

에너지 저장 시스템의 전력계통 적용 사례 분석

고윤석*

A Study on the Application Cases Analysis of ESS(Energy Storage System) to Electric Power System

Yun-Seok Ko*

요 약

지구 온난화, 고유가 그리고 심각한 전력난 문제를 해소하기 위해, 가정용 전기요금 누진제 적용과 함께 산업용 전기요금의 지속적인 상승이 이루어지고 있어 에너지 이용 효율을 크게 개선할 수 있는 에너지 저장 시스템을 스마트 그리드에 적용하기 위한 노력들이 새롭게 시도되고 있다. 본 연구에서는 에너지 저장 장치로 활용될 수 있는 리튬이온 전지의 구성 및 동작원리, 에너지 저장 시스템의 전력계통 적용 분야, 배터리 에너지 컨버터 기술, 그리고 적용사례를 연구함으로써 에너지 저장 시스템을 전력계통에 적용하는 데 필요한 기반 기술을 확립한다.

ABSTRACT

Because a progressive tax of home electricity rates is charged and a continuous rise of industrial electricity rates is expected in order to solve the global warming, the high oil prices and the serious power shortage problem, the efforts to apply the energy storage systems which can significantly improve the energy usage efficiency to the smart grid are trying newly. In this study, characteristics of the secondary battery which can be used as energy storage devices, the structure and operation principle of a lithium-ion battery, and the concept of energy storage systems are research and analyzed. In addition, in this paper, the base technologies which are required to apply to the energy storage system to electric power system are established by studying about installation location and application methodology of energy storage system to electric power system.

키워드

Energy Storage System, Energy Converter, Lithium Ion Battery
에너지 저장 시스템, 전력용 컨버터, 리튬이온 배터리

1. 서 론

1970년대 유가 파동으로 인해 기름 값이 치솟자 일본 및 선진국들의 전력사업자들은 전력 저장 시스템을 활용하여 부하평준화를 기함으로서 에너지 생산원가를

줄이기 위한 노력을 기울였다, 하지만, 저유가가 시대가 도래 하자 당시의 기술적인 한계는 물론 경제성 때문에, 상용화 연구에 대한 관심이 점차 낮아졌다.

최근 전력산업에서는 지구온난화에 대비, 화석연료 에너지 분담 비율을 줄이고 그린 에너지 비율을 제고

* 남서울대학교 전자공학과(ysko@nsu.ac.kr)
* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
• 접수 일 : 2015. 10. 27
• 수정완료일 : 2016. 01. 13
• 게재확정일 : 2016. 01. 24

• Received : Oct. 27, 2015, Revised : Jan. 13, 2016, Accepted : Jan. 24, 2016
• Corresponding Author : Yun-Seok Ko
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : ysko@nsu.ac.kr

하기 위해 풍력, 태양광 등 신 재생에너지 도입이 확대되고 있고, 더 나아가 전력에너지 이용률을 극대화하기 위해 전력 그리드로부터는 물론, 신재생 에너지 원들로부터 일시적으로 에너지를 저장하기 위한 에너지 저장 시스템(ESS)이 큰 관심을 받고 있다.[1-6] 특히, 에너지 절약을 유도하기 위해 가정용 전기요금에 대해 매 100kWh 마다 단위요금이 달라지는 누진제가 시행되고 있고, 산업용의 경우 최근 들어 심각한 전력난을 겪으면서, 가정용 전력요금과의 형평성을 고려하고 전력사용량을 절감하도록 유도하기 위해 꾸준히 상승하는 추세에 있다. 따라서 전력 에너지 이용 효율의 극대화는 가정이나 기업 경쟁력에 큰 영향을 미칠 수 있음을 직시하고 비 첨두시 (또는 불 필요시)에 에너지를 일시적으로 저장했다가 첨두시 (또는 필요시)에 활용하여 에너지 비용을 저감할 수 있는 에너지 저장시스템 개발에 큰 관심이 집중되고 있다. 또한 전력회사 차원에서는 부하 평준화(Load Levelling)를 통해 변전소, 더 나아가 발전소 건설의 지연효과가 기대되기 때문에 에너지 저장 장치의 전력계통 적용 기술개발에 상당한 노력을 기울이고 있다.

