

EV용 이동형 전원공급장치의 구현 및 경제성 평가에 관한 연구

최성문¹, 한병길¹, 이후동¹, 김미영², 노대석^{1*}
¹한국기술교육대학교, ²호원대학교

Implementation and Economic Evaluation of Movable Power Supply Device for Electric Vehicle

Sung-Moon Choi¹, Byeong-Gill Han¹, Hu-Dong Lee¹, Mi-Young Kim², Dae-Seok Rho^{1*}
¹Korea University of Technology and Education, ²Howon University

요약 기존의 고정형 EV(electric vehicle) 충전기는 이용률이 증가하게 되면 충전 인프라 설비 부족으로 인해 사용자의 충전 대기시간이 길어지는 불편함이 발생할 수 있고, EV 충전기를 증설하는 경우, 배전선로(지중) 증설비용 및 선로의 전압강하로 인한 전력품질 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하고, EV 충전기 부족으로 인한 불편함을 해결할 수 있는 EV용 이동형 전원공급장치(movable power supply device, MPSD)를 제안한다. 제안한 MPSD는 태양광전원부, 에너지저장부, EV용 충전기부, 감시제어부로 구성되고, 사용자의 환경요소에 따라 MPSD를 유연하게 이용할 수 있도록 3가지 운용모드로 나눌 수 있다. 또한, 경제성 평가 모델링을 비용요소와 편익요소로 구분한다. 여기서, MPSD의 비용요소로는 태양광전원부, 에너지저장부, EV 충전기부, 감시제어부의 설비비용과 기존의 EV 충전기 설비비용, 배전선로 증설비용, 기존의 EV 충전기 운용비용등의 편익요소로 구성되며, 이를 바탕으로 현재 가치 환산법을 사용하여 경제성을 평가한 결과, MPSD가 기존의 고정형 EV 충전기보다 유리함을 알 수 있었고, 설치지점의 거리에 따라 편익이 크게 좌우함을 확인하였다.

Abstract Power quality problems caused by feeder voltage drop and extension construction cost problems can occur with the increasing utilization rates of the existing fixed-type EV (electric vehicle) charger. Moreover, EV users might not be able to access the EV charger due to a lack of EV charging facilities. Therefore, this paper proposes an MPSD (movable power supply device) for EVs to overcome user inconvenience caused by the insufficient number of chargers and extension cost issues. The proposed MPSD was mainly composed of a PV (photovoltaic) system, ESS (energy storage system), EV charging system, and monitoring and control system. Furthermore, there are three operation modes available to enhance the flexibility of the MPSD application, depending on the situation. This paper also presents an economical evaluation modeling using the present worth method to consider the cost and benefit elements. The simulation results based on proposed modeling showed that MPSD is more economical than the existing EV charger. Moreover, its profit can be increased significantly depending on the distance to the installation point.

Keywords : MPSD, EV Charger, PV System, ESS, Monitoring and Control System, Power Quality, Labview S/W

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20206910100090)와 2020년 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥 과제 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received September 18, 2020

Revised October 19, 2020

Accepted December 4, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

최근, 정부에서는 온실가스 감축과 환경규제 강화에 대응하기 위한 방안으로 전기자동차(Electric Vehicle, EV)의 보급정책을 활발하게 시행하고 있다[1-4]. EV 충전기의 경우, 일반적으로 완속충전기(7kW)와 급속충전기(50kW, 100kW)로 분류되는데, EV의 충전특성으로 인해 충전 이용률이 증가하게 되면 충전 인프라 설비 부족으로 인해 사용자의 대기시간이 길어지는 불편함이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 고정형 EV 충전기를 증설하는 방안이 있지만, AC선로와 수배전용 설비를 증설하는 비용과 선로의 전압강하로 인해 전력품질이 저하되는 현상이 발생될 수 있다[5-7]. 따라서, 본 논문에서는 상기의 전력품질 문제와 경제적인 문제점을 해결하고, 충전기 부족으로 인한 사용자의 불편함을 해소할 수 있는 EV용 이동형 전원공급장치를 제안한다.

본 논문에서 제안하는 MPSD는 태양광전원부, 에너지저장부, EV용 충전기부, 감시제어부로 구성되며, 기존의 고정형 설비의 단점을 극복하기 위해 이동형으로 사용할 수 있는 것이 특징이다. 또한, 제안한 MPSD의 운용모드는 3가지로 나뉘어지는데, 태양광전원 또는 상용전원에 의하여 충전하는 에너지저장부의 충전모드와 에너지저장부에 의하여 단독으로 공급하는 EV 충전기모드, 그리고 태양광전원과 에너지저장부의 병렬운전에 의하여 충전하는 EV 충전기모드로 분류된다. 한편, 이를 바탕으로 구현한 MPSD의 태양광전원부는 태양광으로부터 발전된 에너지를 전력변환장치의 MPPT(maximum power point tracking) 제어에 의해 에너지저장부 및 EV용 충전기부에 공급하며, 에너지저장부는 에너지를 저장하고, 필요시 방전할 수 있으며, BMS(battery management system)를 통해 이상 시에 회로를 안전하게 차단하는 기능을 가진다.

