

축전시스템을 이용한 복합부하관리시스템

박석인, 정봉만, 한수빈, 정학근, 김규덕, 유승원
한국에너지기술연구소

Development of Load Management System Using Battery Modules

Sukin Park, Bong-man Jung, Soo-bin Han,
Hak-geun Jeoun, Gyu-duk Kim, Seung-weon Yu
Korea Institute of Energy Research

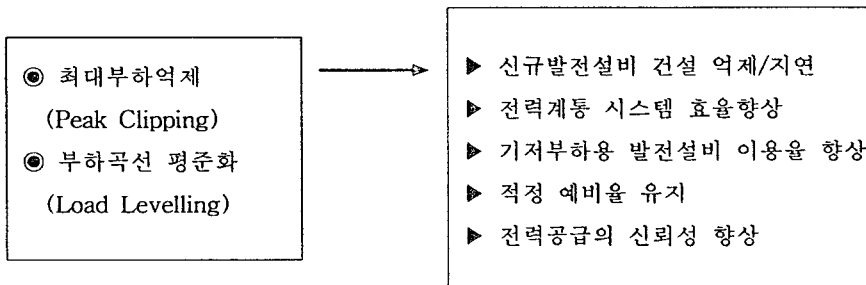
1. 서론

최근 크린에너지인 전력수요의 급증, 발전소 입지선정의 어려움, 주야간대 수요격차의 심화등이 전력의 안정적 공급에 커다란 불안 요소로 작용하고 있다. 이러한 문제해결을 위해서는 심야의 경부하시 에너지를 저장하였다가 주간 피크부하시 일정부하를 분담하여 최대부하를 억제하고 부하평준화를 이룩함으로써 신규발전설비의 건설을 억제하고, 기저부하용 발전설비의 이용률을 향상시키고, 전력공급의 신뢰성 향상을 이룰 수 있는 전력의 부하관리 기술개발 및 응용기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

전력부문에서의 부하관리의 궁극적 목표는 최대부하의 효과적인 억제와 부하곡선의 평준화에 의한 전력계통 운영의 효율화를 기하는 것이다. 즉, 연간 최대부하를 낮춤으로서 신규발전설비의 건설을 억제하고 일간 부하평준화를 이룸으로서 첨두 또는 중간부하대 발전소의 운전능 가능한 줄이며 저렴한 가격의 발전연료를 사용하는 발전설비의 가동율을 상승시키는 것과 함께 필요한 전력수요의 가능한 많은 부분을 기저부하용 발전설비로 공급하도록 함으로서 발전효율이 높고 투자규모가 큰 기저부하용 발전설비의 이용률을 높이는 것이다. <표 1>은 전력부하관리의 효과이다.

축전지를 이용한 전력저장기술은 운전특성이 우수하고, 모듈화 양산이 가능하고, 기술적으로나 자원적으로 큰 문제가 없는 등 여러 장점으로 부하관리를 에너지 저장기술의 하나로

<표 1> 전력부하관리의 효과



많은 연구가 시도되고 있다. 다만 부하관리 단일목적으로는 경제성이 뒤진다는 단점으로 실용화 시기가 다소 늦어지고 있지만, 최근 많이 보급되고 있는 무정전전원장치와 연계한 축전식 전력저장기술이 개발될 경우 경제성을 높일 수 있어 본 연구는 무정전전원공급기능을 겸용하는 축전식 복합부하관리시스템의 개발을 목표로 하여 시스템을 구성하고 부하관리목적으로써의 실험을 통해서 그 동작특성을 분석하고 경제성에 대해 평가하고자 한다.

2. 국내외 기술 개발 현황

축전지를 이용한 전력저장기술은 다양한 응용분야를 갖는 무정전 전원장치와 소용량의 각종 전기기기에 보편적으로 사용되고는 있으나 부하관리목적으로서의 응용은 외국에서의 부분적인 실용화를 제외하고는 아직 연구단계에 있다. 즉, 외국의 경우 독일 등에서 전철의 부하평준화용 등에 실용화되어 있기도 하며 일본에서는 태양전지에 의한 발전과 소용량 축전식 부하관리기법이 시험 개발된 바 있다. 궁극적으로 축전지의 부하관리를 위한 본격적인 응용은 개량형 축전지의 개발에 따라 확대될 것으로 전망되고 있다.

