

총소유비용 분석을 이용한 전기차의 V2G 도입에 대한 연구

김영환 · 이재승[†]

고려대학교 그린스쿨대학원/국제학부

(2015년 5월 11일 접수, 2015년 6월 19일 수정, 2015년 6월 22일 채택)

Study on the Application of V2G for Electric Vehicles in Korea Using Total Cost of Ownership Analysis

Younghwan Kim, Jae-Seung Lee[†]

Graduate School of Energy and Environment / DIS, Korea University

(Received 11 May 2015, Revised 19 June 2015, Accepted 22 June 2015)

요 약

기후변화와 에너지안보에 대한 우려가 심화되면서 온실가스 감축을 위한 다양한 방안들이 제시되어 왔다. 특히 수송부문에서의 온실가스 감축은 핵심적인 정책목표로 논의되었으며, 최근 자동차 배기가스 배출 규제가 강화되는 추세에서 온실가스 배출이 없는 전기차(EV) 도입이 다각도로 조명을 받고 있다. V2G(Vehicle-to-Grid)기술은 전기차시장의 급격한 성장 전망으로 인한 전력수요증가에 대응하는 기술로써, 전기차 소유의 경제성을 높여줄 뿐만 아니라 전력망 안정성을 유지하며 전력부하의 분산효과도 기대되고 있다. 본 연구는 V2G를 적용한 전기차의 총소유비용을 산출하여 이를 내연기관차와 일반전기차와 비교하였다. V2G를 도입한 전기차는 연 평균 약 21만원의 수익을 발생하여 V2G 서비스 공급 기간동안 총 211만원의 수익을 얻게 되는 것으로 나타났고, 이는 운영기간동안 총 242만원의 비용이 발생하는 일반전기차와 비교해 약 453만원의 차이가 난다. 따라서 V2G 전기차의 총소유비용은 동급 내연기관차보다 10.2% 높고 일반전기차보다 6.1% 낮은 결과가 도출되었다. 보조금이 없을 경우 전기차는 아직까지 내연기관차에 비해 소유비용이 높지만 V2G 도입은 전기차의 상대적 경제성을 높여주는 것을 확인하였다. 따라서 V2G 도입에 있어서는 전력망과 관련 산업이 얻는 긍정적 효과를 함께 고려하여 정책적 검토가 이뤄져야 한다.

주요어 : 전기차, V2G, 스마트그리드, 최대부하전력, 총소유비용

Abstract - Increasing concerns on climate change and energy security accelerated policies to reduce greenhouse gas emission, especially from the transportation sector. Electric vehicle (EV) has been on the spotlight to deal with such environmental issue and V2G (Vehicle-to-Grid) technology began to draw attentions as an alternative to reduce ownership costs while contributing to an efficient and decentralized power grid. This study conducts a scenario analysis on total cost of ownership of EV under V2G scheme and compare with non-V2G EV and Internal Combustion Engine (ICE) vehicle. As result, V2G service is expected to provide an annual average profit of \$210 to EV users willing to reverse flow its residual power in the battery. The profit from V2G service leaves a margin of \$4,530 over operational lifetime, compared with \$2,420 cost of charge for non-V2G EV. In summary, total cost of ownership of V2G-capable EV was 6.2% less than non-V2G EV and 10.2% higher than ICE vehicle. The results confirm a comparative economic advantage of operating EV under V2G scheme. Increased number of EVs with V2G service has shown to provide positive effects to power industry for valley filling in load distribution, thus, favorably increasing the overall economic feasibility.

Key words : Electric vehicle, V2G, Smart Grid, Peak Power, Total Cost of Ownership

[†]To whom corresponding should be addressed.

Graduate School of Energy and Environment / DIS, Korea
University jaselee@korea.ac.kr
Tel : 02-3290-2419 jaselee@korea.ac.kr

1. 서론

세계 각국 정부의 온실가스 배출 억제 노력에도 지구의 온도는 여전히 상승중이다. IPCC의 제5차 평가 보고서에 의하면 지난 133년간(1880~2012년) 지구의 평균기온은 0.85도 상승하였고 지난 112년간(1901~2010년) 해수면은 약 0.19미터 상승 하였으며 기후시스템에 대한 인류의 영향은 명백하다[1]. 세계 온실가스 배출량 중 수송부분이 차지하는 부분은 14%에 달하며 소득이 높은 선진국에서는 수송부문에서 배출하는 온실가스 비중이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 수송부분이 차지하는 온실가스 배출량의 감축 없이는 국가별 온실가스 감축목표를 달성하기 어렵다. 최근 세계 각국 정부의 노력으로 자동차 배기가스 배출 규제가 강화되면서 온실가스 배출이 없는 전기차가 재조명되고 있다. 선진국을 중심으로 폭넓게 수입되고 있는 전기차 보급정책은 앞으로 전기차시장이 비약적으로 성장할 수 있는 발판이 되고 있다. 2014년까지 세계적으로 판매된 전기차는 배터리전기차(BEV)와 플러그인 하이브리드차(PHEV)를 포함하여 약 67만대이며 2020년까지 약 2천만대가 판매되어 전기차 판매가 차지하는 비중이 0.08%에서 2%까지 증가될 것으로 전망되었다[2].