또한, EV용 충전기부는 에너지저장부의 배터리로부터 EV를 충전하며, 감시제어부는 Labview와 DAQ를 통해 시스템 전체를 제어한다. 한편, 본 연구에서 제안한 MPSD와 기존의 고정형 EV 급속충전기의 비용요소 및 편익요소에 대해 현재까지 환산법에 의한 경제성 평가 모델링을 제시한다. 이를 바탕으로 MPSD의 경제성을 평가한 결과, 선로 공장에 따라 MPSD가 기존의 고정형 EV 충전기보다 경제적임을 알 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

2. MPSD의 구성 및 운용모드

2.1 기존의 급속충전기와 MPSD 차별성

기존의 고정형 EV 충전기는 완속충전기(7kW)와 급속충전기(50kW, 100kW)로 분류되며, 급속 충전기의 충전시간은 약 30~40분 정도 소요된다. 이러한 고정형 EV 충전기는 이용률이 증가할 경우, 사용자의 대기시간이 길어지는 불편함이 발생할 수 있다. 사용자의 불편함을 해소하기 위한 방안으로 고정형 EV 충전기를 증설하는 것은 AC선로와 수배전용 설비를 설치해야 하므로 막대한 비용이 요구되고, 선로의 전압강하로 인해 계통의 전력품질이 저하되는 현상이 발생될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 상기와 같은 문제점을 해결하고 고정형 EV 충전기 수요에 대응할 수 있는 EV용 MPSD를 제안한다. 여기서, MPSD는 Fig. 1과 같이, 에너지저장부에 저장된 에너지와 태양광발전을 이용하여 EV에 충전하는 장치로 추가적인 AC선로와 수배전 설비를 설치하지 않아 적은 비용으로 구현이 가능하다. 또한, 기존의 설치된 고정형 EV 충전기에 여유가 없는 경우, 이동형 MPSD에 의해 고정형 EV 충전기의 수요에 대응할 수 있는 장점을 가지고 있다.

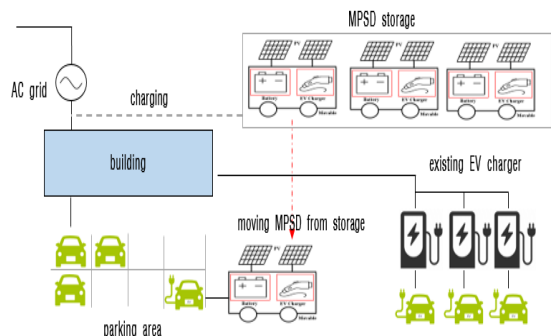


Fig. 1. Concept of MPSD and existing EV charger

2.2 MPSD의 구성

MPSD는 Fig. 2와 같이, 태양광전원부, 에너지저장부, EV충전기부, 감시제어부로 구성되며 이동하여 운영할 수 있는 장점을 가지고 있다. 태양광전원부는 태양광으로부터 발전된 에너지를 전력변환장치의 MPPT 제어에 의해 에너지저장부 및 EV용 충전기부에 공급한다. 에너지저장부의 배터리는 리튬이온전지로 구성되어 있으며, 운용모드에 따라 충전하거나, EV용 충전기부에 전력을 공급한다. 또한, 감시제어부에서는 Labview와 DAQ를 통해 전

압, 전류, SOC 및 온도를 계측하고, 차단기를 제어하며 유연하게 모드전환을 수행한다.

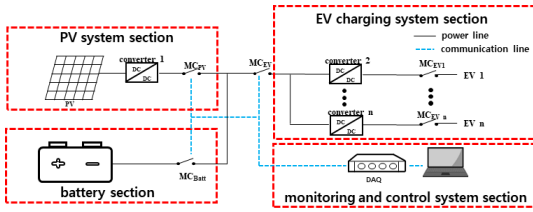


Fig. 2. Detailed configuration of MPSD

2.3 MPSD의 운용모드

MPSD의 운용모드는 태양광전원 또는 상용전원에 의하여 충전하는 에너지저장부의 충전모드와 에너지저장부에 의하여 단독으로 공급하는 EV 충전기모드와 태양광전원과 에너지저장부의 병렬운전으로 공급하는 EV 충전기모드로 나눌 수 있다.

2.3.1 에너지저장부 충전모드

에너지저장부 충전모드는 Fig. 3과 같이 태양광전원부에 의하여 에너지저장부의 배터리에 충전하거나 AC상용계통으로부터 에너지저장부의 배터리에 충전하는 운용모드이다.

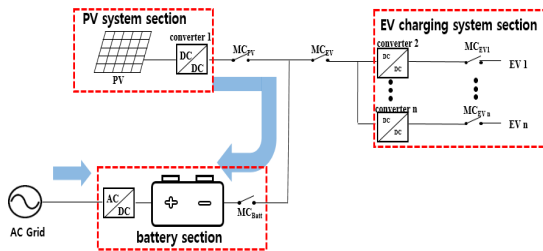


Fig. 3. Charging mode of battery section in MPSD

2.3.2 EV 충전기모드

EV 충전기모드는 Fig. 4와 같이 태양광전원부와 에너지저장부의 병렬운전모드와 에너지저장부의 단독운전모드로 분류할 수 있다. 먼저, 태양광전원부 및 에너지저장부의 병렬운전모드는 Fig. 4의 ①과 같이, 고정형 EV 충전기에 태양광전원부와 에너지저장부에서 에너지를 동시에 공급하는 운용모드이다. 또한, 에너지저장부 단독운전모드는 Fig. 4의 ②와 같이, 태양광발전이 불가능한 시간대에 에너지저장부의 배터리에서 EV충전기부로 에너지를 공급하는 운용모드이다.

