

V2G를 이용한 전력계통 서비스

이현구, 손홍관, 하태현, 배정효, 김대경, 이성준, 김성철
한국전기연구원 전력설비기기화연구센터

Grid service using Vehicle-to-Grid

Hyun-Goo Lee, Hong-Kwan Sohn, Tae-Hyun Ha, Jeong-Hyo Bae, Dae-Kyeong Kim, Sung-Joon Lee, Sung-Cheol Kim
Smart Power Facility Research Center, KERI

Abstract – The increase in oil prices and the rising environmental concerns are boost the electric vehicle supply. Vehicle manufacturers understand this trend quite well and plan to increase the production of electric vehicle(EV) such as Nissan LEAF and GM VOLT etc. The growth of intermittent renewable energy sources such as solar and wind power requires utilities to find additional grid coupled energy storage and regulation capacity. EVs have a battery pack and a charger. The charger can be able to deliver power back to the grid from the vehicle's battery as well as charge the battery. The concept of deploying EVs to stabilize the electric power grid is generally referred to as Vehicle-to-Grid(V2G). We present the grid service using V2G.

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 독립과 지구온난화 문제에 대한 관심이 커지고 있다. 이를 해결하기 위하여 풍력이나 태양광 등의 신재생에너지 도입과 자동차의 연료효율을 높이거나 다른 에너지원으로 전환함으로써 화석연료 의존에서 탈피하고 온실가스 배출량을 줄이기 위한 노력이 전진국을 중심으로 활발하게 진행되고 있다.

정부에서는 저탄소 녹색성장의 일환으로 기존의 전력망에 ICT 기술을 접목하여 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지효율을 최적화하는 스마트그리드 사업을 추진하고 있으며, 이산화탄소 저감 및 연비개선과 환경규제 강화 등에 대응하기 위한 그린카 보급과 역량을 집중하고 있다.

신재생에너지 발전은 풍속이나 일조량 등의 기상조건에 따라 크게 영향을 받기 때문에 기존 전력망을 이용할 경우 정전 또는 전력품질 저하 등의 다양한 장해를 발생할 수 있으며, 대표적인 그린카인 전기자동차는 배터리의 가격과 충전 소요시간, 충전인프라의 구축 등 해결해야 할 과제가 많이 남아있는 실정이다.

전력시스템을 안정화하기 위하여 전기자동차를 활용하는 발상은 일반적으로 V2G(Vehicle-to-Grid)라고 불리고 있으며, 이 개념은 1997년 미국 Delaware 대학의 Willet Kempton 교수가 처음 제안하였다.^[1] V2G 시스템은 전력망과 전기자동차 배터리 전원을 연계하여 양방향으로 전력을 전송/역송하는 기술로서 실시간 전력시장요금에 근거하여 효율적인 계통 연계 및 운용 방안을 구축하는 시스템이다.

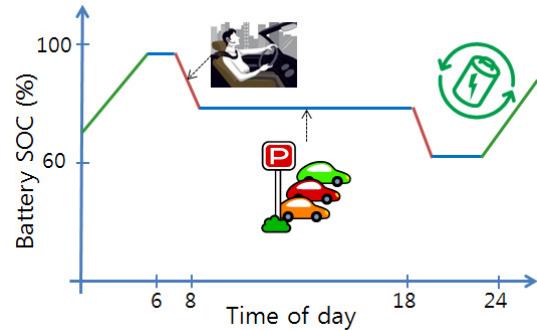
2. 전기자동차의 특징

ABC News의 연구에 의하면 미국에서 평균 왕복 통근 거리는 32 마일(약 50km)이고, 미국 전체 운전자의 통근 패턴에 관한 설문 조사는 60%의 통근자들이 50마일(80km) 이내 거리를 운전한다고 나타났다.^[2]

일반적인 상용 전기자동차 배터리의 저장능력은 1에서 60kWh 정도이며, 최대출력에 이르는데 밀리세컨드(ms) 정도의 빠른 응답특성과 통상적으로 완전충전에 5시간 정도 소요된다.^[3]

출퇴근용 전기자동차 배터리 SOC(State of Charge)의 일반적인 하루 동안의 변화는 그림 1과 같다. 여기서 SOC는 배터리 용량에 대해 배터리 내에 저장된 에너지의 비율이다. 하루 중 대부분의 시간동안 주차되어 있으며, 통근거리가 전기자동차의 주행 가능거리보다 작다는 것을 알 수 있다. 즉 배터리를 충전하기 위하여 전력계통에 부하로 공급하는 것 이외에도 활용 가능한 전원으로도 바라 볼 수 있는 것이다.

