

PV 시스템 적용을 위한 슈퍼 커패시터 기초 특성 고찰

유권종*, 정영석*, 정명웅*, 박용성**, 최재호**, 최주엽***

*한국에너지기술연구원, **충북대학교, ***광운대학교

A Basic Study of Energy Storage Super Capacitor for PV System

Gwon-Jong Yu*, Young-Seok Jung*, Myung-Woong Jung*, Yong-Sung Park**,
Jaeho Choi**, and Ju-Yeop Choi***

*Korea Institute of Energy Research, **Chungbuk National Univ, ***Kwangwoon Univ.

ABSTRACT

Super Capacitors are now commercially available. To design an energy storage system with these devices it has to be understood that the device cannot be described by a single fixed capacitance. Furthermore, an internal charge redistribution process makes it difficult to predict the terminal voltage accurately. As a result, the device should be operated as a charge storage device and not as a voltage source. This paper deals with Energy Storage System with Super Capacitor for PV System. Discussed in this paper are, explains the basic characteristics of Super Capacitor which is compared with the Second Batteries.

1. 서 론

태양광 발전 시스템에서 에너지 저장 시스템에 의한 충전이 필수적이고, 야간 심야 전력의 사용 측면에서도 에너지 저장 시스템은 많은 이득을 가져온다. 현재까지의 태양광 발전 시스템은 2차전지인 납 축전지를 이용한 에너지 저장 시스템을 사용하였으나 2차 전지의 짧은 수명을 해결하거나 보완하기 위하여 2차 전지에 비해 수명이 무한대에 가깝고 정전용량이 매우 큰 슈퍼 커패시터의 기초 특성을 본 논문에서 고찰하였다.

2. 슈퍼 커패시터의 특성 및 2차 전지와 비교

전기 이중층 커패시터는 활성탄과 전기분해액의 계면에 발생하는 전기 이중층을 동작 원리를 이용한 커패시터이다. 활성탄이 전극으로 사용되며, 고체로서 활성탄, 액체로서 전기 분해액을 이용해, 그것들을 접촉시켜 그 계면에 플러스, 마이너스의 전극이 매우 짧은 거리를 두고 분포한다. 이와 같은 현상을 전기적 이중층 이라 한

다. 외부에서 전계를 인가하면 전기 분해액 중에서 활성탄의 표면의 근방에 형성하는 이 전기 이중층을 원리를 이용하고 있는 것이다. 슈퍼 커패시터는, 종래의 커패시터에 사용되고 있는 고유 물질인 유전체는 없고, 또한 전지와 같이 충방전에 화학반응을 이용하지도 않는다. 그 특징은 표면적이 큰 활성탄을 사용하고 유전체의 거리를 짧게 하여 소형으로 패라드(F) 단위의 매우 큰 정전 용량을 얻을 수 있으며, 과충전, 과방전을 해도 전지와 같이 수명에 영향을 주는 일이 없고 환경성이 뛰어난 청정 에너지원이다^[2]. 전자 부품으로서 땀납으로 붙일 수 있으므로 2차 전지와 같이 단락이나 접속 불안정이 일어나지 않는다. 종래의 전기 화학 반응을 이용한 2차 전지에 의한 방법에 비해, 슈퍼 커패시터는 축전은 전하 자체를 물리적으로 축전하는 방법으로 충방전 시간의 조절 가능, 긴 수명, 높은 에너지 밀도 등을 얻을 수 있다^[3].

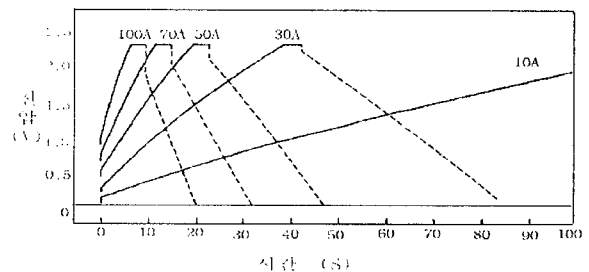


그림 1 2.3V, 470F 슈퍼 커패시터 충방전 특성

기존의 2차 전지는 표 1에서 보는 바와 같이 대용량의 에너지를 짧은 시간에 충전할 수 없으며, 충전 알고리즘에 의하여 전류원 충전에서 전압원 충전으로 제어를 해주어야 한다. 또한 에너지의 방전에서도 20%의 얇은 방전을 해야 수명이 오래가고 80%의 깊은 방전은 그 수명을 짧게 만든다. 따라서 충전된 에너지의 100%를 쓸 수 없다는 에너지 사용 효율의 단점과 그 수명 싸이클이 짧고 장시간 사용을 위해 항상 관리해야 하며 공해물질 배출