미국의 경우 1976년부터 10년동안 1.8MW급의 축전식 부하관리장치의 시험운전을 거쳐, 1988년에는 배전용 변전소에 10MW급 부하관리 설비를 설치하여 운전 중에 있다. 또 Johnson, Crescent와 같은 배전회사를 중심으로 수백 kW급의 부하관리장치를 운전중이다.

일본의 경우 Moon Light계획에 의해 신형전지개발을 포함한 전지전력저장시스템 연구가 진행중이며, 관서지역의 타즈미 변전소에 10MW급을 설치하여 부하관리를 실증 실험중에 있다.

독일의 경우 BEWAG사가 베르린에 17MW규모의 설비가 설치되었으며, AEG사는 남아프리카의 광산에 침투부하 제거용으로 4MW의 설비를 운영한 바 있다.

국내의 경우 1992년 한국에너지기술연구소에서 납축전지를 이용한 170kW/800kWh급 전력저장설비가 에너지저장 측면에서 연구된 바 있으나, 부하관리를 위한 연구는 미흡한 실정이다.

<표 2> 주요 전력저장기술의 경제성 비교

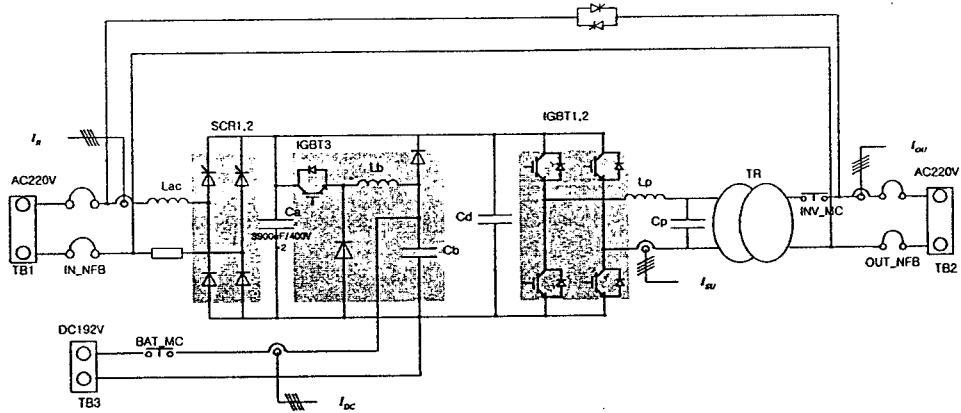
저장기술	양수발전	축전지	Fly Wheel	초전도코일	공기압축
전력관련 (\$/kW)	600	200	140	140	500
에너지관련 (\$/kWh)	20	118	300	160	5

3. 3kW/9kWh 복합 부하관리시스템

복합 부하관리시스템은 심야의 경부하시 전력을 저장하였다가 주간 중부하시 일정량의 부하를 분담하는 주 기능외에 전압변동 및 주파수 변동, 순간정전 등 불규칙한 상용전원을 수전하여 예고정전 또는 사고정전시 연속적인 전원을 부하측에 공급하고 순간정전 및 과도전압 발생시 또는 노이즈 및 서지발생시 기기를 보호하며 전압변동 등에 의한 기기의 오동작을 방지하기 위하여 정전압, 정주파수, 무정전의 양질의 전원을 공급하는 장치이다.

