

스마트그리드를 통한 전기자동차의 전력망 영향 관리 효과

박찬국*, 최도영**, 김현제***

에너지경제연구원 에너지정책연구본부*, 에너지정보통계센터**, 부원장실***

Analysis of the Impact of Smart Grids on Managing EVs' Electrical Loads

Park, Chan-Kook**, Choi, Do-Young***, Kim, Hyun-Jae****

Energy Policy Research Group, Korea Energy Economics Institute*

Center for Energy Information and Statistics, Korea Energy Economics Institute**

Vice President, Korea Energy Economics Institute***

요약 전기자동차 보급이 확대됨과 동시에 충전이 특정 시간대에 몰리거나 전력수요가 높은 시간대에 늘어나면 전력수급 균형이 불안해질 수 있다. 따라서 전기자동차 충전으로 인한 전력수요가 증가함과 동시에, 전기자동차의 전력수요를 분산시키고, 전기자동차 배터리의 여분의 전기를 활용할 수 있는 스마트그리드 구축이 중요해진다. 아직 국내에서 스마트그리드가 전기자동차의 전력망 영향 관리에 어느 정도 영향을 미치는지에 대해서는 정량적 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구는 스마트그리드를 통한 전기자동차의 전력망 영향 관리 효과를 정량적으로 분석하고 정책적 시사점을 제시하였다. 결과적으로 스마트그리드는 전기자동차의 전력망 영향을 효과적으로 관리할 수 있었다. 전력시장 구조와 규제 프레임워크는 스마트그리드 기술의 실증과 상용화 촉진을 뒷받침할 수 있어야 할 것이다.

주제어 : 스마트그리드, 전기자동차, 전력수요, 에너지, 첨두부하

Abstract The electricity demand and supply could be off balance if several electric vehicles(EVs) were charged at the same time or at peak load times. Therefore, smart grids are necessary to flatten the EVs' electricity demand and to enable EVs to be used as distributed storage devices as electricity demand from EV-charging increases. There are still few quantitative studies on the impact of smart grids on managing EVs' electrical loads. In this study, we analyzed the quantitative impact of smart grids on managing EVs' electrical loads and suggested policy implications. As a result, it is identified that smart grids can manage effectively EVs' impact on electrical grids. The electricity market structure and regulatory framework should support the demonstration and commercialization of smart grid technologies.

Key Words : Smart grid, Electric Vehicle, Electricity Demand, Energy, Peak Load

* 본 논문은 2012년 에너지경제연구원 기본연구사업 「전기자동차 보급의 에너지수급 영향 분석」에 의해 지원되었음

Received 1 October 2013, Revised 21 October 2013

Accepted 20 November 2013

Corresponding Author: Kim, Hyun-Jae(Korea Energy Economics Institute)

Email: hjkim@keei.re.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

현재 전기자동차는 기존 화석연료 자동차에 비해 온실가스 및 오염물질 저배출로 친환경 운송수단으로 인식되고 있다. 또한 초기구입비용은 높지만 운영비용이 낮아 장기적으로 볼 때 경제성도 갖추고 있는 것으로 평가받는다. 이에 미국, EU, 일본, 중국 등 세계 주요 국가들은 전기자동차 구매 보조금 지원, 세제 혜택 등의 금전적인 인센티브뿐만 아니라 주차 및 충전 편의성 부여, 차량 운행 관련 인센티브 제공 등 각종 지원책을 시행하고 있다.

다만 높은 가격과 제한된 주행거리 문제로 전기자동차의 보급이 앞으로 얼마나 빠르게 이루어질 것인가는 불확실하다. IEA는 World Energy Outlook 2011의 국가별 정책을 고려한 시나리오에서, 총 전기자동차 수가 현재 약 5만대에서 2020년에 160만대에 달하고, 2035년에 3,100만대에 달할 것으로 전망하고 있다. 이 전망은 2035년이 되어서도 전기자동차가 주행되는 모든 자동차의 2%가 채 안 된다는 것을 의미한다. 그리고 전기자동차를 운행하기 위해 필요한 전력은 2035년 총 전력소비량의 0.1%에 불과하다[2].