개별 전기자동차의 배터리에 저장된 에너지는 어떠한 수단으로도 전력계통에 임팩트를 주기에는 너무 작다. 따라서 부하와 저장장치 양쪽으로 전력계통에 임팩트를 줄 수 있는 MW 규모로 수천에서 수십만 대의 전기자동차를 집단화해야 한다. 이를 위하여 운영자는 자동차의 위치, 배터리 SOC, 운전자 요구사항 및 충전과 방전 신호 등을 통신할 수 있어야 한다.^[4]



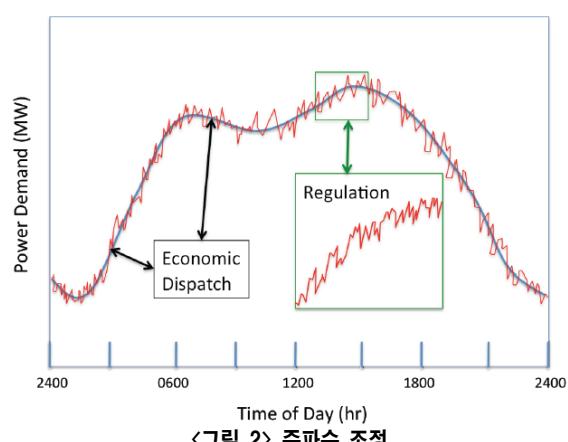
<그림 1> 출퇴근용 전기자동차 SOC의 일반적인 일변화

3. V2G를 이용한 전력계통 서비스

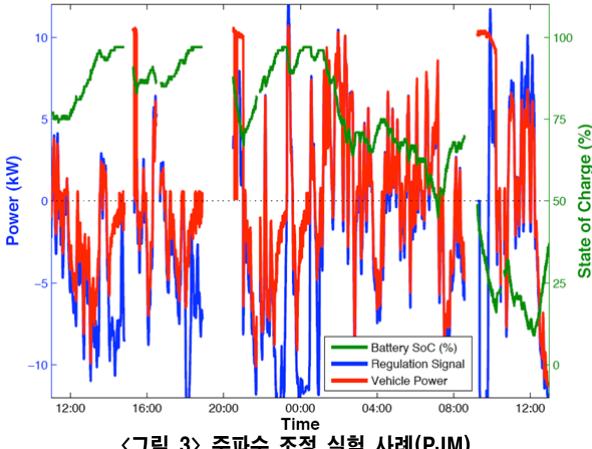
유럽연합은 에너지 환경 정책을 통해 2020년까지 신재생에너지원에서 20%의 전기를 생산하는 아심찬 계획을 확정하고 진행 중에 있다.^[5] 미국은 전력시스템의 현대화를 위한 “GRID2030” 계획을 수립하여 추진하고 있으며, 여기서 전기자동차는 큰 역할이 기대된다.

3.1 주파수 조정

전력계통은 기본적으로 발전소에서 수용가까지 전력을 운송하는 역할을 하며, 부하와 발전이 균형을 이루어야 한다. 대형 발전기의 느린 응답 때문에 그림 2와 같이 전력수요를 정확하게 맞출 수 없다. 주파수 조정(Frequency regulation)은 전력 수요와 공급의 차이를 제거하여 전력계통의 주파수를 60Hz로 유지하는 것이다. 만약 부하가 발전량을 초과한다면 주파수와 전압이 낮아질 것이고 이때 계통운영자는 발전량을 증가하라는 명령을 보낸다. 반대로 발전량이 부하보다 클 때는 주파수가 증가하며 계통운영자는 발전량을 줄일 것을 요구한다. 주파수 조정은 일반적으로 한 시간 단위로 용량 계약을 하며, 관할 지역에 따라 4초에서 1분 간격으로 조정이 이루어진다. PJM은 주파수 조정을 위해 하루에 수백회의 제어신호를 발전기에 보내고 있으며, 5분 이내의 응답시간과 최소 1MW의 전력용량 계약을 요구한다. 그림 3은 PJM에서 수행한 전기자동차 배터리를 이용한 주파수 조정 실험 사례이다.^[6] 실시간으로 변하는 주파수에 대하여 배터리의 즉각적인 충전과 방전으로 전력 균형(Power Balance)를 유지하도록 할 수 있다.



<그림 2> 주파수 조정



〈그림 3〉 주파수 조정 실험 사례(PJM)

많은 전력시장에서 주파수 조정 서비스는 전력요금의 일정 부분을 차지하고 있으며, 2004년부터 2006년까지 미국의 5개 계통운영기관에서 발표한 연평균 주파수 조정 가격은 표 1과 같다.

〈표 1〉 연평균 주파수 조정 가격(미국)

	Regulation (\$/MW-h)		
	2004	2005	2006
PJM	42.75	49.73	32.69
RTO-NE	28.92	30.22	24.02
NY ISO	22.59	39.21	51.26
ERCOT	22.66	38.07	n/a
CAISO	29.00	n/a	36.04

3.2 대기 예비력

계통운영자의 명령에 따라 10분 안에 계약 용량을 전력계통에 제공해야 한다. 일반적으로 대기 예비력에 대한 요구는 연간 20에서 50회 정도 이루어지고 있다. 2007년에 PJM에서는 대기 예비력이 45회 발생했으며 평균 지속시간은 14분이었다. 미국의 5개 계통운영기관에서 발표한 연평균 대기 예비력 가격은 표 2와 같다.^[7]