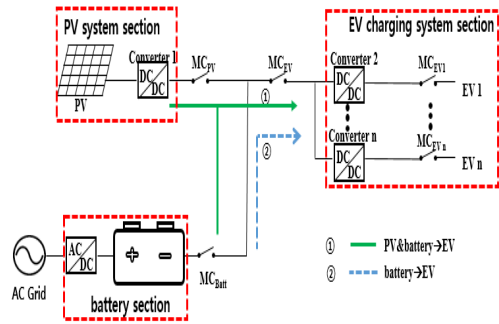


Fig. 4. Operation mode of EV charging system section in MPSD

3. EV용 이동형 전원공급장치의 구현

3.1 태양광전원부

태양광전원부는 에너지저장부의 배터리를 충전하기 위한 태양광모듈과 MPPT(maximum power point tracking) 제어를 수행하는 DC/DC 컨버터로 구성되며, 전체 회로는 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 태양광모듈은 STC (standard test condition)에서 500[W]의 정격출력을 가지고, 최대 출력점(P_{mp})에서의 전압 및 전류는 각각 48.6[V], 10.3[A]이며, 태양광모듈은 2직렬, 2병렬로 구성한다. 또한, DC/DC 컨버터는 입력부에 태양광모듈을 연결하여, MPPT 제어를 통해 발전된 에너지를 에너지저장부의 배터리에 충전시킨다. 상기의 태양광모듈과 DC/DC 컨버터의 상세한 전기적 특성 및 사양을 나타내면 Table 1과 같다.

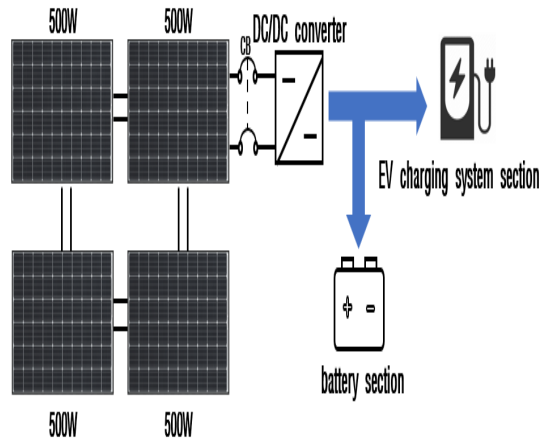


Fig. 5. Configuration of PV system in MPSD

Table 1. Specification of PV system

items		specifications
PV modules	rated power	500[W]
	voltage at Pmax	48.63[V]
	current at Pmax	10.28[A]
	open circuit voltage	59.01[V]
	short circuit current	10.87[A]
DC/DC converter	switch type	MOSFET
	rated power	2[kW]
	MPPT control method	P&O control
	efficiency	more than 95[%]
	input voltage	50~150[Vdc]
output voltage range		150~250[Vdc]

3.2 에너지저장부

MPSD의 에너지저장부는 Fig. 6과 같이 태양광전원부와 AC전원 계통으로부터 에너지를 저장하는 배터리팩과 이를 감시하고 안전하게 제어하기 위한 BMS(battery management system)로 구성한다. 여기서, 배터리팩은 3.3[kWh]급 4직렬 2병렬의 모듈로 구성하고 총 26.4[kWh]의 용량을 가지며, 상세한 사양은 Table 2와 같다. 또한, BMS는 각 모듈에 연결된 계측장치로부터 전압, 전류, 온도 등을 측정하여, 배터리의 SOC(state of charge)를 평가하거나, 셀의 밸런싱 상태를 감시하여 각 셀 전압의 편차가 커지는 경우, 셀 밸런싱 회로를 통해 각 셀의 전압을 균등하게 제어한다[8].

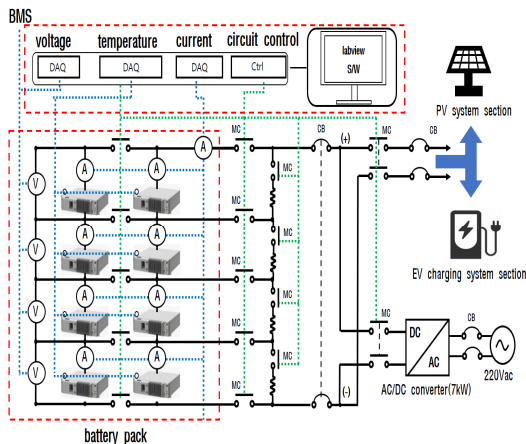


Fig. 6. Configuration of battery section in MPSD

Table 2. Specifications of Li-ion battery

items	specifications	
	modules	pack(4S*2P)
capacity	3.3[kWh] (64[Ah])	26.4[kWh] (128[Ah])
nominal voltage	51.5[V]	206[V]
operation voltage	42~58.8[V]	168~235.2[V]
weight	< 28[kg]	< 224[kg]

3.3 EV용 충전기부

MPSD의 EV용 충전기부는 에너지저장부의 배터리로부터 EV를 충전하는 역할을 수행하며, Fig. 7과 같이 전력반도체 스위치에 의한 컨버터는 입력 및 출력 모두 full-bridge의 형태인 DAB로 구성된다. 여기서, 충전기의 정격용량은 기존의 고정형 급속 EV 충전기(50kW) 용량의 절반인 25[kW]급으로 구성하며, 충전 가능한 전압의 범위는 차종에 무관하게 충전할 수 있도록 50~450[V]로 설정한다. 상기의 EV용 충전기의 상세한 사양을 나타내면 Table 3과 같다.

