

다수의 전기차를 위한 총 비용 경감 충전 알고리즘

이현우, 박호성

전남대학교 ICT융합시스템공학과

hu8080@naver.com, hpark1@jnu.ac.kr

Total Cost-Reducing Charging Algorithm for Multiple Electric Vehicles

Hyeonu Lee, Hosung Park

Dept. of ICT Convergence System Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

요약

본 논문은 전기차 보유 대수가 증가하면서 가격 효율적이면서 전력망의 안정을 유지할 수 있는 충전 방식에 관한 관심 또한 증가하는 가운데, 전기차가 체류하는 시간을 바탕으로 매시간 충전하는 차량을 선택하는 알고리즘을 제안하였다. 이는 기존의 방법과 비교하여 저렴한 시간에 충전되는 차량 숫자가 늘도록 유도하여 총 충전 비용을 낮출 수 있다. 제안하는 방법의 충전 비용 감소를 검증하기 위해 기존 방법과 같은 전력 상황 및 전기차 파라미터를 가정하고, 시뮬레이션 결과를 통해 1일에 사용한 총 충전료를 비교한다. 결과적으로 제시한 전력 상황에서 충전 비용이 감소했다는 결과를 확인할 수 있다.

I. 서론

환경에 관한 관심이 증가함에 따라 친환경 차량으로 인식되는 전기차 등 록 비율이 국내 자동차 시장에서 증가하는 추세이다. 전기차 비율의 증가는 전력망의 입장에서 전력 부하로 이어지고 변압기 용량을 넘는 피크 부하는 전력망의 안정에 악영향을 미치게 된다. 동시에 경제성을 만족시키기 위해 시간대별 전력 요금이 저렴한 시간에 충전을 유도해야 하는 문제도 존재한다. 이를 해결하기 위해, 기존 논문[1]에서 제안하는 충전 알고리즘은 여유 시간을 계산해서 오름차순 한 뒤, 완충까지 연속적으로 충전된다고 가정하였을 때 충전을 한 번 미루는 경우와 아닌 경우에 대해 예상 충전 비용을 계산하여 제일 비용이 저렴한 상황을 찾는 방식을 사용하였다. 이는 차량이 체류하는 시간 전체를 보지 않기 때문에 저렴한 시간에서 충전 유도가 부족하다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 알고리즘은 차량이 체류하는 시간 전체를 보고 비용이 저렴한 시간대부터 충전되도록 하여 저렴한 시간에서 충전되는 차량의 비율이 증가하도록 유도하였다.

II. 본론

2-1. 시스템 모델

시스템 모델은 기존 논문[1]의 가정을 공유한다. 차량이 도착해서 충전소에 연결되었다면, 충전소는 차량의 정보를 읽어서 제어센터에 전달한다. 전체 차량은 $K = \{1, 2, \dots, k\}$ 로 표현한다. 시간을 효율적으로 사용하기 위해 단위 시간 개념을 사용하였다. 시간당 단위 시간을 정하는 수치는 τ^{slot} 으로 표현한다. 예를 들어 $\tau^{slot} = 4$ 라면 시간 단위는 1시간이 4개로 나뉘진 15분이 된다. 따라서 단위 시간 인덱스를 t 라고 하였을 때, 하루는 $t \in \{1, 2, \dots, 24\tau^{slot}\}$ 로 표현할 수 있다. 대규모 차량의 충전 관리를 위해서는 on-off로 시간마다 충전할 차량을 결정하는 것이 효율적이라는 연구 결과[2]를 따라 다가오는 단위 시간마다 충전할 차량과 충전하지 않을 차량을 결정한다. 가격대별 충전 시간은 최고가(on-peak), 중간가(mid-peak), 최저가(off-peak) 3개로 나뉜다.

