

# 전압안정화용 ESS의 운용을 위한 적정 기준점 결정방안 관한 연구

장준혁, 신하은, 김병기  
국립강릉원주대학교 전기공학과

e-mail: shaeunss@naver.com, bkim@gwnu.ac.kr

## A Study on the Determination Method of Proper Set-Point for Voltage Stabilization of Energy Storage System

Jun-Hyuck Jang, Ha-Eun Shin and Byungki Kim

\*Dept. of Electrical Engineering, Gangneung-Wonju National University

### 요약

최근 배전계통에서는 재생에너지 변동성으로 인한 전압 불안정 문제가 발생하고 있는 실정이다. 또한, ESS(Energy Storage System)는 전압안정화 목적으로 계통에 도입되어 충·방전 운용이 이루어지고 있지만, 시간 대별 운용되는 충·방전 패턴이 상이하기 때문에, SOC(State of Charge) 50%를 고정 기준으로 적용하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 실계통의 부하패턴을 반영하여, ESS의 충·방전을 수행하기 위한 적정 SOC 운용점(Set-Point of ESS, SP)을 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 구체적으로 ESS의 초기 SOC 50%를 기준으로 설정한 뒤, 시간대별 충·방전 용량 변화율을 고려하여 최적 운용점을 결정하는 방안과 ESS가 안정화되어 있는 상태에서 동작되지 않는 불감대폭( $\pm$ DB%)의 결정방안을 제시하였다.

### 1. 서론

최근 재생에너지의 확대와 더불어 전력계통의 안정적 운영을 위한 다양한 기술적 대안이 요구되고 있는 실정이다. 특히, ESS(Energy Storage System)는 주파수 조정과 전압 안정화를 위해 핵심적인 역할을 수행할 수 있는 장치로서, 그 활용 필요성이 점차 증대되고 있다. 또한, 전압안정화를 목적으로 ESS가 계통에 도입되는 경우, 일반적으로 SOC(State of Charge) 50%를 기준으로 충·방전 운용을 수행하고 있지만, 실제 계통에서는 시간대별 충전 및 방전 횟수가 상이하기 때문에 SOC 50% 기준점에 대한 운용은 한계가 있을 수 있다.

또한, 기존 연구들에서는 SOC 50%를 고정된 기준으로 가정한 경우가 많아, 전압안정화를 위한 ESS의 적정 운용점을 결정하는 방안이 필요한 상황이다.

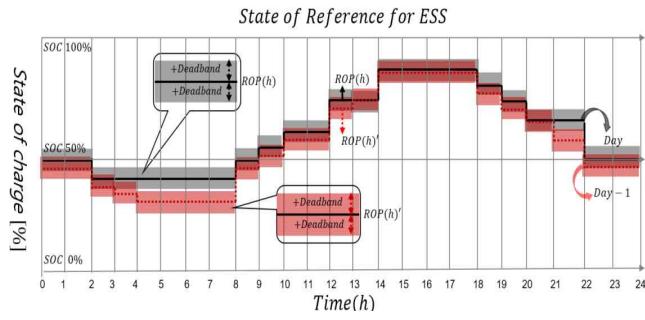
따라서 본 논문에서는 실계통의 부하패턴을 반영하여, ESS의 충·방전을 수행하기 위한 적정 SOC 운용점(Set-Point of ESS, SP)을 산정하는 알고리즘을 제안하였

다. 구체적으로 ESS의 초기 SOC 50%를 기준으로 설정한 뒤, 시간대별 충·방전 용량 변화율을 고려하여 최적 운용점을 결정하는 방안과 ESS가 안정화되어 있는 상태에서 동작되지 않는 불감대폭( $\pm$ DB%)의 결정방안을 제시하였다.

