

V2G에서 EV SoC를 관리하기 위한 EV 출차 패턴 분석 시스템

박용희, 정장현, 최성곤*

충북대학교

yh0360@cbnu.ac.kr, wkgus4788@daum.net, *choisg@cbnu.ac.kr

EV Departure Pattern Analysis System for Managing EV SoC in V2G

Yong Hee Park, Jang Hyun 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 EV 가 언제 사용되는지에 대해서는 고려하지 않는다. EV 는 출차 전까지 전력을 지속적으로 공급받을 수 있고, 이를 고려하면 출차 전까지 충전할 수 있는 전력의 합을 V2G 에 활용할 수 있다. 본 논문은 각 EV 의 SoC 를 관리함과 동시에 V2G 에 적극적으로 참여하기 위한 EV 출차 패턴 분석 시스템을 제안한다. 이를 위해 EV 의 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].

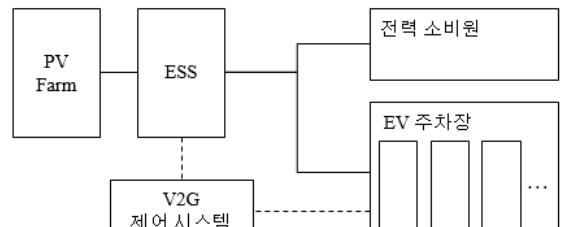
Electric Vehicle (EV)은 재생 에너지 자원을 사용할 수 있는 차량으로 온실 가스 배출량을 효과적으로 줄일 수 있다. Vehicle to Grid (V2G)는 EV 의 배터리에 저장된 전력을 전력망에서 사용하는 방안으로, 스마트 그리드의 안정성을 높일 수 있다 [2].

계통 안정화를 위해 V2G 를 사용할 경우 여기에 참여한 EV 의 State of Charge (SoC)가 감소하게 된다 [3]. 여기서 EV 가 사용되는 시간을 고려하지 않는다면, 사용자는 배터리가 소모된 상태에서 EV 를 사용하는 경우가 발생한다. 또한 EV SoC 를 보장하기 위해 임계값을 설정할 경우 V2G 에 적극적으로 참여하지 못한다 [4]. [5]에서는 EV 가 출발하는 시간과 각 EV 의 SoC 를 고려하였지만 각 EV 의 출발하는 시간을 분석하는 방법에 대해서는 고려하지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 EV 의 SoC 를 보장하고 효율적인 V2G 제공을 위해 EV 의 사용 패턴 분석 시스템을 제안한다.

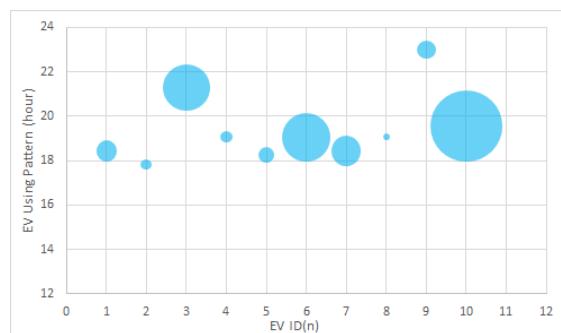
II. 본론

본 논문에서는 EV 의 SoC 를 고려하면서도 V2G 에 적극적으로 참여하기 위한 EV 사용 패턴 분석 시스템을 제안한다. 제안된 시스템의 구조는 그림 1 과 같다.



<그림 1> 제안된 시스템의 구조

V2G 제어 시스템은 ESS 와 각 EV 에 대한 정보를 수집할 수 있다. ESS 의 SoC 가 일정 수준 이하로 낮아질 경우 V2G 제어 시스템은 EV 에 저장된 전력을 ESS 에 공급할 수 있도록 제어할 수 있다. 또한 V2G 제어 시스템은 각 EV 에 대한 정보를 수집하여 각 EV 에 대한 충전과 방전을 결정할 수 있다.



<그림 2> 클러스팅 된 EV 의 사용 패턴

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

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

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

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

ESS의 SoC가 낮아질 경우, V2G를 통해 이를 대응하는 방법은 다음 수식에 의해 결정된다.

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

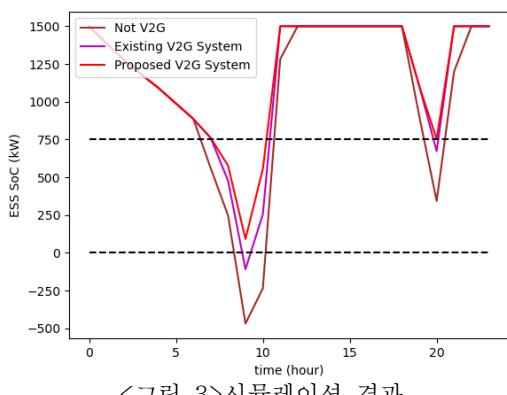
$$SoC_n^{EV,res} = SoC_n^{EV}(t) + C_n^{EV}(t_n^X - t_n^V - t) \quad (3)$$

EV의 충전과 방전에 대한 결정($EV_n(t)$)은 EV가 사용되는 시점까지 충전되는 양($SoC_n^{EV,res}(t)$)과 EV의 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 EV는 방전을 하더라도 사용되는 시점에서 최대 SoC를 유지할 수 있기 때문에 ESS에게 전력을 공급하고(D_n^{EV}), 반대의 경우 ESS로부터 충전(C_n^{EV})한다.

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

III. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 사용되는 전력소모량은 Smart Project 2에서 참고하였다 [6]. 태양광 발전 데이터는 진도 태양광 발전소 일일 시간대 데이터를 참고하였다 [7]. V2G의 동작 시점은 ESS SoC의 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 SoC를 유지할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 EV의 사용 패턴을 분석하여, EV가 사용되는 시점까지 충전 가능한 전력량을 고려한 V2G 수행 시스템을 제안한다. EV 사용 패턴은 클러스팅 방식으로 분석되어 각 EV가 보다 적극적으로 V2G에 참여할 수 있도록 한다. 성능분석 결과 단순히 현재 EV SoC만을 고려한 시스템보다 더욱 안정적으로 ESS SoC를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 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).

참고문헌

- [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 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>