

ESS를 이용한 저압 배전계통의 EV 및 신재생에너지의 수용성 향상에 관한 연구

유경상*, 김호찬**

*한국에너지기술연구원

**제주대학교

e-mail: ksryu@kier.re.kr, hckim@jejunu.ac.kr

A Study on the Hosting Capacity of Electric Vehicle and Renewable Energy in Low Voltage Distribution System using Energy Storage System

Kyung-Sang Ryu*, Ho-Chan Kim**

*Korea Institute of Energy Research

**Jeju National University

요약

본 논문에서는 기존 설비의 증설 없이 전기충전인프라 및 신재생에너지의 연계 용량을 늘리기 위한 방안으로 시설계통 및 ESS의 협조운영방안을 제안한다. 다수의 전기충전인프라 및 신재생에너지가 주상변압기 용량을 초과하여 저압계통에 연계될 경우 필연적으로 저전압/과전압 및 선로용량을 초과하는 문제가 발생하게 된다. 이 때 ESS를 선로 말단에 연계하고 역조류를 이용하여 협조 운영하게 되면, 기존의 설비의 교체 없이 연계용량을 획기적으로 증가시킬 수 있으며, 전기자동차 및 신재생에너지의 연계에 따른 전압 및 선로용량 초과 문제를 모두 해결할 수 있다. 이를 위해 PSCAD/EMTDC에 의한 모델링 및 시뮬레이션을 통해 전압 문제 및 선로용량 초과 없이 전기충전인프라 및 신재생에너지의 수용성을 2배까지 증가시킬 수 있음을 확인하여 본 논문에서 제시한 ESS 협조운영방안의 유용성을 입증한다.

1. 서론

최근 정부에서는 온실가스 저감을 위하여 2030년까지 신재생에너지원의 비중을 전체 에너지원의 20%로 확대하는 보급 사업을 적극적으로 수행하고 있다[1]. 이와 더불어 제주특별자치도는 “Carbon Free Island Jeju by 2030(CFI)” 계획에 따라 2030년까지 신재생에너지 2GW 보급 및 모든 자동차를 전기자동차로 전환하는 정책을 펼치고 있다[2]. 이에 따라 신재생에너지, 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS), 전기자동차의 보급 확산을 위한 정책이 활발히 펼쳐지고 있으며 전력 산업 또한 기존의 중앙 집중식 전력공급시스템에서 수요자 중심의 분산형 전력공급시스템으로 재편되기 위한 정책이 추진되어지고 있다. 상기와 같이 미래 배전시스템으로의 재편을 위해서 우선적으로 추진하고 있는 전기자동차 및 신재생에너지의 보급 확산을 위해서는 계통 수용성 확보가 반드시 필요하며, 이를 위해 정부는 ‘제 8차 전력수급 기본 계획’에 의해 전기자동차 및 신재생에너지의 연계를 위한 계통 수용능력을 제고하기 위해 특고압 배전선로를 증설하고 변압기를 신설하는 등의 정책을 펼치고 있다.

그러나 이러한 정책은 22.9 kV 이상의 상위 계통에 대한 대책이며 하위 계통인 저압배전계통에서 계통 수용성 확대를

위한 방안은 전무한 실정이다. 특히 저압배전계통에서 각 수용가에 7 kW의 용량을 갖는 완속 전기충전기의 보급이 전기자동차 확대 정책에 발맞추어 급속히 증가하고 있는데, 주상변압기 용량에 따라 설계된 저압배전시스템에서 완속 전기충전기에 의한 전기자동차의 충전은 계통 측면에서 악성 부하로 작용할 가능성이 크다. 이러한 전기자동차의 충전은 전압 조절 기능이 없는 저압선로에서 저전압을 유발할 수 있을 뿐만 아니라 주상변압기의 용량 한계로 인해 유입 비율을 늘리는 것에는 한계를 가질 수밖에 없다. 마찬가지로 신재생에너지도 연계 용량을 증가함에 따라 역조류에 의한 저압선로의 과부하 및 과전압 현상이 발생할 수 있다. 따라서 개별 수용가로 하여금 효율성 및 편리성을 획기적으로 증가시킬 수 있는 저압배전시스템에 전기충전기 설치를 확대하고 태양광과 같은 신재생에너지원의 수용성을 확대할 수 있는 방안을 마련하는 것은 반드시 필요하다.

