PV 시스템 적용을 위한 새로운 에너지 저장 시스템 고찰

유권종*, 정영석*, 정명웅*, 박용성**, 최재호**, 최주엽***
*한국에너지기술연구원, **충북대, ***광운대

A Study of New Energy Storage System for PV System

Gwon-Jong Yu*, Young-Seok Jung*, Myung-Woong Jung*, Yong-Sung Park**, Jae-Ho Choi**, Ju-Ye
*Korea Institute of Energy Research, **Chungbuk National Univ, ***Kwangwoon Univ

Abstract - There are some problems on storage batteries which are called Secondary Battery , such as long charging time, limited cycle life, low coulomb efficiency and inaccurate residual power meter. To solve those problems, a complex system of capacitors and Super Capacitors of increased energy density. Though the capacitors alone are not capable of delivering stable output, the accompanied circuits compensate the various characteristics all through the charge-and discharge-cycle.
This paper deals with Energy Storage System with Super Capacitor for PV System. Discussed in this paper are, explains the accompanied circuits of Super Capacitor which is compared with the Second Batteries.

1. 서 론

태양광 발전 시스템에서 에너지 저장 시스템에 의한 전력 충전이 필수적이고, 야간 심야 전력의 사용 측면에서도 에너지 저장 시스템은 많은 장점이 있다. 현재까지의 태양광 발전 시스템은 2차 전지인 납 축전지를 이용한 에너지 저장 시스템을 사용하였으나, 2차 전지의 짧은 수명과, 환경오염, 잔량 계측의 어려움, 긴 충전시간, 지속적인 관리의 필요성등 많은 문제점을 가지고 있다. 이에 비해 슈퍼 커패시터는 무한 싸이클 수명, 급속 충방전, 환경 친화적인 특성을 가지고 있다. 2차 전지를 대신할 슈퍼 커패시터 에너지 저장 시스템을 제안하고 태양광 발전에 필요한 새로운 에너지 저장 시스템에 필요한 부가회로에 대하여 본 논문에서는 고찰하였다.

2. 본 론

2.1슈퍼 커패시터의 특성 및 2차 전지와 비교

슈퍼 커패시터는 활성탄과 전기분해액의 계면에 발생하는 전기 이중층을 동작 원리를 이용한 커패시터이다. 활성탄이 전극으로 사용되며, 고체로서 활성탄, 액체로서 전기분해액을 이용해, 그것들을 접촉시켜 그 계면에 플러스, 마이너스의 전극이 매우 짧은 거리를 두고 분포한다. 이와 같은 현상을 전기적 이중층이라 한다. 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 특별한 충전 회로나, 방전시의 제약이 불필요하다. 과충전, 과방전을 해도 전지와 같이 수명에 영향을 주는 일이 없고 환경성이 뛰어난 청정 에너지원이다.[2] 전자 부품으로서 땜납으로 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 단시간 충방전, 긴 수명, 높은 에너지 밀도 등을 얻을 수 있다.[3] 기존의 2차전지는 표 1에서 보는 바와 같이 대용량의 에너지를 짧은 시간에 충전할 수 없으며, 적은양의 에너지로 천천히 충전해야 한다. 또한 에너지의 방전에서도 20%의 얕은 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 배출의 문제점을 가지고 있다

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
싸이클 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 염가	재료가 고가	재료 염가
환경성	회수로 대처	카드뮴	재료 무공해

현재 납 축전지의 에너지 밀도는 $40\,Wh/kg$ 이고 슈퍼 커패시터는 $2\,Wh/kg$으로 2차 전지에 비해 상당히 낮은 밀도를 가지고 있으나 커패시터 제조와 전자회로 첨가로 $32\,Wh/kg$까지 올릴 수 있다.[2] 즉 어느 정도의 내부 저항 증가를 이용해 정전 용량 밀도를 향상시키고 내전압을 향상시키는 방법과 슈퍼 커패시터의 고효율 동작을 위해 병렬 모니터를 설치하여 슈퍼 커패시터 당 최대 부담 전압을 균등화시키는 방법이다.

