

계통 한계용량을 고려한 EV 충전 스테이션 최적 충전 제어 방안

이세미, 정재성*

아주대학교, *아주대학교

seeem@ajou.ac.kr, *jjung@ajou.ac.kr

A Optimal Charging Control Method for EV Charging Station under Hosting Capacity

Lee Se Mi, Jung Jae Sung*

Ajou Univ., *Ajou Univ.

요약

2050 탄소중립 달성 목표를 위해 수송 부문의 온실가스 감축 전략으로 전기차 보급이 크게 증가하고 있다. 그러나 의무설치 비율 증대 등 전기차 공급 확대 정책에도 불구하고 전기차의 빠른 보급 속도와 대비하여 충전 인프라는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 EV 충전 인프라 확충 및 충전 소요시간 감축을 위한 충전기의 가변제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 계통 한계용량 내에서 실시간 부하 수요를 고려하여 전기차 충전 가용용량을 최대화하는 충전기 제어 신호를 할당한다. 해당 알고리즘은 제어를 하지 않은 현행 일반 충전 스테이션과 비교되어 검증되었다.

I. 서론

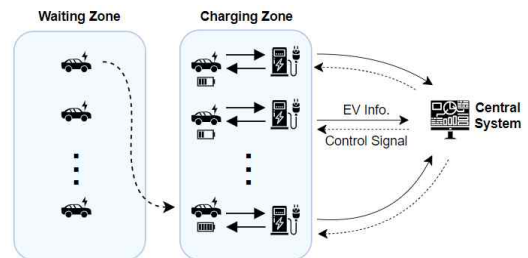
2050 탄소중립 달성을 위해 정부는 2030 NDC 상향안에서 수송부문 감축 목표를 '18년 대비 28.1%→37.8%로 상향 조정하였다[1]. 이를 위한 정부의 전기·수소차 전환 목표는 80%에 달하며, 자동차 회사들 또한 내연기관차 생산 감축 및 전기차(Electric Vehicle, EV) 판매 계획을 증진하고 있다. 이에 따라 EV가 빠르게 보급되고 있는 추세이나 이와 대비하여 충전 인프라는 부족한 실정이다. Deloitte社에서 실시한 '2022 글로벌 자동차 소비자 조사'에 따르면 국내 소비자들의 EV에 대한 가장 큰 우려사항은 공공 충전 인프라 부족(26%)으로 나타났으며, 충전 소요시간 또한 15%로 높은 비중을 차지했다[2].

그러나, EV 충전 인프라 확충 및 급속 충전기(Power Conversion System, PCS) 비중 증대는 전력계통의 한계용량 및 연계된 부하 용량을 고려해야하므로 PCS 설치 대수에는 한계가 있다. 본 논문에서는 계통 한계용량 내에서 EV 충전 가용용량 증대를 위한 급속 PCS의 가변제어 방안을 제안한다. 모든 PCS는 기본적으로 급속 용량이 할당되며, 계통 한계용량을 초과할 경우에는 특정 PCS의 용량을 완속 용량으로 가변한다. 해당 제어 알고리즘은 제어를 하지 않은 현행 일반 충전 스테이션과 비교되었다.

II. 본론

2.1 EV 충전 시스템 구성

<그림1>은 계통 한계용량에 따른 EV 충전 제어 시스템의 개요도를 보여준다. 충전이 필요한 EV는 Waiting Zone 또는 Charging Zone에 위치할 수 있다. EV는 도착한 순서대로 충전이 이루어지며 개별 PCS는 중앙 관리 시스템에 의해서 제어된다. 중앙 관리 시스템은 계통 한계용량 및 실시간 부하 수요를 토대로 허용전력을 계산하여 개별 PCS에 급속 또는 완속 제어 신호를 할당한다.