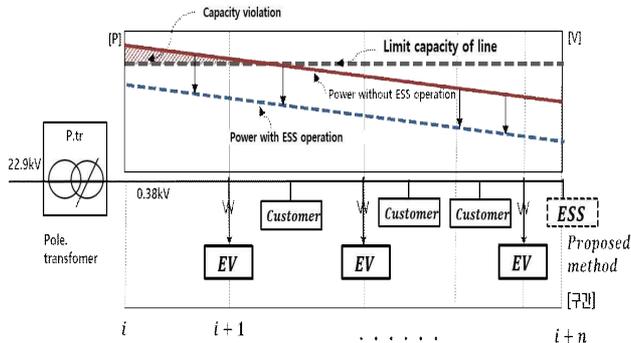
따라서 본 논문에서는 전기충전인프라 및 신재생에너지의 용량이 주상변압기 용량을 초과할지라도 선로용량 및 전압을 안정화 시켜 수용성을 극대화 할 수 있는 ESS에 의한 전력안정화 운용알고리즘을 제시한다. 이를 통해 전압을 계통운영자가 정하는 일정범위 이내로 유지시킴과 동시에 결과적으로 전기자동차 및 신재생에너지의 연계용량을 해당 주상변압기

용량의 최대 2배까지 연계할 수 있는 운용방안을 제시하며, PSCAD/EMTDC에 의한 모델링 및 시뮬레이션을 통해 전압 문제 및 선로용량 초과 없이 전기충전인프라 및 신재생에너지의 수용성을 2배까지 증가시킬 수 있음을 확인하여 본 논문에서 제시한 ESS 협조운용방안의 유용성을 입증한다.

2. 수용성 향상을 위한 배전용 ESS의 제어 알고리즘

2.1 복합 저압 배전계통 전압특성 분석

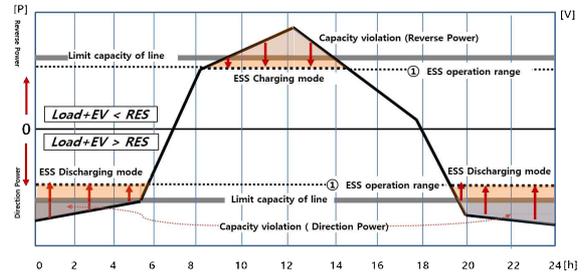
일반적으로 계통의 전압은 변동값을 가지는 전류와 고정값을 가지는 선로저항에 의하여 변동하게 되는데, 부하측으로 전력이 많이 흐를 경우에는 전압강하는 심화되고, 신재생에너지전원에 의하여 계통 측으로 역조류가 흐르게 되면 전압은 상승하게 된다. 이와 같은 계통 특성에 따라 주상변압기에서 부하측으로 단방향 조류만 사용하여 다수의 전기충전인프라를 설치하게 될 경우에는 그림 1과 같이 저전압 및 기설계통의 한계전력용량을 초과하는 문제점이 발생할 수 있다.



[그림 1] 복합 저압 배전계통 전압 특성

2.2 배전용 ESS의 제어 알고리즘

저압 배전계통에서 전압은 EV를 포함한 부하 및 태양광전원의 발전 패턴에 따라 달라질 수 있다. 즉, 낮 시간동안 태양광 발전이 많을 경우 역조류에 의해 수용가에는 과전압이 발생할 수 있고, 저녁 시간대에 EV 충전이 많을 경우에는 수용가에 저전압 현상이 발생할 수 있다. 본 논문은 태양광전원에 의한 전압이 상한치를 벗어날 경우 ESS를 충전시키고, EV의 전력소모에 의해 전압이 하한치를 벗어날 경우 ESS를 방전시켜 허용범위 이내로 전압을 조정하고 동시에 저압선로의 한계용량을 유지하기 위한 제어 알고리즘을 제시한다. 이 전략의 개념을 나타내면 그림 2와 같다[3].



[그림 2] ESS를 이용한 전압제어 전략

한편, 배전용 ESS의 제어 알고리즘에서 충/방전 모드, 동작 시점 및 운용용량 결정은 각 부하가 연계된 버스에서 측정된 데이터를 기반으로 결정되며, ESS는 설정된 SOC 범위 내에서 안정적으로 운영하도록 구성된다. 이를 위해 표 1과 같이 각 모드별로 5개의 알람신호가 알고리즘에 포함되며 ESS는 알람신호에 따라 동작하게 된다.

[표 2] 신호에 따른 ESS의 운영 모드

Classification	α	β	γ	δ	η
Charging mode	1	-	-	-	-
Discharging mode	0	1	-	-	-
ESS charging Operation	1	-	1	-	-
ESS discharging Operation	0	1	-	-	-
Stop at SOC > 90%	-	-	-	1	-
Stop at SOC < 10%	-	-	-	-	1

ESS의 모드에 따른 충전 용량은 식 (1) 따라 결정되며, 방전 용량은 식(2)에 따라 결정된다.