다음은 차량 충전과 관련된 여러 매개 변수의 표기법이다:

- e_k : k 번째 EV의 배터리(battery) 용량 (단위 : Kwh)
- r : 전기차 충전소의 충전 속도 (단위 : Kwh)
- t_k^{in} : k 번째 전기차가 충전시설에 들어오는 시간
- t_k^{out} : k 번째 전기차가 충전시설에서 나가는 시간
- $n_{limit}(t)$: t 시간에서 최대 충전할 수 있는 전기차 수
- $SoC_k(t)$: k 번째 전기차가 t 시간에서 배터리 레벨
- SoC_k^{target} : k 번째 전기차가 목표로 하는 배터리 레벨
- $\tau_k^{soj}(t)$: k 번째 차량이 나가기까지 남은 시간 ($t_k^{out} - t$)
- $\tau_k^{off}(t)$: k 번째 차량이 나가기까지 남은 최저가 시간
- $\tau_k^{mid}(t)$: k 번째 차량이 나가기까지 남은 중간가 시간
- $\tau_k^{on}(t)$: k 번째 차량이 나가기까지 남은 최고가 시간

$$\tau_k^{soj}(t) = \tau_k^{off}(t) + \tau_k^{mid}(t) + \tau_k^{on}(t)$$

- $\tau_k^{req}(t)$: k 번째 차량이 t 시간에서 목표까지 필요한 요구 시간

$$\tau_k^{req}(t) = \lceil \frac{\tau_{slot} \cdot e_k \cdot (SoC_k^{target} - SoC_k(t))}{r} \rceil$$

- $\tau_k^{margin}(t)$: k 번째 차량의 여유 시간 ($\tau_k^{soj}(t) - \tau_k^{req}(t)$)
- $V^{urg}(t)$: t 시간에서 $\tau_k^{margin}(t) \leq 0$ 인 차량의 집합
- $V^{norm}(t)$: t 시간에서 $\tau_k^{margin}(t) > 0$ 인 차량의 집합
- $V^{sch}(t)$: t 시간에서 충전하기로 한 차량의 집합

2-2. 제안한 알고리즘

매시간 충전시설에서 체류하는 차량 중 충전에 필요한 차량을 대상으로 $\tau_k^{margin}(t)$ 을 계산한 뒤 오름차순으로 재배열하여 순서대로 $V^{urg}(t)$ 과 $V^{norm}(t)$ 에 추가한다. 차량의 $\tau_k^{margin}(t)$ 이 낮다는 건 나가기까지

남은 시간 대부분을 충전에 사용해야 하므로 먼저 충전 여부를 판별하기 위함이며 특히 $V^{urg}(t)$ 경우는 나가기까지 모든 시간을 충전해야 목표에 가깝게 충전될 수 있으므로 가격에 상관없이 충전한다.

모든 $V^{urg}(t)$ 을 $V^{sch}(t)$ 에 추가시킨 뒤에도 $|V^{sch}(t)| < n_{limit}(t)$ 라면, $V^{norm}(t)$ 에 대해 순서대로 $\tau_k^{req}(t)$ 과 $\tau_k^{on}(t)$, $\tau_k^{mid}(t)$, $\tau_k^{off}(t)$ 을 비교한다. 만약 k 번째 차량이 $\tau_k^{req}(t) > \tau_k^{mid}(t) + \tau_k^{off}(t)$ 라면, 목표까지 충전을 위해서는 최고가 시간에서도 충전해야 한다. 따라서 t 시간의 가격과 상관없이 해당 차량은 $V^{sch}(t)$ 에 추가시킨다. 반대로 $\tau_k^{req}(t) < \tau_k^{mid}(t) + \tau_k^{off}(t)$ 라면, $\tau_k^{req}(t)$ 과 $\tau_k^{off}(t)$ 를 비교해야 한다. 만약 $\tau_k^{req}(t) > \tau_k^{off}(t)$ 라면, 해당 차량은 남아있는 최저가 시간만으로는 목표까지 충전할 수 없으므로 결론적으로 t 시간이 중간가 또는 최저가 시간일 경우 $V^{sch}(t)$ 에 추가시킨다. 반대로 $\tau_k^{req}(t) < \tau_k^{off}(t)$ 라면, 남아있는 최저가 시간만으로도 목표까지 충전할 수 있다는 의미이다. 따라서 t 시간이 최저가 시간일 경우에만 $V^{sch}(t)$ 에 추가시킨다. $|V^{sch}(t)| = n_{limit}(t)$ 이 되었거나 $V^{norm}(t)$ 전체에 대해 충전 여부를 판단했다면 제어센터는 다가오는 t 시간에서 $V^{sch}(t)$ 에 연결된 충전소에 전력을 보낸다.