<그림1> EV 충전 제어 시스템 개요도

2.2 PCS 가변제어 알고리즘

EV 충전 스테이션 내의 EV 상태는 도착/대기 또는 충전 중 상태로 나뉘어진다. EV 상태 확인은 일정 시간 간격($t_{interval}$)마다 수행되며, EV는 도착 순으로 PCS 할당 및 가변제어의 우선 순위를 가진다. PCS 상태($State_{pcs}$)는 이용 여부에 따라 0 또는 1의 값을 가지며, t 시간에 도착/대기하는 EV가 있을 시 PCS 할당 절차를 수행한다. 이용가능한 PCS가 있을 경우 계통 한계용량(P_{limit}), 부하 수요(P_{load}), EV 충전 스테이션 수요($P_{EVstation}$)를 토대로 아래 식(1)-(2)를 통해 허용전력 P_{allow} 를 계산한다. 계산된 P_{allow} 에 따라 가능한 급속/완속 PCS가 할당되며, PCS가 계통 허용전력을 초과하거나 모든 PCS가 이용중일 경우 EV는 대기 상태로 변경된다.

$$P_{allow} = P_{limit} - P_{load} - P_{EVstation} \quad (1)$$

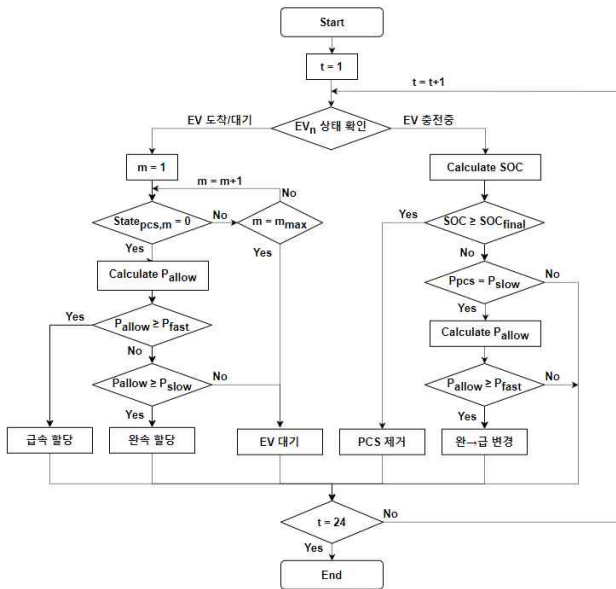
$$P_{EVstation} = \sum_m^{m_{max}} State_{pcs,m} - P_{pcs,m} \quad (2)$$

다음으로, t 시간에 충전 중인 EV가 있을 시 이전 시간 SOC에 $t_{interval}$ 동안 충전된 전력량을 더하여 현재 SOC를 계산한다. 식(3)은 SOC 계산

식을 보여주며, 여기에서 $P_{pcs, ev}$ 와 $Eff_{pcs, ev}$ 는 각각 EV와 연결된 PCS의 전력 및 효율을, $Battery_{ev}$ 는 EV의 총 배터리 용량을 의미한다.

$$SOC_t = SOC_{t-1} + \left(\frac{P_{pcs, ev} \times Eff_{pcs, ev}}{Battery_{ev}} \right) \times \left(\frac{t_{interval}}{60} \right) \quad (3)$$

계산된 SOC가 최종 충전량을 만족하게 되면 즉시 PCS는 제거되며, 충전이 더 필요할 경우 PCS의 완속 충전 여부를 확인하여 변경이 가능할 경우 급속으로 가변제어 신호를 할당한다. <그림2>는 해당 알고리즘의 Flow Chart를 보여준다.

