

캠핑카 주차장의 최적 장소 및 규모 도출 방법

공덕호, 서민규, 손현규, 한세경

경북대학교

rhdejrgh15@naver.com, mgseo1218@gmail.com, sharryg8710@naver.com, skhan@knu.ac.kr

Optimal siting and sizing for RV parking lot

Deokho Gong, Mingyu Seo, Hyeongyu Son, Sekyung Han

Kyungpook National Univ.

요약

본 논문은 캠핑카의 주차 문제 해소, 지역 경제활성화 등의 사회적 문제 뿐 아니라, 주차장 운영자의 수익을 극대화할 수 있는 최적 장소 및 규모를 도출하는 방법을 제안한다. 실제 캠핑카의 사용 데이터를 기반으로 확률론적 방법을 적용하여 행동 패턴을 생성하고, 이를 기반으로 V2G(Vehicle-to-Grid) 기술을 적용한 충전소와 주차장 규모를 계산하여 운영 수익을 극대화하고 투자 비용을 최소화한다. 또한, 지역의 계획 관리지역을 대상으로 클러스터링을 하여 후보지를 선정하고 이 지역들의 비용을 계산하여 순위를 매기고 최적 후보지를 선정할 수 있도록 설계된다.

I. 서론

코로나-19 사태를 지나가며 EV(electric vehicle)와 RV(recreational vehicle)의 숫자가 급격히 늘고 있다. 급증하는 EV와 RV를 충족시키기 위해 많은 충전소가 들어서고 있다. 특히, EV를 대상으로 충전 및 방전을 하는 기술인 V2G(Vehicle-to-Grid)를 적용한 충전소를 건설하는데 있어서 많은 연구들이 진행되고 있다 [1-7]. 충전소를 설치하는데 비용이 많이 발생하며 이를 운영하는데도 비용이 발생하기 때문에 적절한 전략 없이 충전소를 건설하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서, 많은 논문들이 최적의 장소 및 규모를 도출하는 방법론을 연구하고 있다.

하지만, 대부분의 방법론은 EV를 초점으로 연구되고 있기 때문에 RV는 다소 관심 밖에 있다. RV와 EV는 차이가 존재하는데, EV와 달리 RV는 여행 목적의 차량이기 때문에 매일 사용하지 않으며, 한번 출차하게 되면 상대적으로 오랜 기간 떠나있는 것이 특징이다. 그리고 거리에 영향을 받지 않기 때문에 통행량을 고려해야하는 일반 EV 충전소들과 달리 건설비용에 민감하기 때문에 RV를 위한 최적 충전소를 설계하기 위한 방법론이 따로 연구되어야한다.



사용 빈도	주로 매일 사용	간헐적으로 사용
보관 장소	가정집 or 직장	특정 장소에 모임
충전(주차) 시간	주로 10~12시간	24시간 초과
주차장 추천 위치	주로 도심	주로 도시 외곽
주차장 주 목적	충전	주차 공간

그림 1 EV와 RV의 차이점

따라서, 본 논문은 RV를 대상으로 주차장 및 충전소를 운영하기 위해 최적의 장소 및 주차장 규모를 계산하는 방법론을 제안하며, V2G 기술에 따

른 수익을 고려하여 클러스터링 기법을 통해 선정된 후보지들의 순위를 매겨 적절한 부지 및 규모를 선정할 수 있도록 한다.

II. 본론

RV 스케줄링 및 시나리오

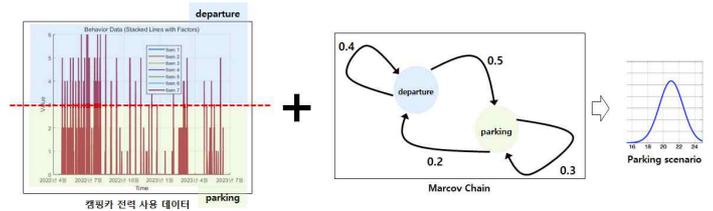


그림 2 캠핑카 주차 시나리오 생성 방법

본 논문은 RV의 사용 데이터를 기반으로 언제 몇 대의 차량이 주차하는지 RV 사용자 행동 패턴을 예측한다. 먼저 RV 내부의 주요 전기기기들(냉장고, 히터, AC 인버터, 메인 조명, 펌프, TV)이 on/off 되는 시점을 기록하여 일정 레벨 이상인 경우, RV를 사용 중으로 간주하여 trip의 상태로 정의한다. 그 밖은 park 상태로 정의하여 trip/park 시나리오를 생성하게 된다. 그리고 trip과 park의 상태 변화를 확률로 적용하는 Markov Chain을 적용한다.

생성된 시나리오를 기반으로 V2G 스케줄링을 진행한다. MILP(Mixed-Integer Linear Programming) 기반으로 최적화를 진행하여 각 RV들이 주차장에 왔을 때 충/방전을 진행하도록 구현되어있다. 이 스케줄들은 모두 적용되는 것이 아니라 최적화된 EVSE(electric vehicle supply equipment) 개수에 따라 적절한 스케줄을 적용한다.

클러스터링

클러스터링은 계획관리 지역들을 일정 거리끼리 K-means 클러스터링 방법을 이용하며, 이는 최적 장소 선정에 있어서 비슷한 위치에 여러 추천지가 생성되는 것을 방지하여 불필요한 최적화를 줄여주도록 도와준다.

각 계획관리지역의 POLYGON 데이터를 기반으로 중심 좌표를 추출하여 이것들을 클러스터링하여 각 클러스터 별로 적절한 규모의 충전소 및 주차장을 계산하여 얼마나 비용이 발생하는지 확인하도록 한다.

