

# 축전식 심야전력기기의 개발에 관한 연구

김호용      김재연      노대석      김용상\*  
한국전기연구소

Study on the Development of Battery Energy Storage  
Device Using Mid night Power

Hoyong Kim      Jaeon Kim      Daeseok Rho      Eungsang Kim  
Korea Electrotechnology Research Institute

## ABSTRACT

With the diversity of life patterns and the improvement of level in life which have been resulted from the economic development, people have showed the tendency to pursue the comfortable life as well as the home automation or intelligent house. Furthermore, the clean energy supply and management system have been introduced for the solution of environmental problem on earth and the effective utilization of energy.

This study is to describe the battery energy storage device, which is one of the clean energy supply and management systems that are economically efficient in both sides of supply and demand, and able to solve the problem of energy crisis.

### 1. 서론

계속되는 에너지 위기, 환경문제, 제한송전의 위기, 전원 입지 확보의 어려움, 자원의 빈곤 등의 악재들 안고 정보화 사회로 서서히 접어들고 있는 상황에서 환경적으로 청정하고, 질적 및 양적으로 안정한 에너지의 요구는 더욱 강하게 대두되리라 예상된다.

이와 같은 위기상황은 이제 정부와 한전에만 의존하는 공급일변도의 사고방식에서 탈피하여 온 국민이 함께 해결해 나가는 공동해결책이라는 관점에서 크린에너지 공급관리시스템의 적용도입을 적극 장려할 필요가 있으며 단기적으로는 심야전력을 최대한 이용하는 LOAD SHIFTING TYPE 즉, 축열(냉)식 또는 축전식 심야전력기 등이, 장기적으로는 LOAD SHIFTING과 PEAK CLIPPING TYPE의 크린에너지 공급관리시스템과 같은 형태의 도입적용 방향이 바뀔 것임으로 생각된다.

한편 전기를 심야시간 (현재 한전에서 적용하고 있는 심야전력 요금제도의 심야시간은 22:00~익일 08:00까지임)에만 공급받아 심야시간 이외의 시간에 사용하는 심야 전력기로서는 표 1과 같은 것들이 있다. 이 표에서 보는 바와 같이 축열식과 축냉식 심야전력기기는 현재 적용되고 있는 기기들이 많이 있지만, 축전식 심야전력기로서는 아직 없다. 축전식 심야전력기로서 고려될 수 있는 것은 여러가지가 있겠지만, 비교적 가장 가까운 시기에 실용화 가능성이 높은 것으로서는 2차전지에 의한 축전식 심야전력기기가 아닌가 생각된다. [1]

따라서 본 연구에서는 크린에너지 공급관리시스템중에서 단기적 측면에서 도입적용이 유리한 2차전지에 의한 축전식 심야전력기기에 대하여 적용 검토하는 것으로 한다.

### 2. 축전식전원공급장치의 개념

축전식 전원공급장치란 축전식 심야전력기기의 일종으로서 수용가측에 설치하여 심야시간에 전기저장기능을 수행하게 함으로써 전력공급측에는 부하평준화의 이점, 수용가측에는 고품질의 안정하고 값싼 전기공급에 의한 경제성과 편리성을 제공해 주는 장치이다. [1, 2, 3, 4]

표 1. 심야전력기기의 분류 및 특성

분 류	용 도	현재적용되고있는 기기	비 고
1. 축열식	난 방 용	축열식 전기보일러, 축열식온풍기, 축열식전기온돌, 겸구들	하계피크시 영향무관 심야부하 창출
	은 수 용	축열식전기온수기, 축열식전기 차暧이기	
2. 축냉식	냉 방 용	빙 또는 수(水)에 의한 냉난방 공조시스템 (水 또는 水 축냉(열) 조 + 히트펌프)	하계피크시 Peak Clipping효과 Load Shifting 효과
3. 축전식	?	(본연구에서 개발된 축전식 전원공급장치)	상신발전 및 신전기 이용에의 응용 가능성 높다고 품질전원 확보가능

