

전기자동차용 이동형 스마트 전원공급장치의 경제성 평가에 관한 연구

최성문*, 박동명*, 페레이라 마리토*, 김미영**, 노대석*

*한국기술교육대학교 전기공학과

**호원대학교 전기공학과

e-mail:moon9507@koreatech.ac.kr

A Study on Economic Evaluation of Movable Power Supply Device for Electric Vehicle

Sung-Moon Choi*, Dong-Myung Park*, Marito Ferreira*, Mi-Young Kim**, Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

**Dept. of Electrical Engineering, Howon University

요 약

화석연료의 고갈과 환경오염 등의 문제로, 정부는 전기자동차(Electric Vehicle, EV) 보급정책을 적극적으로 시행하고 있으며, 이로 인하여 EV의 수요는 계속해서 증가되고 있다. 현재는 기 설치된 충전소로도 EV에 충분히 대응할 수 있지만, 증가되는 EV 보급에 따라 EV 충전소의 추가적인 설치가 요구된다. 하지만, 전력회사의 공급선로 확대, 수용가의 수배전용 설비 증설(변압기 용량, 저압선로), 고정형 EV 충전기의 낮은 이용률, 수용가 전력품질 문제 등을 고려하면, EV 충전기의 설치 공간(부지확보)과 비용측면에서 문제가 될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 EV 충전기의 증설을 지연시키기 위하여, 고정형 EV 충전기를 대체할 수 있는 EV용 이동형 스마트 전원공급장치(Movable Power Smart Supply Device, MPSD)를 제안하고, 기존의 고정형 EV 충전기의 설치비용과 제안한 EV용 MPSD의 도입비용을 비교 및 평가하기 위한 MPSD의 경제성 평가 모델링을 제시한다. 제안한 모델링을 바탕으로 고정형 EV 충전기와 EV용 MPSD의 경제성을 비교한 결과, 일정 거리 이상에 위치하는 EV 충전기를 증설하는 경우, 제안한 MPSD를 도입하는 것이 기존의 방식에 비하여 경제적임을 알 수 있었다.

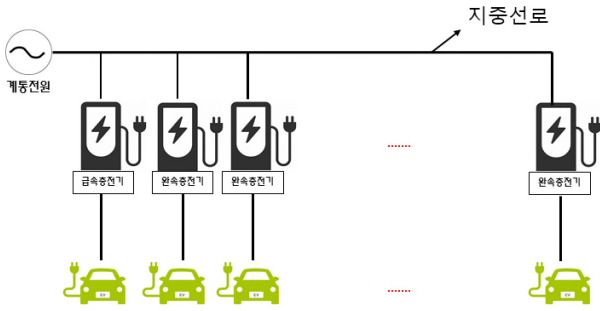
1. 서 론

최근, 정부는 온실가스 감축과 에너지 효율의 향상을 위하여, 2022년까지 43만대의 전기자동차(electric vehicle, EV) 보급을 목표로 하고 있다. 현재, EV의 보급량은 2019년을 기준으로 93,000대이며, EV 충전기는 전체 보급량 대비 약 1/7 수준인 13,000대가 설치 및 운용되고 있다[1]. 그러나, 화석연료의 고갈과 환경오염 등의 문제로, 정부는 EV 보급정책을 적극적으로 시행하고 있으며, 이로 인하여 EV의 수요는 계속해서 증가될 것으로 예상된다. 현재까지는 기 설치된 충전소로도 충분히 EV 충전에 대응할 수 있지만, 향후 EV의 보급률이 급증하게 되면 충전소 부족 문제가 발생할 수 있고, 이에 따라 EV 충전소의 추가적인 설치가 요구된다. 그러나, 전력회사의 공급선로 확대, 수용가의 수배전용 설비 증설(변압기 용량, 저압선로), EV 충전기의 낮은 이용률, 공급전력 품질 문제 등을 고려하면, EV 충전기(급속)의 증설은 공간(부지확보)과 비용측면에서 많은 손실을 야기시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 EV 충전기의 증설을 지연시키기 위하여, 고정형 EV 충전기를 대체할 수 있는 EV용 이동형 스마트 전원공급장치(Movable Power Smart Supply Device, MPSD)를 제안

하고, 기존의 고정형 EV 충전기의 설치비용과 제안한 EV용 MPSD의 도입비용을 비교 및 평가하기 위한 MPSD의 경제성 평가 모델링을 제시한다. 제안한 모델링을 바탕으로 고정형 EV 충전기와 EV용 MPSD의 경제성을 비교한 결과, 일정 거리 이상 EV 충전기를 증설할 경우, 제안한 MPSD를 도입하는 것이 기존의 방식에 비하여 경제적임을 알 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