표 1 2차 전지와 슈퍼 커패시터의 비교

비교 항목	납	니켈카드뮴	슈퍼커패시터
출력밀도 (W/Kg)	100 ~ 130	100 ~ 160	10 ~ 300
에너지밀도 (Wh/Kg)	40 ~ 45	45 ~ 53 메모리 효과	2 ~ 4 [15 ~ 40]
방전심도(%)	50 ~ 70	80 ~ 100	94 ~ 100
사이클 수명	300 ~ 1000	300 ~ 500	10000 ~
충전효율	~ 0.82	~ 0.72	0.95
잔량계측	곤란 (~ 30%)	곤란 (~ 25%)	용이 (~ 10%)
충전시간	5 ~ 10hr	15min ~ 8hr	3 ~ 30min
밀폐화	대형은 곤란	밀폐화 가능	완전 밀폐
제조단가	비교적 엷가	재료가 고가	재료 엷가
환경성	회수로 대처	카드뮴	재료 무공해

의 문제점을 가지고 있다.

현재 납 축전지의 에너지 밀도는 40 Wh/kg 이고 슈퍼 커패시터는 약 6 Wh/kg 으로 2차 전지에 비해 상당히 낮은 밀도를 가지고 있으나,^[2] 어느 정도의 내부 저항 증가를 이용해 정전 용량 밀도를 향상시키고 내 전압을 향상시키는 방법과 슈퍼 커패시터의 고효율 동작을 위해 병렬 모니터를 설치하여 슈퍼 커패시터 당 최대 부담 전압을 균등화시키는 방법과 충전과 방전을 하는 컨버터의 효율을 극대화 하므로써 극복할 수 있다.

3. 슈퍼 커패시터의 구성 및 부가회로

커패시터는 2차 전지에 비해 무한한 사이클 수명을 가지고 있는데 반해 에너지 밀도가 낮고 직렬 연결시 각 커패시터의 정전 용량이 틀릴 수 있고 커패시터마다 다른 온도, 다른 누설 전류, 저항 손실 등으로 충전시에 전압 불균형을 가져오므로^[2], 슈퍼 커패시터는 병렬 모니터와 전류 펌프라는 특수한 전자회로를 첨가하여 전압 불균형을 해결하고 일정한 전력을 공급하는 컨버터를 사용한다. 물리적인 이유로 하나의 커패시터 당 전압이 낮기 때문에^[3], 직렬로 연결하여 전압을 높여 사용하며 용량의 문제는 병렬로 커패시터 뱅크를 설치 하므로써 해결 할 수 있다.