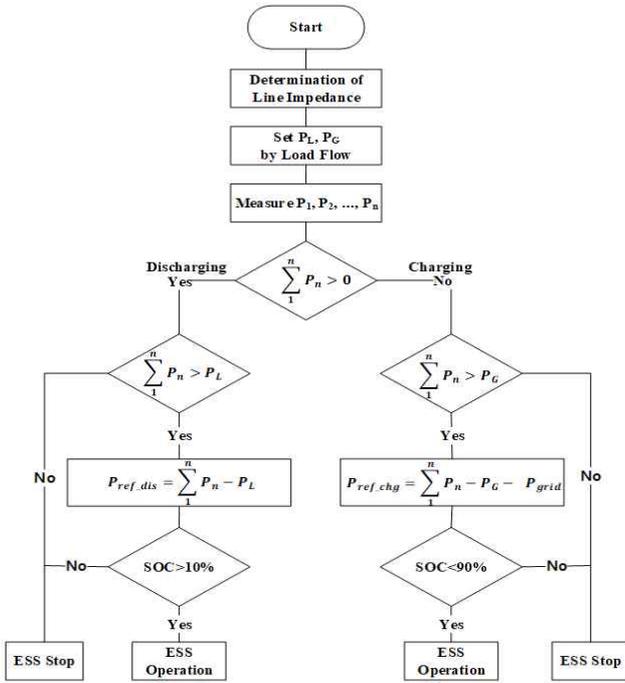
$$P_{chg_ref}(t) = \left\{ \sum_{i=1}^n P_i(t) - P_G - P_{grid} \right\} \times \gamma(t) \quad (1)$$

여기서, P_{chg_ref} 는 ESS 충전 출력 기준값이고, P_{grid} 는 ESS 충전 시 계통으로부터 받는 전력값이다.

$$P_{dis_ref}(t) = \left\{ \sum_{i=1}^n P_i(t) - P_L \right\} \times \beta(t) \quad (2)$$

여기서, P_{dis_ref} 는 ESS 방전 출력 기준값이다

상기에서 언급한 절차들을 바탕으로 EV 충전 및 태양광전원의 발전으로 인한 전력이 주상변압기가 수용할 수 있는 용량을 초과하는 상황에서 ESS의 충전 및 방전을 통해 수용성을 극대화하기 위한 배전용 ESS의 제어 알고리즘을 나타내면 그림 3과 같다.



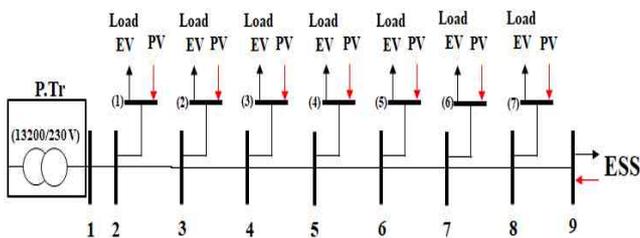
[그림 3] ESS 제어 알고리즘

3. PSCAD/EMTDC를 이용한 모델링 및 시뮬레이션 결과 분석

2.1 복합 저압배전계통 모델링

저압 배전계통에서 ESS의 제어 알고리즘에 대한 모델 검증을 수행하기 위하여 배전계통의 상용 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 EV 부하, 태양광전원 및 전압 제어 알고리즘이 포함된 ESS를 그림 4와 같이 모델링한다.

그림 4는 주상변압기, 선로, EV, ESS로 구성된 복합 저압 배전계통으로 ESS는 저압선로를 8개 구간으로 나누어 각각 직하지점, 중간 지점, 말단 지점에 연계할 수 있도록 구성된다. 태양광전원 및 EV가 포함된 부하는 각 버스(Bus)에 병렬로 연계되어 부하는 전력을 소모하고 태양광전원은 발전하도록 구성된다. 또한 제어를 위한 통신은 각각의 버스에서 전력 정보를 측정하여 ESS에 전달되며, ESS는 계통의 전압 및 선로용량을 허용치 이내로 유지시키기 위해 충/방전 하도록 구성된다.