따라서 본 연구에서는 에너지 이용 효율을 극대화하기 위해 새로운 대안으로 떠오르고 있는 에너지 저장 시스템으로 활용될 수 있는 리튬이온 전지의 구성 및 동작원리와 에너지 저장시스템의 미래 시장을 분석한다. 그리고 에너지 저장 시스템의 전력계통 적용 가능 영역, 배터리 전력 컨버터기술 그리고 적용사례를 분석함으로써 에너지 저장 시스템을 전력계통에 적용하는 데 필요한 기반기술을 확립한다.

II. 에너지저장시스템 현황 분석

에너지 저장 시스템(ESS)은 발전에서 송변전, 배전 그리고 소비 전 과정에 걸쳐 전기를 저장하는 장치로서, 양수 발전소 및 UPS를 포함하여 총 19개 분야로 분류할 수 있는데, 그림 1은 대표적인 전기 에너지 저장 시스템의 분류표를 보인다[6].

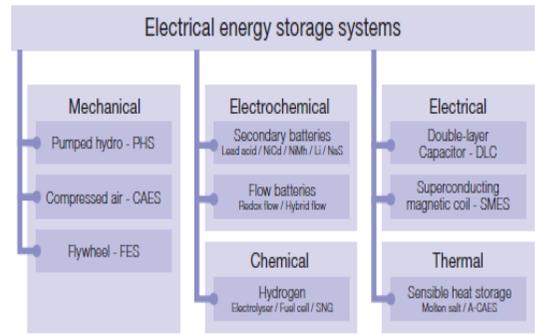


그림 1. 에너지 저장 시스템의 종류

Fig. 1 Classification of energy storage system

그림 2는 SNe Research(www.sneresearch.com)의 ESS에 대한 시장예측결과를 보인다. 기존 적용 시장은 지속적으로 계속 증가 할 것으로 예상되지만, 성장속도가 매우 낮을 것으로 예측되며, 반면에 지금은 매우 작은 부분을 형성하고 있지만, 미래에 ESS 시장을 크게 확대시킬 새로운 응용분야들이 출현할 것으로 예측된다. 특히 TOU (시간 이용) 비용 관리 시장은 ESS 기술의 발달과 함께 급격히 증가 할 것으로 예상된다.

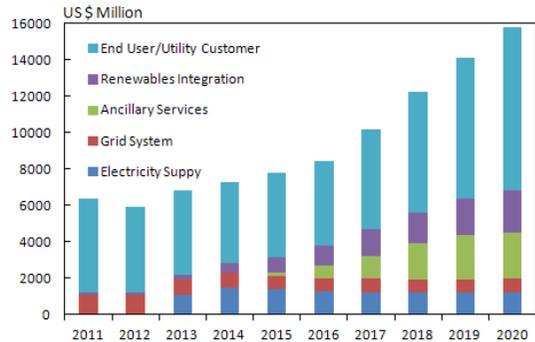


그림 2. ESS의 세계 시장 전망

Fig. 2 The world market outlook of ESS

유럽국가들 중에서 독일은 탈 원전을 선언한 국가로서 청정 전력에너지를 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있으며 이로 인해 ESS의 적용에 가장 적극

성을 보이고 있다. 그림 3은 독일에서의 양수발전 ESS의 적용 현황을 보이는데, 총 40GWh의 양수발전량을 보이고 있다[6]. 양수발전은 경 부하 시 남는 풍력 에너지를 이용하여 양수발전소를 가동, 에너지를 충전(저장)하였다가 첨두부하 시에 물을 방류하여(방전) 수력발전을 통해 계통에 전력을 공급하게 된다.