2.2 새로운 에너지 저장 시스템 구조

커패시터는 2차 전지에 비해 무한한 싸이클 수명과, 급속 충방전 등이 큰 장점을 가지고 있는데 반해 에너지 밀도가 낮고 직렬 연결시 각 커패시터의 정전 용량이 틀릴 수 있고 커패시터마다 다른 온도, 다른 누설 전류 손실 등으로 충전시에 전압 불균형을 가져온다.[2] 또한 커패시터가 방전할 때는 전압과 전류가 선형적으로 감소하므로 부하에서 정전류, 정전압원으로 사용할 수 없다. 따라서 슈퍼 커패시터를 에너지 저장 시스템으로 사용하기 위해서는 이를 개선하기 위한 부가적인 회로가 포함되어야 한다. 다음의 그림 2는 슈퍼 커패시터를 이용한 새로운 에너지 저장 시스템의 구조이다. 슈퍼 커패시터는 병렬 모니터와 전류 펌프라는 전자회로를 첨가하여 병렬 모니터로 전압 불균형을 해결하고, 일정한 전력을 공급하는 컨버터로 정격으로 출력한다. 물리적인 이유로 하나의 커패시터 당

전압이 낮기 때문에, [3] 직렬로 연결하여 전압을 높여 필요한 전압을 만든다..

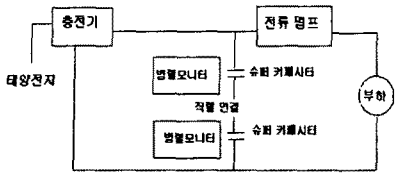

그림 1. 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장 시스템

태양전지에서 받은 직류의 전류를 병렬 모니터를 이용한 슈퍼 커패시터에 균등하게 충전을 하고, 전류 펌프를 통하여 필요한 시간에 부하에 안정된 전력을 공급한다.

2.2.1 병렬 모니터

간단한 병렬 모니터의 회로도에서 R1은 슈퍼 커패시터의 내부저항이고 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 기준전압[3V]이 충전되게 하고 다이오드 D1을 이용하여 역 충전되는 것을 방지한다

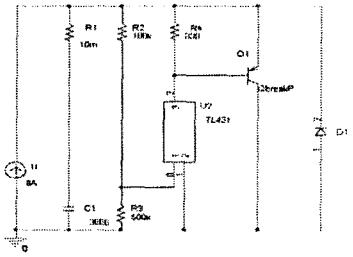

그림 2. 병렬 모니터 회로도

. 그림 3의 윗 그림은 커패시터에 충전되는 전압을 나타내고 아래 그림의 왼쪽은 슈퍼 커패시터 충전 전류, 오른쪽은 트랜지스터 도통 전류를 나타낸다. 그림 3에서 보듯이 슈퍼커패시터에 기준전압[3V]을 충전하는데 1200s(20분)이 소요되었으며 커패시터에 흐르는 전류 I(R1)에 흐르는 전류는 트랜지스터가 도통됨에 따라서 충전을 멈추게 되고 전류는 트랜지스터를 통하여 흐르게 된다.

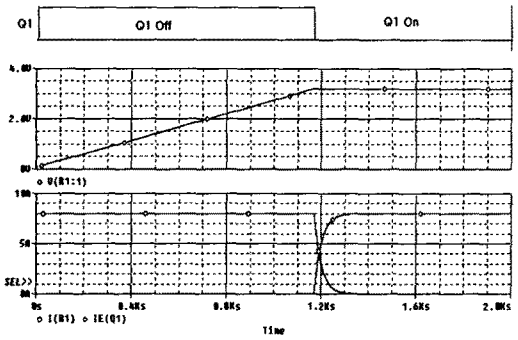

그림 3. 병렬 모니터의 시뮬레이션 결과
1) C1 충전 전압 시간 파형
2) I(C1), I(Q1) 에 흐르는 전류 파형

2.2.2 전류펌프

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 커패시터 뱅크에 저장된 전기에너지를 안정적인 출력 전압으로 변환해 부하에 공급하는데 있다 다음 그림은 전류펌프의 PSim 모델이다.