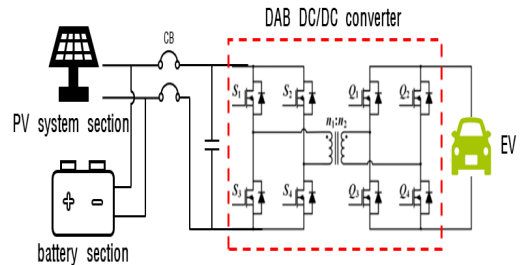


Fig. 7. Configuration EV charging system section in MPSD

Table 3. Specification of EV charging system section

items	specifications
rated power	25kW
input voltage	150~250V
output voltage	50V~450V
maximum current	110A
charging method	CC/CV

3.4 감시제어부

MPSD의 감시제어부는 Labview S/W를 이용하여 상기에서 구현한 태양광전원부, 에너지저장부, EV용 충전기부의 상태정보와 MPSD의 운용모드를 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록, Fig. 8과 같이 HMI 메인화면 메뉴로 구성한다. 이 그림에서와 같이, 감시제어부의 메인화면에

서는 태양광전원부의 발전량, 에너지저장부의 배터리의 SOC, SOH 등과 EV 충전기의 출력, 충전 예상시간을 확인할 수 있다. 한편, MPSD의 운용 중에 배터리의 또는 EV측에 이상상황이 발생할 경우, 에너지저장부의 회로를 안전하게 차단하고, 적색 경고등을 점등하여 사용자가 적절한 조치를 취할 수 있도록 상태알림 기능을 제공한다.

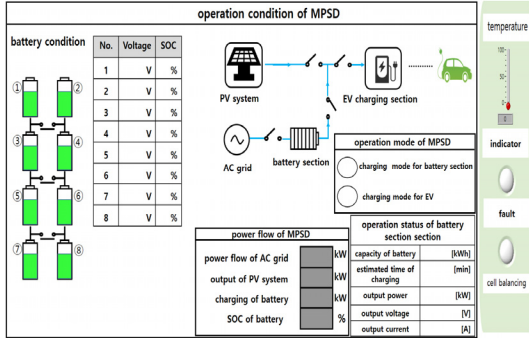


Fig. 8. HMI main menu of monitoring and control system in MPSD

4. MPSD의 경제성 평가 모델링

4.1 비용요소 모델링

비용요소는 MPSD의 태양광전원부, 에너지저장부, EV용 충전기부의 설비비용과 운용비용, 교체비용으로 구성되며, 교체비용은 배터리의 기술 진보에 따른 가격하락을 고려하여 적용한다[9].

4.1.1 태양광전원부 설비비용

태양광전원부 설비비용은 Eq. (1)과 같이, 태양광 모듈 비용과, DC/DC 컨버터 비용으로 구성된다. 여기서, 태양광모듈 비용은 태양광모듈 용량에 대하여 kW 단가로 산정되며, DC/DC 컨버터 비용은 DC/DC 컨버터 용량에 대하여 kW 단가로 산정된다. 단, 운용비용은 전체설비비용에 일정비율을 고려한다.

$$M_{pv} = C_{pv} \cdot Q_{pv} \cdot (1 + R_{op}) + C_{dc} \cdot C_{kw,dc} \quad (1)$$

여기서, M_{pv} : 태양광전원부 설비비용(원), C_{pv} : 태양광 모듈 비용(원/kW), Q_{pv} : 태양광전원부 용량(kW), R_{op} : 운용비용, C_{dc} : DC/DC 컨버터 단가(원/kW), $C_{kw,dc}$: 컨버터의 kW 용량

4.1.2 에너지저장부 설비비용

에너지저장부 설비비용은 Eq. (2)와 같이, 배터리비용, BMS 비용, AC/DC 컨버터 비용으로 구성된다. 여기서, 배터리 비용은 배터리 용량에 대하여 kWh로 단가로 산정되고, BMS 비용은 에너지저장부 설비비용의 일정비율을 고려한다. 또한, AC/DC 컨버터 비용은 AC/DC 컨버터 용량에 대하여 kW 단가로 산정된다.

$$E_{mpsd} = C_{batt} \cdot C_{kwh,mp} \cdot (1 + R_{op}) + C_{ac} \cdot C_{kw,ac} + B_{bms} \quad (2)$$

