

# 수퍼커패시터 에너지 저장장치용 시뮬레이터 구현 및 실험

이우종\*, 한병문\*\*, 차한주\*  
 충남대학교\*, 명지대학교\*\*

## Implementation and Experiment of Supercapacitor Simulator for Energy Storage System

Wujong Lee\*, Byung Moon Han\*\*, Hanju Cha\*  
 Chungnam National University\*, Myongji University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 수퍼커패시터 에너지 저장장치의 동작을 예측할 수 있는 시뮬레이터를 구현하고 실험하였으며, 수퍼커패시터 시뮬레이터의 동작 및 제어 방법에 대하여 서술한다. 수퍼커패시터는 수초에서 수분 내의 동작 시간을 가지고 있기에 수퍼커패시터의 충전 또는 방전 동작은 빠른 시간에 이루어지게 된다. 충·방전 수행에 따라 증감되는 수퍼커패시터의 전압을 예측하여 제어하는 수퍼커패시터 시뮬레이터를 제안한다. 수퍼커패시터 시뮬레이터 동작은 대기모드인 CV모드와 충·방전모드인 SC모드로 구분된다. CV모드에서는 충·방전모드가 수행되지 않기에 수퍼커패시터 시뮬레이터가 대기하고 있는 상태이고, SC모드에서는 충·방전 동작이 수행됨에 따라 수퍼커패시터의 전압이 변화되는데 증감되는 전압의 크기를 제어하는 알고리즘이 필요하다. 충·방전 시 발생하는 DC 전류를 측정하여 계산과정을 통해 수퍼커패시터에서 변화되는 전압을 예측하여 SC모드에서 충·방전이 안정적으로 동작함을 실험을 통해 확인하였다.

수퍼커패시터는 대용량의 전기에너지를 저장하는 장치로서 수십~수천 패럿의 용량을 가지며 빠른 시간 내에 충·방전을 할 수 있는 장점을 가진 소자이다. 이런 장점으로 인해 고출력 충·방전이 가능한 에너지 장치로서 2차 전지와 병용하여 대체 가능한 에너지 저장장치로 각광을 받고 있다.

수퍼커패시터는 순간 충·방전이 가능하여 대량의 전기에너지를 저장하였다가 수 us가 수 ms이내에 방전할 수 있는 부품으로 충·방전 횟수는 10만회 이상으로 수명 또한 매우 길며, 사용온도 범위가 40~75℃로서 전지보다 넓은 특징이 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 3.5F, 230V 고전압 수퍼커패시터를 2대 직렬 연결하였으며, 동작 전압 범위는 350~450V이다.

### 2.2 수퍼커패시터 시뮬레이터 구성

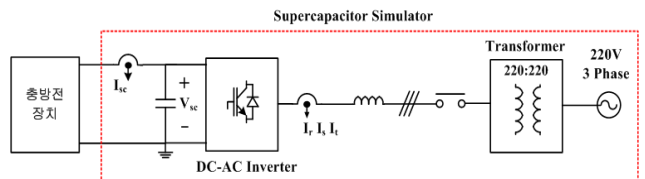


그림 1 수퍼커패시터 시뮬레이터 구성도

Fig. 1 Composed of supercapacitor simulator

그림 1은 수퍼커패시터 시뮬레이터의 전체 구성을 보여준다. 수퍼커패시터 시뮬레이터는 3상 계통연계형 DC AC 인버터, 파워 서플라이, 부스트 컨버터, 부하로 구성된다. 수퍼커패시터 시뮬레이터의 충전 동작 시 부스트 컨버터에서 일정 전류로 에너지를 공급하고, 방전 동작 시 부하로 에너지가 소비된다.

## 1. 서론

신재생에너지에 대한 많은 연구가 진행되면서 불규칙한 출력의 문제가 야기되고 있다. 불규칙한 출력이 발생할 경우 수용가 설비의 가동정지와 오동작을 일으킬 수 있기 때문에 생산활동의 경제성 저하에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 이러한 문제 때문에 현재 각국에서는 전력 품질 향상을 위한 다양한 개선장치들이 개발되고 있다.

수퍼커패시터는 배터리와 함께 주요 에너지 저장장치로서 주목을 받고 있다. 불규칙한 출력을 단주기(수초에서 수분)동안 보상해주는 방안으로 수퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치에 대한 연구가 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 수퍼커패시터 에너지 저장장치에 대한 연구가 진행됨에 따라 수퍼커패시터의 동작을 예측하고 분석할 수 있는 장비가 필요하게 된다.

