

특집 : 마이크로그리드

마이크로그리드의 에너지 저장장치

정재현, 노의철*, 김흥근**, 전태원***

(부경대 전기공학과 박사과정, *교수, **경북대 전자전기공학부 교수, ***울산대 전기전자정보시스템공학부 교수)

1. 서론

최근 전기에너지를 생산할 때 오염물질을 배출하지 않는 신·재생에너지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 함께 하나 혹은 여러 개의 신·재생에너지원을 시스템 단위로 제어하는 마이크로그리드에 관한 연구도 진행되고 있다. “기존의 송·배전망에 준하는 신뢰성과 안전성을 어떤 방법으로 실현할 것인가?”에 관하여 많은 연구가 진행되고 있으며 고품질의 전력을 요구하는 전기·전자기기들의 수요가 늘어남에 따라 기존의 송·배전망이 제공해왔던 것 이상의 신뢰성과 안전성이 마이크로그리드에 요구되고 있는 실정이다. 이미 여러 선진국에서는 수년전부터 진행해온 연구결과를 바탕으로 도시단위의 마이크로그리드를 운용 및 실증하고 있는 단계에 있다.

현재 운용중인 마이크로그리드의 신·재생에너지원으로는 태양광, 풍력, 연료전지가 주로 이용되고 있다. 그런데 연료전지는 부하의 급격한 변동 시 출력의 변화가 느리고 태양광과 풍력은 일 단위 또는 년 단위의 기상상태에 따라 발전량이 변하는 특성을 가지고 있다. 신·재생에너지원의 이러한 특성은 계통과 분리된 상태에 있는 마이크로그리드의 안정성을 저해하는 요소로 작용하며, 특히 마이크로그리드 내에 민감 부하가 운전되고 있을 시에 치명적인 손상을 입히는 요소가 될 수 있다.

따라서 마이크로그리드의 안정도를 유지하기 위한 다양한

연구가 이루어지고 있는데 에너지 저장장치를 활용하는 방법을 기본으로 하고 있다. 대표적인 에너지 저장요소로 배터리를 사용하고 있으나, 이 외에도 고온 초전도체 베어링을 이용한 고속 플라이휠 에너지 저장장치와 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치를 들 수 있다.

앞으로 에너지 저장장치에 관한 연구는 마이크로그리드 내의 전력흐름에 관한 정보를 이용하여 마이크로그리드 자체의 신뢰도와 안정도를 향상시키고 효율을 개선하며 계통과 마이크로그리드간의 전력흐름을 원활하게 이루어지도록 하는 하나의 시스템 단위로 진행될 것으로 예상되며 새로운 에너지 저장장치에 대한 연구 및 개발 또한 활발히 이루어질 것으로 예상된다.

이러한 에너지 저장장치에 대한 이해를 위해 먼저 에너지 저장장치의 평가를 위한 요소를 설명하고 대표적인 에너지 저장장치로 사용되고 있는 플라이휠과 배터리 그리고 슈퍼커패시터를 비교하였다. 또한 현재 연구 및 개발되고 있는 에너지 저장장치의 적용 사례에 관하여 간단하게 소개하고자 한다.

2. 에너지 저장장치의 평가 요소와 대표적인 에너지 저장장치의 비교

2.1 에너지 저장장치의 평가 요소

에너지 저장장치를 평가하는데 있어서 다양한 요소가 고려되어야 하는데 특히 마이크로그리드를 위한 에너지 저장장치

는 다음과 같은 요소를 고려해야 한다.

2.1.1 총 · 방전시간(Charge or discharge time)

에너지 저장장치가 일정량의 에너지를 충전하거나 방전하는데 걸리는 시간을 의미하며 단위는 [s(sec)] 혹은 [h(hour)]다. 마이크로그리드에서의 에너지 저장장치의 주된 역할은 마이크로그리드 내에 부하의 급변시 안정도를 유지하는 것이므로 총 · 방전시간이 짧을수록 좋은 특성을 가진다고 볼 수 있다.

2.1.2 에너지밀도(Energy density)

에너지 밀도는 단위 무게에 대한 에너지 저장 능력을 나타내며 단위는 [Wh/kg]이다. 에너지 저장장치의 크기나 무게와 관련된 항목으로 크기가 작고, 가벼운 시스템에 많은 에너지를 저장하는 것이 좋은 특성을 가진다고 볼 수 있다.

