분산전원과 ESS를 고려한 전기 자동차 충전 기법 개발

심보석, 김준혁, 이순정, 김철환
성균관대학교

Development of EV Charging Scheme Considering Distributed Generation and Energy Storage System

Bo-Seok Sim, Jun-Hyeok Kim, Soon-Jeong Lee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - Many countries concern about environmental problems. Therefore, they have made regulation for mandatory reduction of greenhouse gases. Electric Vehicles(EVs) are one of the most effective counterproposals for it. EVs are usually charging for it by using actual distribution system of the Korea Electric Power Corporation(KEPCO). However, it could cause adverse effects such as increase of the power demand and voltage variation on the distribution system. To reduce adverse effects for demand power side, in this paper, charging for EVs by using PV(Photovolatic Power Generation) connected with ESS(Energy Storage System) are modeled by using Electro Magnetic Transient Program(EMTP). And then, the simulation results are compared with EVs that are connected to the distribution system of KEPCO for using charge.

1. 서 론

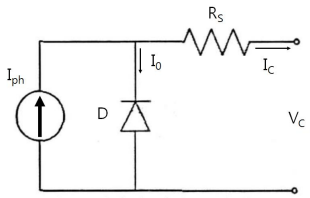
전 세계적으로 환경에 대한 관심이 증가하고 있는 가운데 기후 변화 협약에 대한 교토 의정서 발효 이후, 많은 선진국들의 온실가스 감축이 의무화되고, 친환경 에너지 사용에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 특히, 막대한 양의 화석연료를 사용하는 자동차 분야에서는 화석연료를 사용하지 않는 전기 자동차에 대한 관심이 증가하고 있다. 전기 자동차는 운행을 위해 배터리에 저장된 에너지를 사용하는 방식을 가진다. 즉, 전기 자동차가 운행하기 위해 배터리의 충전이 요구된다[2]. 일반적으로 전기 자동차는 배터리의 충전을 위해 배전 계통에 연계하여 충전을 한다. 그러나 이 경우, 수요전력 증가로 인해 계통에 악영향을 미칠 수 있다[3]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 태양광 발전과 ESS(Energy Storage System)를 이용하여 전기 자동차를 충전하는 새로운 기법을 제안하였다.

제안된 기법을 검증하기 위하여 EMTP/ATPDraw를 이용하여 모델링을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 태양광 발전(Photovoltaic Power Generation)의 원리

태양광 어레이(Array)는 단일 태양광 셀의 직렬 및 병렬의 결합 형태로 이루어져 있다. 태양광 셀의 등가회로는 그림 1과 같으며 하나의 태양광 셀의 출력전압 V_C는 식 (1)과 같다.



<그림 1> 태양광 셀의 등가회로

$$V_C = \frac{AkT}{e} ln\left(\frac{I_{ph} + I_0 + I_C}{I_0}\right) - R_S I_C \qquad (1)$$

여기서,
e : 전하량(Electro charge) (1.602×10^{-19} [C])
k : 볼츠만 상수(Boltzmann constant)(1.38×10^{-23} [J/K])
I_C : 셀의 출력전류 [A]
I_{ph} : 태양광전류 [A]
I_o : 다이오드 역포화 전류 [A]
R_S : 태양광 셀의 직렬저항[Ω]
T_C : 태양광 셀의 온도 [K]
V_C : 태양광 셀의 출력전압[V]
A : Curve fitting factor

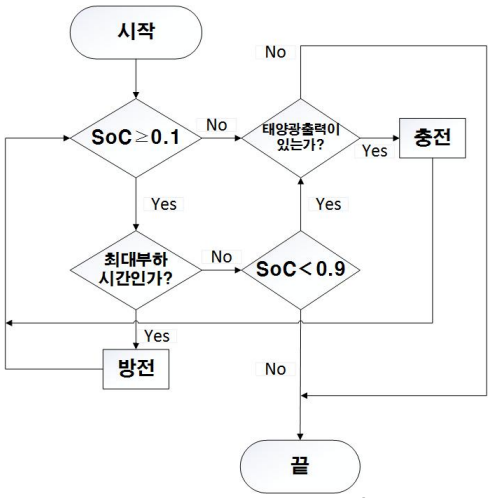
태양광 어레이는 단일 태양광 셀이 직렬 및 병렬로 여러 개가 연결된 형태이므로, 태양광 어레이의 출력전압은 직렬로 연결된 태양광 셀의 수에 하나의 태양광 셀의 출력전압을 곱하고, 태양광 어레이의 출력전류는 병렬로 연결된 태양광 셀의 수에 단일 태양광 셀의 출력전류의 크기를 곱하면 된다. 이러한 과정을 통하여 태양광에 의해 생성된 태양광전류 I_{ph} 에 의하여 직류전압 V_C가 발생하게 된다[4].