본 논문에서는 수퍼커패시터 에너지 저장장치의 동작을 예측할 수 있는 시뮬레이터를 제작하고 안정적인 동작을 할 수 있는 제어 알고리즘에 방법에 대해 제시하고 실험을 통해 검증하였다.

## 2. 수퍼커패시터 에너지 저장장치 시뮬레이터

### 2.1 수퍼커패시터 특징

## 3. 수퍼커패시터 시뮬레이터 동작

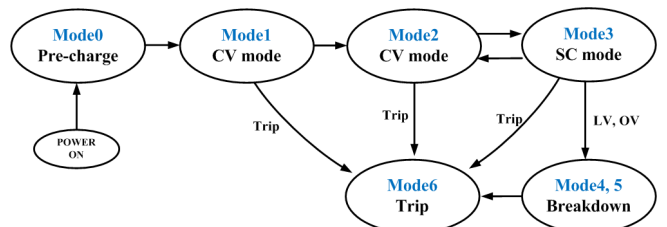


그림 2 수퍼커패시터 시뮬레이터 동작모드

Fig. 2 Operation of supercapacitor simulator

그림 2는 수퍼커패시터 시뮬레이터의 동작 모드를 보여준다. 수퍼커패시터 시뮬레이터는 크게 CV(Constant Voltage)모드와 SC(SuperCapacitor)모드로 구분되고, 세부적으로 6개의 모드로 나뉜다. 각각의 세부적인 모드는 표1과 같다.

표 1 수퍼커패시터 시뮬레이터 동작모드

Table 1 Operation of supercapacitor simulator

모드	동작
0	저항을 통한 초기 충전 구간
1	수퍼커패시터 400V 유지
2	초기 수퍼커패시터의 전압( $V_{sc\_init}$ )으로 제어
3	시뮬레이터 충·방전 수행
4	최소전압(Low Voltage) 이하 감소 시 최소전압 유지
5	최대전압(Over Voltage) 이상 증가 시 최대전압 유지
6	OC, OV 트립 발생

### 3.1 대기 모드 (CV모드)

CV모드는 수퍼커패시터 시뮬레이터가 충·방전을 수행하지 않기에 대기하고 있는 상태로 수퍼커패시터의 전압을 일정하게 유지하도록 제어한다. 모드1, 2, 4, 5가 CV모드로 전압제어를 수행한다. CV모드에서의  $V_{sc\_ref}$ 는 표1과 같다.

표 2 CV모드에서의  $V_{sc\_ref}$

Table 2  $V_{sc\_ref}$  in CV mode

모드	$V_{sc\_ref}$
1	400V
2	$V_{sc\_init}$
4	Low Voltage (350V)
5	Over Voltage (450V)

### 3.2 충·방전 모드 (SC모드)

수퍼커패시터 시뮬레이터의 충·방전 동작이 수행되는 모드이다. 충·방전 동작이 수행됨에 따라 수퍼커패시터의 전압이 증감하게 된다. 이때의 변동되는 전압을 제어하는 알고리즘을 사용하여 수퍼커패시터의 변화되는 전압을 예측하게 된다. 모드3이 SC모드에 해당된다. SC모드에서의 전압제어는 일정한 전압을 유지하는 것이 아닌 흐르는 전류에 따라 변화되는 전압을 추종하는 제어를 수행한다.

충·방전 시 발생하는 DC전류를 측정하여 식(1)과 같은 계산을 통해 수퍼커패시터의 증감하는 전압을 예측할 수 있다. SC모드에서의 전압 기준치  $V_{sc\_ref}$ 는 초기 수퍼커패시터의 전압과 식(1)에서 나온 전압을 연산하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{sc} = \frac{1}{C_{sc}} \int I_{sc} dt \quad (1)$$