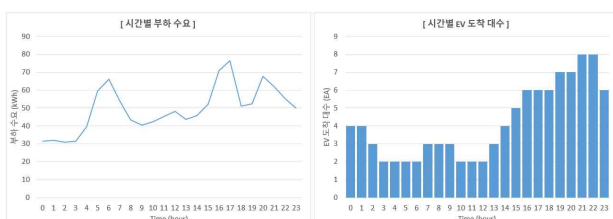


<그림2> EV 충전 제어 시스템 개요도

2.3 시뮬레이션

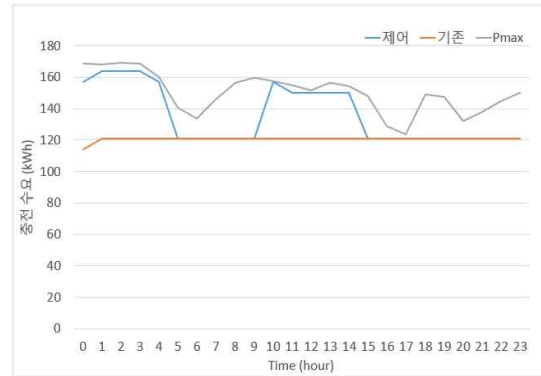
본 논문에서 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 제어를 하지 않은 현행 일반 EV 충전 스테이션과 비교하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션에는 72.6kW 배터리 용량을 가진 총 100E대의 EV가 사용되었으며, 1일 동안의 EV 충전 스테이션 운영 시뮬레이션을 실시하였다. 입력 시계열 데이터 생성을 위해, 시간별 EV 도착 대수는 국내 카셰어링 업체인 SOCAR의 EV 반납시간 데이터를 제공받아 사용하였으며, 초기 SOC는 10~80% 범위 내에서 랜덤하게 할당하였다. 부하 데이터는 최대 수요 80kWh의 일반 가정용 부하 패턴을 사용하였다.

가변제어를 적용한 EV 충전 스테이션의 경우 급속, 완속 용량이 각각 50kWh, 7kWh인 PCS 5대로 구성하였으며, PCS의 효율은 모두 95%로 동일하게 가정하였다. 계통 한계용량은 200kWh로 설정하였으며, 비교 대상인 현행(기존) EV 충전 스테이션의 경우 부하 최대 수요를 80kWh로 설정함에 따라, 최대 충전전력 120kWh인 급속 2대, 완속 3대로 구성하였다. 아래 <그림3>은 사용된 시간별 부하 수요 및 EV 도착 대수를 보여준다.

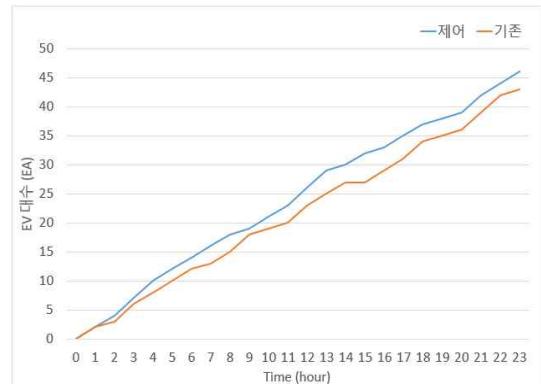


<그림3> 시간별 부하 수요 및 EV 도착 대수

다음의 <그림4>와 <그림5>는 각각 제안된 제어 시스템과 기존 시스템의 시간별 충전 수요와 누적 EV 충전 대수를 보여준다. <그림4>에서 Pmax는 계통 한계용량에서 시간별 부하 수요를 뺀 값으로, 제안된 제어 알고리즘을 통해 PCS가 Pmax 범위 내에서 최적으로 할당됨을 확인할 수 있다. 따라서, 기존 EV 충전 시스템보다 충전용량이 증가되므로, <그림5>와 같이 누적 EV 대수 또한 점차 증가하는 양상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 추가적으로, 제안된 제어 시스템은 EV 1대당 평균 충전시간 또한 2.5시간에서 2.2시간으로 감소됨을 확인하였다.



<그림4> 시간별 EV 충전 수요



<그림5> 누적 EV 충전 대수

III. 결론

본 논문에서는 계통 한계용량 내에서 PCS 가변제어를 통한 최적의 EV 충전 제어 알고리즘을 제안하였으며, 기존 시스템과 비교하여 제안된 제어 알고리즘이 충전 가용용량을 증대시킬 수 있음을 확인하였다. 해당 알고리즘은 급속→완속 또는 완속→급속의 단채널 가변제어만을 실시하나, 향후 멀티채널 가변제어 방식을 적용하여 보다 정교한 제어 알고리즘으로 고도화 할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20191210301820)

참고 문헌

- [1] 탄소중립 녹색성장 위원회, "2030 국가온실가스감축목표", (<https://www.2050cnc.go.kr>).
- [2] Deloitte, "2022 글로벌 자동차 소비자 조사", Feb. 2022.