그러나 일부 국가들은 전기자동차 보급에 있어 다른 국가 대비 훨씬 빠른 속도를 보일 전망이다. 예를 들어 이스라엘은 세계에서 가장 빠르게 어느 곳에서도 전기자동차 충전 인프라를 활용할 수 있는 국가로 만들겠다는 정책목표를 설정하고 있는데, 이 정책목표를 실현할 경우 전기자동차가 이스라엘 전력소비의 약 50%를 차지할 전망이다[4]. 그리고 전기자동차 비용이 빠르게 하락하고 정부의 지원이 증가한다면 전기자동차 보급은 예상보다 빠르게 확대될 것이다. IEA는 국제적으로 지구 온도를 섭씨 2도 이상 올리지 않는 데에 합의하는 시나리오에서는 총 전력소비에서 전기자동차가 차지하는 비중이 2035년까지 약 1%에 달할 것으로 전망하였다[3].

전기자동차가 기존 화석연료 자동차를 대체하고 전력수요를 증가시킬 가능성은 장기적으로 볼 때 더욱 높아진다. IEA는 ETP(Energy Technology Perspective) 2010의 블루맵(BLUE Map) 시나리오(2050년까지 2005년 수준 대비 이산화탄소 배출량 50% 감소)에서 전기자동차 보급의 가파른 확대로 전기자동차의 전력소비 비중

이 2050년에 전체 대비 11%에 달할 것으로 전망하였다. 한편, 전기자동차가 2050년까지 세계의 모든 화석연료 기반 자동차를 대체하는 가장 낙관적 가정에서는 전기자동차가 세계 전력수요의 20%를 초과하게 된다[4].

비록 단기적으로는 전기자동차가 전력망에 미치는 영향이 크지 않겠지만 장기적으로는 전력부하에서 많은 비중을 차지할 것이다. 그리고 전기자동차 충전이 특정 시간대에 몰리거나 전력수요가 높은 시간대에 늘어나면 전력수급 균형이 불안해질 수 있다. 따라서 전기자동차 충전으로 인한 전력수요가 증가함과 동시에, 전기자동차의 전력수요를 분산시키고, 전기자동차 배터리의 여분의 전기를 활용할 수 있는 스마트그리드 구축이 중요해진다.

전기자동차의 전력수요 관리에 있어 스마트그리드의 필요성은 대체로 공감을 얻고 있다. 제주도 실증단지에서도 '지능형 운송(smart transportation)'이 핵심 사업 분야로 선정되어 추진되고 있다[8]. 그러나 국내에서 스마트그리드가 전기자동차 전력수요 관리에 어느 정도 영향을 미치는지에 대해서는 정량적 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구는 스마트그리드를 통한 전기자동차 전력수요 관리 효과를 정량적으로 분석하고 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 특히 그동안 논의가 심층적으로 진행되지 못하였으나 최근 들어 상용화 분위기가 형성되고 있는 V2G(vehicle to grid)¹⁾ 기술의 효과를 반영하고자 한다.

2. 전기자동차의 전력망 영향 관리에서 스마트그리드의 역할

스마트그리드 기술은 충전부하를 전력수요가 높은 시간대에서 낮은 시간대로 이전하는 역할을 수행한다. 이를 통해 일 부하곡선을 완만하게 하고, 발전 및 전력망 투자 수요를 줄이는 데 일조하며, 전력생산에서 발생하는 CO₂ 배출을 최소화한다. 스마트미터(smart meter) 등 첨단 계량장비(AMI, advanced metering equipment)는 양 방향 정보의 흐름을 가능하게 하고, 소비자와 전력회사에 실시간으로 데이터를 제공하며, 소비자가 자신 및 전력회사가 지불해야 할 비용을 최소화할 수 있도록 전기자동차 충전(G2V, grid-to-vehicle)을 계획할 수 있게

1) V2G(vehicle to grid)는 순수 전기자동차(EV) 및 플러그인 하이브리드(PHEV)와 같은 플러그인 전기자동차의 배터리가 이동형 전력원이 되어 배터리에 남아있는 여분의 전력을 전력망으로 보낸다는 개념이다.

해 준다. 또한, 원격 연결과 연결 해제를 가능하게 한다. 가령, 전력망 운영자는 전력망 용량이 포화상태일 때, 재충전 중인 전기자동차들을 부분적으로 전력망에서 분리할 수 있다. 초기 AMI에는 이러한 기능들이 포함되지 않았지만, 전기자동차 보급이 늘어나면서 상기 기능들이 통합될 것으로 예상된다.