2. EV용 MPSD의 구성

기존의 고정형 EV 충전방식을 나타낸 그림 1와 같이, EV 충전기는 일반적으로 부지 내 지중선로를 통해 전력을 공급받고 있다. 하지만, EV의 도입으로 인해 선로를 증설하게 되면, 부지 내 EV 충전기 설치공간의 확보, EV 충전기의 낮은 이용률, 계약용량, 수배전 변압기등을 추가적으로 시설해야 하므로, 비용 측면에서 경제적이지 못하다. 따라서, 본 논문에서는 고정형 EV를 대체할 수 있고, EV 충전설비의 추가설치를 지연시킬 수 있는 MPSD를 제안한다. MPSD는 EV 충전기의 설치가 필요하지만, 설치 시 설비증설이 요구될 경우 증설 지연을 위해, 임시방편으로 운영된다.



[그림 1] 기존의 고정형 EV 충전소

MPSD를 구현한 그림 2와 같이, 태양광 판넬, DC/DC 컨버터, 태양광 가대, 리튬이온배터리 등을 설치하여 운용된다. 또한, 기존의 고정형 EV 충전기의 역할을 대신 할 수 있다. 한편, MPSD 사용자는 태양광 패널로 충전된 MPSD를 EV 충전장소까지 이동시켜, 고정형 EV 충전기의 추가 도입으로 인한 문제점을 해결하고 EV 충전을 통해 공급의 유연성 및 설비연효과를 확보할 수 있다.



[그림 2] MPSD의 구성

3. MPSD의 경제성 평가 모델링

3.1 EV용 MPSD의 비용요소 모델링

(1) 태양광 패널 설치비용

설치비용은 태양광 패널을 설치하는데 지출되는 총 비용으로서 식 (1)과 같이, 태양광 판넬 비용, 태양광 가대 비용, 태양광 용량비용, 운용비용등이 포함된다[2].

$$C_{con} = C_{pv} \cdot Q_{pv} \cdot (1 + R_{op}) \quad (1)$$

여기서, C_{con} : 태양광 설치비용 (원), C_{pv} : 태양광 패널비용 (원/kW), Q_{pv} : 태양광의 용량(kW), R_{op} : 운영비용

(2) MPSD의 설치비용

MPSD의 설치비용은 식 (2)와 같이, 리튬이온 배터리에 대하여 MPSD의 kW 및 kWh 용량을 각각 곱하여 산정한다.

$$C_{mpsd} = (C_{con} \cdot Q_{kw,mpsd} + C_{batt} \cdot Q_{kwh,mpsd}) \cdot (1 + R_{op}) \quad (2)$$

여기서, C_{mpsd} : MPSD의 비용(원), C_{con} : MPSD의 DC/DC 컨버터 비용(원/kW), $Q_{kw,mpsd}$: MPSD의 kW 용량, C_{batt} : MPSD의 배터리 비용(원/kWh), $Q_{kwh,mpsd}$: MPSD의 kWh 용량

(3) MPSD의 교체비용

MPSD의 교체비용은 배터리의 폐기연도를 기준으로, MPSD의 설치비용에 가격 하락률을 곱하여 식 (3)와 같이 산정한다.

$$C_{ex,mpsd}(x) = C_{mpsd} \cdot (1 - R_{drop})^x \quad (3)$$

여기서, $C_{ex,mpsd}(x)$: MPSD의 교체비용(원), x : 교체연도, C_{mpsd} : MPSD의 투자비용(원), R_{drop} : 할인율

3.2 고정형 EV 충전기 비용요소 모델링

(1) 고정형 EV 충전기 건설비용

고정형 EV 충전기의 건설비용은 식 (4)와 같이 EV 충전기 비용, EV 충전기 용량

$$C_{con} = C_{char} \cdot Q_{char} \quad (4)$$

여기서, C_{con} : 전기자동차 충전기의 건설비용(원), C_{char} : 전기자동차 충전기의 비용(원/kW), Q_{char} : 전기자동차 충전기의 용량(kW)

(2) EV 충전기 교체비용

교체비용은 EV 충전기 열화로 인해 발생하는 비용으로서, EV 충전기의 폐기연도를 기준으로 EV 충전기의 초기설치비용에 EV 충전기의 가격 하락률을 곱하여 식 (5)와 같이 산정한다.

$$C_{ex,char}(x) = C_{char} \cdot Q_{char} \cdot (1 - R_{drop})^x \quad (5)$$

여기서, $C_{ex,char}(x)$: 전기자동차 충전기의 교체비용(원), R_{drop} : 할인율, C_{char} : 전기자동차 충전기의 비용(원/kW), Q_{char} : 전기자동차 충전기의 용량(kW), R_{drop} : 할인율

(3) 배전선로 증설 비용

배전선로 증설비용은 선로증설로 인해 발생하는 비용으로서 지중선로의 공사비용에 증설거리를 곱하여 식 (6)과 같이 산정한다.