2.1.3 전력밀도(Power density)

전력밀도는 단위 무게 당 얼마만큼의 전력을 방출 또는 흡수할 수 있는가에 관한 요소로서 단위는 [W/kg]이다. 다시 말하면 동일한 무게의 에너지 저장장치에서 순간 방출하는 전력의 척도가 되는 요소이며, 에너지 저장장치의 총 · 방전 동작 시 시스템의 허용전류용량과도 밀접한 관계가 있는 요소이다. 마이크로그리드에 적용하기 위하여 전력밀도는 높을수록 좋은 특성을 가진다고 볼 수 있다.

2.1.4 효율(Efficiency : η)

에너지 저장장치에서의 효율은 충전할 때 투입한 총 에너지를 기준으로 얼마만큼의 에너지를 방전할 수 있는지에 대한 능력을 나타낸다.

2.1.5 경제성(Economic efficiency)

세부적으로 초기 설비 투자비, 유지보수비, 안전을 위한 시설투자비, 수명에 관한 항목들이 포함될 수 있다. 에너지 저장장치를 상용화 하는데 있어 중요한 요소로 작용하게 된다.

2.2 에너지 저장장치의 비교

표 1은 에너지 저장장치인 슈퍼커패시터와 배터리 그리고 플라이휠의 일반적인 특징을 나타낸 것이다.⁽¹⁾

표 1에 나타난 것과 같이 슈퍼커패시터는 마이크로그리드용 에너지 저장장치로서 플라이휠이나 배터리보다 우수한 특성을 가지고 있다. 특히 배터리와 비교하여 오염물질을 배출하지 않기 때문에 신 · 재생에너지를 위한 에너지 저장장치로 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나 슈퍼커패시터는 직렬 연결시 각 커패시터간의 전압 균형을 유지해야한다는 점과 에너지 저장장치 구성비용이 플라이휠이나 배터리보다 높다

표 1 평가 요소를 이용한 에너지 저장장치 비교

	슈퍼커패시터	배터리	플라이휠
방전시간	1~30[s]	0.3~3[h]	0.5~2[h]
충전시간	1~30[s]	1~5[h]	0.5~2[h]
에너지밀도 (Wh/kg)	1~10	20~100	5~50
전력밀도 (W/kg)	7000~18000	50~200	180~1800
수명 (총 · 방전 횟수)	>10 ⁶	10 ³	10 ⁶
효율	>95[%]	80~85[%]	90~95[%]
안전성	양호	양호	보통
유지보수	매우 양호	양호	보통
비용(p.u)	20	1	8

는 문제점이 있다.

3. 에너지 저장장치의 적용 사례

마이크로그리드에 관한 연구는 주로 마이크로그리드 시스템의 운전방법이나 개별 분산전원의 배치 및 안전도 향상을 위한 에너지 저장장치 등으로 이루어지는데⁽²⁾ 이 중에서 에너지 저장장치에 대한 연구 및 적용사례를 살펴보고자 한다. 에너지 저장장치 분야를 새로운 시장으로 예측하고 에너지 저장장치와 관련된 기술을 연구 및 개발하는 그룹이 있는데, 이 그룹에는 미국의 DOE (Department of Energy)와 Sandia National Laboratories 및 미국의 여러 대학과 기업이 참여하고 있다. 이 그룹에서는 ESPE(DOE Energy Storage and Power Electronics Program)라는 프로젝트를 수행하고 있는데, ESS(Energy Storage System)와 Power Electronics 두 분야로 나뉘어 각 분야에서 연구를 진행 중이다. 특히 주목할 만한 분야가 ESS 분야인데 기존의 에너지 저장장치인 플라이휠과 배터리의 개선에 관한 연구와 새로운 에너지 저장장치로 각광받고 있는 슈퍼커패시터에 관한 연구를 수행하고 있다. 새로운 전해극을 사용한 배터리와 초전도체 베어링을 사용한 고속 플라이휠 에너지 저장장치가 개별 테스트를 마치고 실증 운용예정이며 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치 또한 풍력발전과 연계한 테스트를 마친 상태이고, 이를 이용하여 계통의 안전도 향상을 위한 테스트를 계획 중에 있다. 각 에너지 저장장치에 대한 테스트 결과와 앞으로의 계획은 다음과 같다.