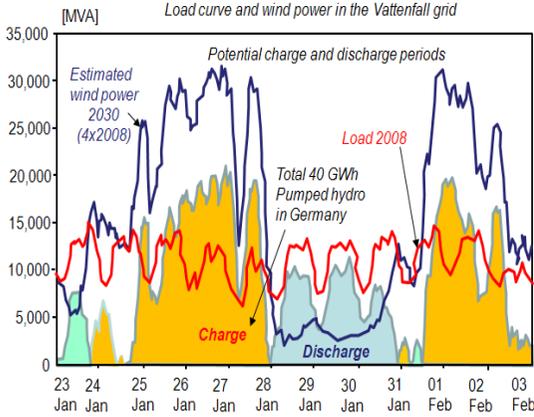


그림 3. 독일에서의 양수 ESS 저장사례
Fig. 3 Pumped hydro application in Germany

그림 4는 일본 배터리 시장조사업체 B3가 조사한 배터리 ESS 글로벌 기업들의 2014년 기준 세계 시장 점유율을 보이는데, LG, 삼성동 국내 기업들이 매우 선전하고 있음을 확인할 수 있다.(www.etnews.com)

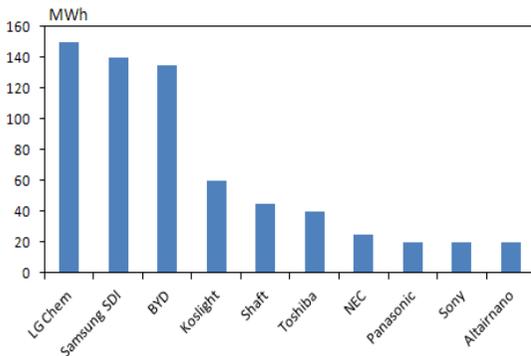


그림 4. 글로벌 기업별 배터리 ESS 세계시장 점유율
Fig. 4 ESS market share of global companies

III. 리튬이온 전지의 구조 및 동작원리

그림 5는 이차전지 중 리튬이온 전지의 구조 및 동작원리를 보인다. 리튬이온 전지는 양극(Anode), 음극(Cathode), 전해질(Electrolyte)과 분리 막(Separator)으로 구성된다. 최근 이들 재료들은 보다 경제적이고 전류밀도가 높은 신소재들로 대체되고 있지만 일반적으로 양극은 리튬이온 산화물, 음극은 흑연이나 탄소계열을 재료로 하여 제작된다. 분리 막은 양극과 음극이 직접적으로 접촉함으로써 단락되지 않도록, 양극들 사이에 위치하여 분리하는 역할을 하면, 양극들 사이에 이온 이동이 가능하도록 미세 구멍을 가지는 폴리프로필렌(PP)을 재료로 하여 제작된다(www.ecoroko.com). 반면에, 전해질은 리튬이온이 충전과 방전을 위해 음극과 양극 사이를 이동할 수 있도록 하는 역할을 한다. 리튬이온 전지는 유기액상 전해질을 사용하는 반면, 리튬 폴리머 전지는 겔(gel) 형태의 폴리머 전해질을 사용함으로써 안정성이 리튬이온 전지에 비해서 높다.

그림 5에 보인바와 같이, 양극재인 리튬코발트 산화물에서 양전기를 띄는 리튬이온이 전해질을 매개로 하여 분리 막을 통과하여 음극재로 이동하는 현상을 충전이라 하며, 반면에 양전기의 리튬이온들이 음극인 흑연으로부터 나와 전해질을 통해 분리 막을 지나 양극으로 이동하는 현상을 방전이라 한다.

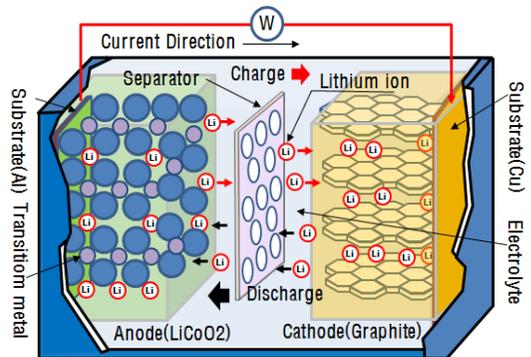


그림 5. 리튬이온전지의 구성
Fig. 5 Configuration of lithium ion battery

따라서 방전 시 리튬이온이 음극에서 양극으로 이동하여 양극판이 +극성을 가지고 음극판이 -극성을

가지면 전자가 외부회로를 따라 음극에서 양극 쪽으로 이동함으로써 전류가 양극에서 음극으로 흐르게 된다.