이 장치는 「2차전지 + 변환장치 + 제어장치」로 구성되어 있으며, 이점으로는

- 소비자측이 저렴한 심야전력을 적극적으로 사용 → 전기요금절감
- 2000년대를 향한 새로운 미래에 대하여 무정전전원, 코드가 없는 가전제품, 전기자동차 등의 현재로서는 상상할 수 없는 신전기용을 위한 전원으로 소비자측에 여러가지 편리성을 제공할 수 있음.
- 전력회사측으로는 심야전력수요의 증가와 주간전력수요 저감의 부하평준화 효과등이 고려될 수 있으며, 대상시스템으로서는
- 업무용 부하에 대한 피크컷트용 시스템
- 가정용 시스템
- 인버터의 에어컨 시스템
- 미래 전전화주택 (HA, IH)의 에너지관리 시스템
- 전기자동차의 용용시스템 (충전소의 공급시스템, 자동차내의 전원공급 장치) 등이다.

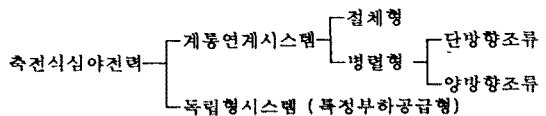


그림 1 축전식 전원공급장치의 분류

기본구성은 그림 1과 같으며 주로 충전용 정류기, 방전용 인버터, 그리고 축전지로 구성된다. 구성방법에는 첫째, 주간에 배전선과 연계된 형태인 상시연계방식 둘째, 상시연계 시켜두지 않은 단독공급방식의 두가지 방식이 고려될 수 있다.

기존의 무정전 전원공급장치 (CVCF & UPS)와 비슷한 구성이지만, 기존의 무정전 전원공급장치가 무정전 전원공급만을 위해서 거의 항상 만충전상태를 유지하기 때문에 전력손실이 많은 반면에 축전식 전원공급장치는 많은 충방전을 수행한다는 점, 전지용량이 크다는 점, 방전이 부하중용전 또는 정출력으로 전지의 잔여용량이 상시 변화하기 때문에 이에 적합한 충방전방식 및 배전선과의 순시고속전환이 필요하다는 점 등이 다르다.

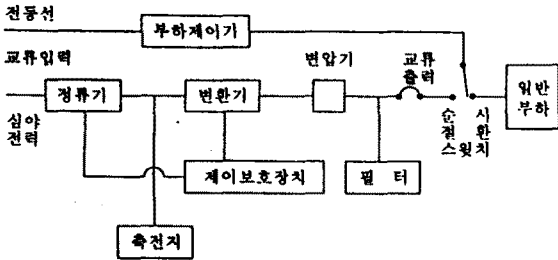


그림 2 점체형 축전식 전원공급장치

그림 2에서 AVR 기능부가, 정류기/인버터 일체화식 변환장치용, 부하관리(제어) 기능부가등의 용용으로 고효율/고기능의 고급형으로 발전시킬 수 있다. 특히 부하관리(제어)기능을 부여하게 되면 수용가(빌딩, 사무실, 가정등)의 에너지(전기, 사용 합리화에 기여할 수 있어 경제적인 시스템 설계가 이루어질 수 있다. 축전식 전원공급장치의 잇점을 공급측과 수요측으로 나누어 상세히 분석하면 다음과 같다.

2.1. 공급측 잇점

공급측의 잇점으로서 부하를 개선, 전력생산원가절감, 환경문제기여로 크게 3가지로 볼 수 있다. 전력수요는 주야간에 따라 큰 차이가 있어, 발전기의 일일기동정지운전에 비효율적인 악영향을 미친다. 특히 요즘과 같이 전력공급에 비율이 낮은 하계피크때 오피스의 하이테크화 및 가정의 냉난방기 보급에 의해 주야간 격차 문제는 더욱 심각화 되어가고 있다.