3.1 슈퍼커패시터

그림 1은 CEC(California Energy Commission)가

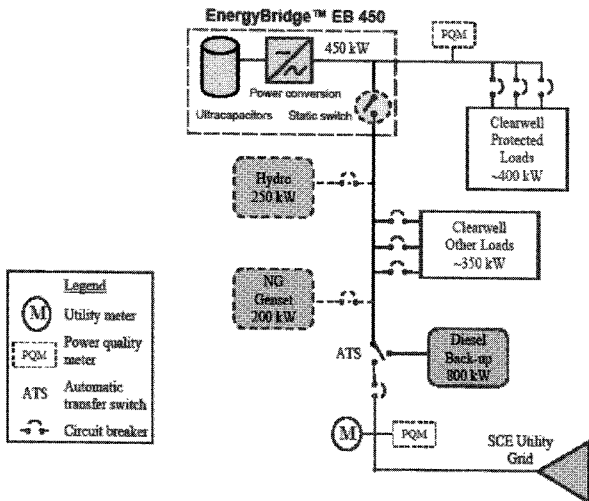
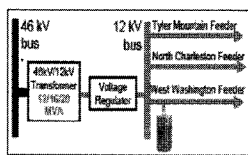
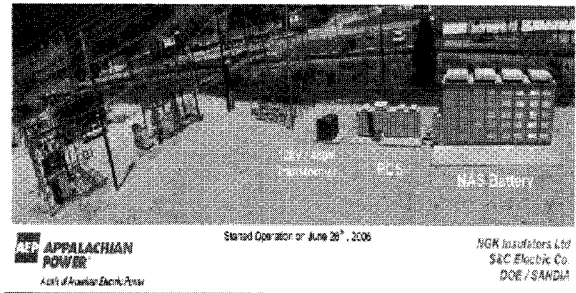


그림 1 슈퍼커패시터를 이용한 ESS

1.2 MW, 7.2 MWh Distributed Energy Storage System in Chemical Station, North Charleston



DOE/Sandia Report SAND2007-3580

그림 2 NaS 배터리를 이용한 ESS

Palmdale Water District와 함께 진행한 450kW 슈퍼커패시터 프로젝트의 내용 중 일부이다⁽³⁾. 프로젝트 목표는 다음과 같다.

- 민감 부하에 고품질의 전력공급을 유지.
- 그리드 내에 전압강하(Sag)나 전압상승(Swell) 발생 시에도 민감 부하에 전력공급.
- 에너지 버퍼역할 요구 시에 계통의 안정도 유지.

현재 프로젝트의 목표를 완료한 상태이며 추후 풍력발전과 연계한 전력품질 개선장치와 북미 지역 내에 설치된 수많은 풍력발전과 관련된 시스템을 개발 및 출시할 예정이다.

3.2 배터리

그림 2는 AEP(American Electric Power)사가 현재 운용 중인 1.2MW 7.2MWh 용량의 NaS(sodium-sulfur) Battery 시스템의 모습이다⁽⁴⁾. 운전은 그림 3에 나타난 3년간의 일간 부하변화량을 데이터베이스화하여 하루 동안의 부하 변동분을 예측하여 이루어진다. 부하가 적은 시간대에 부하가 많은 시간대를 예측하여 부하가 적은 시간대에 에너지를 저장하고 부하가 많은 시간대에 에너지를 방전하는 방식으로 계통에서 유입되는 전력이 거의 일정하도록 제어하게 된다.

이 프로젝트의 목표는 다음과 같이 연도별로 설정 되어 있다.

- 2006년 : 1MW급 테스트.(완료)
- 2008년 : 6MW급 독립전원으로서 전력 공급.(완료)
- 2009년 : 4MW급 도시단위의 UPS기능.
- 2010년 이후 : 신·재생에너지와 연계운전 계획.
- 2010년 이후 : 보조적인 서비스 제공.
- 2020년 : 총 100MW 운용 및 개별용량의 증대.

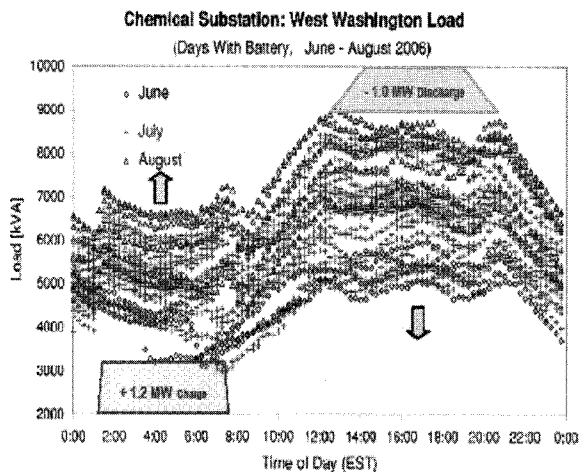


그림 3 NaS 배터리 시스템 운전을 위한 부하량 변동 데이터

AEP에서 진행하고 있는 프로젝트는 응답특성이 느린 배터리를 일간 부하량의 변화에 맞추어 활용하고 있다는 점과 배터리 시스템을 분산전원으로 간주하여 도시 단위의 UPS 시스템으로 활용하려고 하는 점이 주목할 만하다.