$$C_l = C_{cable} \cdot L_{km} \quad (6)$$

여기서, C_{cable} : 지중선로의 공사비용(원/km), L_{cable} : 증설거리(원/km)

3.3 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용은 미래에 발생하는 비용으로 식(7)과 같이 해당연도에 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산한다[3].

$$C_{pw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{flow}(i)}{(1+r)^i} \quad (7)$$

여기서, C_{pw} : 현재가치, n : 기간, r : 할인율, C_{flow} : 해당연도의 현금흐름, i : 년도

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

기존의 고정형 EV 충전기의 설치비용과 제안한 EV용 MPSD의 설치비용을 비교하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, MPSD는 고정형 EV 충전기와 같이 K대학교에서 20년간 운용된다고 가정하며, 동일한 조건으로 비교하기 위하여, MPSD의 용량과 변압기 용량을 동일하게 상정한다. 또한, 고정형 EV 충전기 추가시설 시 선로증설 거리에 따라 비용의 변화를 확인하기 위하여, 지중선로 증설거리를 200m와 800m로 구분한다. 한편, 경제성 평가 조건으로 설비 부하율 100%, 대출기간 15년, 할인율 5%, 물가상승률 3%, 은행 연이자율은 4.5%를 고려한다. 상기의 조건을 바탕으로 고정형 EV 충전기와 제안한 MPSD의 경제성을 비교하기 위한 충전설비의 설치단가와 운영비용을 나타내면 표 4와 같다.

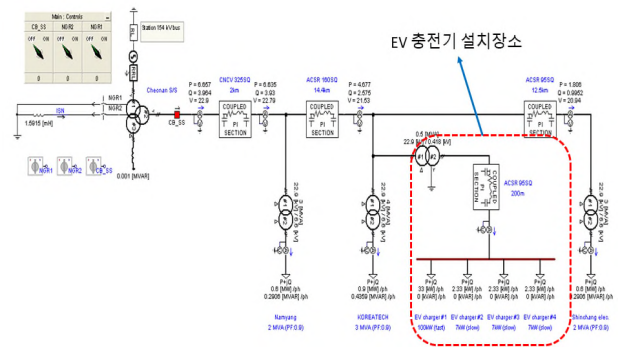
[표 3] 시뮬레이션 조건

| 구분 | 조건 |
|---------------|----------------|
| 지중선로(m) | 200m, 800m 증설 |
| 변압기(kW) | 500kW 증설 |
| MPSD(kW) | 500kW 신설 |
| 태양광(kW) | 10kW 신설 |
| 급속 충전기(100kW) | 500kW(총 5대 신설) |
| 설비 부하율(%) | 100% |
| 물가상승률(%) | 3% |
| 할인율(%) | 5% |
| 대출기간(년) | 15년 |
| 은행 연이자율(%) | 4.5% |
| MPSD 수명 | 10년 |
| 분석기간 | 20년 |

[표 4] 충전설비의 설치단가 및 운영비용

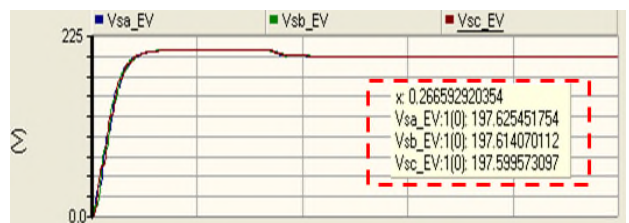
| 구분 | 설치단가 (천원/kW), (천원/kWh),(천원/m) | 운영비용 |
|--------------|-------------------------------|------------|
| PV(kW) | 1,500 | 설치단가의 2.5% |
| MPSD(kW/kWh) | 380 | |
| 변압기(kW) | 1,000 | |
| EV 충전기(kW) | 21,000 | |
| 선로증설(지중선로) | 500 | |

4.2 PSCAD/EMTDC에 의한 EV 충전소의 전력품질 특성
고정형 EV 충전기가 도입된 수용가 전압의 문제점을 분석하기 위하여, 천안변전소로부터 K대학교까지의 전체 배전계통을 모델링하면 그림 1과 같다. 여기서, 전체 배전계통의 모델링은 154kV 배전용 변전소, 22.9KV 배전선로, 수용가 주 변압기, 수용가 저압선로, EV 충전기(급속 충전기 100kW X 1대, 완속 충전기 7kW X 3대)로 구성된다.

