

배전계통 안정화를 위한 NWAs 기반 ESS 제어 알고리즘에 관한 연구

이승현*, 최익준*, 두진석**, 고재섭*, 김병기*

*강원대학교 전기공학과

**한국화학융합시험연구원

e-mail:bk_kim@kangwon.ac.kr

A Study on the Non-Wire Alternatives based on ESS Control Algorithm for Stabilization of Distribution System

Seung-Hyun Lee*, Ik-Joon Choi*, Jin-Seok Doo**, Jae-Sub Ko*, Byung-Ki Kim*

*Dept. of Electrical Engineering, Kangwon National University

**Korea Testing & Research Institute

요약

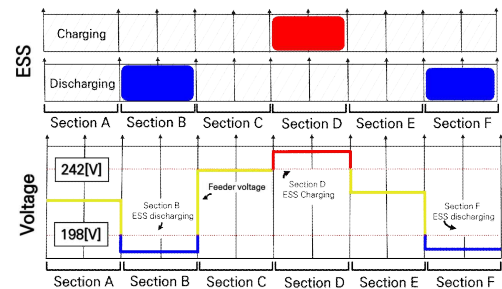
최근, 배전선로에 연계된 신재생에너지의 보급과 전기차(Electric Vehicle, EV) 및 다종의 부하 증가에 의하여, 수용가 전압이 규정치를 벗어날 가능성이 있으며, 이에 따라, 계통의 선로용량 확보의 필요성에 대한 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 선로증설비용을 회피하면서, 유연자원 중 하나인 ESS(Energy Storage System, ESS)를 이용하여 전압을 안정화 할 수 있는 ESS 제어 알고리즘 VCR(Voltage Compensation Rate, VCR)과 ESS를 상시적으로 운용할 수 있는 ASR(Adaptive SOC Reference, ASR) 알고리즘을 제안한다. 상기에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 신재생에너지와 EV 충전 부하 등에 의하여 과전압 및 저전압이 발생한 경우, VCR 및 ASR 알고리즘을 적용하면 수용가 전압 문제를 해소함을 알 수 있다.

1. 서론

최근, 전 세계적인 그린뉴딜 및 RE3020 정책에 따라 저압 배전선로에 연계된 신재생에너지의 설치용량이 급격하게 증가하고 있다. 또한, 전기차 및 DC 부하 등의 확산과 함께 태양광 전원의 낮 시간대에 발전량이 급증하는 특성으로 인하여, 배전선로의 수용가 전압이 규정치(198[V]-242[V])를 벗어날 가능성이 있다.[1] 따라서 본 논문에서는 배전계통 안정화를 위한 NWAs를 통해 실시간으로 발생할 수 있는 과전압 및 저전압 상황에서 ESS의 충·방전을 통해 수용가 전압을 안정적으로 유지하는 VCR 알고리즘을 제안하고, ESS의 과거 충·방전 동작과 용량 특성을 반영하여 SOC의 실시간 적정범위를 산정하는 ASR 알고리즘을 제시한다. 또한, VCR 및 ASR 알고리즘의 운용 특성을 분석하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 바탕으로 배전계통의 전체시스템 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 본 논문에서 제안한 VCR 알고리즘을 바탕으로 운용되는 ESS를 통해 수용가의 과전압 및 저전압 현상을 해소하여 규정치 이내로 유지함을 알 수 있다. 또한, 수용가 전압이 규정치 내인 경우, ASR 알고리즘에 의하여 ESS의 SOC는 적정범위를 유지함을 확인할 수 있어, 본 연구에서 제시한 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있다.

2. 배전계통 전압안정화용 ESS의 운용특성

수용가의 부하량보다 RES의 발전량이 많은 경우에는 역조류에 의하여 배전선로에 과전압 현상이 발생할 수 있고, 수용가의 부하량보다 신재생에너지의 발전량이 적은 경우에는 저전압 현상이 발생할 가능성이 있다. 따라서, 상기의 전압에 대한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 저압 배전계통의 전압을 안정화할 수 있는 ESS의 운용특성을 그림 1과 같이 제시한다.



[그림 1] 전압안정화용 ESS의 운용특성

3. 전압 안정화용 ESS의 운용 및 실시간 SOC 산정방안

3.1 ESS의 전압보상률 결정방안

본 논문에서는 계통 상황에 따라 ESS의 동작을 제어하는 전압 보상률(VCR)의 결정방안을 제시한다.