### 2. 전압안정화용 ESS의 운용을 위한 선로임피던스 결정 알고리즘

ESS가 계통에 도입되어 운용되는 경우, SOC는 일반적으로 50% 정도에서 충·방전 운용을 수행하게 된다. 하지만 계통에 전압안정화용으로 도입되는 ESS는 충전과 방전의 빈도수가 다르기 때문에, 이를 고려하여 SOC의 운용기준치를 산정한다면 좀 더 안정적으로 운용될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 1과 같이 ESS의 충·방전 운용을 고려한 적정 SOC(State of charge) 운용점(SP, Set-Point of ESS )의 산정방식을 제안한다. 즉 이 운용점은 초기 ESS설치시 SOC를 50%로 기준하여 운용하고, 이후 ESS 충방전동작 특성에 따른 ESS의 적정운용점을

찾아가는 방식으로 결정되는데, 이는 그림 와 같이 SOC 50%와 각시간대에 대한 ESS의 충·방전 kWh용량 변화율 [%]의 합으로 산정된다. 여기에서 ESS의 적정 SOC는 시간대별 ESS의 운용에 의하여 결정되기 때문에 각시간대별 ESS의 적정 SOC값은 달라지게 된다.



[그림 1] ESS의 SOC 기준 운용점

구체적으로 SOC(State of charge)의 적정 운용점은 식 (1)과 같이 ESS의 충방전 운용 데이터에 의하여 대상 시간대에서 ESS의 충·방전운용 kW용량의 합과 충·방전 운용 kW용량의 차를 나누고, 이 값에 SOC 50%를 고려하여 계산하게 된다. 시간대별 적정 SOC범위는 전날데이터를 이용하여 24시간마다 변화한다.

$$SP_{th}(h)[\%] = \quad (1)$$

$$\sum_{th=1}^{\text{th}} \left\{ \frac{\left( \sum_{t=1}^{\sec} VA_{ESS-charge}(y,t) - \sum_{t=1}^{\sec} VA_{ESS-discharge}(y,t) \right)}{\sum_{t=1}^{\sec} VA_{ESS-charge}(y,t) + \sum_{t=1}^{1h} VA_{ESS-discharge}(y,t)} \times 100[\%] + 50[\%] \right\}$$

여기서,  $SP(h)$  : ESS의 시간대별(h) SOC 기준 운용점     $VA_{ESS-charge}(t)$  : ESS의 충전용량(kVA)     $VA_{ESS-discharge}(t)$  : ESS의 방전용량(kVA),     $th$ :SOR 적용 시간대(hour)

한편, ESS가 적정운용범위를 유지하기 위하여 운전하는 경우, 적정운용범위의 설정폭이 작다면 ESS는 빈번한 동작을 수행할 수 있다. 따라서, 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 시간대별 적정 SOC 범위에  $\pm DB\%$ 만큼의 여유율을 둘 수 있도록 제안하며, 이를 나타내면 식 (2)와 같다.

$$SP(h) - DB[\%] \leq SP(h) \quad (2)$$

$$\text{and } SP(h) \leq DB[\%] + SP(h)[\%]$$

여기서,  $DB$ : 적정 SOC 기준 운용점의 여유율

한편, 부하패턴 분석에 따라, ESS의 현재 SOC가 SP 범위 미만이면 ESS는 충전동작신호로 결정되고 SOR 범위 이상이면 ESS는 방전동작신호로 결정되는 조건에 대한식은 아래와 같다.

$$\epsilon(t_x), \delta(t_x) = \quad (3)$$

$$\begin{cases} SOC(t_x) > SP(t_x) + DB, \epsilon(t_x) = 1, \delta(t_x) = 0 \\ SOC(t_x) < SP(t_x) - DB, \epsilon(t_x) = 0, \delta(t_x) = 1 \\ SP - DB \leq SOC(t) \leq SP + DB, \\ \epsilon(t) = 0, \delta(t) = 0 \end{cases}$$

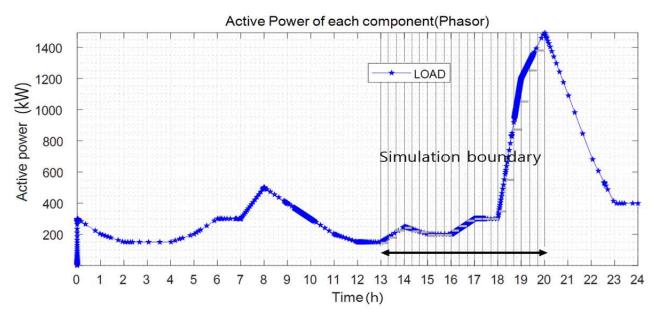
### 3. 시뮬레이션 결과 및 분석

#### 3.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 제안한 ESS의 적정운용점의 유용성을 검증하기 위하여 표 1에서 제시한 계통모델 데이터와 그림 2의 부하패턴을 이용하였다.