장기적인 관점에서는 스마트그리드 기술을 통해 전기자동차가 분산형 저장 장치가 되어, 전체적인 전력수요가 과다할 때 전기자동차 배터리의 전력을 전력망으로 보냄으로써(V2G) 전력망을 안정화할 수 있다. 이는 비용 효과적인 순동예비력 및 첨두부하²⁾ 절감용으로 활용되어 전력시스템의 비용을 줄이는 데 기여한다. V2G 기술을 통해 전기자동차는 계통운영 보조서비스(ancillary service) 시장에서도 주요 역할을 할 수 있다[10].

전력수요는 계속해서 증가하고 있고, 출력이 간헐적인 풍력, 태양광 등의 재생에너지 발전도 지속적으로 확대되고 있다. 이러한 상황은 전력수요 증가 대응과 전력계통 안정 및 품질유지를 위한 자원의 필요성을 더욱 높이게 되며, V2G의 잠재력에 대한 관심을 고조시키고 있다. V2G 자동차는 배터리에 남아 있는 전력을 이용하여 기존 중앙발전 자원 대비 전력 수요자와 보다 가까운 지점에서 전력망을 안정화할 수 있다는 특징도 있다.

3. 스마트그리드를 통한 전기자동차의 첨두부하 영향관리 효과

첨두부하 시간대에 전기자동차 충전 수요가 많아지면 전력망 관리가 더욱 어려워진다. 그러나 앞서 언급하였듯이 전기자동차는 V2G를 통해, 즉 첨두부하 시간대에 배터리에 남아 있는 여분의 전기를 전력망에 보내 전력망을 안정화할 수 있는 잠재력이 있다. V2G는 전력수급 균형 및 첨두부하 감축에 수요자의 참여를 가능하게 하는 스마트그리드 기술에 의해 실현 가능하다. 이에 전기자동차가 피크수요에 미치는 영향을 검토할 때, 전기자동차 보급에 따른 첨두부하 증가분에서 V2G 기술 적용에 따른 첨두부하 감축분을 차감하는 것을 고려해야 한다.

3.1 전기자동차 충전용량

충전전력은 충전기의 사양에 의해 좌우된다. 충전기의 사양은 비교적 간단하게 가정할 수 있다. 미국 DOE(에너지부)는 충전기 사양을 1.4kW, 3.3kW, 60~150kW로 구분하였고, 프랑스 전력회사 EDF는 3kW, 6kW, 24kW, 43kW, 150kW로 구분하였다. 용량 규모가 클수록 고속으로 충전되는 방식이다[3].

그러나 고속충전은 빠른 시간 내에 충전할 수 있다는 장점이 있으나, 상대적으로 비용이 높으면서 배터리 수명을 단축하기 때문에 보편적으로 사용되는 방식은 아니다. RWTH(2010)은 전기자동차의 90%가 저속으로 충전하고 10%는 고속으로 충전할 것이라고 전망하였고, IEA(2011.8)는 이 전망을 근거로 저속충전 3.7kW, 고속충전 40kW를 기준으로 삼아 평균 충전전력이 7.3kW가 될 것으로 추정하였다. 본 연구에서는 이 추정치를 준용한다[2,11].

3.2 전기자동차 방전용량

전기자동차가 방전을 통해 전기자동차 배터리에 남아 있는 여분의 전기를 전력망으로 되돌려 보낼 경우, 그 방전량을 어떻게 계산할 것인지는 다소 복잡한 문제이다. 방전량이 배터리 용량에 의해 제약을 받을 지의 여부는 불확실하다. 플러그인 전기자동차의 경우 엔진이 발전기 역할을 할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 배터리에서 에너지를 공급하는 V2G 서비스만을 고려하기로 한다.

Kempton(2005)은 식(1)과 같은 공식으로 전기자동차가 전력망에 전달할 수 있는 에너지를 정의하였다[5].

$$P_{VEH} = \frac{(E_s - \eta_{EV/PHEV} \times (d_D + d_{RB})) \times \eta_{INV}}{t_{DISP}} \quad (1)$$

여기에서 P_{VEH} 는 V2G(kW)를 통해 전달할 수 있는 최대 전력용량이다. E_s 는 인버터에 전달할 수 있는 직류로서 이용 가능한 배터리 저장 에너지(kWh)이다. d_D 는 배터리가 최대 충전된 이후 운행한 거리(km)이며, d_{RB} 는 운전자가 요구하는 최소 여유 주행거리(range buffer, km)를 의미한다. $\eta_{EV/PHEV}$ 는 전기자동차 및 플러그인 자동차의 주행 효율성(kWh/km)이며, η_{INV} 는 인버터에서 배터리의 직류가 교류로 전환할 때의 효율성이다. 그리

2) 첨두부하(peak load)는 1일 또는 특정 기간의 전력부하 중 최댓값을 의미한다.