여기서, E_{mpsd} : 에너지저장부 설비비용(원), C_{batt} : 에너지저장부의 배터리 모듈단가(원/kWh), $C_{kwh,mpsd}$: 에너지저장부 배터리 용량(kWh), C_{ac} : AC/DC 컨버터 비용, $C_{kw,ac}$: 컨버터 용량, B_{bms} : BMS 비용

4.1.3 EV용 충전기부 설비비용

EV용 충전기부의 설비비용은 Eq. (3)과 같이, DC/DC 컨버터 kW단가에 정격용량을 곱하여 산정한다.

$$C_{ev} = (C_{dc} \cdot C_{kw,dc}) \cdot (1 + R_{op}) \quad (3)$$

여기서, C_{ev} : EV용 충전기부 설비비용, C_{dc} : EV용 충전기부의 DC/DC 컨버터 단가(원/kW), $C_{kw,dc}$: 컨버터의 kW 용량

4.1.4 배터리 교체비용

배터리의 교체비용은 배터리의 폐기연도를 기준으로, 당해 연도의 배터리의 단가에 가격 할인율을 곱하여 Eq. (4)와 같이 산정한다.

$$C_{ex,mpsd}(x) = (C_{batt} \cdot C_{batt,kwh}) \cdot (1 - R_{drop})^x \quad (4)$$

여기서, $C_{ex,mpsd}(x)$: 배터리 교체비용(원), x : 교체연도, C_{batt} : 배터리 단가(원/kWh), $C_{batt,kwh}$: 배터리 용량(kWh), R_{drop} : 할인율(%)

4.2 편익 요소

MPSD의 편익요소는 기존의 고정형 EV 충전기의 증설비용, 배전선로 증설비용, 운용비용 등을 고려한다.

4.2.1 고정형 EV 충전기 증설비용

고정형 EV 충전기의 증설비용은 Eq. (5)와 같이 EV 고정형 충전기의 kW 단가와 정격용량을 곱하여 산정한다.

$$C_{con} = C_{char} \cdot Q_{char} \quad (5)$$

여기서, C_{con} : 고정형 EV 충전기의 증설비용(원), C_{char} : 고정형 EV 충전기의 단가(원/kW), Q_{char} : 전기자동차 충전기의 용량(kW)

4.2.2 배전선로 증설비용

배전선로 증설비용은 Eq. (6)과 같이 지중선로 공사비용과 변압기 증설비용으로 구성된다. 여기서, 지중선로 공사비용은 지중선로의 공사단가에 증설거리를 곱하여 산정하고 변압기 증설비용은 변압기 단가에 용량을 곱하여 산정한다.

$$C_l = C_{cable} \cdot L_{km} + Tr_{kw} \cdot Tr_f \quad (6)$$

여기서, C_l : 배전선로 증설비용, C_{cable} : 지중선로의 공사단가(원/km), L_{km} : 증설거리(km), Tr_{kw} : 변압기의 용량(kW), Tr_f : 변압기의 단가(원/kW)

4.2.3 고정형 EV 충전기의 운용비용

운용비용은 고정형 EV 충전기의 유지 및 보수로 인해 발생하는 비용으로서 Eq. (7)과 같이, EV 충전기의 초기 설비비용에 일정비율을 고려한다.

$$C_{op} = C_{char} \cdot Q_{char} \cdot (1 + R_{op}) \quad (7)$$

여기서, C_{op} : 고정형 EV 충전기 운용비용, C_{char} : 고정형 EV 충전기의 단가(원/kW), Q_{char} : 고정형 EV 충전기의 용량(kW), R_{op} : 운용비용(%)

4.3 현재가치 환산법

상기의 비용과 편익은 미래에 발생하는 가치로서, Eq. (8)과 같이 현재가치 환산법에 의하여 해당연도에 대한 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산한다[10].

$$C_{pw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{flow}(i)}{(1+r)^i} \quad (8)$$

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

5. 시험 및 시뮬레이션 결과분석

5.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 K대학교에 기존의 고정형 EV 급속충전기(100kW) 1대를 추가적으로 설치하는 경우와 기존의 고정형 충전기를 25[kW]급 MPSD 4대로 대체하는 경우에 대하여 편익분석을 통해 경제성을 평가한다. 또한, K대학교에 설치된 EV 충전기는 주변압기에서 200m 떨어진 곳에서 운용되고 있으므로, 선로 증설은 지중선로를 고려한다. 상기의 시뮬레이션 조건은 Table 4와 같이 나타낼 수 있다. 한편, MPSD의 운용특성을 확인하기 위한 EV 충전 시험과 BMS의 셀 밸런싱 시험의 조건은 Table 5와 같다. 먼저, EV 충전 시험은 11.72kWh의 용량의 리튬이온 배터리를 완전히 방전한 상태(SOC 0%)에서 0.2 C-rate로 충전하여, 완전충전조건까지 충전하도록 한다. 또한, 셀 밸런싱 시험은 충전종료 이후 휴지기간에 최대 셀 전압과 최소 셀 전압의 차이가 20mV 이상의 편차가 발생한 경우를 상정하여, 패시브 밸런싱 방식으로 수행한다.