2.2 ESS의 개요

태양광 혹은 풍력과 같은 신재생에너지는 날씨, 계절 등에 따라 출력이 변한다[5]. 이로 인해 일정한 에너지를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 따라서 신재생에너지의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 일정한 출력을 유지하는 것이 중요하며, 전력 저장장치가 문제의 대책이 될 수 있다. 본 논문에서는 간헐적인 태양광 발전 출력을 ESS에 저장하였다가, 공급하는 방식을 적용하여 최대부하시간의 피크전력을 저감할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

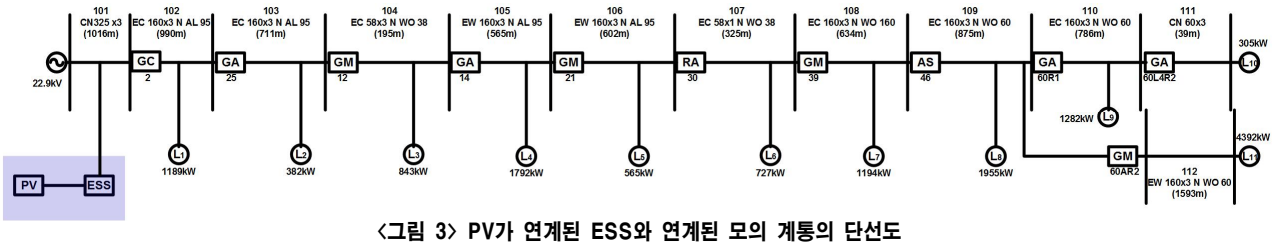
2.3 ESS의 충/방전 알고리즘

ESS는 충전상태(SoC : State of Charge)에 따라서 충전 및 방전이 가능하다. 단위는 퍼센트(%)를 사용하며, 0~100%로 나타낼 수 있다. 100%를 1로 가정하였을 때, 0.9이상은 과충전 상태, 0.1미만은 부족충전 상태로서 ESS의 성능 저하가 우려되는 범위는 제외하였다. 태양광 발전과 연계된 ESS의 충/방전 알고리즘은 그림 2와 같다.



<그림 2> 태양광발전과 연계된 ESS 충/방전 알고리즘

그림 2에 나타낸 것과 같이, 제안한 알고리즘은 ESS의 충전상태를 가장 먼저 확인한다. 이는 SoC가 0.1보다 작은 경우 방전을 수행할 수 없기 때문이다. 또한 SoC가 0.1 이상인 경우라 하더라도 최대부하시간이 아닌 경우, 과충전이 되지 않는 범위에서 충전을 수행한다. 충전을 수행함에 있어 ESS의 충전은 오직 태양광 발전에 의하여 수행되는 것으로 설정하였다. 반면 최대부하시간인 경우, 제안한 알고리즘은 ESS에 저장된 에너지가 0.1보다 작아질 때까지 방전을 수행한다.



<그림 3> PV가 연계된 ESS와 연계된 모의 계통의 단선도

ESS는 SoC가 0.1이상 0.9미만의 범위에서 전력수요가 많아지는 최대 부하시간에만 방전을 시작하며 태양광 발전의 출력이 있는 시간에만 충전이 시작된다. 알고리즘에서 ESS가 더 이상 전력을 공급할 수 없는 경우, 전기 자동차가 배전 계통에 연계되어 충전을 하게 된다.

2.4 모의 및 결과 분석

2.4.1 모의 조건

사례 연구를 위하여 본 논문에서는 한전 실배전 계통을 이용하였으며, 해당 계통의 단선도는 그림 3에 나타내었다[6]. 태양광 발전과 ESS의 설치 위치는 변전소 측으로 설정하였으며, 계통에 연계되는 전기 자동차의 수는 참고문헌 [7]을 참고하여 산정 하였다. 모의 조건은 다음 표 1과 같다.