고 t_{DISP} 는 전기자동차의 저장된 에너지가 전력망으로 급전되는 시간을 의미한다.

IEA(2011.8)에 따라 배터리 저장용량 E_s 는 EV(순수 전기자동차)가 30kWh, PHEV(플러그인전기자동차)가 8kWh로 가정한다. 그리고 EV와 PHEV의 평균 주행효율성($\eta_{EV/PHEV}$)은 0.15kWh/km로 가정한다.³⁾ 배터리가 완전히 충전된 이후 주행한 거리 d_B 는 운전 행태, 차량 종류, 운전자의 충전계획 등 다양한 특성에 의해 영향을 받는다. 국내의 경우 운전자 당 평균 하루 주행거리는 28km이다[2].⁴⁾

운전자가 필요로 하는 최소 여유 주행거리(d_{RB})는 자동차의 특성에 따라 계산되는 공학적 수치가 아니다. d_{RB} 의 결정은 바로 운전자 또는 자동차 운영업체가 하는데, 예를 들어 편의점이나 병원과 같이 기대하지 않았던 곳으로의 운행을 위해 필요한 여유 주행거리를 남겨놓게 된다. Kurani et al.(1994)는 미국 캘리포니아 운전자들과의 인터뷰를 통해 32km 정도(미국인 하루 주행거리의 약 63% 수준)가 대부분의 운전자들에게 최소 여유 주행거리로 인식되고 있다고 주장하였다[7]. Kurani et al.(1994)의 조사결과를 토대로 국내 운전자 당 평균 하루 주행거리의 70% 수준인 20km를 최소 여유 주행거리로 설정한다. P_{HEV} 는 완전 방전되더라도 항시 내연 엔진을 통해 운행할 수 있으므로 P_{HEV} 의 d_{RB} 는 '0'으로 설정하였다. 그리고 인버터의 효율성(η_{INV})은 Kempton and Tomić(2005)이 가정한 바와 같이 0.93으로 설정하였다[5].

<Table 1>은 위의 공식을 이용하여 V2G를 통해 배터리에서 전력망으로 보낼 수 있는 방전부하(discharging load, 단위: kW)를 표시하고 있다.

V2G를 통한 급전시간을 가리키는 t_{DISP} 는 순동예비력(spinning reserve)용으로 몇 분이 될 수도 있고, 첨두부하 대응용으로 몇 시간이 될 수도 있다. 첨두부하는 하루

중 3~5시간 정도 나타나는데[2], 전기자동차의 첨두부하 영향을 검토하고 있는 본 연구에서는 t_{DISP} 의 시간을 3~4시간으로 설정하였다. 그리고 IEA 데이터에 따르면, EV와 PHEV의 보급대수는 비슷할 것으로 전망된다. 이에 EV와 PHEV의 V2G 용량(P_{DISCHG} , discharging power(kW))은 EV와 PHEV의 평균치를 활용하였다. 이러한 첨두부하 시간 가정 하에 <Table 1>에 따라 방전 용량을 4kW로 설정하여 단순화하였다.

<Table 1> EVs' discharge capacity through V2G

Categories	EV	PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV
t_{DISP} (h)	1	1	2	2	3	3	4	4
D_B (km)	28	28	28	28	28	28	28	28
d_{RB} (km)	20	0	20	0	20	0	20	0
E_s (kWh)	30	8	30	8	30	8	30	8
η_{INV}	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
$\eta_{EV/PHEV}$ (kWh/km)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
P_{VEH} (kW)	23.30	4.09	11.65	2.05	7.77	1.36	5.83	1.02
$P_{EV/PHEV}$ (kW)	13.7		6.85		4.57		3.42	

