

V2G에서 EV SoC를 관리하기 위한 EV 출차 패턴 분석 시스템

박용희, 정장현, 최성곤*
충북대학교

yh0360@cbnu.ac.kr, wkdgus4788@daum.net, *choisg@cbnu.ac.kr

EV Departure Pattern Analysis System for Managing EV SoC in V2G

Yong Hee Park, Jang Hyeon Jeong, Seoung Gon Choi*
Chungbuk National Univ.

요약

V2G(Vehicle to Grid)는 전력 계통이 불안정 할 경우 EV(Electric Vehicle)에 충전된 전력을 전력망으로 공급하여 계통을 안정적으로 유지하는 방법 중 하나이다. 기존의 V2G 시스템은 현재의 SoC(State of Charge)만을 고려하고 EV가 언제 사용되는지에 대해서는 고려하지 않는다. EV는 출차 전까지 전력을 지속적으로 공급받을 수 있고, 이를 고려하면 출차 전까지 충전할 수 있는 전력의 합을 V2G에 활용할 수 있다. 본 논문은 각 EV의 SoC를 관리함과 동시에 V2G에 적극적으로 참여하기 위한 EV 출차 패턴 분석 시스템을 제안한다. 이를 위해 EV의 사용 패턴을 클러스팅 방법을 통해 분석한다.

I. 서론

전력망에서 공급과 수요의 균형은 중요한 이슈 중 하나이다. 기존의 전력망은 전력 소비자의 요구를 충족하도록 전력 발전이 이루어진다. 스마트 그리드는 기존의 전력망에 정보통신 기술을 융합하여 안정성, 신뢰성, 경제성, 효율성, 대응력, 지속성 등을 제공할 수 있다 [1].

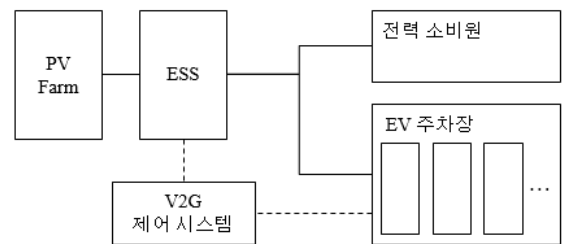
Electric Vehicle (EV)은 재생 에너지 자원을 사용할 수 있는 차량으로 온실 가스 배출량을 효과적으로 줄일 수 있다. Vehicle to Grid (V2G)는 EV의 배터리에 저장된 전력을 전력망에서 사용하는 방안으로, 스마트 그리드의 안정성을 높일 수 있다 [2].

계통 안정화를 위해 V2G를 사용할 경우 여기에 참여한 EV의 State of Charge (SoC)가 감소하게 된다 [3]. 여기서 EV가 사용되는 시간을 고려하지 않는다면, 사용자는 배터리가 소모된 상태에서 EV를 사용하는 경우가 발생한다. 또한 EV SoC를 보장하기 위해 임계값을 설정할 경우 V2G에 적극적으로 참여하지 못한다 [4]. [5]에서는 EV가 출발하는 시간과 각 EV의 SoC를 고려하였지만 각 EV의 출발하는 시간을 분석하는 방법에 대해서는 고려하지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 EV의 SoC를 보장하고 효율적인 V2G 제공을 위해 EV의 사용 패턴 분석 시스템을 제안한다.

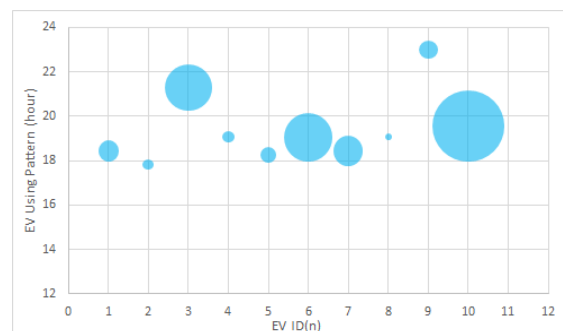
II. 본론

본 논문에서는 EV의 SoC를 고려하면서도 V2G에 적극적으로 참여하기 위한 EV 사용 패턴 분석 시스템을 제안한다. 제안된 시스템의 구조는 그림 1과 같다.



<그림 1> 제안된 시스템의 구조

V2G 제어 시스템은 ESS와 각 EV에 대한 정보를 수집할 수 있다. ESS의 SoC가 일정 수준 이하로 낮아질 경우 V2G 제어 시스템은 EV에 저장된 전력을 ESS에 공급할 수 있도록 제어할 수 있다. 또한 V2G 제어 시스템은 각 EV에 대한 정보를 수집하여 각 EV에 대한 충전과 방전을 결정할 수 있다.



<그림 2> 클러스팅된 EV의 사용 패턴

그림 2는 EV가 EV 주차장을 떠나는 패턴을 클러스팅한 그래프이다. EV는 총 10대로 설정하였고 각

EV 별로 Partitioning-based 클러스팅을 통해 표현하였다. 각 EV 에 해당하는 원의 중심은 평균이고, 반지름은 분산으로 표현하였다. EV 가 사용되는 시점의 데이터는 각 EV 별로 총 30 일치를 생성하여 구성하였다.