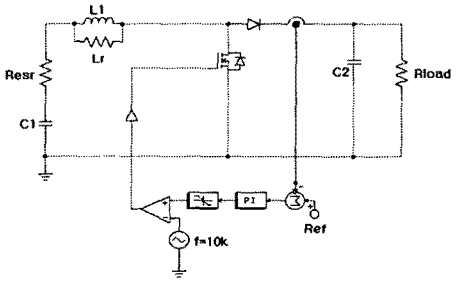

그림 4 전류펌프의 PSim 모델

정전류 공급을 위해 전류 제어를 하였으며, 입력측은 충전된 커패시터와 내부 저항으로 구성되어 있다. 승압 컨버터를 이용하여 간단한 전류 펌프를 구성하였으며, 슈퍼 커패시터는 정전용량 3000F, 내부저항 10mΩ을 70개 직렬로 연결하여 입력 전압 210V를 공급한다. 다음은 출력 전압, 전류의 출력파형이다.

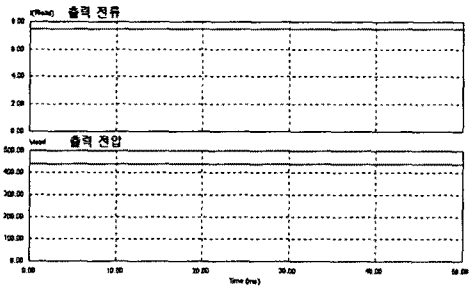

그림 5 전류 펌프 PSim 모델의 출력 전압 전류 파형

2.3 슈퍼커패시터 충전회로의 시뮬레이션

슈퍼 커패시터의 충전은 정 전압원과 정 전류원의 두 가지 방법이 있다. 다음은 정 전류 충전 특성과 정전압 충전 특성과 효율을 보여준다.

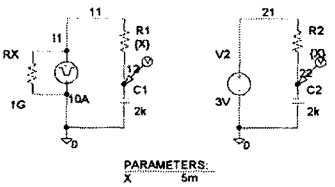

그림 6. 정전류원 충전과 정전압 충전의 회로

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 충방전 특성 곡선을 적용하면 10A의 정 전류원으로 충전한 슈퍼 커패시터는 충전시 600s 즉 10분간의 짧은 충전 특성을 2차 전지에 비해 가지며 방전 시간 역시 10분 이상이 나온다. 여기에 에너지 충전효율을 구하면

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

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

그림 7의 윗 부분이 효율을 나타낸 부분이다. 정전압 충전의 경우 내부 저항에 상과없이 50%의 효율을 보여주고 있으며 정전류의 충전효율은 50%를 넘어서서 내부 저항값에 따라 5mΩ에서 97%, 50mΩ에서 75%의 충전효율을 보여준다. 따라서 충전기에 정전압 충전이 아닌 정전류원 충전을 하면 더 좋은 충전 효율을 얻을 수 있다. 내부 저항에 따른 특성을 표 2에서 보여주고 있고, [3] 그에 따른 시뮬레이션 결과를 위에서 보여주고 있다. 즉 내부 저항이 높을수록 충전시간은 길어지지만, 슈퍼 커패시터의 단점인 에너지 밀도를 높일 수 있게 된다. 따라서. PS-A형의 2000F의 정전용량 슈퍼 커패시터는 10~15분 정도의 충전으로 단시간용 전력 피크치 보상이나 돌입전류를 공급할 수 있으며, PS-B형의 6000F의 정전용량 슈퍼 커패시터는 2시간 정도의 충전으로 장시간 전력 보상을 할 수 있음을 PSpice 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

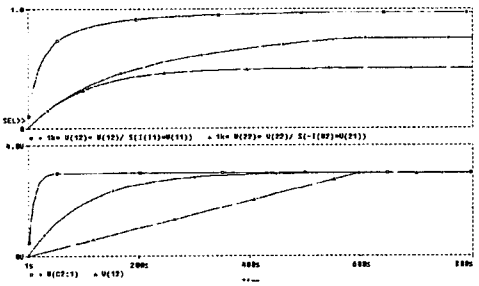

그림 7. 전류원 충전과 전압원 충전 시간과 효율
1) 전류원과 전압원의 충전효율비교(5mΩ,50mΩ)
2) 전류원가 전압원의 충전시간비교(5mΩ, 50mΩ)