Table 4. Test conditions of economic evaluation

items	conditions
MPSD, 1EA (25kW)	30,740,000
fixed-type of fast charger (100kW), 1EA	30,000,000
underground line, 200m with 500kW transformer	150,000,000
load rate of facility	100%
inflation rate	3%
discount rate	5%
maintenance cost	2.5%
loan period (year)	15 years
annual interest rate	4.5%
life-span of MPSD	10 years
evaluation period	20 years

Table 5. Test conditions of EV charging section

items	contents	
test condition of EV charger section	charging method	CC-CV
	charging c-rate	0.2C
	cut-off current	0.1A
	EV battery capacity	11.72kWh(44Ah)
test condition of cell balancing	balancing method	passive balancing
	voltage deviation of cells	20mV

5.2 MPSD의 설치조건 분석

MPSD의 설치조건을 분석하기 위해, Fig. 9와 같이 K대학교 구내 배전계통을 PSCAD/EMTDC를 통해 모델링하고, 고정형 EV 충전기 증설 시에 나타나는 전력품질 특성을 확인한다. 여기서, Fig. 9의 A는 154kV 배전용 변전소, B는 22.9KV 배전선로, C는 K대학교의 주변전실, D는 주변전실로부터 200m 떨어진 지점에서 운용되고 있는 고정형 EV 충전기(급속충전기 100kW X 1대, 완속충전기 7kW X 3대)로 구성된다.

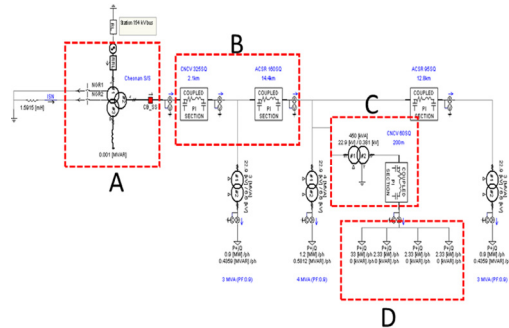


Fig. 9. Modeling of distribution line using PSCAD/EMTDC

Fig. 9의 D 지점에 고정형 EV 완속충전기(7kw)를 추가로 1대를 설치하는 경우, 완속충전기의 입력전압은 Fig. 10과 같이 215V로 산정되어, 수용가 규정전압범위 (220V±13)가 유지됨을 알 수 있다. 하지만, Fig. 9의 D 지점에 고정형 EV 급속충전기(100kw) 1대를 증설한 경우, 급속충전기의 입력전압은 Fig. 10과 같이 200V로 산정되어, 수용가 규정전압범위를 벗어남을 알 수 있다. 따라서, 동일한 지점에 EV 급속충전기(100kW)를 추가로 설치하는 경우, 전력품질에 문제점이 발생하므로 본 연구에서 제시한 MPSD에 의해 상기와 같은 전력품질 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다.

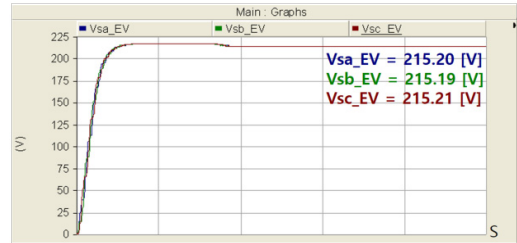


Fig. 10. Characteristic of power quality for expansion of 1 standard charger

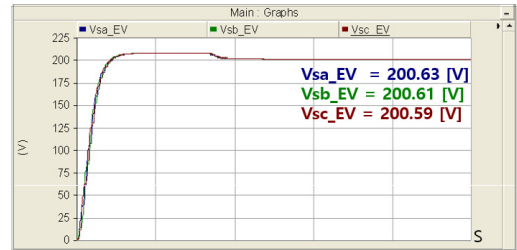


Fig. 11. Characteristic of power quality for expansion of 1 fast charger

5.3 MPSD의 운용특성 분석

상기의 시험조건에 따라 MPSD를 이용하여 11.72[kWh]의 리튬이온 배터리를 0.2 C-rate로 충전하는 경우의 특성을 나타내면 Fig. 11과 같다. 여기서, 충전특성은 크게 CC구간과 CV구간으로 나눌 수 있다. 먼저, Fig. 12의 ①번 구간에서는 충전기의 CC제어에 의해 8.5A의 전류로 일정하게 충전된다. 또한, ②번 구간에서는 CV제어에 의해 일정한 전압으로 충전을 수행하지만, 충전전류의 크기가 서서히 감소하게 된다. 따라서, Fig. 12의 충전특성으로부터 충전상한전압까지 충전량은 11.64[kWh](43.89[Ah])로 산정되며, MPSD에 의하여 EV용 배터리를 충전할 수 있음을 확인하였다.