IV. 에너지저장시스템의 전력계통 적용분야

에너지 저장 시스템은 전력 에너지 이용의 효율성을 제고하고 안전도를 확보하기 위해 그림 5에 보인 바와 같이 전력계통의 다양한 위치에 적용이 가능하며, 적용하는 위치에 따라 발전소 용, 송배전 변전소 용, 배전용, 산업용 및 업무용 그리고 주거용(소형 상업용 포함)으로 구분될 수 있다. 그림 6은 에너지 저장 시스템이 발전소용으로 적용되는 경우의 구성을 보인다. 전력 사업자는 비첨두시에 발전기나 풍력 또는 태양광 분산전원으로부터 생산되는 잉여 전력 에너지를 제어 센터를 통해 에너지 저장 장치(배터리)에 저장하였다가 첨두시에 전력 그리드에 제공함으로써 부하 평준화를 얻을 수 있으며, 이것을 통해 전력 피크를 줄임으로서 변전소 건설을 지연시키고 더 나아가 발전기 건설의 지연효과를 얻을 수 있다.

또한, 급속한 도심부하 증대로 대응하기 위해 변전소 신설이 요구됨에도 주민들의 지역 이기주의로 인해 현실적으로 추진하기 어려운 상황 하에서 ESS의 변전소 적용은 하나의 대안이 될 수 있다.

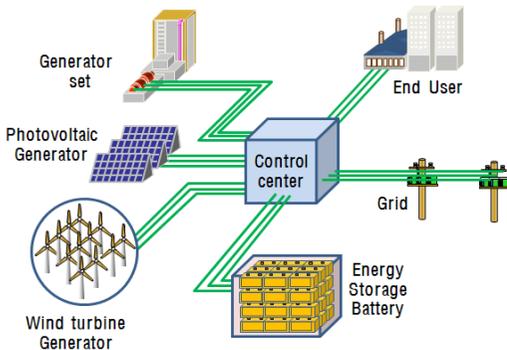


그림 6. 발전용 ESS의 구성 구성

Fig. 6 Configuration of the ESS for generator

반면에, 전기 사용자에게 적용되는 경우 전기 요금에 저렴한 심야시간대에 에너지를 저장하였다가 요금이

비싼 첨두시간대에 사용함으로써 전기요금을 크게 줄일 수 있다. 에너지 저장 장치는 적용 용도에 따라 필요용량이 정해질 수 있는데, 발전소용은 50MW 이상으로 설계되어야 하며, 송배전 변전소용은 10MW 이하, 배전용 2MW 이하, 산업용 및 업무용 1MW 이하 그리고 주거용(소형 상업용 포함)은 100kW이하 범위 내에서 설계된다(www.sandia.gov). 그림 7은 에너지 저장 시스템의 전력계통의 다양한 적용 분야를 보인다.

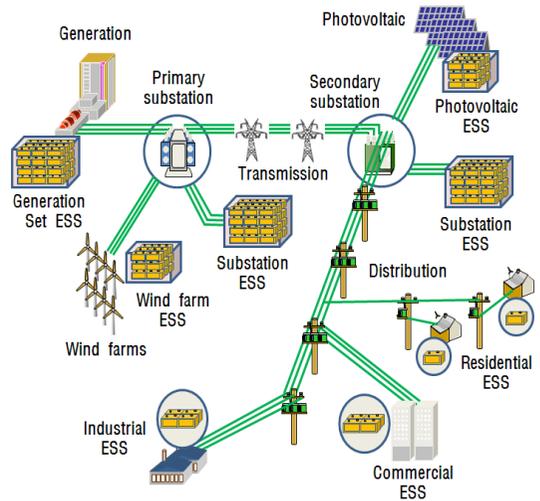


그림 7. 에너지 저장 시스템의 전력계통 적용분야

Fig. 7 Possible applications of energy storage system

V. 배터리 에너지 컨버터

에너지 저장 시스템의 전력계통 연계에서 가장 핵심적인 기술은 전력변환 기술이다. 따라서 본 연구에서는 배터리 에너지 저장 시스템의 컨버터 기술에 대해서 분석된다. 일반적으로, 에너지 저장 시스템의 직류/교류 변환은 전력변환장치(정류기 또는 인버터)에 의해 제어되는데, 그림 8은 단상 에너지 저장시스템의 구성을 보인다[5]. 첨두부하 시, GBOOST 게이트 스위치를 턴-온하면 양방향 Buck/Boost 컨버터는 Boost 컨버터로 동작하여, 배터리 에너지를 승압하여, DC 링크 커패시터에 공급한다. 다음, 커패시터에 충전된 에너지는 인버터에 공급되는데, 게이트 쌍 {G1,