3.3 전기자동차의 첨두부하 영향 및 스마트그리드 효과

첨두부하 기간에 전력망에 연결된 전기자동차의 비중(f_{EV})은 전체 전기자동차의 전력망 부하에 큰 영향을 미친다. 보통 자동차는 하루 24시간 중 5%만 운행되고 나머지 95%는 멈춰있는 것으로 보도되고 있다. 그런데 첨두부하 시간대에 자동차 운행 비율도 높아지는 경향이 있기 때문에, 첨두부하 시간대에 전력망에 연결되어 있는 전기자동차의 비중은 정차된 비중(95%)보다는 낮아질 것이다. 본 연구에서는 첨두부하 시간대에 전기자동차의 40%가 전력망에 연결된다고 가정한다.⁵⁾

스마트그리드는 첨두부하 시간대에 부분적으로 전기

3) IEA(2011.8)에서는 주행효율성 기준을 0.2kWh/km로 설정하고 있다. 그러나 지식경제부 보도(2011.12.22.)에 따르면, 2011년 10월 마련된 전기자동차의 에너지소비 효율 기준에 따르면, 주행효율성이 0.2kWh/km보다 우수하도록 요구하고 있고, 현재 국내 르노삼성차의 SM3 ZE와 기아차의 RAY 전기차의 주행효율성이 각각 0.17kWh/km, 0.14kWh/km 수준이다. 이에 본 연구에서는 전기차의 주행효율성은 0.15kWh/km 수준으로 상향 설정한다[2].

4) Kempton and Tomić(2005)는 운전자가 전기자동차 운행을 중단하고 다음날 운행을 위해 재충전을 하게 될 때까지 평균 하루 주행거리의 절반을 운행한다고 가정하였다. 본 연구에서도 이 가정을 이용한다면 국내에서 운전자 당 전기자동차의 평균 일일 주행거리는 14km이다. 그러나 2012년 현재 배터리용량 및 효율성 증대에 따라 1회 충전으로 일일 평균 주행거리의 약 3배 이상을 달릴 수 있기 때문에 본 연구에서는 일평균 주행거리를 하루 중 충전된 이후 주행한 거리로 설정한다[5].

5) IEA(2011.8)은 스마트그리드가 적용되지 않는 상황에서 첨두부하 시간대에 전기자동차의 충전 대수를 최대 50%로 설정하고 있고, 전력거래소(2009)는 30%로 설정하고 있다. 본 연구에서는 이 중간 값인 40%를 채택한다. 여기에서 40%는 어디까지나 가정이며, 실제로는 더 낮은 가능성이 높다[2,5].

자동차의 전력망 연결을 해제하거나 충전율을 낮춤으로써 부하를 줄일 수 있다. 전기자동차 충전관리 시장은 이미 성숙한 기술 수준에 따라 곧 성장하기 시작할 것으로 전망된다.

한편, V2G는 비용 집약적이며, 전기자동차와 전력망 간 양방향 전력흐름을 가능하게 하는 보다 많은 인프라가 필요하기 때문에 전기자동차 충전관리 시장보다는 느리게 성장할 전망이다. V2G에 참여하는 전기자동차의 배터리는 그렇지 않은 차의 배터리보다 성능저하(degradation) 현상이 빨리 오는데, 이러한 배터리 성능저하에 대한 비용이 전력회사가 소비자에게 보상하는 가격에 반영될 필요가 있다. 그러나 그 성능저하를 현금화하기 쉽지 않다. 또한, 소비자가 V2G에 참여하면 그만큼 주행거리가 짧아지기 때문에 다시 충전을 해야 하는 번거로움이 발생하여 G2V보다 수용성이 떨어진다. 그리고 전기자동차와 배터리 성능보장 문제로 자동차 제조업체들이 V2G를 적극 지지하기를 꺼려한다.

요금구조는 충·방전 시간대에 영향을 미치는 핵심 요인이다. 본 연구에서는 전기요금에 현재와 같은 경우 전력망에 연결된 전기자동차 비중을 40%로 가정하고 있다. 만약 시간대별 또는 침두부하 시간에 차별적인 요금을 부과한다면 침두부하 시간에 G2V를 줄이고 V2G를 확대하는 효과가 나타날 것이다. 따라서 지능형 요금제가 스마트그리드와 결합될 경우, 전기자동차의 침두부하 증대 효과를 보다 최소화할 수 있다. <Table 2>에는 3가지 시나리오가 제시되어 있다. 스마트그리드 활용이 이루어지지 않고 있는 기준(BAU) 시나리오에서는 침두부하 시간대의 G2V 비중이 40%인 반면 V2G는 존재하지 않는다. 그리고 변동요금제와 스마트그리드 기술을 활용하는 정도에 따라 'SG(smart grid) Low-Utilization(저활용)'과 'SG High-Utilization(고활용)' 시나리오로 구분된다[2].

