

# 전기차 충전 부하를 활용한 제주 배전계통의 태양광발전 연계용량 평가

남준혁\*, 조동일\*, 조윤진\*, 문원식\*  
 \*숭실대학교 전기공학과  
 e-mail: junhyuk6@gmail.com

## Evaluation of PV Hosting Capacity Enhancement in Jeju Distribution Systems Using EV Charging Load

Junhyuk Nam\*, Dongil Cho\*, Yunjin Cho\*, Wonsik Moon\*  
 \*Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University

### 요약

본 논문은 제주 배전계통에서 전기차(EV) 충전 부하를 활용한 태양광발전(PV) 수용력 증대 효과를 정량적으로 분석한다. 시뮬레이션 결과, EV 최대 충전 부하가 0.20MW에서 0.60MW로 증가함에 따라 PV 연계 용량이 최대 1.40MW까지 추가로 확보되었다. 이는 EV 충전이 주간 과전압 문제를 완화하여 PV 수용력을 높이는 효과적인 유연성 자원임을 보여준다.

### 1. 서론

제주 지역은 태양광발전(PV) 보급이 확대됨에 따라 주간 시간대 과전압 문제로 신규 설비의 계통 연계가 제한받고 있다. 기존의 에너지 저장장치(ESS) 설치나 선로 보강은 경제적 부담이 크다[1]. 이에 대한 대안으로, PV 발전 피크와 충전 시간대가 일치하는 제주의 전기차(EV) 충전 특성이 주목받고 있다. EV 충전 부하는 PV 잉여 발전을 흡수해 과전압을 완화함으로써 PV 수용 능력을 향상시킬 수 있다. 본 연구는 EV 충전 규모에 따른 PV 추가 연계 용량 변화를 정량적으로 분석하여, EV의 계통 유연성 자원으로서의 가치를 검증하고자 한다.

### 2. 계통 모델링

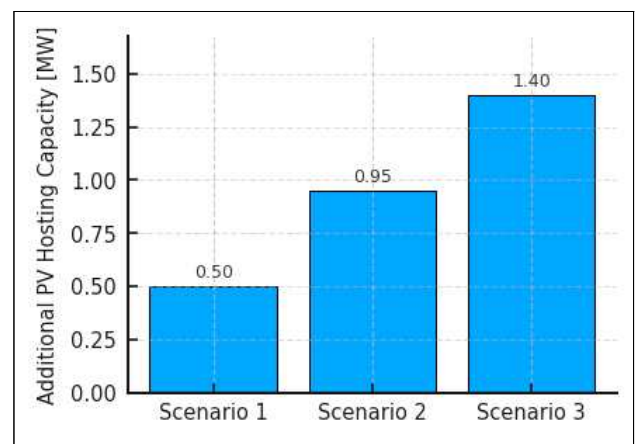
본 연구는 실제 국내 배전계통을 참조하여 154/22.9[kV] 변전소로부터 전력을 공급받는 단일 배전선로를 8개 노드로 구성된 간소화 모델로 구현하였다. 총 부하는 3.25MW(역률 0.95)로 각 노드에 균등하게 할당하였으며, 전압 변동에 가장 취약한 선로 말단(노드 8)에 EV 충전소를 배치하였다. 분석의 기준이 되는 초기 상태에서 계통에는 총 11.96MW의 PV가 연계되어 있다.

EV 충전 규모가 PV 수용용량에 미치는 순수 효과를 분석하기 위해, 충전 패턴과 위치는 고정하고 최대 충전 전력만을 변수로 설정하였다[2]. 시나리오는 EV 최대 충전 부하를 각각 0.20MW, 0.40MW, 0.60MW로 설정한 세 가지 경우로 구성하였다. PV 추가 수용용량은 계통의 모든 지점에서 한국전력공사의 전압 유지 범위(선간전압 20.8-23.8[kV])를 위반하지 않는 최대 PV 연계량으로 정의한다[3]. OpenDSS와 Python을 연동한 시뮬레이션 환경에서, 각 시나리오별로 PV 용량을 0.05MW씩 점진적으로 증

설하며 24시간 전력조류 계산을 반복 수행하였다. 전압 기준을 최초로 위반하기 직전의 누적 PV 증설량을 해당 시나리오의 추가 수용용량으로 산정하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 분석

각 시나리오에 따른 PV 추가 수용용량 분석 결과는 그림 1과 같다. EV 최대 충전 부하가 0.20MW인 시나리오 1에서는 0.50MW의 PV를 추가 연계할 수 있었다. 충전 부하를 0.40MW로 늘린 시나리오 2에서는 0.95MW, 0.60MW인 시나리오 3에서는 1.40MW까지 PV 연계가 가능했다.



[그림 1] 시나리오별 태양광발전 추가 연계 가능 용량

이는 초기 PV 용량(11.96MW) 대비 각각 약 4.2%, 7.9%, 11.7% 증가한 수치이다. EV 충전 부하가 증가할수록 PV 수용용

량 또한 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 이는 EV 충전이 PV 발전 피크 시간대의 전압 상승을 효과적으로 억제했기 때문이다. 다만, 투입된 EV 충전 부하 1MW당 확보되는 PV 추가 연계용량은 시나리오 1에서 2.50MW, 시나리오 2에서 2.38MW, 시나리오 3에서 2.33MW로 소폭 감소하는 경향을 보였다. 이는 EV 충전 규모가 커질수록 PV 수용용량 증가 효과의 효율이 점차 둔화됨을 의미한다. 그럼에도 불구하고 모든 시나리오에서 선로의 열적 제약(허용전류)은 발생하지 않았다[4].

#### 4. 결 론

본 연구는 제주 배전계통에서 EV 충전 부하가 PV 수용용량 증대에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 시뮬레이션 결과, EV 충전 부하를 0.20MW, 0.40MW, 0.60MW로 단계적으로 상향함에 따라, 추가로 확보되는 PV 연계용량은 각각 0.50MW, 0.95MW, 1.40MW로 증가함을 확인하였다. 이는 EV 충전 인프라가 별도의 대규모 투자 없이 계통의 유연성을 높이고 재생에너지 수용력을 확대하는 실용적인 방안이 될 수 있음을 입증한다. 본 분석은 EV 충전 위치와 패턴을 고정하여 결정론적으로 접근하였으나, 실제 충전 수요의 불확실성을 고려한 확률론적 분석이 향후 연구 과제로 남아있다. 이를 통해 보다 일반화된 결론을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기본사업(C5-2421)을 재원으로 수행한 연구개발과제의 결과입니다.

#### 참고문헌

- [1] S. Fatima et al., "Review on the PV Hosting Capacity in Distribution Networks," *Energies*, vol. 13, no. 18, Art. no. 4756, 2020.
- [2] 한국전력거래소, "전기차 및 충전기 보급·이용 현황 분석보고서," 2023.
- [3] "분산형전원 배전계통연계 기술기준", 한국전력공사, 2023
- [4] 임현옥, 김현진, 심준보, 조성수. (2020). 배전선로의 분산전원 연계용량 기준 상향을 위한 분석 연구. *전기학회논문지*, 69(3), 516-522.