주전력회로도 [그림 1]과 같다. 단상 220V 교류전원을 입력으로 사용하며, 정류기부는 자연 전류(Natural Commutation)방식에 의한 사이리스터 위상제어 정류기로서 출력전압을

일정하게 유지하면서 인버터부에 직류전압을 공급하고 또한 축전지는 인버터의 전압원으로 서 무순단으로 부하에 전원을 공급할 수 있도록 한다. 인버터 출력단과 부하단 사이에는 부하측에 의한 인버터 손상을 방지하기 위해 보호용 스위치가 설치되어 있으며, 이는 바이패스부의 스테틱 스위치와 함께 시스템 절체를 자동으로 수행한다. 바이패스부는 인버터부에 이상 발생시 스테틱 스위치를 통해 무순단으로 상용 전원을 부하에 공급하며, 이상상태 해소시 인버터부로 자동절체된다. 수동 바이패스는 복합 부하관리장치를 부하측과 완전히 분리시키는 역할을 하며, 시스템 유지 보수시 사용된다. 복합 부하관리장치의 적용대상은 24시간 365일 전원의 안정적 공급을 요구하는 특정부하로 하였다. 기존의 무정전전원공급장치에 축전용량의 증가와 스위치 제어기능을 첨가할 경우 무정전 전원공급의 고유기능을 유지하면서 첨두부하시 전력의 수요억제용으로의 활용이 가능하여 적은 비용으로 부하관리시스템의 구현이 가능하기 때문이다.



[그림 1] 주전력회로도

운전방식은 정상운전, 부하관리 운전(방전운전), 축전운전, 인버터 고장시 운전(비상운전), 입력전원 정전운전(UPS운전), 수동 절체 운전으로 구분한다. 이러한 복합 부하관리장치는 평상시에는 교류전원을 정류하여 직류전원으로 바꾼 후 이를 인버터와 축전지의 충전전력으로 활용하고 인버터에서 교류전원으로 변환하여 부하에 안정된 교류전력을 공급하는 기능, 순간정전과 같은 전력사고시 축전지의 충전에너지에너지를 이용하여 단시간 무정전 상태를 유지하는 기능 및 첨두부하시 전원단의 전력공급 없이 축전지에 충전된 에너지로 일정시간 부하를 감당하도록 하여 전력계통의 부하를 감소시키는 기능을 갖는다. 이 때 평상시에도 교류전원을 직류전원으로 변환하고 다시 인버터에 의해 직류를 교류로 역변환 하는 이유는 신뢰도 높은 안정된 출력전원(정전압, 정주파수)을 부하에 공급하기 위한 것이며, 또한 축전지가 직류전원이므로 축전지를 연결하기 위해서는 중간 변환부분이 직류전원이어야 가능하기 때문이다.

4. 부하관리 실험 및 평가

제작된 복합 부하관리시스템으로 [그림 2]의 부하패턴으로 부하실험을 하였다.

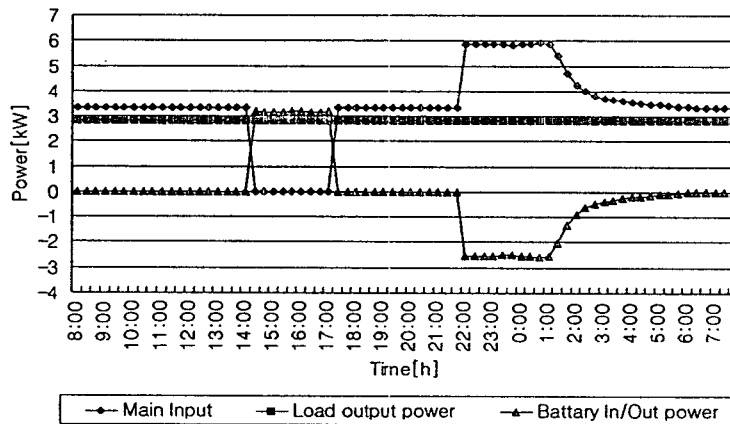
운전 방식	충전 운전							정상 운전							방전 운전	정상 운전							충전 운전	
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	시 각																							
	00 ~ 08 시 (8시간, 600분) : 충전운전/부하운전/UPS운전																							
	08 ~ 14 시 (6시간, 360분) : 정상부하운전/UPS운전																							
	14 ~ 17 시 (3시간, 180분) : 방전운전																							
	17 ~ 22 시 (5시간, 300분) : 정상부하운전/UPS운전																							
	22 ~ 24 시 (2시간, 120분) : 충전운전/부하운전/UPS운전																							