<Table 2> Percentage of EVs connected to the electrical grid at peak load time(%)

Scenario	f _{EV(G2V)} (%)	f _{EV(V2G)} (%)
BAU	40	0
SG Low-Utilization	30	5
SG High-Utilization	20	15

주: f_{EV(G2V)}: 충전(G2V)을 위해 전력망에 연결된 전기자동차 비중
f_{EV(V2G)}: 방전(V2G)을 위해 전력망에 연결된 전기자동차 비중

'SG Low-Utilization'에서는 침두부하 시간대의 G2V 비중이 30%로 축소되고, V2G는 5% 수준이다. 'SG High-Utilization'에서는 침두부하 시간대의 G2V 비중이 20%로 축소되고 V2G는 15%로 확대되면서 전기자동차의 최대 전력부하 증대 효과를 크게 완화한다. 본 연구에서도 이 시나리오를 준용한다.

지금까지 논의한 내용을 바탕으로 전기자동차의 침두부하 영향을 식(2)와 같이 공식화할 수 있다[2].

$$PL_{G2V/V2G} = \underbrace{\delta(t) \times N_{EV/PHEV}(t)}_{[G2V]} - \underbrace{\epsilon(t) \times N_{EV/PHEV}(t)}_{[V2G]} \times AMI(t) \quad (2)$$

위 식에서 계수 δ 는 침두부하 시간대에 충전하고 있는 자동차 비중과 자동차당 평균 충전전력(kW)의 곱으로 결정된다. 계수 ϵ 는 침두부하 시간대에 방전하고 있는 자동차 비중과 자동차당 평균 방전전력(kW)의 곱으로 결정된다. 그리고 $N_{EV/PHEV}(t)$ 는 t시기에 보급되어 있는 전기자동차의 수이다. 한편, V2G 효과에서 AMI를 추가로 고려하는 이유는 AMI를 통한 수요반응(DR, demand response)이 가능해지는 환경이 마련된 후에야 V2G가 가능해질 것으로 판단하였기 때문이다.

AMI가 구축된다고 해서 곧바로 V2G가 가능해지는 것은 아니다. 궁극적으로 V2G가 가능하기 위해서는 먼저 V2G가 상용화되어야 하며, V2G 지원 기능을 갖춘 AMI가 구축되어야 한다. 우리나라는 2020년까지 모든 가구에 스마트미터를 100% 보급할 계획이고, 2030년까지 추가적인 계량시스템 고도화를 통해 합리적인 에너지 소비를 위한 수요반응 시스템을 최적화한다는 계획이다 [8]. 따라서 2030년까지 AMI 구축이 이루어진다고 가정해 볼 수 있다. 그러나 V2G 기술 상용화 시기가 언제인지, V2G 지원 AMI 보급률이 어느 정도인지에 따라 AMI의 V2G 영향은 달라질 것이다. 본 연구에서는 V2G 지원 AMI 보급이 2017년부터 시작되고 2035년에 완료될 것이며, V2G 지원 AMI가 구축됨과 함께 V2G가 가능하다고 가정한다.

V2G 지원 AMI의 구축은 초기에 지수함수 형태의 성장을 보이다가 점차 성장률이 둔화되고 최종적으로 대부분의 가정에 AMI가 구축되면서 성숙단계에 이를 것으로

가정한다. 이에 2017년부터 2035년까지 특정 연도의 V2G 지원 AMI 구축 비중은 식(3)과 같은 공식으로 표현될 수 있다.