[표 1] 배전계통 데이터

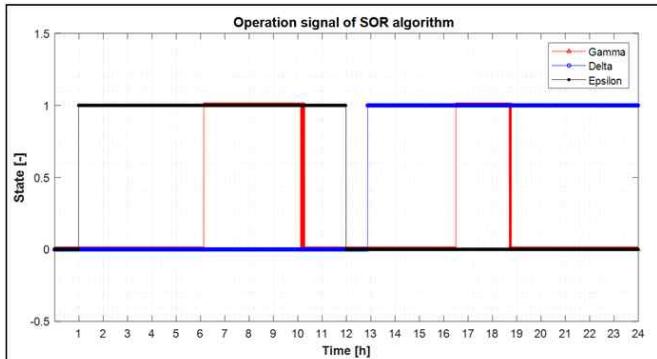
Section Number	Impedance		Length (km)	Power Factor	Load (MW)	RES(PV System (MW))	EV charger
	R ( $\Omega/\text{km}$ )	X ( $\Omega/\text{km}$ )					
1 (total)	0.182	0.391	3	0.9	0.2~0.8	0	0
1-1(load)	0.182	0.391	4	0.9	-	-	-
1-2(RES)	0.182	0.391	3	0.9	0.2~0.4	0	-
1-3(EVC)	0.182	0.391	10	0.9	-	-	0
1-4(ESS)	0.182	0.391	10	-	-	-	-



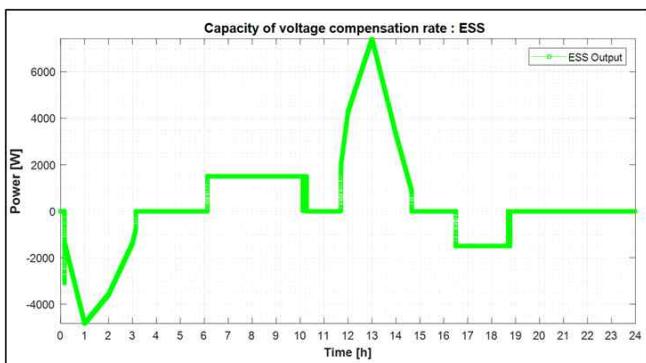
[그림 2] 수용가(부하)패턴

#### 3.2 ESS의 SOC 기준운용점 분석

상기 식 (3)에 의하여, ESS의 동작신호가 전기간(24h) 동안 부하패턴에 따라 상한치 233V와 하한치 207V를 벗어날 때  $\epsilon(t_x)=1$ ,  $\delta(t_x)=0$ (충전 모드) 또는  $\epsilon(t_x)=1$ ,  $\delta(t_x)=0$ (방전 모드)로 발생되어 ESS의 운용이 되는 경우, 그림 3과 같이 모든 시간에서 적정 기준 범위 내에서 동작함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 SOR 알고리즘의 유용성을 확인하였다.



(a)ESS 동작특성



(b) ESS의 충방전 특성

[그림 3] ESS의 운용기준점 특성분석 결과

#### 4. 결론

논문에서는 실계통의 부하패턴을 반영하여, ESS의 충·방전을 수행하기 위한 적정 SOC 운용점(State of Reference, SOR)을 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 분석 결과 ESS의 동작신호가 전기간(24h) 동안 부하패턴에 따라 상한치 233V와 하한치 207V를 벗어날 때 ESS의 운용이 되는 경우, 모든 시간에서 적정 기준 범위 내에서 동작함을 확인하였다.

1. Kim, B.K.; Choi, S.S.; Wang, Y.P.; Kim, E.S.; Rho, D.S. A Study on the Control Method of Customer Voltage Variation in Distribution System with PV Systems. J. Electr. Eng. Technol. 2014, 10, 838-846.