$$V_{sc\_ref} = V_{sc} + V_{sc\_e} \quad (2)$$

## 4. 실험

수퍼커패시터 시뮬레이터를 제작하고 SC모드에서 충·방전이 안정적으로 동작하는 과정을 실험하였다. Ch.1은  $V_{sc}$ , Ch.2는  $V_{sc\_ref}$ , Ch.3은 모드, Ch.4는  $I_{sc}$ 이다. 그림 3은 방전 2kW를 수행한 파형이다. CV모드와 SC모드가 반복적으로 동작하며  $V_{sc}$ 는 점점 감소하는 것을 확인하였다. 이때,  $V_{sc\_ref}$ 는 CV모드에서는 그 순간의 전압을 유지, SC모드에서는 감소하는 전압을 따라가게 된다.  $V_{sc}$ 가 350V이하로 떨어지게 되면 모드4로 바뀌고, 350V를 유지하는 CV모드로 동작한다. 그림 4은 충전 2.7kW를 수행한 파형이다. CV모드와 SC모드가 반복적으로 동작하며  $V_{sc}$ 는 점점 증가하는 것을 확인하였고,  $V_{sc}$ 가 450V 이상이 되면 모드5로 바뀌고, 450V를 유지하는 CV모드로 동작한다. 그림 5은 충전과 방전에 대해 CV모드와 SC모드를 반복하며 동작한 실험파형이다. 그 결과 수퍼커패시터의 전압이 안정적으로 충전 시 감소, 방전 시 증가하는 것을 확인하였다.

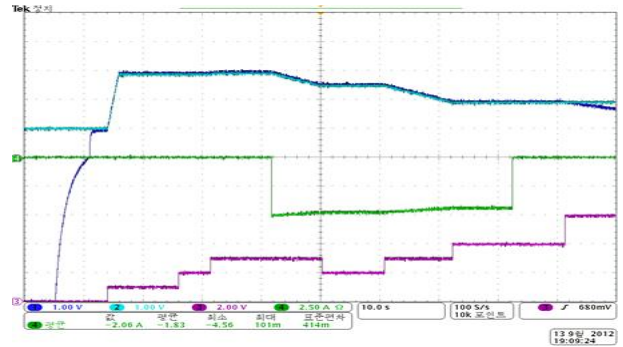


그림 3 2kW 방전 실험  
Fig. 3 2kW discharge mode

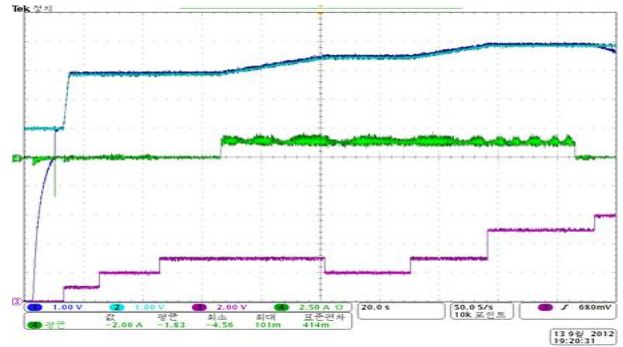


그림 4 2.7kW 충전 실험  
Fig. 4 2.7kW charge mode

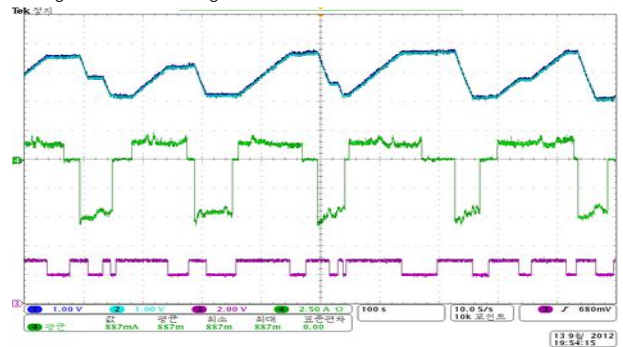


그림 5 충전 및 방전실험  
Fig. 5 charge and discharge mode

## 5. 결론

본 논문에서는 수퍼커패시터 에너지 저장장치의 동작을 예측할 수 있는 시뮬레이터를 구현하고 실험하였다. 수퍼커패시터 시뮬레이터의 CV모드에서는 충·방전모드가 수행되지 않기에 일정 전압제어를 수행하고, SC모드에서는 충·방전모드가 수행됨에 따라 DC 전류를 측정하여 계산과정을 통해 변화하는 수퍼커패시터의 전압을 예측하여 수퍼커패시터 시뮬레이터가 안정적으로 동작함을 실험을 통해 확인하였다. 따라서 수퍼커패시터 시뮬레이터의 동작 및 제어 방법에 대한 안정성과 타당함을 증명하였다.

## 참고 문헌

- [1] Nicholas P. W. Strachan, Dragan Jovcic, "Improving Wind Power Quality using an Integrated Wind Energy Conversion and Storage System" PES, pp 1~8,2008.
- [2] 이우중, 차한주, "수퍼커패시터를 이용한 5kW 에너지 저장 장치 설계" 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회, 2011.