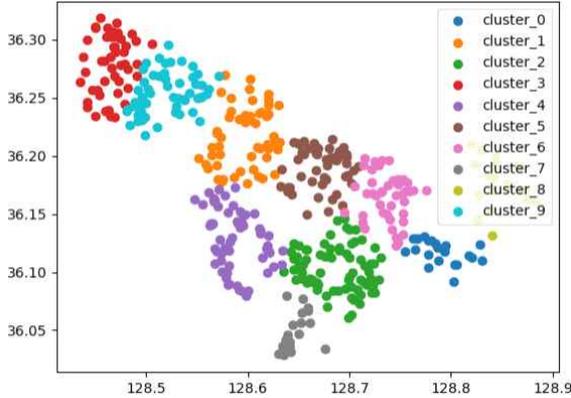


그림 3 계획 관리 지역의 클러스터링 결과

sizing

해당 파트에서는 앞서 진행한 클러스터링 결과를 기반으로 최적 충전소 개수를 계산한다. 최적화 모델로는 DE(Differential Evolution)를 사용했으며, 목적함수는 다음과 같다.

$$\arg \min (Cost_{construction} - Cost_{operation})$$

$Cost_{construction}$ 의 경우, 초기에 건설하는데 필요한 비용으로 식은 다음과 같다.

$$Cost_{construction} = N_{evcs} \times (\alpha \times area_{pl} + cost_{CS})$$

N_{evcs} 는 결정 변수로, EVSE 개수를 결정하고, α 는 충전소-주차장의 비율로 법규를 근거로 주차장의 개수는 충전소의 20배로 설정하였다. $area_{pl}$ 은 주차장의 면적이며, $cost_{CS}$ 는 충전소 건설 비용이다.

III. 결론

사례연구

본 논문의 최종 결과물로, 10개의 클러스터 별 주차장 건설 비용 및 V2G 수익을 확인할 수 있고, 이를 기반으로 어느 클러스터가 적절인지 확인할 수 있다.

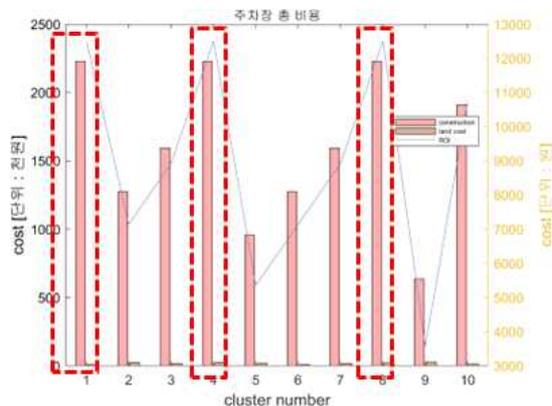


그림 4 주차장 총 비용 및 V2G 수익

위 그래프에서 1번, 4번, 8번 클러스터가 주차장 총 비용이 높게 나오지만 이는 V2G 수익이 큰 것으로 보아 충전소의 개수가 많은 것으로 추정되며, 초기 비용이 많지만 운영 수익 또한 크기 때문에 빠르게 상쇄될 수 있는

것을 알 수 있다.

고찰

본 논문은 캠핑카를 대상으로 운영하는 주차장-충전소의 최적 장소 및 규모를 계산하는 모델을 제안하였다. 하지만 이 모델은 현재 다음과 같은 문제가 해결되지 않았다.

1. V2G 스케줄의 계통 안정성 고려 미구현
 2. 클러스터 내부의 지역 축소를 통한 정확한 장소 선정
- 앞으로 이에 대해 연구할 예정이며 더욱 다양한 고려 요소들을 넣어 개선된 모델을 만들고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 현대자동차의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

이 논문은 2019년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2022R1F1A107533512-1-2)

참고 문헌

- [1] A. Al-obaidi and H. E. Z. Farag, "Optimal Design of V2G Incentives and V2G-Capable Electric Vehicles Parking Lots Considering Cost-Benefit Financial Analysis and User Participation," IEEE Trans Sustain Energy, 2023, doi: 10.1109/TSTE.2023.3307633.
- [2] M. A. Hannan, M. Faisal, P. Jern Ker, R. A. Begum, Z. Y. Dong, and C. Zhang, "Review of optimal methods and algorithms for sizing energy storage systems to achieve decarbonization in microgrid applications," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 131. Elsevier Ltd, Oct. 01, 2020. doi: 10.1016/j.rser.2020.110022.
- [3] Y. Jin, M. A. Acquah, M. Seo, and S. Han, "Optimal Siting and Sizing of EV Charging Station using Stochastic Power Flow Analysis for Voltage Stability," IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2023, doi: 10.1109/TTE.2023.3275080.
- [4] L. Chen, C. Xu, H. Song, and K. Jernsittiparsert, "Optimal sizing and sitting of EVCS in the distribution system using metaheuristics: A case study," Energy Reports, vol. 7, pp. 208 - 217, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2020.12.032.
- [5] M. H. Moradi, M. Abedini, S. M. R. Tousi, and S. M. Hosseini, "Optimal siting and sizing of renewable energy sources and charging stations simultaneously based on Differential Evolution algorithm," International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 73, pp. 1015 - 1024, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.06.029.
- [6] W. Kong, Y. Luo, G. Feng, K. Li, and H. Peng, "Optimal location planning method of fast charging station for electric vehicles considering operators, drivers, vehicles, traffic flow and power grid," Energy, vol. 186, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.156.