[그림 2] 일 운전 계획

그림에서 보듯 심야 충전운전 시간대는 한전의 심야시간대와 동일한 22시부터 익일 08시까지로 하였으며, 첨두부하 방전운전 시간대는 계절과 요일 등에 따라 변화하나 일반적으로 하절기 에어컨 부하에 의해 첨두부하가 발생하는 14시부터 17시까지로 가정하였다. 그리고 그 이외의 시간대는 정상부하 운전으로 이때는 축전지로의 충방전에너지 없이 계통전력만으로 복합부하관리장치가 운전된다. 이상의 모든 경우 입력계통의 순간정전 또는 이상 발생시 즉각 무정전 전원공급장치로써 운전되어 전력부하관리와 무정전 전원공급기능을 복합하게 된다.

4.1. 입출력 및 충전전력 특성

[그림 2]의 부하곡선과 운전방식에 따른 복합 부하관리시스템의 에너지 흐름은 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 복합부하관리시스템의 전력 흐름

그림에서 보듯 8시부터 14까지는 계통의 입력전력이 정류기와 인버터를 통해 직접부하에 공급되며, 축전지의 입출력 전력은 없다. 14시부터 17시까지 3시간 동안은 주간 첨두부하 시간대로써 계통전력의 공급은 없이 축전지에서 공급되는 전력으로 모든 부하를 감당한다. 또한 22시부터 익일 8시까지는 충전운전 방식으로 부하는 변화함이 없고 계통 입력전력은

부하전력과 축전지 전력의 합이 됨을 알 수 있다. 이때 축전지 전력이 양인 경우 방전, 음인 경우 충전울 의미한다.

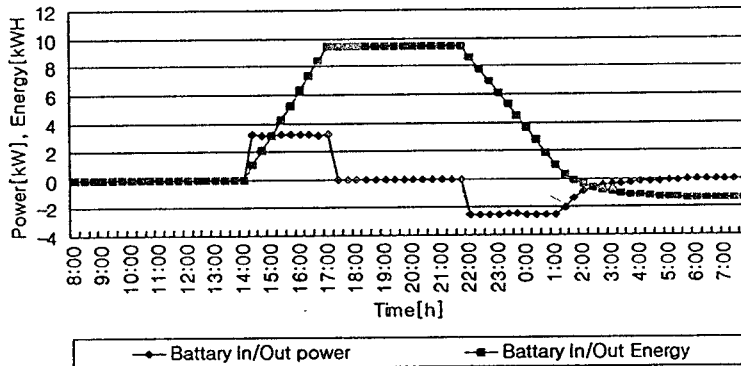
4.2. 정류기 및 인버터 특성

정류기는 [그림 3]에서 보듯 정상운전시 3kW부하에서 효율은 93%이다. 또한 방전운전시는 정류기는 동작을 하지 않으며, 충전 운전시는 정류기가 부하전력과 충전전력을 동시에 감당하여 축전지의 충전상태에 따라 정류기 전력이 변화하게 된다.

인버터는 [그림 3]에서 보듯 정상운전시 3kW부하에서 효율은 91%이다. 또한 방전운전시는 정류기 출력전력을 이용하는 정상운전 보다 인버터 효율이 약 1~2%정도 높는데 이는 정류기는 전압파형이 왜울을 갖는 직류인 반면, 축전지 전압은 왜울이 없는 직류전원으로써 이에 따른 손실 감소로 평가된다.

4.3. 축전지의 충방전 특성

[그림 2]의 부하곡선으로 운전된 축전지의 충방전 특성은 [그림 4]와 같다. 그림에서 보듯 축전지가 재충전되는 소요되는 시간은 약 6~7시간이며, 충전 초기에는 과도한 충전전류를 막기 위해 정전류로 충전을 하다가 일정전압 이상 충전시 목표전압과의 전압차에 의해 충전전류가 제어되는 것을 볼 수 있다.