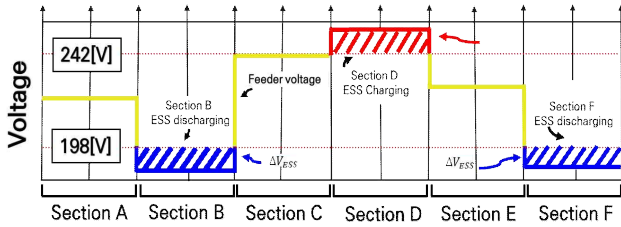
$$VCR = \frac{\Delta V_{ESS}}{V_{rt}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

$$\Delta V_{ESS}(t) = V_{ref} - V_{rt}(t) \quad (2)$$

$$V_{ref} = \begin{cases} V_{upper} \\ V_{lower} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, VCR : 전압 보상률[%], $\Delta V_{ESS}(t)$: 전압보상크기[V], V_{rt} : 선로의 실시간 전압[V], V_{ref} : 선로의 허용전압[V], V_{upper} : 선로의 상한치 전압[V], V_{lower} : 선로의 하한치 전압[V]

따라서, 상기의 식을 바탕으로 본 논문에서는 그림 2와 같이 저압 배전선로의 정격용량과 부하의 운용조건 그리고 신재생에너지의 최대 출력 조건을 고려한 ESS의 VCR 결정방안을 제시한다.



[그림 2] 제안한 VCR에 의한 ESS 운용

또한, 본 논문에서는 ESS의 충·방전 동작에 있어서 규정치 내로 안정적으로 유지하며, 빈번한 동작을 방지하기 위하여, 식(4)와 같이 전압 여유도를 고려한 전압보상크기, 선로 임피던스 그리고 동작시간(실시간)을 고려한 ESS의 출력 용량을 산정한다. 또한, 식(5)와 같이 ESS의 출력 용량에 따른 ESS의 동작모드를 결정한다.

$$P_{ESS}(t) = \left(\frac{\Delta V_{ESS}(t)}{Z_n} \times \frac{\int_0^t V_{rt}(t)}{t} \right) \quad (4)$$

$$ESS \text{ mode}(t) = \begin{cases} \text{Charging mode,} & P_{ESS}(t) > 0 \\ \text{Discharging mode,} & P_{ESS}(t) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

3.2 ESS의 SOC 적정운용점 산정방안

본 논문에서는 그림 3과 같이, VCR에 의한 ESS의 운용조건을 고려하여 SOC의 적정용량을 실시간 산정하는 ASR 산정방안을 제안한다. 상기에서 제안한 방식을 적용하는 경우에 기존 고정방식(SOC 50[%])보다 효율적으로 ESS를 운용할 수 있는 장점을 가진다. 한편, 본 논문에서 제안한 ASR은 식 (6)과 같이, ESS의 시간대별 충·방전 용량 변화율[%]과 SOC 초기값 50[%]를 합산하여 산정한다. 여기서, 식 (7)은 ESS를 실시간으로 충전할 수 있

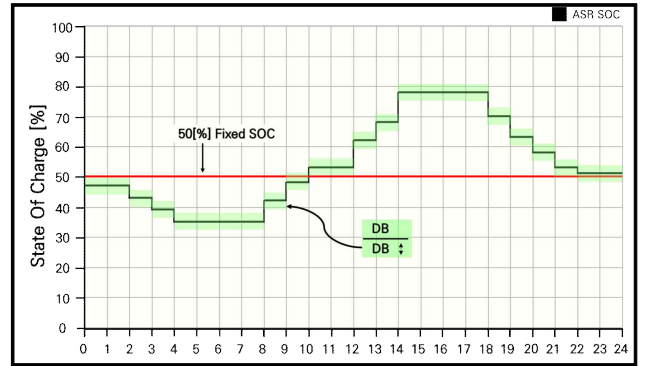
는 SOC 산정값을 의미하고, 식(8)은 실시간으로 방전할 수 있는 SOC 산정값을 나타낸다. 단, ESS의 운용은 계통 상황에 따라 빈번하게 허용범위를 초과할 가능성이 있어, ASR 결정 시 여유율(DB, deadband)을 고려한다.

$$ASR_{th}(h) = \left(\sum_{y=1}^{th} \left(\frac{A-B}{A+B} \times 100[\%] + 50[\%] \right) \right) \pm DB[\%] \quad (6)$$

$$A = \sum_{t=1}^{sec} P_{ESS-C}(y,t) \quad (7)$$

$$B = \sum_{t=1}^{sec} P_{ESS-D}(y,t) \quad (8)$$

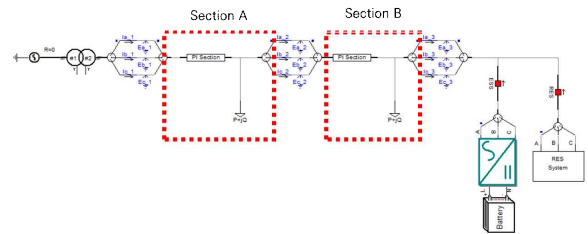
여기서, $ASR(h)$: 시간대별 적정 SOC 기준 운용점, P_{ESS-C} : ESS 충전 용량, P_{ESS-D} : ESS 방전 용량, t_h : 시간대, A : 충전 용량, B: 방전 용량, DB[%] : ASR의 여유



[그림 3] 제안한 ASR의 개념도

4. PSCAD/EMTDC에 의한 모델링

RES와 전압 안정화용 ESS가 도입된 배전계통의 전체 시스템의 모델링을 나타내면 그림 4와 같으며, 여기서, 태양광 전원과 ESS 및 EV 충전 부하는 계통 말단에 도입되고, 수용가는 Section A와 Section B의 말단에 연계된다.