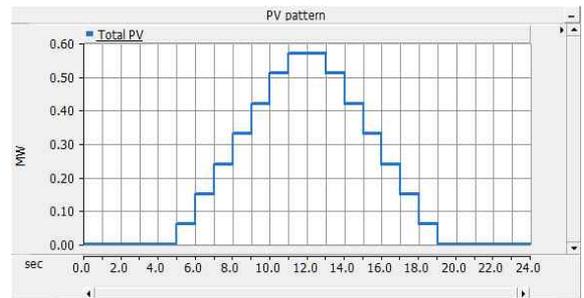
[그림 4] 복합 저압배전계통 모델링

2.2 시뮬레이션 및 결과 분석

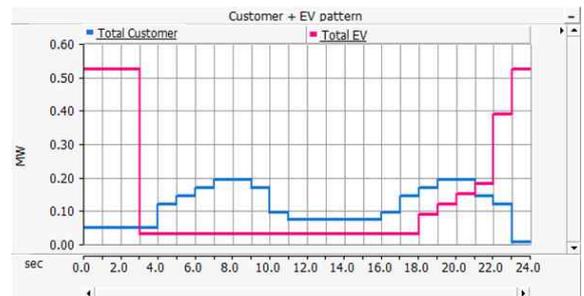
시뮬레이션을 위한 제원은 표 2와 같으며, 각 버스에 연계된 부하 및 태양광전원은 시간에 따라 동일하게 변동되도록 하며 패턴은 그림 5와 그림 6과 같다. 경부하 및 중부하 시 전기 자동차 충전을 동시에 고려할 경우 모든 구간 전력의 합은 0 ~ 570 kW로 변압기 용량의 1.9배까지 변동하도록 한다. 태양광 전원의 경우 낮 시간에 최대 발전을 하도록 가정하고 각 bus에 연계된 모든 출력의 합은 변압기 용량의 1.9배인 570 kW 까지 변동하도록 한다. 말단에 연계된 ESS는 알고리즘에서 미리 계산되어진 기준값(PL, PG) 을 초과하였을 경우에만 동작한다.

[표 2] 모델 파라미터

Category	Contents
Pole Transformer	300 [KVA], 13200/230 [V]
Rated Voltage	220 [V]
PF	1
Line Impedance 1	XLPE/PVC-95 [mm]2 Z=0.248+j0.0852 [ohm/km]
Line Impedance 2	XLPE/PVC-120 [mm]2 Z=0.196+j0.0980 [ohm/km]
Load (customer. EV)	0 [kW] ~ 570 [kW]
PV	0 [kW] ~ 570 [kW]
ESS Output	0 [kW] ~ 320 [kW]



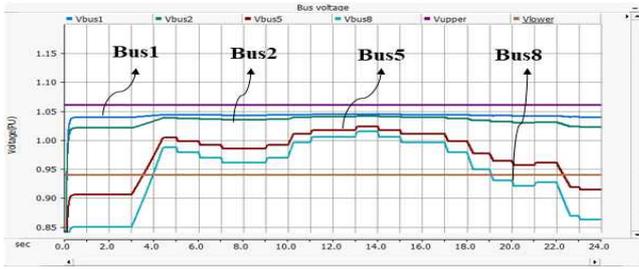
(a)



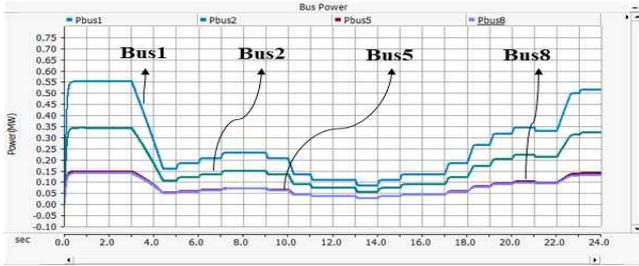
[그림 5] (a)태양광전원 및 (b)부하 패턴

2.2.1 ESS 연계 전 저압계통의 선로용량 및 전압 특성

그림 6과 그림 7은 ESS가 연계되지 않은 상태에서 EV를 포함한 부하 및 태양광전원을 변압기 용량의 1.9배까지 운용할 경우의 시뮬레이션 결과로 전압 및 선로용량이 하한치 및 주상변압기 용량을 크게 벗어남을 확인할 수 있다.