1991년 우리나라의 공급능력은 20,509MW(공급에비율 4.5%)로서, 이 능력은 수요의 피크시에 대응할 수 있는 규모이지만, 평균적으로는 약 50~60% 정도에 가까운 설비가 일간 또는 주간 기동정지 운전되고 있는 셈이다. 이 때문에 주야간의 전력수요의 평균화가 가능하면 발전 및 전력유통설비 가 일점의 가동률로서 운용이 가능하므로 발전비용 또는 전력생산원가가 절감될 수 있다. 일 예로서 10Kwh급의 축전식 전원공급장치가 200만호에 보급된다고 가정하면 야간(22:00~08:00)은 2000천만Kwh/8시간 즉, 250만Kw의 수요증가로, 평균 수요 24,609MW(2001년기준)년부하율 0.65, 년최대부하 37,860MW, 일간최대최소비 0.6)의 2001년을 기준으로 하면 년부하율 약 4.6%, 일간최대최소비 약 10%로 개선된다. 즉, 피크용 전원의 설비투자비용을 450,000원/Kw('90년 전연계획상 양수기준)로 가정하면 약 1조원의 절약이 가능하다.

또한 급부 발전설비중 원자력이 차지하는 비중이 증대되는 방향으로 고려되고 있어 원자력에 의해 야간에 발전된 값싼 전력을 축전식 전원공급장치에 저장하여 이를 주간에 사용하게 되면 화석연료에 의한 발전량을 억제하는 것이 가능하므로 지구온난화의 원인중의 하나로 주목시되는 이산화탄소 등의 발생이 저감되어 환경문제에 대해서도 공헌이 예상된다.

2.2 수요측 잇점

수요측에는 다기능의 축전식 전원공급장치에 의해

- 고품질이며
- 안정하고
- 저렴한

전기공급에 의해 경제적 및 편리하고 쾌적한 에너지로서의 전기 이용이 가능하다. 이를 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 심야의 값싼 전력요금시간대의 전기를 저장하여 주간(08:00~22:00)에 사용하는 것이 가능하므로 주야간의 요금격차 및 계약전력의 삭감에 의한 경제적 이득이 있다. 또한 심야전력이용기기에 대해 표 2와 같은 금융지원도 있어 상당히 유리하다. (전기공사비 일정액은 한전에서 지원함)

표 2 심야전력이용기기의 설치 금융지원

대 상	이 율	상환기간	용자한도	취 급 은 행
축 전 식		3년거치		
심야기기	연10%	5년분할	200 만원	산업, 기업, 국민, 농협, 축협, 외환, 장기신용, 주택, 시중은행, 지방은행
설치고액		상 환		

(주) 1. 내의선 전기공사비 한전 특별부담

- 육내비선 공사비 : 개별(100Kw미만)...전역한전부담 집단(10호이상)...용량별전액보조
- 외선공사비, 전력망계, 타임스위치 가액 한전부담

3. 주요관련 기술분석

축전식 전원공급장치에 요구되는 전지의 요구사항은 고효율, 상온동작, 콤팩트(소형경량), 저가격, 장수명, 안전성, 저보수 등이며, 이들을 모두 만족시키기는 어려우며 축전식