<표 1> 모의조건

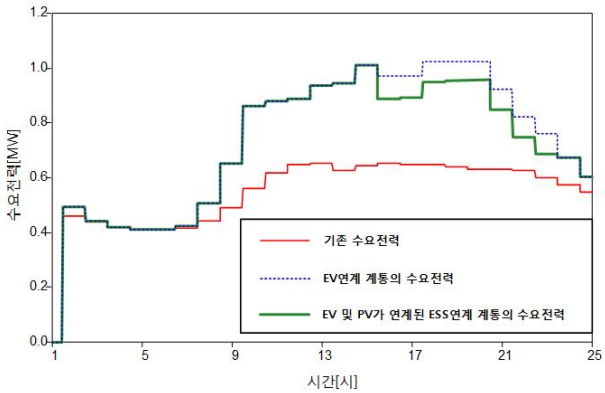
변수	값
태양광 전류(I_{ph})	5 [A]
다이오드 역포화 전류(I_o)	0.0002 [A]
셀의 직렬 저항(R_S)	0.001 [Ω]
셀의 동작 온도(T_C)	20 [°C]
직렬 셀의 개수	72
ESS 용량	4000kWh

2.4.2 모의 결과 및 분석

제안한 알고리즘의 검증을 위하여 다음과 같은 세 가지 조건을 설정하였으며, 이는 다음과 같다.

① 전기 자동차 비-연계
② 전기 자동차 비-제어 충전
③ 제안한 알고리즘을 적용한 전기 자동차 충전

그림 4는 모의를 통해 얻어진 수요전력 그래프를 나타낸다.



<그림 4> 시간에 따른 수요전력 비교 그래프

그림 4에서 나타난 것과 같이, 전기 자동차가 계통에 연계되어 충전을 수행하는 경우, 계통의 수요전력은 급격히 증가한다. 그러나 제안한 알고리즘 적용 시 최대 수요전력이 1.027MW에서 0.957MW로 약 70kW 감소한 것을 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 ESS의 용량을 4000kWh로 설정하였기 때문에 감소의 효과가 충분하지 않지만 대용량의 ESS가 설치된다면 이러한 최대 수요전력 감소 효과가 더 커질 것으로 예상된다.

표 2는 PV와 연계된 ESS를 적용하여 최대 수요전력 경감 효과가 나타나는 15시부터 23시까지에 결과를 나타낸 것이다.

<표 2> 모의결과 : 시간에 따른 수요전력 비교

시간	EV 연계 계통의 수요전력[MW]	EV 및 PV가 연계된 ESS 연계 계통의 수요전력[MW]
15시~16시	0.973	0.889
16시~17시	0.973	0.894
17시~18시	1.025	0.95
18시~19시	1.027	0.955
19시~20시	1.026	0.957
20시~21시	0.923	0.851
21시~22시	0.825	0.748
22시~23시	0.764	0.689

모의결과로부터, 본 논문에서 제안한 기법을 적용하였을 경우, PV와 연계된 ESS를 이용하여 최대 0.084MW의 수요전력을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

향후 전기 자동차의 대중화가 이루어진다면, 많은 전기 자동차가 배전 계통에 연계되어 충전을 수행할 것이고, 이로 인하여 계통의 수요전력이 급격히 증가 할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이러한 수요전력 증가에 따른 계통의 부담 증가를 완화하기 위하여 태양광 발전과 ESS를 사용하여 충전하는 방식을 제안하였으며 EMTP/ATPDraw를 이용하여 검토하였다.

모의 결과 태양광발전과 연계된 ESS를 사용하여 전기 자동차를 충전할 시, 기존의 충전 방식 보다 최대 84kW의 수요전력이 줄어 든 것을 확인 할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] United Nations, “Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change”, 1998
[2] Moon-Gyu Jeong, “Performance Evaluation and Characteristic Analysis of Quick Charger for Electric Vehicle”, KIEE Summer Conference, 2010
[3] U. Reiner, C. Elsinger, T. Leibfried, “Distributed Self Organising Electric Vehicle Charge Controller System”, IEEE International Electric Vehicle Conference, 2012
[4] 서훈철, 윤영민, 김선룡, 이시봉, “Matlab/Sinulink를 이용한 계통연계형 태양광 발전 모델링”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp92-94, 2008
[5] 윤용범, “에너지저장장치(ESS)의 전력계통 적용”, 대한전기학회, 전기의 세계 제63권 제10호, pp20-25, 2014
[6] Keon-Woo Park, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, Chang-soo Jung, Yeon-Pyo Yoo, Yong-Hoon Lim, “Analysis of the Neutral Current for Two-Step-Type Poles in Distribution Lines”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, pp1483~1489, 2009
[7] Soon-Jeong Lee, Jun-Hyeok Kim, Doo-Ung Kim, Hyo-Sang Go, Chul-Hwan Kim, Eung-Sang Kim, Seul-Ki Kim, “Evaluation of Voltage Sag and Unbalance due to the System Connection of Electric Vehicles on Distribution System”, Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 9, No. 1, Jan 2014