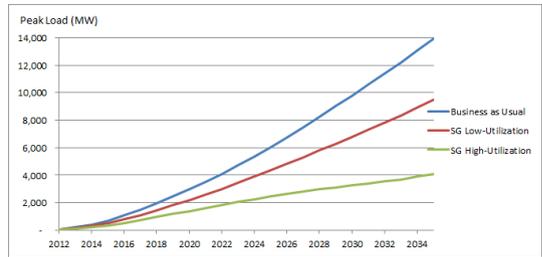
$$\frac{dAMI}{dt} = r \times STEP(T_{Target} - T_{Now}) \times AMI(t) \times (1 - AMI(t)) \quad (3)$$

계수 r은 최대 AMI 보급률을 목표연도에 맞추기 위한 보정계수이다. STEP 함수는 AMI의 전체 보급 목표 시점에 도달하기 전까지 AMI 보급률이 계속 증가한다는 것을 보여준다. T_{Target} 은 국가 전체적으로 V2G 지원 AMI 구축이 완료되는 연도이며, T_{Now} 는 V2G 지원 AMI 구축 당시의 연도를 의미한다. STEP 함수는 식(4)와 같이 정의할 수 있다.

$$STEP = \begin{cases} 0 & \text{if } T_{Target} - T_{Now} < 0 \\ 1 & \text{if } T_{Target} - T_{Now} \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

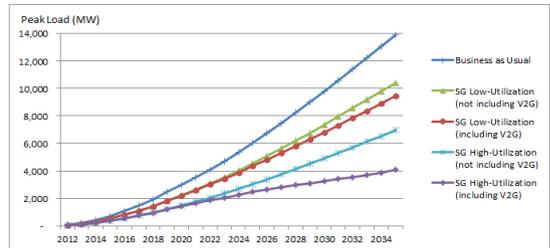
지금까지 논의한 전기자동차의 충·방전 용량 입력자료 및 전기자동차의 침두부하 영향 산식을 토대로 분석할 결과, 스마트그리드 활용 정도에 따라 전기자동차가 침두부하에 미치는 영향이 크게 달라졌다.

최도영 외(2012)에서는 세계 지원 등의 정부 지원정책이 지속되고 기술개발이 빠르게 진행되는 환경에서 국내 전기자동차 보급 대수가 2035년까지 약 476만대에 이른다고 전망하였다[1]. 본 연구에서는 최도영 외(2012) 연구결과를 적용하여 기준 침두부하를 계산하였다. 계산결과 [Fig. 1]에서 보듯이, 스마트그리드 활용이 이루어지지 않을 때, 전기자동차로 인한 침두부하 증가량은 2035년 기준 13.9GW에 달한다. 그러나 스마트그리드가 적극적으로 활용된다면, 즉 침두부하 시간대의 G2V 비중이 20%로 축소되고 V2G 비중이 15%로 확대된다고 가정하면, 2035년 침두부하 증가량은 4.1GW에 머문다. 이는 스마트그리드 활용 전 침두부하 증가량에 비해 약 10GW 낮은 것으로, 1GW급 발전소 10기의 건설을 대체할 수 있는 용량이다.



[Fig. 1] The impact of EVs' on peak load with smart grid utilization

스마트그리드 활용 시 V2G를 포함할 때와 그렇지 않을 때를 보다 상세하게 구분하여 비교해 보면 아래 [Fig. 2]와 같다. 침두부하 시간대 V2G에 참여하는 전기자동차 비중이 5% 수준에 머무는 '스마트그리드 저활용' 시나리오에서는 V2G포함 여부에 따라 큰 차이를 보이지 않으나, V2G에 참여하는 전기자동차 비중이 15%대로 올라가는 '스마트그리드 고효용' 시나리오에서는 V2G 포함 여부에 따라 침두부하가 크게 달라진다. 스마트그리드 고효용 시나리오라고 할지라도 V2G를 제외한 상황에서는 침두부하 증가량이 2035년에 약 7GW에 달하지만, V2G 전기자동차 비중이 15%에 달할 경우에는 침두부하 증가량이 4.1GW로 줄어든다. 즉, 스마트그리드를 통한 전기자동차의 충전부하(G2V) 관리와 방전부하(V2G) 관리를 함께 진행한다면 전기자동차의 침두부하 증가 영향을 큰 폭으로 줄일 수 있게 된다.