표 3 축전식 전원공급장치의 제작사항

항 목	전기적 특성 및 입출력 조건
입 력	1상 정격전압및변동범위 정 격 이 력 주파수 1상 AC 220V±10%(198V-242V) 60Hz
인	1. 정격출력용량 2. 정격출력전압 3. 정격출력전류 4. 출력전압안정도 5. 파 형 왜 율 6. 주파수 안정도 7. 과 부 하 내 당 1상 2.5Kw 4Kwh AC 220V (단상 2선) AC 11.6A (2.5Kw/220V±2%/역률1.0) DC 17.0A(2.5Kw/ηinv0.8/183.6V) ±2% 이내(정격출력, 정격부하시) 5% 이내(정격출력, 정격부하시) 60Hz±0.5% 정격출력의 150%에서 10초간, 120%에서 1분간
터	8. 부 하 역 륜 9. 용 답 속 도 10. 과도전압변동 0.8 이상 20ms 이내 (정격부하시) 8%이내(정격입출력시 부하률 0-100% 급변시)
출	11. 운전/절체방식 12. 총 합 효 율 13. 소 음 14. 정격주력주파수 15. 방전중지 전압트립 비동기방식, 연계개폐자동절체(1초이내), 바이패스스윗치有 80%(AC→DC:90%, DC→AC:90%): 정격 입출력/정격부하 1.5M전후방에서 측정시 50폰 이하 60Hz DC180 - 207V조정/선택이 가능
충 전 기 입 력	1. 정전압충전기능 2. 정전류충전기능 DC 220 -300V가변조정/선택가능 DC 0-12A 가변조정/선택가능
축 전 지	1. 종 류 2. 용 량 3. 수 명 무보수 밀폐형 ES40-12 40AH 12V 18개
계 기 류	1.AC VM X 2EA 2.AC AM X 2EA 3.DC VM X 1EA 4.DC AM X1EA 5.DC AH METER X 1 0-300V (입력, 출력) 0-30A (입력, 출력) 0-300V (입출력검용) 0-30A (입출력검용) 0-999AH(충방전검용)
도 장	1. 외 부 2. 내 부 MUNSELL NO : 2.5Y 8.5/1 MUNSELL NO : 2.5Y 8.5/1

전원공급장치용 인버터의 기능으로서는

- 충전 (심야전력 시간대 22:00~익일 08:00)
- 방전 (피크기간 또는 심야전력기간 이외)
- 일반부하 또는 특정부하에 공급
- 전력계통과의 동기운전 및 절제
- 부하추종, 정출력, 및 프로그램 제어등이 필요하다.[5.6]

특히 충전 및 방전의 경우 2차전지의 수명 및 부하평준화 효과, 피크컷트효과등을 고려해서 적절한 정전류, 정전압, 정전력, 정전류+정전압등의 충방전방식을 선정하여 운전하여야 한다. 한편, 전력변환장치로서 컨버터기능과 인버터기능이 분리된 방식과 일체화된 방식의 2가지를 생각할 수 있는데 축전식 전원공급장치용 인버터는 하부중 충방전이 동시에 중복되는 일이 없기 때문에 장치의 간소화 및 장래의 코스트다운 측면에서 후자의 방식이 유리하다고 볼 수 있다. 또한 1989년 전국 2500가구를 대상으로 한 한국전력의 조사보고에 의하면 우리나라 전체에 대한 가전제품의 종류가 약 65종류, 총 1억 6천 1백 55만대에 이르고 있으며 가구당 월간소비전력량이 서울이 243Kwh/월, 전국적인 평균소비전력량이 185Kwh/월로 나타나 있다. 이를 기존의 주택용부하의 전력소비 일부하폐면으로 나타내본 결과 1일 평균전력사용량은 서울이 8.1Kwh, 전국 평균전력사용량이 6.19Kwh 이었다. 또한 1987.1월 아파트 부하특성 연구자료를 보면 약 8만 수용가(전국 151개)에 대하여 150Kwh 미만이 12%, 150~200Kwh 가 52%, 300Kwh 이상이 36% 정도에 달하는 것으로 보고되었다. 이러한 내용들을 토대로 한 축전식전원장치의 사양은 표 3과 같다.

4. 경제성 평가

축전식 전원공급장치에 대한 경제성 검토는 가정용과 업무용에 한하여 분석할 수 있는데 특히 가정용의 경우는 심야 전력요금과 일반요금과의 차액, 업무용의 경우는 계약전력의 절감과 심야/일반요금과의 차액이 경제적 이득으로 산출되는 데, 여기에 각각의 수명을 고려하여 이 기간동안에 생기는 이득을 누적 및 현재가치 환산함으로써 용도별 축전식 전원공급장치의 경제성 목표(Break-even Point)를 산출할 수 있다.[7] 본 연구에서는 제 3항의 기술분석을 토대로 한 가정용의 경우에 대해서 나타내고자 한다.