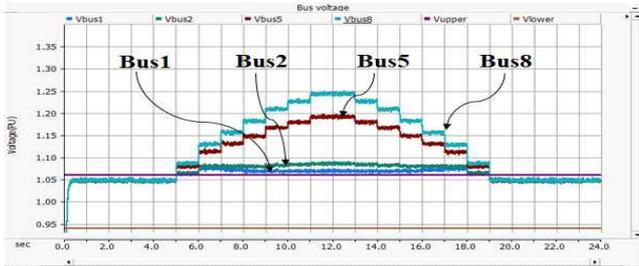


(a) 전압

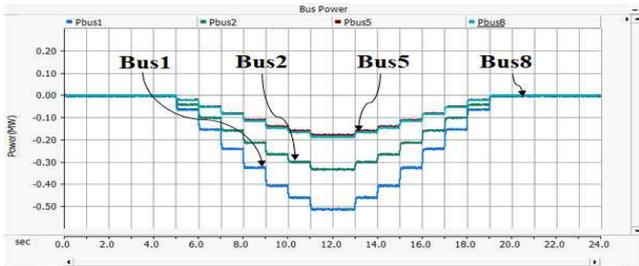


(b) Bus 측정전력

[그림 6] ESS 연계 전 부하 및 EV 운용에 복잡저압계통 특성



(a) 전압

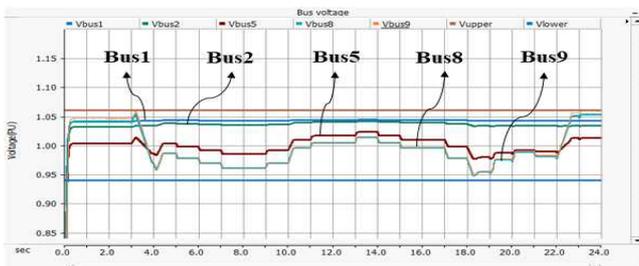


(b) Bus 측정전력

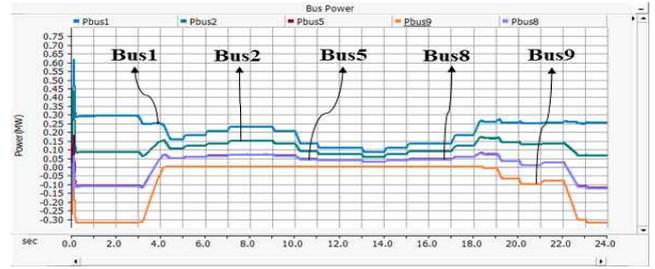
[그림 7] ESS 연계 전 태양광전원 운용에 따른 복잡저압계통 특성

2.2.2 ESS 연계 후 저압계통의 선로용량 및 전압 특성

그림 8과 그림 9는 ESS를 연계 상태에서 EV를 포함한 부하 및 태양광전원을 운용한 경우의 결과로 전압 및 선로용량이 하한치 및 주상변압기 용량을 크게 벗어남을 확인할 수 있다.

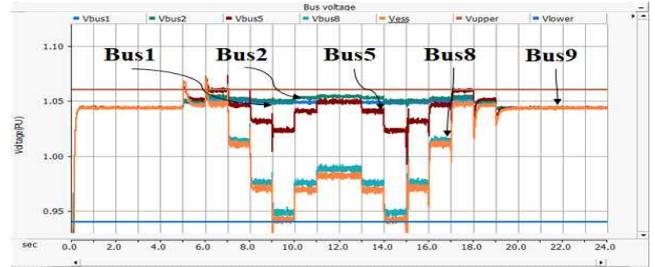


(a) 전압

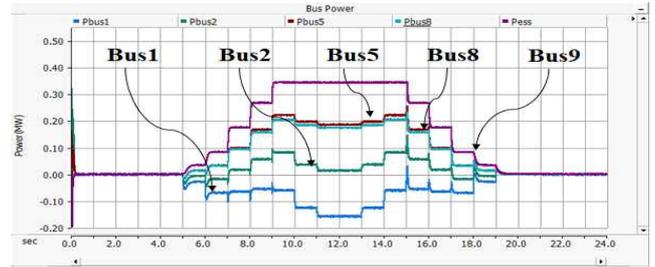


(b) Bus 측정전력

[그림 8] ESS 연계 전 부하 및 EV 운용에 따른 복잡저압계통 특성



(a) 전압



(b) Bus 측정전력

[그림 9] ESS 연계 전 부하 및 EV 운용에 따른 복잡저압계통 특성

4. 결론

본 논문에서는 ESS를 이용하여 저압배전시스템에 연계되는 전기자동차 및 신재생에너지의 수용성을 확대하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 기설계통의 설비를 교체하지 않고 전압 및 선로용량을 일정범위 이내로 유지시키면서 EV를 포함한 부하 및 태양광전원의 연계용량을 해당 주상변압기 용량의 최대 2배까지 연계할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(no. 2020303002000).

참고문헌

- [1] 산업통상자원부, 제 3차 에너지기본계획, 2019.
- [2] 제주특별자치도, 카본프리 아일랜드 제주 2030 수정 보완 계획, 2019.
- [3] B.K. Kim, "Novel voltage control method of the primary feeder by the energy storage system and step voltage regulator," Energies, vol. 12(17), 3357, pp. 1-18, 2019.