[Fig. 1] The impact of EVs' on peak load with smart grid utilization(including V2G)

4. 결론

스마트그리드를 통해 전기자동차의 충전부하 관리 및 V2G가 가능하게 되면 전력수요가 높을 때 전기자동차의 여유 배터리 전력을 전력망에 보낼 수 있다. 이를 통해

전기자동차의 첨두부하 증대 영향을 최소화할 수 있으며, 전력수급의 안정을 유지할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 전력시장 구조와 규제 프레임워크가 스마트그리드 기술의 실증과 상용화 촉진을 뒷받침할 수 있어야 한다. 특히, 스마트그리드와 연계된 가격제도는 첨두부하 시간대에 전기자동차 충전을 줄이고 첨두부하 시간대 또는 계통운영 보조서비스가 요구될 때 V2G가 활성화되도록 뒷받침해야 한다.

전기요금 구조의 변화와 함께 기술개발, 표준화, 보안 시스템 구축, 제도개선 등의 노력도 중요하다. 제1차 지능형전력망기본계획(2012.6)에 따르면 우리나라는 2016년까지 전기자동차 보급계획과 연계하여 15만기의 전기자동차 충전기를 보급한다는 계획이다. 그리고 전기차를 이용한 신규 비즈니스 창출을 위해 전기자동차 통합 운영 및 연계 시스템 기술을 개발하고, 전기차를 발전자원 또는 수요자원으로 활용하기 위한 V2G 계통연계 및 운영 기술을 개발할 계획이다. 이와 함께 지능형 운송 영역의 상호운용성 확보를 위한 표준 개발 및 적합성 평가시스템 구축, 정보보안시스템 구축 등의 기반을 조성하고, 전기자동차 운행에 따른 도로법, 전기자동차 충전소 관련 건축법 및 안전규정 등 전기자동차 관련 법규 및 규정의 개선을 함께 추진할 계획이다[9]. 이러한 계획이 성실히 이행될 수 있도록 정부의 의지를 바탕으로 한 정책 추진의 일관성이 유지되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by Korea Energy Economics Institute in 2012.

REFERENCES

- [1] D.Y. Choi, C.K. Park, S.Y. Kim, Analysis of Effects of Electric Vehicles on the Energy Demand and Supply in Korea, KEEI, 2012.12.
- [2] IEA, Impact of Smart Grid Technologies on Peak Load to 2050, 2011.8
- [3] IEA, Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles, 2011.6
- [4] ITF(International Transport Forum), Smart Grids and Electric Vehicles: Made for Each Other?, 2012.
- [5] Kempton, W. and J. Tomic, Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue, Journal of Power Sources, 2005.
- [6] KPX(Korea Power Exchange), "Impact of Electric Vehicles on the Electric Power Supply and Demand and Implications, 2009. 11.
- [7] Kurani, K., T. Turrentine, and D. Sperling, Demand for electric vehicles in hybrid households: an exploratory analysis, Trans. Policy 1, pp: 244-256, 1994.
- [8] MKE(Ministry of Knowledge and Economy), Korean Smart Grid Roadmap, 2010.1.25.
- [9] MKE, The 1st Basic Plan for Korean Smart Grids, 2012.6.
- [10] Pike Research, Vehicle to Grid Technologies, 2011.
- [11] RWTH(Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen), Grid for Vehicles, 2010.

박 찬 국(Park, Chan-Kook)



- 2002년 2월 국민대학교 행정학과 (행정학학사)
- 2005년 2월 KAIST-ICC IT경영학과(IT경영학석사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 10월 IT전략 연구원 책임연구원
- 2008년 10월 ~ 현재 에너지경제연구원 부연구위원

· 관심분야: 에너지-ICT 융합, 전력
· E-Mail: green@keei.re.kr

최 도 영(Choi, Do-Young)



- 1993년 2월 건국대학교 경제학과 (경제학학사)
- 1995년 2월 건국대학교 경제학과 (경제학석사)
- 2004년 8월 ~ 현재 건국대학교 경제학 박사 수료
- 1995년 4월 ~ 현재 에너지경제연구원 연구위원

· 관심분야: 에너지수급예측, 전력
· E-Mail: dychoi@keei.re.kr

김 현 제(Kim, Hyun-Jae)



- 1985년 2월 부산대학교 경제학과 (경제학학사)
- 1987년 2월 부산대학교 경제학과 (경제학석사)
- 1990년 9월 ~ 1995년 12월 Virginia Polytechnic Institute and State University 경제학 박사
- 1996년 8월 ~ 현재 에너지경제연구원 선임연구위원
- 관심분야: 스마트그리드, 전력, 에너지
- E-Mail: hjkim@keei.re.kr