〈표 2〉 연평균 대기 예비력 가격

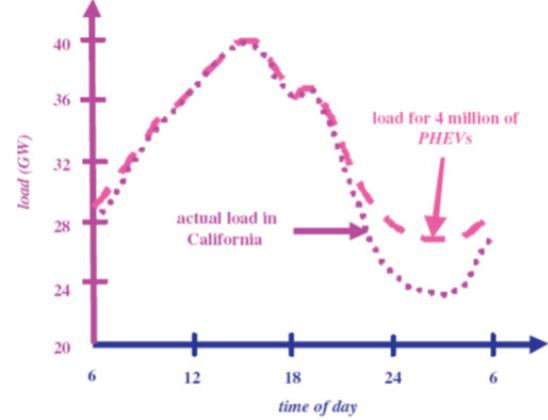
	Spinning reserve (\$/MW-h)		
	2004	2005	2006
PJM	14.86	14.41	14.94
RTO-NE	n/a	n/a	n/a
NY ISO	2.38	7.57	8.25
ERCOT	8.32	16.61	n/a
CAISO	n/a	n/a	9.61

3.3 부하 평준화

캘리포니아 그린드에 4백만대의 PHEV가 추가되는 것을 고려한 연구에서 그림 4와 같이 자동차 충전부하가 새로운 발전원 없이 현재의 전력시스템에 의해 수용될 수 있음을 보여 주었다.^[7] Off-peak 동안에도 꾸준한 출력을 유지하는 원자력 발전소에서 공급하는 전력을 이용하여 충전함으로써 야간시간대의 저 부하 문제를 극복할 수 있도록 도와준다.

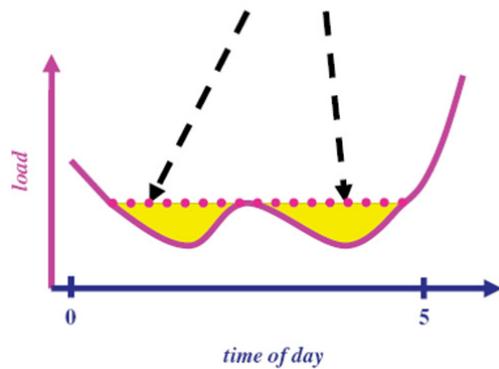
수요가 변동되는 시스템에서 제어가 가능한 부하로써 집단화된 전기자동차의 효과는 그림 5와 같다. 부하로써 집단화된 전기자동차는 계통운영에 있어서 Off-peak 동안 부하를 평준화하는데 도움을 줄 수 있다. 부하 평준화는 부하의 예측이 훨씬 쉽기 때문에 시스템 운영을 획기적으로 단순화 할 수 있다.

일정 규모 이상으로 집단화된 전기자동차는 발전 유닛의 회전과 파크의 시작을 지연하게 함으로써 시스템 운영자에게 중요한 지원을 제공할 수 있다. 결과적으로 시스템에 부하를 만족할 수 있는 보험을 제공할 수 있다.^[7] 또한 전기요금이 저렴한 기저부하에서 충전한 후 비싼 첨두부하에 계통에 역송하는 차액거래를 통해 수익을 창출할 수 있다.



〈그림 4〉 여름철 PHEVs 유무에 따른 캘리포니아의 일 부하

impacts of the BSs



〈그림 5〉 전기자동차 충전을 통한 부하 평준화

4. 결 론

본 논문에서는 전기자동차의 특징을 알아보고 전기자동차의 배터리를 이용한 전력계통 서비스에 대하여 알아보았다. V2G 시스템을 통해 신재생에너지 활용에 따른 전력계통의 불안정성을 제거하고, 고비용의 전력공급원 대체를 통해 탄소배출 저감 및 에너지 효율성을 향상 시킬 수 있다.

전기자동차는 현재까지 개발 단계 또는 양산 전단계인 점을 감안하면 대량 생산에 앞서 V2G 시스템 개발과 실증실험을 통해 실제 운전환경에서 문제가 발생하지 않고 안정적으로 전력공급이 이루어질 수 있도록 준비해야 한다.

참 고 문 헌

- Kempton, W. and Letendre, S., "Electric vehicles as a new power source for electric utilities", *Transportation Research Part D 23*, p.157-175, 1997
- Sanna, L., "Driving the solution, the plug-in hybrid vehicle", *EPRI Journal*, 8-17, 2005
- Chan, C.C., Chau, K.T., "Modern Electric Vehicle Technology", Oxford Science Publications, 2001
- Guille C., Gross G., "Design of a Conceptual Framework for the V2G Implementation", *IEEE Energy2030*, 2008
- H. Lund, W. Kempton, "Integration of renewable energy into transport and electricity sectors through V2G", *Energy Policy 36*, p.3578-3587, 2008
- Kempton. W et al, "A Test of Vehicle-to-Grid(V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System", 2008
- Kempton, W. and Tomic, J., "Vehicle-to-grid fundamentals: calculating capacity and net revenue", *Journal of Power Source 144*, p.268-279, 2005