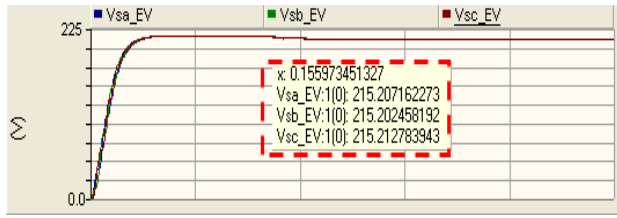


[그림 1] 천안변전소부터 K대학교의 전체 계통 모델링

그림 2는 급속 충전기 100kW 1대 설치 시 충전기의 입력 전압을 나타내는데, 각상 상전압이 197V로 수용가 전압 허용범위(220V±13)를 벗어나게 된다. 또한, 그림 3은 완속 충전기 7kW 한 대 설치 시 EV 충전기의 입력전압을 나타내는데, 각상 상전압 215V로 수용가 전압 허용범위 내에 유지됨을 알 수 있다. 하지만, 완속 충전기의 경우는 EV 충전속도가 느리기 때문에, 다수의 EV 충전을 위해서는 완속 충전기 설치개수가 증가되어야 한다. 따라서, K대학교는 EV 충전기를 추가 설치하는 경우, 선로증설이 불가피함을 알 수 있다.



[그림 2] 급속 충전기(100kW)1대 추가 설치 시

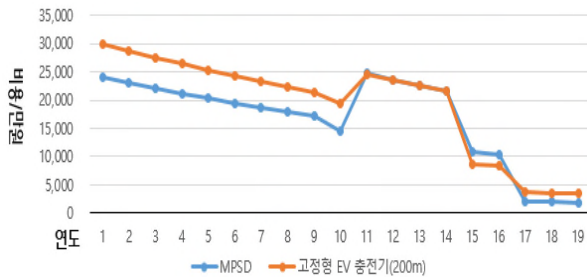


[그림 3] 완속 충전기(7kW)1대 추가 설치 시

4.3 MPSD의 경제성 평가

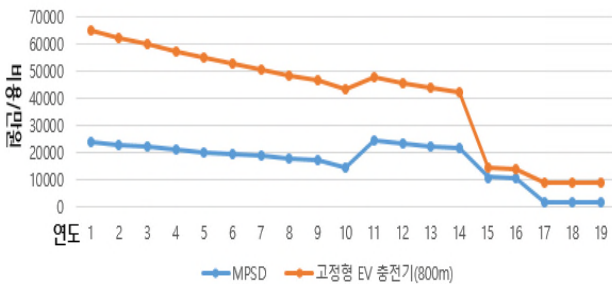
(1)공급선로별 경제성 분석

고정형 EV 충전기와 본 논문에서 제안하는 MPSD의 현금흐름을 나타내면 그림 4와 같다. 이 그림에서와 같이, 고정형 EV 충전기에 전력을 공급하기 위해 지중선로 200m 증설하는 경우, 지중선로 공사비용이 고정형 EV 충전기 설치비용에 크게 포함되므로, MPSD가 고정형 EV 충전기 보다 경제적임을 알 수 있었다.



[그림 4] 200m 증설 시, MPSD와 고정형 EV 충전기의 비용

또한, 고정형 EV 충전기(지중선로 800m 증설)와 MPSD의 현금흐름을 나타내면 그림 5와 같다. 이 그림에서와 같이, 지중선로를 800m 증설시 지중선로 공사비용이 고정형 EV 충전기 설치비용에 크게 포함되어, MPSD가 고정형 EV 충전기 보다 경제적임을 알 수 있었다. 따라서, 수용가 측면에서 EV 충전기를 시설하는 경우, 설비증설지연 효과와 공급의 유연성을 가지고 있는 MPSD를 사용하는 것이 경제적임을 알 수 있었다.



[그림 5] 800m 증설 시, MPSD와 고정형 EV 충전기의 비용

5. 결 론

본 논문에서는 고정형 EV 충전기를 대체할 수 있고, 이동이 가능한 EV용 MPSD를 제안하였으며, MPSD의 경제성을 평가하기 위하여 고정형 EV 충전기와 MPSD의 비용을 현재 가치 환산법을 통한 모델링을 제시했다. 또한 제시한 모델링을 바탕으로 경제성을 평가한 결과, MPSD가 고정형 EV에 비해서 비용과 설비증설을 지연 시킬 수 있어 본 논문에서 제안한 MPSD의 유용함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20182410105070, No.20191210301940)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 박기준, “EV 충전인프라 보급현황 및 기술 동향”, 전력전자학회지, 제 24권 5호, pp. 28-35, 2019.
- [2] 박지현, 김병목, 이후동, 남양현, 노대석, “이차전지를 이용한 태양광전원 운용효율향상장치의 모델링에 관한 연구”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 제 19권 10호, pp. 590-597, 2018.
- [3] 김미영, “CER 가격에 따른 도서지역용 MG 발전사업자의 연평균수익률 분석” 전기학회논문지 제 67권 4호, pp. 512-521, 2018.