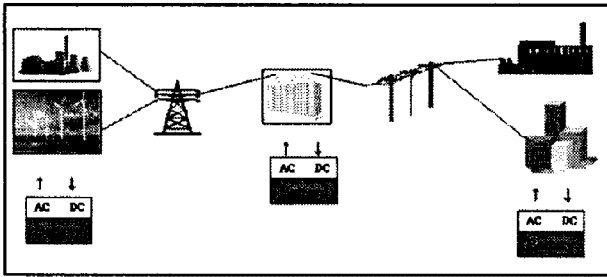


그림 7. 전력저장시스템 활용분야

가. 수요관리(Load Leveling)

심야 전력을 대용량 전력저장시스템에 저장하여 피크 부하시 방전하여 부하를 평균화함으로써 발전설비 이용률 및 전력공급 신뢰도를 향상시킬 수 있으며 송배전 설비 회피를 기대 할 수 있다. 적용 가능한 곳은 용량 증설이 필요한 변전소 및 간헐 부하가 많은 산업시설이다. 고객 측에 설치된 전력저장시스템은 직접부하제어 및 하계 피크관리 자원으로 활용이 가능하다.

나. 고품질의 전력공급(EPS, UPS & Peak Shaving)

전력저장장치에 UPS의 기능을 추가시켜 침두 부하가 크게 걸리는 곳에 설치하여 침두부하 삼각을 통한 송배전설로 증설 회피 및 전력기본 요금을 저감 시킴과 동시에 고품질의 전력을 공급할 수 있다. 또한 비상디젤발전기를 대체하여 비상전원을 공급할 수 있다. 가능한 곳으로 고품질이 전력 요구되는 반도체 라인, 의약제조 라인, 데이터 센터, 통신설비 및 전자기기가 많은 현대식 빌딩에 적합하다.

다. 주파수조정서비스(Spinning Reservoir) 기능 대체

주파수조정 예비력(1,000MW) 확보로 '06년 303억의 많은 비용을 지급했다. 따라서 이를 대용량 전력저장시스템으로 대체하면 여러 가지 부가적인 잇점이 기대된다. 먼저 전력계통 전기품질(정전시간, 정격주파수)이 제고되고, 대도시 전력공급 계통 신뢰성 증대, 직류부하 소비자 수요증대에 따른 직류전력을 공급할 수 있으며 직접부하 자원으로 활용가능 하다.

라. 신재생에너지원 계통연계 안정화

풍력발전소의 전력계통 점유율이 10~20% 정도 되면 풍력발전소의 출력 불균일로 전력계통이 정격 주파수를 유지하기 어렵는다[9]. 따라서 대용량 전력저장시스템을 이용하여 전력계통의 부하 대비 풍력발전소의 출력 편차 발생시 전력저장시스템에 저장 또는 방전하

여 함으로써 출력 변동에 따른 주파수를 안정화 시킬 수 있다. 또한 낮 동안에만 출력을 내는 태양광 발전소와 연계시켜 잉여 전력을 저장하여 필요시 전력계통에 공급할 수 있어 전력 수급의 유연성을 확보할 수 있다. 향후 전력저장시스템과 연계되면 분산전원 활용성 확대 될 것으로 기대된다.

마. 분산전원 하이브리드 시스템에 활용

분산전원의 보급이 증대됨에 따라 전력저장장치와 분산전원이 결합된 하이브리드 시스템을 고려할 수 있다. 예를 들면 가스터빈과 전력저장시스템의 하이브리드 시스템을 구성하는 경우 전력계통의 공급 중단 시 가스터빈이 기동하게 되고 정상적으로 부하추종이 가능하기까지의 공백을 전력저장 장치가 감당 할 수 있다. 또한 스마트배전을 설계할 때 신뢰성 높은 그리드 운영을 위해 필수적인 단위 기기로 활용될 것이다.

3. 결 론

전력저장시스템에 구성, 단전지의 성능 및 특성의 기술현황을 간략하게 언급하였으며 전력저장시스템에 대한 일본, 미국의 기술개발 현황 및 다양한 적용 사례를 상세하게 소개하였다. 이를 기초로 국내에서 활용 가능한 분야를 도출하였다. 활용 가능 분야로 수요관리, 고품질 전력공급, 주파수조정서비스 대체, 신재생에너지원 계통연계 안정화, 분산전원 하이브리드 시스템에 활용될 수 있음을 제시하였다. 향후 전력저장시스템은 실시간으로 고객에게 공급되는 전력의 고유 특성으로 발생하는 여러 가지 문제를 전력을 저장할 수 있는 시스템을 통해 해결하는 중요한 수단이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Makoto Kamibayashi, David k, Nichols, et.al., "Development Update of the NAS Battery", IEEE, 2002
- [2] "Lead-Acid Battery for Energy Accumulating System, Selfa", Presentation Dtad, Shin-Kobe Electric Machinery Co, 2008
- [3] http://electricitystorage.org/tech/photo_ratings.htm
- [4] Katsuhisa Yoshimoto, et.al., "New Control Method for Regulating State-of-Charge of a Battery in Hybrid Wind Power/Battery Energy Storage System", IEEE, 1-4244-0178-X, 2006
- [5] Ali Nourai, "Application of Large-Scale Energy Storage Systems in AEP", EESAT Conference, 2007
- [6] Benjamin L Norris, "NAS Battery Demonstration at American Electric Power", Sandia Report SAND2006-6740, 2006
- [7] Mesut Baran, Sercan Teleke et.al., "STACOM with Energy Storage to Smooth out Intermittent Power Output of Wind Farms", Presentaion file, sponsored by BPA & DOE Energy Storage Program.
- [8] "Energy Storage Program Projects", <http://www.oe.energy.gov/268.htm>
- [9] KH Søbrink; R Belhomme; D Woodford; HAbildgaard; E Jonquel: "The challenge of integrating large-scale offshore wind farms into power systems", Paper 14-204, CIGRÉ-2002, Paris, 2002