2-3. 시뮬레이션 결과 분석

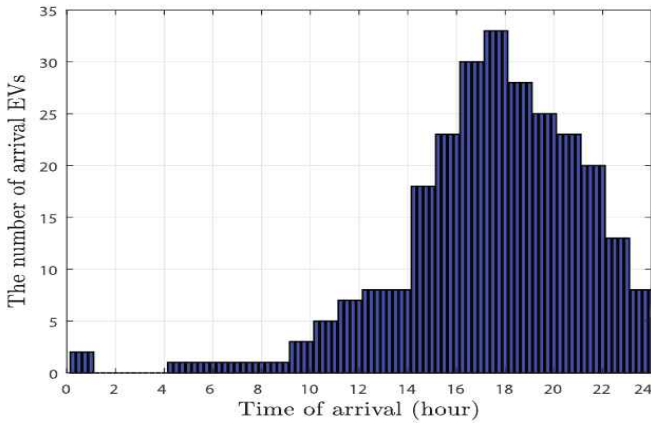


그림 1 24시간 차량 진입 비율

매개변수	값
차량 배터리 크기 (e_k)	25kWh
전체 차량 대수 (K)	1000
단위 시간 크기 (τ^{slot})	4
진입 시 배터리 (SoC_k^{in})	$N(0.5, 0.2^2)$
배터리 목표 (SoC_k^{target})	1
차량 체류 시간 ($t_k^{out} - t_k^{in}$)	$\tau^{slot} \times N(13, 3.8^2)$
충전 속도 (r)	3.5kW

표 1 시뮬레이션에 사용한 매개변수 표

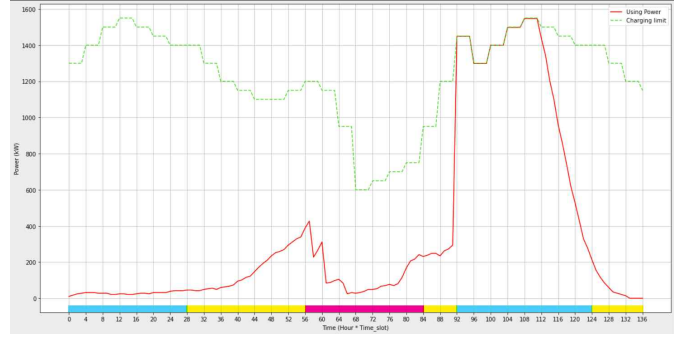


그림 2 기존 알고리즘의 시간별 사용 전력 그래프



그림 3 제안한 알고리즘의 시간별 사용 전력 그래프

	총 충전 비용	완충 비율
기존 알고리즘	2007.85	100%
제안한 알고리즘	1892.67	100%

표 2 각 알고리즘을 사용했을 때 총 충전 비용과 완충 비율

그림 2와 그림 3의 붉은 부분은 최고가 시간을 의미하는데, 제안한 알고리즘의 경우 최고가 시간에서 사용 전력이 기존 알고리즘보다 적은 것을 볼 수 있다. 이는 총 충전 비용을 비교한 표에서 5% 정도의 이득을 보는 것으로 나타난다.

III. 결론

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 차량이 나가기까지 가진 가격대별 시간과 충전에 필요한 시간을 충전 판단 기준으로 삼음으로써 최고가 시간에서 충전되는 것을 최소화하여 가격 측면에서 이득을 볼 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.2021-0-02068, 인공지능 혁신 허브 연구 개발)을 받아 수행된 연구이고, 동시에 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2022-RS-2022-00156287)의 연구 결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Han Seung Jang, Kuk Yeol Bae, Bang Chul Jung, Dan Keun Sung, 'Apartment-level electric vehicle charging coordination: peak load reduction and charging payment minimization, Energy and Buildings, Volume 223, 2020.
- [2] S. Deilami, A.S. Masoum, P.S. Moses, M.A. Masoum, Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile, IEEE Trans. Smart Grid 2 (3) (2011) 456 - 467.