2.4 PV 시스템에서의 에너지 저장 시스템 적용

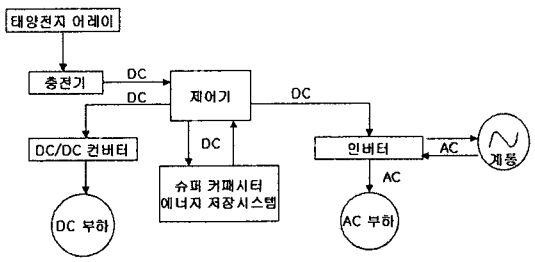

그림 8 새로운 에너지 저장 시스템을 적용한 PV 시스템

태양광 발전 시스템에서 일사량에 따른 PV 어레이 특성 곡선을 보면 정전류 충전 곡선과 정전압 충전 곡선은 전압-전력 곡선에서의 최대점을 갖는(MPP) 곳을 기준으로 하여, 전압-전류 곡선에서 낮은 전압은 정전류원 충전 특성을 갖고 높은 전압쪽은 정전압원 충전 특성을 갖는다. 독립형 태양광 발전에서는 부하가 사용하는 전력에 따라 태양광 발전 시스템과 에너지 저장 시스템을 설계하므로 부하가 사용하는 최고 전력과 야간이나 우기시에도 전력을 공급할 수 있는 충분한 저장 시스템을 갖춘 발전 시스템을 구성해야 한다.

낮 시간 동안 최대의 피크지 전력을 보상하는 부하 평준화는 태양광 발전 시스템의 크기를 축소시켜 경제적 이득을 가져올 수 있고, 짧은 정전류원 충전으로 야간에도 전력을 공급할 수 있는 장점이 있다. 여기에는 단시간 보상용 슈퍼 커패시터와 장시간 보상용 슈퍼 커패시터가 필요하며, 부하 평준화용은 2400F 정도 장시간 보상용은 6000F 정도의 정전 용량이 이용된다.

3. 결 론

슈퍼 커패시터는 현재까지 메모리 백업용 전원으로 그 지위를 확립해 왔지만 향후 셀의 고 에너지 밀도화 , 고 출력 밀도화 , 셀의 고 신뢰성화, 저비용화 , 효율적인 충방전이나 하이브리드화를 위한 회로 개발의 추진과 달성에 의해 새로운 시장 용도가 확립된다고 생각된다. 또한 엘리베이터나 전기 자동차에서의 회생 발전 시스템에서의 에너지 저장 시스템으로도 이용이 가능하다. 친환경적이고 에너지 절약적이며, 자원 절약의 관점에서 인류의 중요한 에너지 공급 디바이스로 역할을 다 할 것으로 생각된다. 여름철 전력 수요의 피크치는 해마다 증가하고 있고, 제한된 발전용량으로 필요한 시기에 적절히 전력을 공급하므로 계통측에서 추가적인 발전설비를 증설할 필요가 없고, 피크치 전력으로 요금을 산정하는 수용가 입장에서도 부하 평준화를 함으로써 매우 유리하다.

본 연구는 태양광 발전 시스템의 에너지 저장 시스템으로 향후 2차 전지의 짧은 수명 싸이클을 대체할 새로운 방식의 에너지 저장 시스템으로 슈퍼 커패시터를 이용하며 슈퍼 커패시터의 단점을 극복할 수 있는 추가적인 전자회로에 대하여 고찰하였다. 반 영구적인 수명과 급속 충방전 및 친환경적인 슈퍼 커패시터는 부가 회로를 통하여 2차 전지의 단점을 극복할 수 있으며, 향후 실험을 통하여 슈퍼 커패시터 에너지 저장 시스템의 특성에 대하여 연구가 필요하다.

[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, Vol3 pp.1551~1554 2000

[3] Michio OKAMURA " A Study of a New Physical Battery Called ECS" Technical Report of IEICE 1995