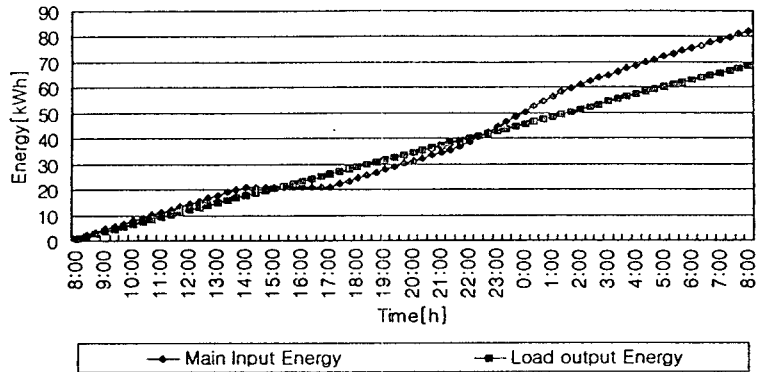


[그림 4] 축전지 입출력 전력과 충방전에너지

4.4. 복합부하관리장치의 에너지 특성

[그림 2]의 부하곡선과 운전방식에 따른 복합부하관리장치의 에너지 흐름은 [그림 5]와 같다.

그림에서 보듯 8시부터 14시까지는 부하에너지 축적에 따라 계통 입력 에너지는 증가하며, 축전지의 에너지 변화는 없다. 14시부터 17시까지 3시간 동안은 주간 침투부하 시간대로써 계통 입력에너지는 변화가 없고 축전지의 방전에너지가 시간에 따라 증가하게 된다. 또한 17시부터 22시까지의 정상운전 기간동안에는 계통 입력에너지만 증가하고 축전지의 에너지 변화는 없으며, 22시부터 익일 8시까지의 충전운전 방식으로 계통 에너지는 부하 에너지와 충전 에너지의 합으로 증가함을 볼 수 있다.



[그림 5] 복합부하관리장치의 에너지 흐름

4.5. 복합부하관리장치의 효율 분석

이상의 실험 결과 복합부하관리장치의 각 부위별 에너지 변환효율은 부하의 크기에 따라 크게 변화함을 알 수 있다. 본 연구에서 개발하는 복합부하관리장치는 기본적으로 무정전 전원공급기능을 필요로 하는 전력시스템에 축전지용량의 증대와 적절한 제어장치의 구성으로 전력부하관리기능을 부가한 복합부하관리 시스템으로써, 일반적으로 부하는 24시간 365일 안정된 전력을 요구하는 특정 부하를 대상으로 한다.

정류기 효율은 약 93%의 효율을 인버터도 약 91%의 효율로 운전되는 것을 알 수 있다. 또한 [그림 5]에서 총 방전전력은 9.4kWh이며, 총 충전전력은 11.2kWh이며, 최종 계통 입력에너지는 83.4 kWh, 총 부하에너지는 68.4kWh로 총 입력에너지에 대한 출력에너지효율은 약 84% 이었다.

5. 결론

전력부하관리시스템 개발 및 응용기술 연구의 결과로써 소용량 축전방식의 무정전 전원공급 겸용 복합 부하관리시스템은 응용 대상이 적합할 경우 경제성과 보급 가능성이 매우 큰 것으로 판단되었으며, 이에 따라 본 기술의 증대용량의 확대 연구 및 상용화기술 개발과 확대 보급을 위한 제도적 지원대책을 수립할 경우 첨단부하의 억제, 전력설비의 효율적 이용, 양질의 안정된 전력공급 등 국가 전력 수요관리에 크게 이바지하리라 생각된다.

참고문헌

- [1] U.S.DOE, "Program Plan for R&D of Load Management on the Electric Power System". 1978
- [2] 김진성, "전력부하관리", 제4회 에너지절약기술 워크샵 논문집, 1989
- [3] 성재서, 김영남, "전지이용 에너지저장시스템 개발" 한국에너지기술연구소 보고서, 1992.
- [4] 김문덕, "전력 수요관리 정책", 제8회 에너지절약기술 워크샵 논문집, 1993.
- [5] 한국전력공사, "장기 전력수급 계획", 1993
- [6] 에너지경제연구원, "에너지통계월보", 제11권 1호, 1995. 1.
- [8] 고 요, "온실가스 저감을 위한 전기에너지 절약기술", 일우당
- [9] 1999년 수요관리 기술 워크샵, 한국전력공사 전력연구원