3.3 플라이휠

그림 4는 보잉에서 제작중인 고온 초전도체를 베어링으로 사용하는 플라이휠 에너지 저장장치이다⁽⁵⁾.

이 프로젝트의 목표는 고온 초전도체 베어링을 사용한 3kW/5kWh 정격의 플라이휠 에너지 저장장치의 성공적인 운용과 앞으로의 가능성을 보여주는 것이다.

현재 3kW/1kWh 환경에서 시스템 테스트를 완료한 상태이고, 5kWh에 사용될 회전자와 회전자를 위한 베어링을 개발하여 15,000rpm의 동작환경에서 회전자 테스트를 완료한

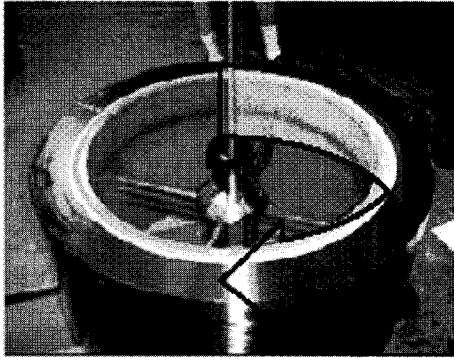


그림 4 플라이휠을 이용한 ESS

상태이다. 3kW/5kWh 정격의 플라이휠 에너지 저장장치는 2010년 9월까지 ESS 시스템의 구성을 완료하고 성능 테스트를 수행할 예정이다.

4. 결론

현재 많은 곳에서 마이크로그리드에 대한 연구가 진행되고 있는데 마이크로그리드를 구성하는 신·재생 에너지원의 일부는 출력 응답이 느리기 때문에 그리드 내에 에너지 저장장치를 필요로 하게 된다. 특히 최근에 진행되고 있는 마이크로그리드에서의 에너지 저장장치에 관한 연구는 보조전원 수단으로만 고려되는 것이 아니라 시스템의 일부가 되어 계통의 안정도와 신뢰성을 향상시키는 관점에서 이루어지고 있다.

여러 에너지 저장장치 중에서 슈퍼커패시터는 에너지 저장장치로서의 특성이 우수하기 때문에 특히 고품질의 전력을 요구하는 마이크로 그리드 내의 민감 부하를 위한 에너지 저장장치로서 많은 연구가 진행되고 있다. 아직까지는 다른 에너지 저장장치에 비하여 설치비용이 높은 편이지만 새로운 소재의 연구 및 개발로 인하여 머지않아 다른 에너지 저장장치와 같은 수준으로 내려갈 것으로 예상되고 있어 많은 응용이 기대된다. ■

참고 문헌

- [1] Huang Wei, Wang Xin, Guo Jiahuan, Zhang Jianhua, Yang Jingyan, "Discussion on Application of Super capacitor Energy Storage System in Microgrid", '09 International Conf. on Sustainable Power Generation and Supply, pp. 1-4. 2009.
- [2] Mike Barnes, Junji Kondoh, Hiroshi Asano, Jose Oyarzabal, Giri Ventakaramanan, Robert Lasseter, Nikos Hatziaargyriou, Tim Green, "Real-World

MicroGrids-An Overview", '07 IEEE International Conf. on System of Systems Engineering, pp. 1-8. 2007.

- [3] Chris McKay, "Distributed Energy Systems Ultracapacitor(Energy Bridge)", Annual DOE Peer Review Meeting, 2008.
- [4] Ali Nourai, "Dynamic Islanding For Improving Electric Service Reliability with Energy Storage", Annual DOE Peer Review Meeting, 2008.
- [5] Phil Johnson, "Superconducting Flywheel Development", Annual DOE Peer Review Meeting, 2008.

〈 필 자 소 개 〉



정재헌(鄭在憲)

1981년 10월 19일 생. 2007년 부경대 공대 전기제어공학부 졸업. 2009년 부경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009~현재 동 대학원 박사과정.



노의철(魯義哲)

1960년 8월 2일 생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학박). 1997년~1998년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 2005년~2006년 미국 University of California-Irvine 방문교수. 1995년~현재 부경대 전기공학과 교수. 당 학회 학술이사.



김흥근(金興根)

1956년 4월 24일 생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1982년, 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사, 공박). 1990년~1991년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 2006년~2007년 미국 Michigan State University 방문교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수. 당 학회 경상지부장.



전태원(全泰園)

1959년 1월 30일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~1997년 Tennessee 대학 방문교수. 2005년~2006년 미국 Virginia Tech 방문교수. 현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수. 당 학회 부회장.