4.1. 가정용의 경우

가정용의 경우 경제성 검토를 위한 전제조건으로서는 표 4와 같다. 먼저 매일 200Kwh의 전력량을 사용하는 수용가의 경우, 축전식 전원 공급장치에 의해 월간전력사용량의 α%를 감당하게 한다면 이 장치의

$$\text{월간방전전력량 } D_{wh} = 200\text{Kwh} \times \frac{\alpha}{100}$$

$$\text{월간충전전력량 } C_{wh} = 200\text{Kwh} \times \frac{\alpha}{100} \div 0.7$$

(여기서 0.7은 축전식 전원공급장치의 월간 종합효율)으로되며, 이때에 기존 시행되고 있는 요금제도인 표 5에 의거하여 지불되어야 할 전기요금  $W_a$ 는

표 4 가정용 축전식 전원공급장치의 경제성 평가에 대한 전제조건

항 목	개 략 적 인 전 제 조 건
대 상 용 량	200Kwh~300Kwh/월 5.32/7.5, 8/11.43, 11.9/17Kwh(25일운전/월, 월간전력사용량의 66, 100% 부담)
최대출력	2~3Kw
입 출 력 효 율	단상 110V 또는 220V 60Hz 70% 이상
운전방식	부하추종 또는 정출력
운전패턴	충전기간(22:00~08:00) 방전기간(09:00~18:00) 월~토 운전, 휴일정지
수 명 기 타	1500~2500Cycles (약 10년 정도) 모듈단위의 전지교체, 무보수, 밀폐형, 무인자동운전

(주) 5.32/7.6, 8/11.43, 11.9/17Kwh에서 /앞의 숫자는 방전 용량 /뒤의 숫자는 충전용량임.

표 5 주택용 전력요금 (1991.6.1)

기 본 요 금	전 력 량 요 금	
100Kwh이하 사용시 호당 338원	사용전력량에 대하여 - 처음 50Kwh까지	Kwh당 30.70원
101~200Kwh 사용시 호당 676원	다음 50Kwh까지	Kwh당 68.50원
	다음100Kwh까지	Kwh당102.90원
200Kwh초과 사용시 호당 1,014원	다음100Kwh까지	Kwh 당148.80원
	300Kwh초과	Kwh 당215.00원

(심야전력요금은 21.5원/Kwh)

α=0%일때  
 $W_0 = 676+50 \times 30.7+50 \times 68.5+100 \times 102.9 = 15,926\text{원}$   
 α=30%일때  
 일반전기요금  $W_1 = 676+50 \times 30.7+50 \times 68.5+40 \times 102.9 = 9,752\text{원}$   
 심야전기요금  $W_2 = 85.7 \times 21.5\text{원} = 1,842.55\text{원}$   
 $W_{30} = W_1 + W_2 = 11,594.55$   
 α=40%일때  
 $W_1 = 676+50 \times 30.7+50 \times 68.5+20 \times 102.9 = 7,694\text{원}$   
 $W_2 = 114.3 \times 21.5 = 2,457.45\text{원}$   
 $W_{40} = W_1 + W_2 = 10,151.45\text{원}$   
 α=50%일때  
 $W_1 = 338+50 \times 30.7+50 \times 68.5 = 5,298\text{원}$   
 $W_2 = 142.9 \times 21.5 = 3,072.5\text{원}$   
 $W_{50} = 8,370.5\text{원}$   
 α=60%일때  
 $W_1 = 338+50 \times 30.7+30 \times 68.5 = 3,928\text{원}$   
 $W_2 = 171.4 \times 21.5 = 3,685\text{원}$   
 $W_{60} = 7,613.1\text{원}$