G4)와 (G2, G3)에 반복적으로 펄스를 인가하여 스위치들 틈-온 시킴으로써 구형과 교류가 발생되며, 필터를 통해 정현파로 변환되어 변압기에 공급되고, 변압기에 의해 계통전압으로 승압됨으로써 에너지가 전력계통으로 흐르게 된다. 반면에 비첨두부하시에는 계통 에너지가 인버터의 다이오드들에 의해 전파 정류되어 DC 링크 커패시터에 공급되고, GBUCK 게이트 스위치를 턴-온할 때, 양방향 Buck/Boost 컨버터가 Boost 컨버터로 동작하여, 배터리 전압으로 강압된 에너지가 배터리에 공급, 저장된다.

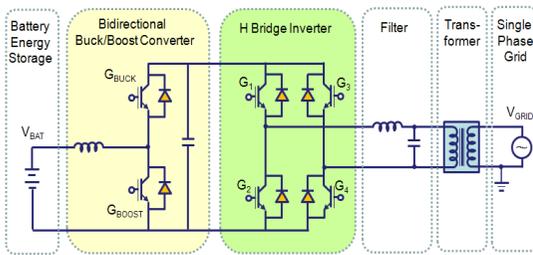


그림 8. 단상 그리드에 연계된 에너지 저장 시스템
Fig. 8 Single-phase grid-connected ESS

반면에 그림 9는 3상 에너지 저장시스템의 구성을 보인다. 비 첨두시에 생산된 전력 에너지는 전력선을 통해 전력변환장치로 공급되는데 이때 전력변환장치는 3상 6펄스 정류기로 동작한다.

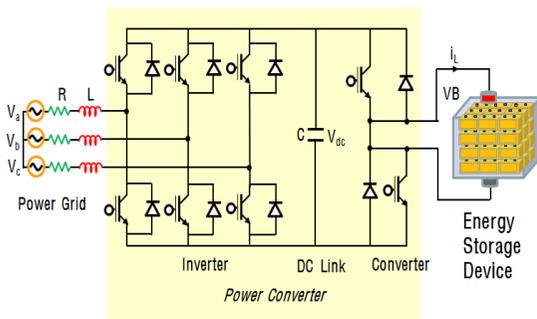


그림 9. 3상 그리드에 연계된 에너지 저장 시스템
Fig. 9 Three phase grid-connected ESS

따라서 3상 교류는 6펄스 정류기에 의해 직류로 정류된 다음, 투입된 DC 링크의 우측의 스위칭 소자들

을 통해 에너지 저장 장치에 저장된다. 반면에 첨두시에 전력변환장치는 인버터로 작동하여 직류를 교류로 변환한다. 즉, 에너지 저장 장치로부터 방전되는 직류는 DC링크 우측의 스위칭 소자들이 개방된 상태에서 다이오드들을 통해 6브리지 인버터 방향으로 흘러들어가 교류로 변환된 다음 필터를 통해 정현파로 변환된 후, 전력계통으로 흘러보내짐으로서 부하 평준화를 기한다. 그림 5는 전력 에너지 저장 시스템을 전력 그리드에 연계하기 위한 구성을 보인다.

VI. 배터리 ESS 적용 사례 분석

국내 글로벌 기업들은 리튬이온 이차전자 제작 분야에서 미래의 수요를 예측하고 집중적인 투자와 기술개발 노력을 기울여, 최고의 기술력과 생산설비를 확보하고 있다. 그리고 이를 기반으로 유럽, 북미 등 세계 시장에서 선도적인 적용사업 추진하고 있으며, 표 1은 ESS의 세계 시장 적용 사례를 보인다.