태양전지에서 받은 직류의 전류를 전류 제어 컨버터로

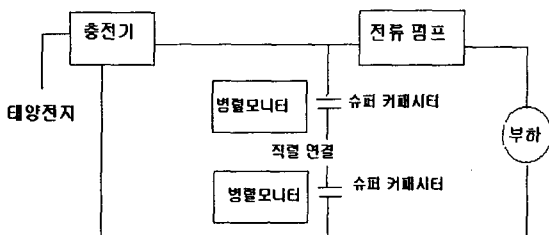


그림 2 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장 시스템

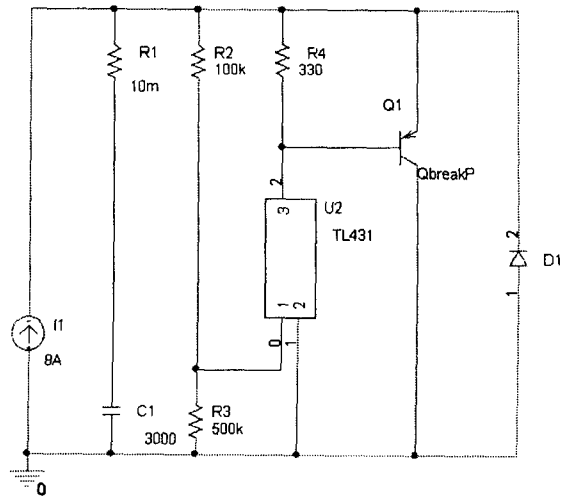


그림 3 병렬 모니터 회로도

전류원 충전을 병렬 모니터를 이용한 슈퍼 커패시터에 균등하게 충전을 하고 정전압 출력의 컨버터를 이용하여 필요한 시간에 인버터를 통하여 부하에 공급한다. 병렬 모니터라는 간단한 전자회로를 각 커패시터에 부착하여 슈퍼 커패시터 용량을 넘어서는 전압 충전 제한하고 슈퍼 커패시터 용량의 100 % 사용하는 효율적인 에너지 저장을 하며 최초 설정된 전압보다 낮아지는 것 방지한다.^[2]

태양광 발전에서 MPPT(Maximum Power Point Tracking)을 할 경우 태양 전지는 정전압원이 된다. 따라서 전압원 전원을 전류원 근원으로 컨버터를 설계하여 정전류원 충전을 할 경우 R1은 슈퍼 커패시터의 내부 저항이고 R2와 R3에 균등하게 전압이 걸린다. TL431소자는 애노드와 레퍼런스 사이의 전압이 2.5V 이하에서는 전류를 차단시키고 2.5V가 넘어서면 전류를 통과시켜 Q1의 트랜지스터에 전류가 흐르도록 한다. 따라서 슈퍼 커패시터 C1에 3V가 충전되게 하고 다이오드 D1을 이용하여 역 충전되는 것을 방지한다.

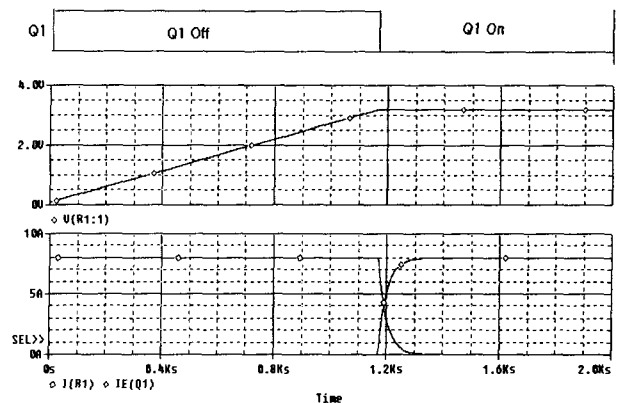


그림 4 병렬 모니터의 시뮬레이션 결과

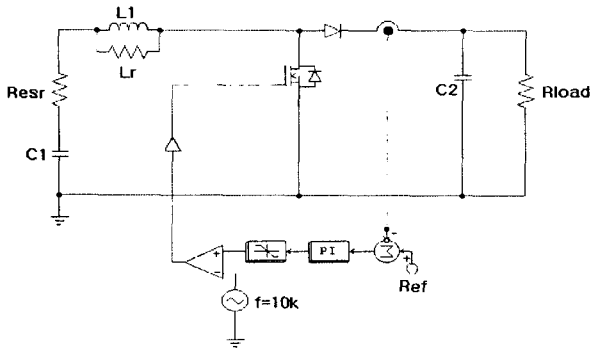


그림 5 전류펌프의 PSim 모델

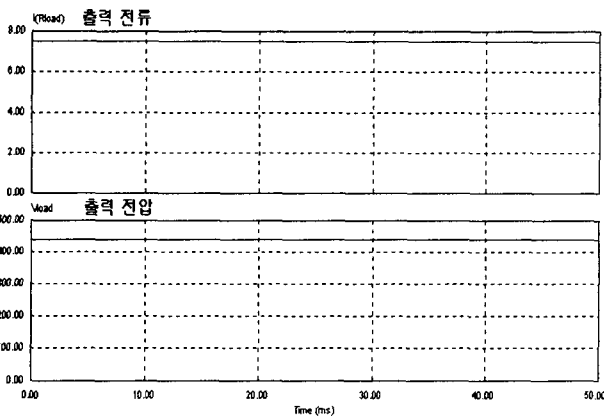


그림 6 전류 펌프 PSim 모델의 출력 전압 전류 파형

그림 4에서 보듯이 슈퍼커패시터에 3V를 충전하는데 1200s(20분)이 소요되었으며 커패시터에 흐르는 전류 I(R1)에 흐르는 전류는 트랜지스터가 도통됨에 따라서 충전을 멈추게 되고 전류는 트랜지스터를 통하여 흐르게 된다.