와 같이 산출된다. 여기서 α=0 즉, 축전식 전원공급장치를 전혀 쓰지 않는 수용가의 지불전기요금에 대한 α=30, 40, 50, 60%의 수용가에게 주어지는 연간 경제적 이득은 다음과 같다.  
 α= 30인 수용가의 경우  $(W_{30} - W_0) \times 12\text{월} = 51,976.8$   
 α= 40인 수용가의 경우  $(W_{40} - W_0) \times 12\text{월} = 69,294$   
 α= 50인 수용가의 경우  $(W_{50} - W_0) \times 12\text{월} = 90,666$   
 α= 60인 수용가의 경우  $(W_{60} - W_0) \times 12\text{월} = 99,754.8$   
 축전식 전원공급장치의 수명을 3~10년으로 할 경우 이 기간 동안에 누적된 경제적 이득을 현재가치로 환산하면 표 5와 같다. 여기서 α=30, 40, 50, 60, 70인 수용가의 축전식 전원공급장치의 방전용량/충전용량은 월간 25일 운전한다고 가정하면 각각 2.4Kwh/3.4Kwh, 3.2Kwh/4.5Kwh, 4Kwh/5.7Kwh, 4.8Kwh/6.86Kwh, 5.6Kwh/8Kwh 이하야 한다.

현재 적용되고 있는 심야전력 적용시간은 22:00~익일 08:00까지로 약 10시간 정도이므로 이를 제외한 09:00~21:00 시간의 전력사용량을 산출하면 4.75Kwh, 이 14시간중에서 하계피크기간인 08:00~18:00만을 고려하면 3.37Kwh인 점을 감안한다면 가정용 축전식 전원공급장치의 출력용량은 3.37~4.75Kwh(충전용량은 4.8~6.8Kwh)의 범위가 적절하다. 여기에 그 내구년수(수명)를 약 7년~8년(전지의 경우 충방전 싸이클로 환산하면 년 250일 운전하에 1750~2000Cycles정도)으로 하면 월평균 전력사용량 200Kwh인 수용가의 경우 33만원~51만원정도, 300Kwh인 수용가의 경우 63만원~84만원 정도가 현실적인 경제성 목표가 된다.

5. 결론

수요측에서의 새로운 전기이용기술이며 부하평준화 기술의 하나로서, 무보수 밀폐형 연전지 및 저소음 고효율 인버터에 의해 구성된 축전식 전원 공급장치에 대한 경제성 평가, 기본특성, 그리고 기존 UPS 방식을 최대한 살린 PROTO-TYPE을 설계 및 제작하였다. 이 시스템은 가정용을 그 주대상으로 삼았으며, 기존 UPS와 다른점은 다수의 반복되는 충방전 운전, 전지용량이 크다는 점, 그리고 방전은 부하추종으로 상시 전지의 잔존용량이 변화한다는 점등이며 수용가 부하종류 및 상태, 경제성, 수명등을 고려한 최적운전과 설계등이 해결해야 할 과제이다. 추후연구과제로는 시험운전평가를 통하여

최적운전 및 설계 방안을 제시할 예정이며, 특히 실용화 보급을 위하여 반드시 이루어져야 하는 Cost down(약 60~80만원, 수명 7~8년)이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 한국전기연구소, 과거치 특정연구보고서, 「전지전력저장 시스템 및 시뮬레이터 개발 I, II」, 1988 - 1990
- [2] 한국전기연구소, 한전수탁연구보고서, 「전력저장전지시스템 개발」, 1991.6
- [3] 한국전기연구소, 한전수탁 연구보고서, 「향후 대전력 수송을 위한 장기 계통구성 대책에 관한 연구」, 1990.6
- [4] 제5회 동자연주최 에너지절약 워크샵, 「크린 에너지 공급 관리시스템의 기술 개발전망」, 1990.11
- [5] 일본 전중연 보고서, 「축전지에 의한 LOAD CONDITIONER 기본설계」, 1987.8
- [6] 일본 전중연 보고서, 「연전지 LOAD CONDITIONER의 운전」, 1989.5
- [7] 한국전기연구소, 대체에너지 개발사업 보고서, 「대체에너지 전원의 계통연계실용화 기술 개발」, 1990.12