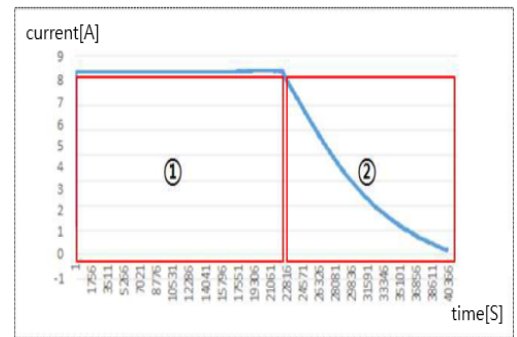


Fig. 12. Characteristic of charging for battery section in MPSD

한편, MPSD의 최대 및 최소 셀 전압의 차이가 20mV 이상의 편차가 발생한 3개의 셀에 대하여, BMS의 셀밸런싱 운용특성을 나타내면 Fig. 13과 같다. 여기서, Fig. 13의 ①번 구간은 충전 후 휴지기간을 나타낸 것으로, 각 셀들의 SOC에 의하여 전압편차가 발생하게 된다. 또한, Fig. 13의 ②번 구간은 BMS의 셀밸런싱 기능을 수행하는 구간을 나타낸 것으로, 가장 전압이 낮은 셀을 기준으로 각 셀들의 전압이 조정된다. 한편, Fig. 13의 ③번 구간은 셀밸런싱의 종료 이후 각 셀의 전압을 나타낸 것으로, 각 전지의 전압이 거의 동일해짐을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 구현한 MPSD의 배터리 셀에 언밸런싱이 발생하는 경우, BMS의 셀밸런싱 기능에 의하여 셀 간 전압편차를 해소하여 MPSD를 안정적으로 운용할 수 있음을 알 수 있다.

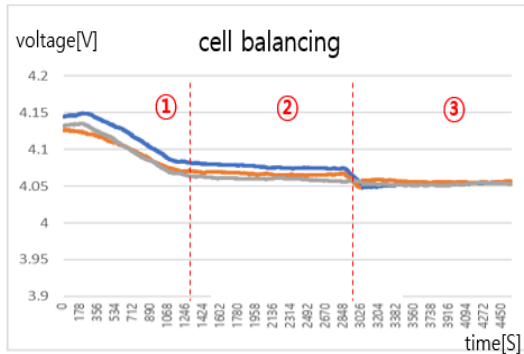


Fig. 13. Cell balancing characteristic of BMS in battery section

5.4 경제성 평가 및 분석

MPSD의 비용은 태양광전원부, 에너지저장부, EV용 충전기부, 감시제어부의 비용으로 구성되며, 초기투자비, 연이자율, 운용비용뿐 만아니라, 20년간 물가상승률과 기술진보에 따른 가격 하락을 고려한다. Fig. 14는 MPSD와 기존의 고정형 급속충전기의 비용을 현재가치 환산법으로 나타낸 것이다. 여기서, Fig. 14의 ①은 MPSD 4대의 설비비용으로 약 1억 5천만원이 산정되고, ②는 기존 AC계통에 의한 고정형 급속충전기의 설비비용을 나타낸 것으로 약 2억 4천만원의 비용이 산정된다. 따라서, 본 연구에서 제안한 MPSD가 기존의 고정형 충전기보다 경제적임을 알 수 있다.

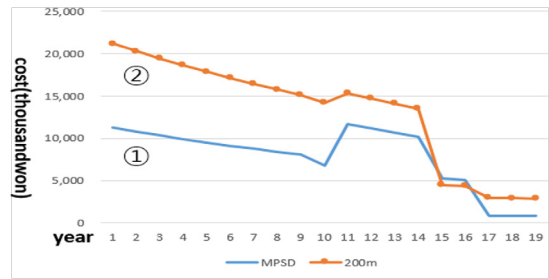


Fig. 14. Economic evaluation of fixed-type of fast charger(200m) and MPSD

한편, MPSD의 비용은 배전선로 증설비용이 포함되지 않아 거리에 관계없이 일정한 비용이 발생하지만, 기존의 고정형 EV 충전기를 증설하는 경우 선로(지중) 공장이 설비비용을 크게 좌우하게 된다. 즉, Table. 6 과 같이, 선로 공장이 75m 이상인 경우, MPSD를 도입하는 것이 고정형 EV 충전기보다 경제적이고, 공장이 길어질수록 더 높은 경제성이 있음을 알 수 있다.

Table 6. installation cost of MPSD and fixed-type fast EV charger

items	cost(thousand won)
MPSD	150,000
EV charger(25m)	120,000
EV charger(50m)	140,000
EV charger(75m)	155,000
EV charger(100m)	172,000
EV charger(125m)	190,000
EV charger(150m)	206,000
EV charger(175m)	222,000
EV charger(200m)	240,000

6. 결론

본 논문에서는 EV 충전기 부족으로 인한 사용자의 불편함을 해결하고, 전력품질 문제와 경제적인 문제점을 해소할 수 있는 MPSD를 제안하였으며, 현재가치 환산법을 통해 MPSD의 경제성을 평가하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 태양광전원부는 태양광모듈과 DC/DC 컨버터로 구성되어 에너지저장부에 에너지를 공급하며, 에너지저장부는 태양광전원부와 AC전원 계통으로

부터 에너지를 저장하는 배터리팩과 이를 감시하기 위한 BMS로 구성된다. 또한, 충전기부는 에너지저장부의 배터리로부터 EV를 충전하는 역할을 수행하며, 충전기의 정격용량은 기존의 고정형 급속 EV 충전기(50kW) 용량의 절반인 25[kW]급으로 구성한다. 한편, 감시제어부는 Labview S/W를 이용하여 태양광전원부, 에너지저장부, EV용 충전기부의 충전정보와 MPSPD의 운용 중에 배터리팩 또는 EV측에 이상상황이 발생할 경우, 에너지저장부의 회로를 안전하게 차단하고, 사용자가 MPSPD의 운용모드를 쉽게 확인할 수 있는 HMI에 의하여 운용의 편의성을 제공한다.