수식 1 에서 ESS SoC($SoC_n^{ESS}(t)$)는 이전 시간의 ESS SoC($SoC_n^{ESS}(t-1)$), PV 의 발전량($C^{PV}(t)$), 전력 소비원에 공급하는 전력($L^B(t)$), 모든 EV 가 충전 또는 방전하는 전력량($\sum_{n \in N} EV_n(t)$)에 의해 결정된다.

$$SoC_n^{ESS}(t) = SoC_n^{ESS}(t-1) + C^{PV}(t) - L^B(t) + \sum_{n \in N} EV_n(t) \quad (1)$$

ESS 의 SoC 가 낮아질 경우, V2G 를 통해 이를 대응하는 방법은 다음 수식에 의해 결정된다.

$$EV_n(t) = \begin{cases} D_n^{EV}, & SoC_n^{EV, res} > SoC_n^{EV, max} \\ -C_n^{EV}, & SoC_n^{EV, res} \leq SoC_n^{EV, max} \end{cases} \quad (2)$$

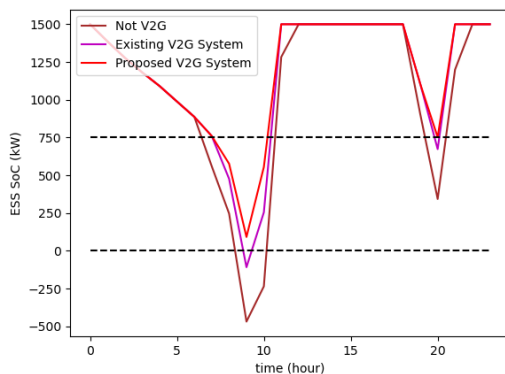
$$SoC_n^{EV, res} = SoC_n^{EV}(t) + C_n^{EV}(t_n^X - t_n^V - t) \quad (3)$$

EV 의 충전과 방전에 대한 결정($EV_n(t)$)은 EV 가 사용되는 시점까지 충전되는 양($SoC_n^{EV, res}(t)$)과 EV 의 최대 SoC($SoC_n^{EV, max}(t)$)를 비교하여 이루어진다. $SoC_n^{EV, res}(t)$ 가 $SoC_n^{EV, max}(t)$ 보다 클 경우 현재 시간대에서 EV 는 방전을 하더라도 사용되는 시점에서 최대 SoC 를 유지할 수 있기 때문에 ESS 에게 전력을 공급하고(D_n^{EV}), 반대의 경우 ESS로부터 충전(C_n^{EV})한다.

EV 가 사용되는 시점까지 충전되는 양($SoC_n^{EV, res}(t)$)은 EV 의 현재 SoC($SoC_n^{EV}(t)$)와 EV 의 충전 속도(C_n^{EV}), EV 가 사용되는 시점의 평균(t_n^X), EV 가 사용되는 시점의 분산(t_n^V), 현재 시간(t)으로 결정된다.

III. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 사용되는 전력소모량은 Smart Project 2 에서 참고하였다 [6]. 태양광 발전 데이터는 진도 태양광 발전소 일일 시간대 데이터를 참고하였다 [7]. V2G 의 동작 시점은 ESS SoC 의 50%로 설정하였다. 심야 시간의 전기요금 할인은 21~24 시로 설정하였다. 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.



<그림 3>시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과에 따르면 제안된 시스템을 사용할 경우 일반적인 V2G 시스템을 사용했을 경우보다 안정적으로 ESS SoC 를 유지할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 EV 의 사용 패턴을 분석하여, EV 가 사용되는 시점까지 충전 가능한 전력량을 고려한 V2G 수행 시스템을 제안한다. EV 사용 패턴은 클러스팅 방식으로 분석되어 각 EV 가 보다 적극적으로 V2G 에 참여할 수 있도록 한다. 성능분석 결과 단순히 현재 EV SoC 만을 고려한 시스템보다 더욱 안정적으로 ESS SoC 를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2020R1A6A1A12047945).

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW 중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음"(2019-0-01183).

* 교신저자 : 최성곤(choisg@cbnu.ac.kr).

참 고 문 헌

- [1] R. Deng, Z. Yang, M. Chow and J. Chen, "A survey on demand response in smart grids: Mathematical models and approaches", IEEE Trans. Ind. Inform., vol. 11, no. 3, pp. 570-582, Jun. 2015.
- [2] S. Han, S. Han and K. Sezaki, "Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 1, no. 1, pp. 65-72, Jun. 2010.
- [3] Nan Chen, Miao Wang, Ning Zhang, Xuemin Shen, Shamir A. "Energy and Information Management of Electric Vehicular Network: A Survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, issue 2, pp. 967-997, March. 2020.
- [4] Gaolei Li, Jun Wu, Jianhua Li, Tianpeng Ye, Rosario Morello, "Battery Status Sensing Software-Defined Multicast for V2G Regulation in Smart Grid", IEEE Sensors Journal, vol. 17, issue. 23, Dec.2017
- [5] Yong Hee Park, Su Ho Lee, Seoung Gon, Choi, "ESS SoC Optimization System Using EV Control", 2020 22nd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 16-19 Feb. 2020
- [6] (2019) The UMass website [Online]. Available: <http://traces.cs.umass.edu/index.php/Smart/Smart>
- [7] 농림축산식품부, 진도태양광 발전소 일일 시간대별 발전량 데이터, <http://www.okdab.kr/dma/opendata/open/grid.do?shareYn=Y&dataId=20161121000000000613>