전류 펌프의 목적은 전원으로부터 슈퍼 커패시터를 충전할 때나 다른 슈퍼 커패시터로 충전할 때 스위칭 방식의 충전기로서 정전류 특성을 갖추어 고효율의 충전 실시하고 입력 전압의 넓은 변동 범위 내에서 종합적으로 높은 변환 효율로 일정 전압 출력을 유지하며, 슈퍼 커패시터뱅크에 저장된 전기 에너지를 안정적인 출력 전압으로 변환해 부하에 공급하는데 있다. 충전은 정전류원의 컨버터로 동작하고, 방전은 인버터에 공급하는 정전압원 출력으로 제어하게 된다. 위 그림은 슈퍼 커패시터는 정전용량 3000F, 내부저항 10mΩ을 70개 직렬로 연결하여 입력 전압 210V를 공급하며, 정 전류 제어 420V의 출력 전압을 얻는 출력 전류 펌프의 시뮬레이션이다.

4. 슈퍼커패시터 충전회로의 시뮬레이션 및 고찰

슈퍼 커패시터의 충전은 정전압원과 정전류원의 두가지 방법이 있다. 태양전지 I-V 특성곡선을 기준으로 저전압쪽은 정전류원으로 고전압쪽은 정전압원으로 이용할

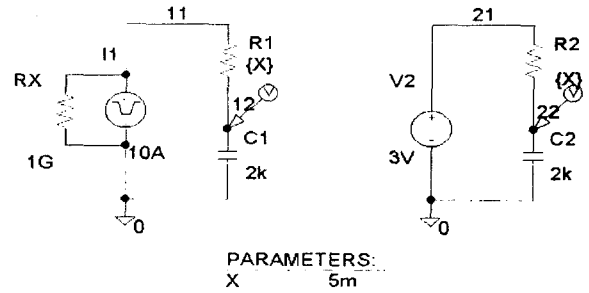


그림 7 정전류원 충전과 정전압 충전의 회로도

수 있지만, MPPT 제어를 필수적으로 하기 때문에 정전압원이 된다. 다음은 정전류 충전 특성과 정전압 충전 특성과 효율의 차이점을 보여준다. 2000F의 슈퍼 커패시터에 전압 3V의 정전압 충전과 10A의 정전류 충전을 할 경우에 아래 그림은 5mΩ과 50mΩ에서의 각각의 충전 시간을 보여준다. 정전류원일 경우 내부 저항 값에 상관없이 선형적으로 충전을 하고 정전압의 충전일 경우 저항이 높을수록 늦게 충전하는 것을 관찰할 수 있다. 위 그림 1의 슈퍼 커패시터 충전 특성 곡선을 적용하면 10A의 정전류원으로 충전한 슈퍼 커패시터는 충전시 600s 즉 10분간의 짧은 충전 특성을 2차 전지에 비해 가지며 방전 시간 역시 10분이 나온다. 여기에 에너지 충전효율을 구하면,

$$\frac{\text{슈퍼커패시터충전에너지}}{\text{충전원공급에너지}} = \frac{E_c}{E_p}$$

$$E_c = \frac{1}{2} CV^2 \text{ 이고, } E_p = VI \text{로 구한다.}$$

그림 8의 위 부분이 효율을 나타낸 부분이다. 정전압 충전의 경우 내부 저항에 상관없이 50%의 효율을 보여주고 있으며 정전류의 충전효율은 50%를 넘어서서 내