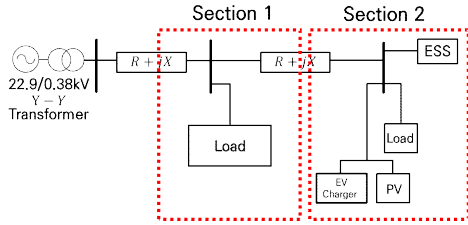
[그림 4] 배전계통의 전체시스템 모델링

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 시뮬레이션 조건

상기에서 제시한 배전계통의 전체시스템 모델링을 바탕으로, 전압 안정화용 ESS의 VCR 및 ASR의 운용 특성을 분석하기 위

한 계통 모델은 그림 5와 같고, 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.



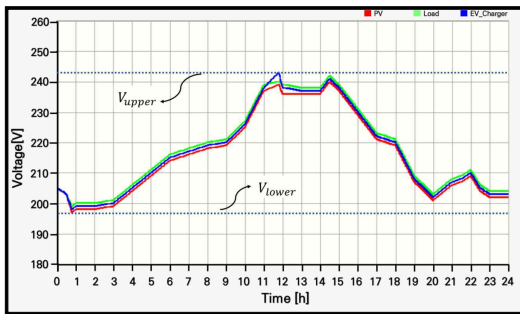
[그림 5] 배전선로의 계통모델

[표 1] 시뮬레이션 조건

Data		Section 1	Section 2
Impedance	R (Ω/km)	0.40	0.40
	X (Ω/km)	0.027	0.027
Length (km)		1	1
Load (kW)		0-15.0	0-15.0
PV (kW)		-	0-30.0
EV Charger (kW)		-	0-18.9

5.2 ESS 연계에 따른 수용가 전압 특성분석

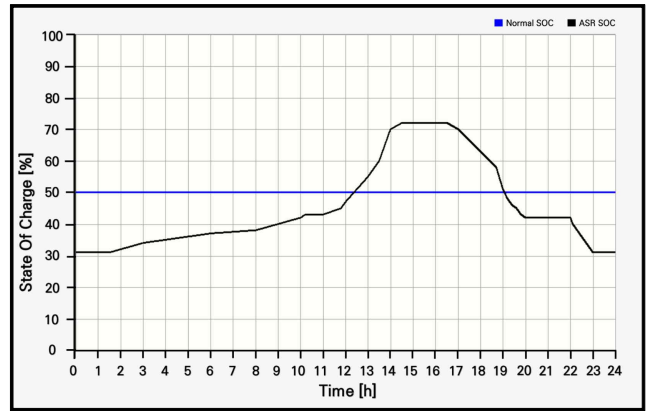
상기에서 제안한 VCR 결정방안을 바탕으로, 전압안정화용 ESS를 저압 계통의 말단에 도입한 수용가 전압 특성을 나타내면 그림 6과 같다. 여기서, 00:00-03:00 시간대에 수용가 전압은 EV 충전 부하 및 수용가 부하로 인하여 하한치(198[V]) 이하인 저전압 현상이 발생하였지만, ESS의 방전동작으로 인하여 전압은 규정치 이내로 유지되었다. 또한, 11:50-14:20 시간대에 수용가 전압은 신재생에너지의 발전량으로 인하여 상한치(242[V]) 이상인 과전압 현상이 발생하였지만, ESS의 충전동작으로 인하여 수용가 전압을 안정적으로 유지함을 확인하였다. 따라서, 본 논문에서 제안한 방식으로 ESS를 운용하는 경우, 수용가 전압은 항상 규정치 이내로 유지함을 알 수 있었다.



[그림 6] 전압안정화용 ESS의 도입 후 수용가 전압 특성

5.3 ESS의 SOC 특성분석

SOC의 적정용량을 실시간 산정하는 ASR 방안을 바탕으로, PSCAD/EMTDC를 이용한 전압안정화용 ESS의 SOC 특성을 나타내면 그림 7과 같다. 구체적으로 전압안정화 기능으로서 ESS의 활용을 극대화하기 위하여, ESS에 의하여 전압조정을 하지 않는 시간대에서는 ASR 운용으로 SOC의 적정범위를 유지함을 확인하였다.



[그림 7] ASR 알고리즘을 적용한 ESS의 24시간 SOC 특성

6. 결론

본 논문에서는 배전계통 안정화를 위한 NWAs 기반 ESS 제어 알고리즘을 제시하고, RES와 EV 충전 인프라가 연계된 배전계통의 전체시스템 모델링을 수행한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 진행한 결과, 제시한 알고리즘에 의해 수용가 전압이 저전압 및 과전압 상황에서 규정치 이내로 안정적으로 유지함을 확인 할 수 있으며, SOC의 적정범위를 실시간으로 산정함으로써 본 논문에서 제안한 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있다.

참고문헌

- [1] 노성은 외 4명, “신재생에너지 수용성 향상을 위한 30kW급 VPL의 운용특성에 관한 연구”, 2024 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1,204-1,205, 2024.07