표 1. 배터리 에너지 저장 시스템 적용 사례
Table 1. Energy storage system application cases

Manufacturer	Install location	Use	Capacity	Type	Year
LG Chem	Germany, Energiequelle GmbH, Brandenburg, Feldheim	Renewal energy such as Wind power, PV system, Biomass	10.8 MWh	Lithium Ion	2014
	U.S., CA, Kern County	Tehachapi Wind farms substation	32 MWh	Lithium Ion	2013
	Korea LG Chem	Load Leveling	22.7 MWh	Lithium Ion	2014
	U.S. Jaxpro	Load Leveling	45 kWh	Lithium Ion	2015
	Japan Hokkaido	EV or Home	31 MWh	Lithium Ion	2017
Samgung company WEMAG, SDI	Germany, Electric power company WEMAG, the northern, Schwerin	Substation	5 MWh	Lithium Ion	2014

	Italy Enel		1 MWh	Lithum Ion	2014'
	England UKPN		10 MWh	Lithum Ion	2014'
	U.S. Texas	Wind farm	1 MWh	Lithum Ion	2013
	U.S. Texas	Substation	2 MWh	Lithum Ion	2013
	Korea Jaju Island Jochun	Substation	8 MWh	Lithum Ion	2013
	Korea Jaju Island	Wind farm	200 kWh		
	Korea Giheung	Load Leveling	1 MWh		2013
SK Innovation.	Germany, Land Sachsen-Anhalt	Micro-grid	1 MWh	Lithum Ion	2014

VIII. 결 론

가정용 전력요금의 누진체계와 산업용 전력요금의 인상으로 전력 이용률 개선의 중요성이 점차 증대되고 있는 시점에서 하나의 대안으로 떠오르고 있는 에너지 저장장치 시스템에 대한 기반기술과 적용 방법론을 연구하는 것은 매우 중요하다. 특히, 세계적으로 지구 온난화에 대비 전력 이용의 효율성이 매우 중시되는 시점에서 에너지 저장 시스템에 대한 기술적 고찰은 큰 관심사항이 아니라 할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 에너지 저장 장치의 시장 현황 분석, 리튬이온 전지의 구성 및 동작원리, 에너지 저장 시스템의 전력계통 적용 위치, 배터리 에너지 컨버터 기술 그리고 전력계통에 대한 적용사례 분석 등, 에너지 저장 시스템을 전력계통에 적용하는데 필요한 시장현황 및 기술적 고찰을 수행하였다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 남서울대학교 교내 연구비의 지원에 의하여 연구되었음

References

- [1] Y. Ko. "A Study on the Superconductivity Energy Storage Basic Technology," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 6, 2015, pp. 691-698.
- [2] Y. Ko, "The Considerations for the Application of ESS(Energy Storage System) to Electrical Power System," *Proc. of the 2014 spring Korea Institute of Electronic Communication Sciences Conf.*, vol.7, no. 1, Cheonan, Korea, November 2014, pp. 233-236.
- [3] K. Lee. I. Choy, W. Cho, and J. Back, "MPPT and Yawing Control of a New Horizontal-Axis Wind Turbine with Two Parallel-Connected Generators," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 81-89.
- [4] M. Jeong, C. Moon, H. Kim, Y. Chang, and T. Park, "A Study on Design of 50kW PMSG for Micro-grid Application," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2014, pp. 527-536.
- [5] D. Trowler and B. Whitaker, "Bi-Directional Inverter and Energy Storage System," *Texas Instruments Analog Design Contest*, University of Arkansas, USA, May, 2008.
- [6] IEC International Electrotechnical Commission, "Electrical Energy Storage," *IEC White Paper*. Dec., 2011.

저자 소개



고윤석(Yun-Seok Ko)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학
학과 졸업(공학사).

1986년 2월 광운대 대학원 전기
공학과 졸업(석사).

1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).

1986년~1996년 한국전기연구소 선임연구원.

1996년~1997년 포스코 경영연구소 연구위원.

1997년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수.

2012년~2013년 University of Utah 방문교수

※ 주 관심분야 : 전력시스템 자동화, 배전자동화,
주택자동화, 로봇제어