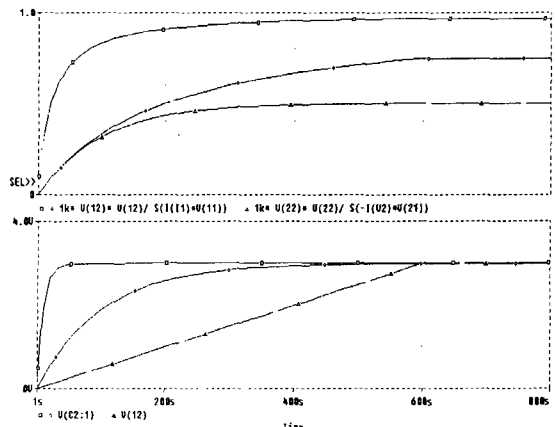


그림 8 전류원 충전과 전압원 충전 시간과 효율

- 1) 전류원과 전압원의 충전효율비교(5mΩ, 50mΩ)
- 2) 전류원가 전압원의 충전시간비교(5mΩ, 50mΩ)

참 고 문 헌

- [1] Michio OKAMURA, "A New Capacitor-Electric Power Storage", Okamura Laboratory Inc. Japan
- [2] Luis Zubieta, Richard Bonert and Francis Dawson, "Considerations in the Design of Energy Storage System Using Double-Layer Capacitors", IPEC-Tokyo 2000, Vol. 3 pp. 1551-1554.
- [3] Michio OKAMURA, "A Study of a New Physical Battery Called ECS", Technical Report of IEICE.

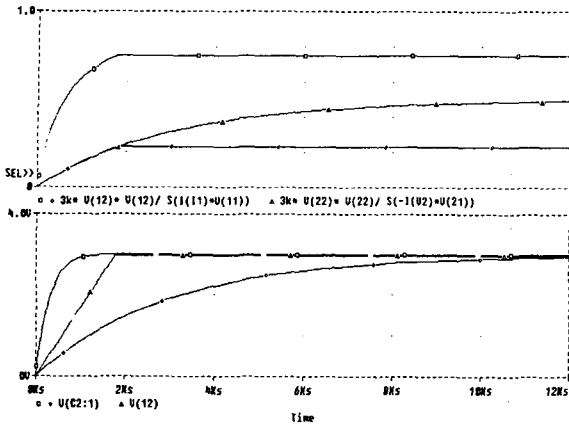


그림 9 (6000F, 50mΩ 500m) 정전류원과 정전압원의
충전시간과 효율
1) 정전류원 충전과 정전압원 충전 효율
2) 정전류원 충전과 정전압원 충전 시간

부 저항값에 따라 5mΩ에서 97%, 50mΩ에서 75%의 충전효율을 보여준다. 따라서 충전기에 정전압 충전이 아닌 정전류원 충전을 하면 더 좋은 충전 효율을 얻을 수 있다.

그림 9은 2000F의 슈퍼 커패시터를 6000F의 슈퍼 커패시터로 바꾸어서 충전한 시뮬레이션이다. 충전시간이 30분 정도로 늘어났으며 역시 저항 값에 따라서 전압원 충전은 변화를 보였다. 충전 효율 역시 2000F의 정전용량의 슈퍼 커패시터의 전류원 충전시 95%와 75%, 전압원 충전시 내부 저항 값에 상관없이 50%를 보였다.

내부 저항이 높을수록 충전시간은 길어지지만, 슈퍼 커패시터의 단점인 제한된 부피 당 에너지 밀도를 높일 수 있게 된다. 따라서, 슈퍼 커패시터는 10~15분 정도의 충전으로 단시간용 전력 피크의 보상이나 돌입전류를 공급할 수 있으며, 2시간 정도의 충전으로 장시간 전력 보상을 할 수 있음을 PSpice 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

5. 결 론

슈퍼 커패시터는 현재까지 메모리 백업용 전원으로 그 지위를 확립해 왔지만 새로운 에너지 저장 시스템에 이용함으로써 분산 전원의 크기 축소와 수용가의 피크 전력을 감소시키는 부하 평준화에 크게 기여할 것으로 생각된다.

본 연구는 태양광 발전 시스템의 에너지 저장 시스템으로 향후 2차 전지의 짧은 수명 사이클을 대체하거나 보조할 새로운 방식의 슈퍼 커패시터 에너지 저장 시스템을 제안하여 반 영구적인 수명과 큰 에너지 저장 시스템 구성의 슈퍼 커패시터의 기초 특성에 대하여 고찰하였으며 향후 실험을 통하여 슈퍼 커패시터 에너지 저장 시스템의 특성에 대한 연구가 필요하다.