- (2) MPSPD의 설치조건을 분석한 결과, 기존 K대학교에서 운용되고 있는 EV 충전소에 급속충전기를 설치하는 경우 전력품질 문제가 발생하지만, MPSPD의 도입으로 이 같은 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다. 또한, MPSPD의 충전특성은 크게 CC구간과 CV구간으로 나눌 수 있고, 배터리를 충전하는 경우 CC제어를 통해 일정한 전류로 충전되고, CV제어에 의해 일정한 전압으로 충전됨을 확인하여 MPSPD가 EV용 배터리를 충전할 수 있음을 알 수 있었다.
 - (3) 본 연구에서 제안한 MPSPD와 기존의 고정형 EV 급속충전기 설치비용을 현재가치 환산법으로 평가한 결과, MPSPD 4대의 설비비용은 총 1억 5천만원이 산정되고, 고정형 EV 급속충전기의 경우 선로(지중) 공장이 200m일 때 총 2억 4천만원이 산정되어, MPSPD가 경제적임을 알 수 있다. 또한, 증설하는 선로(지중) 공장을 파라미터로 분석한 결과, 75m에 이상의 지점에 급속충전기를 설치하면 MPSPD가 기존의 고정형 EV 충전기보다 경제적임을 확인하였고, 설치지점의 거리가 증가할수록 편익이 크게 발생함을 알 수 있었다.
- [3] P.S, Kwon, S.J, Kim "Scenario Analysis for the Achievement of the 2030 National Greenhouse Gas Reduction Goal in the Korean Electricity Sector", Journal of Environmental Policy and Administration vol. 25, no. 2, pp. 129-163, 2017.06
DOI: <http://dx.doi.org/10.15301/jepea.2017.25.2.129>
 - [4] S.Y, Kim,, S.L, Lee, J.W, Lee, "Analyzing the Effect of Electric Vehicle Supply on Greenhouse Gas Emissions in 2030", Journal of Environmental Policy and Administration, vol. 25, no. 4, pp. 39-61, 2017.12
DOI: <http://dx.doi.org/10.15301/jepea.2017.25.4.39>
 - [5] S.K. ,Han, S.K ,Han, "Analysis of EVC Power Consumption and Impact on Distribution Load", The Transaction of The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 69, no. 2, pp. 135-142, 2020. 06
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEEP.2020.69.2.135>
 - [6] O.M, Choi, J.S, Kim, A.G, Lee, H.J, Kim, J.C, Kim, "A Study on Power Demand Prediction of the Apartment Housing Considering Charging Usage Pattern of EV Charging Infrastructure Demonstration Complex in Jeju", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 33, no. 8, pp. 47-55, 2019. 08
DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2019.33.8.047>
 - [7] H.K, Yang, D.U, Kim, J.H, Kim, S.J, Lee, C.H, Kim, "Analysis of Power Quality in Distribution System Connected EV Slow and fast Charger", The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 116-118, 2013.10
 - [8] J.M, Kim, H.D, Lee, D.H, Tae, M.Ferreira, J.H, Park, D.S, Rho, "Implementation of Battery Management System for Li-ion Battery Considering Self-energy Balancing", vol. 21, no. 3, pp. 585-593, 2020. 03
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.585>
 - [9] J.H, Park, S.S, Choi, D.S, Rho, "A Study on Disposal Diagnosis Algorithm of PV Modules Considering Performance Degradation Rate", Korea Academy Industrial Cooperation Society, vol. 20, no. 10, pp. 493-502, 2019. 10
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.10.493>
 - [10] M.Y, Kim,"Analysis for Annualized Returns of Island Microgrid IPP According to CER Price", The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 67, no. 4, pp. 512-521, 2018. 04
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.4.512>

References

- [1] G.J, Park, "Current status of charging infrastructure for EV and technology trends". The Korean Institute of Power Electronics, vol. 24, no. 5, pp. 28-35, 2019.10
- [2] G.H, Kim "Strategies for the Spread of New Energy Industry in 2030 to Respond to New Climate System" The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 65, no. 1, pp. 31-38, 2016.01

최 성 문(Sung-Moon Choi)

[준회원]



- 2020년 2월 : 호원대학교 전기공학과 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, ESS, 마이크로그리드, 신재생에너지

김 미 영(Mi-Young Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2008년 12월 : 일본 북해도대학 시스템공학과 (공학박사)
- 2009년 8월 ~ 2014년 12월 : 한국 선급 책임연구원
- 2017년 3월 ~ 현재 : 호원대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전력계통, 풍력 전기설비, 분산전원 계통연계

한 병 길(Byeong-Gil Han)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한밭대학교 전자계어공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 8월 ~ 2020년 4월 : 한국 화학융합시험연구원 연구원

• 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력변환기, ESS, 신재생에너지, 마이크로그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월: 한국 전기연구소 연구원/선임연구원

• 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

이 후 동(Hu-Dong Lee)

[정회원]



- 2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 보호협조, 신재생에너지, 마이크로그리드