하지만 전기차시장의 급격한 성장은 전력수요증가에 대한 우려를 가져오기 때문에 이에 대응하는 다양한 기술이 개발되고 있다. 그 중에서도 전력망의 효율적 관리와 예비전력 보충의 효과가 있는 V2G(Vehicle-to-Grid) 기술이 최근 주목받고 있다. V2G 개념과 관련기술은 1997년 미국 델라웨어 대학(University of Delaware)의 Willett Kempton 교수가 처음 제안한 것으로, 전기차와 전력망을 연계하여 상호통신을 가능하게 하고 차내 배터리의 잉여전력을 전력망이 필요할 때 역송전 하는 개념이다. V2G에서 전기차 배터리는 전력저장시스템의 역할을 하고 통신망이 구축되면 계통운용자 또는 중계자(Aggregator)가 정한 스케줄에 따라 전기차는 전력공급원으로서 역할을 하게 된다.

V2G에 대한 연구는 지난 20년간 활발하게 진행되어 왔으며 최근 스마트그리드 기술과 관련 사업이 각광받으면서 이에 대한 관심이 더 높아지고 있다. 최대부하전력으로 활용되는 V2G의 경제적 효과를 처음 제시한 Kempton 교수는 2001년 V2G 예상수익이 \$267(최대부하 보상)에서 \$3,162(주파수추종)까지 발생할 수 있다는 결과를 발표한 바 있다[3-4]. 2005년

에는 도요타의 RAV4 EV 모델을 대상으로 다양한 전력생산 및 저장 기능 등 세분화된 V2G 서비스 공급 효과를 추정하였는데, 그 결과 약 \$2,550의 V2G 수익이 예상되었다[5]. 이러한 V2G 효과 분석방법은 향후 다수의 전기차를 이용한 주파수추종 서비스(\$540~1,800 예상수익)에 대한 사례연구로의 발판이 되었으며[6] 이후 신재생에너지와 연계한 V2G 도입방법에 대한 공동연구도 진행되었다[7]. 일본과 싱가포르의 V2G 사례연구에서는 현 요금체제와 인프라 구축 상황에 의해 V2G가 큰 경제적 효과를 가져다주지 못하는 것으로 나타났다[8-9]. 국내에서도 제주 스마트그리드 실증단지에서 V2G 도입체제와 기술실증에 대한 V2G 실증연구가 진행되었고 국내전력시장의 상황을 고려하여 국내에 맞는 적용분야를 개발하는 것을 제안하였으며 [10-14], V2G 시스템 국내 적용의 타당성 연구에서는 연간 약 25만원의 V2G 수익을 예상하였다[15]. 이밖에도 국내 전기자동차 도입에 따른 전력수요를 분석한 연구에서는 전체 승용차 통근수요의 30%가 V2G 전기차로 대체될 경우 최대부하 시 3,363MWh의 전력수요가 낮아지는 결과가 도출되었으며, 경제적 편익은 약 32억원으로 추정되었다[16].

국내에 보급된 전기차는 2014년 기준 약 3천대이며 정부는 2020년까지 전기차 20만대와 공공급속충전시설 1400기를 보급목표로 삼고 지원정책을 펼치고 있다[17]. V2G와 연관된 국내 전력시스템은 2013년 기준 총 87,138MW의 발전설비량을 갖추고 있고, 연간 총 479,536GWh의 전력거래가 이뤄지고 있으며, 연중 시간별 전력수요의 경부하와 최대부하의 편차는 11,812MW이다[18]. 부하편차가 증가할수록 시간과 비용이 높은 첨두부하를 대체할 V2G의 필요성이 증대된다. 이와 같은 이유로 최근 세계 전력시장에서는 수요반응(Demand Response) 시장이 형성되어 전기차 배터리와 같은 역할의 대규모 전력저장시스템(Energy Storage System, ESS)을 활용한 수요관리가 이뤄지고 있다[19].

본 연구는 V2G 시스템 구성과 서비스 종류에 대해 알아보고 도입 시 V2G가 전기차의 총소유비용에 어떠한 영향을 주는지 알아보고자 한다. 이를 위해 동급의 내연기관차와 일반전기차를 선정하여 V2G 전기차와 항목별로 소유비용을 비교하였으며 시나리오 분석을 통해 주요 변수에 따른 총소유비용의 변화를 알아보았다.

2. V2G 시스템

2-1 V2G 개념과 종류

V2G는 기본적으로 전기차가 정지되어 있는 상태에서 전력망에 전력을 공급하는 시스템이다. 전력은 전기차 배터리의 잉여전력으로 공급하는데 순수전기차가 아니어도 수소연료전지차 또는 하이브리드차 등 전기모터구동 자동차(Electric-Drive Vehicle)라면 다양하게 공급될 수 있다. 전기차 사용자 다양한 V2G 서비스를 통해 수익을 창출하여 전기차의 경제성을 높일 수 있다. 전력시스템의 경우 V2G를 통해 전기차에서 공급되는 전력 또는 공급능력을 토대로 수요반응 역할을 하게 함으로서 최대부하와 경부하의 부하편차를 줄이고 부하평준화를 이룰 수 있다. 또한 안정된 전력공급 주파수 관리로 지속가능한 전력망 구축을 가능토록 한다[5,20]. 전기차가 이러한 역할을 할 수 있는 이유는 대부분의 승용차 이용자가 하루에 사용하는 시간과 주행거리가 총 활용능력의 4%에 불과하기 때문이다. 즉, 전기차 배터리가 100% 완충상태라고 했을 때 나머지 96%의 전력은 또 다른 기능으로 사용될 수 있다는 것이다[5]. 국내 조사에 따르면 국내 승용차의 일평균 주행거리는 약 40km이며, 이는 미국 사례연구의 평균인 42.5km와 비슷한 수준이다 [21-24].

V2G는 부하시간대와 전력공급방법에 따라 각기 다른 서비스를 공급할 수 있다. 서비스는 크게 최대부하 보상 서비스와 계통운영보조서비스로 나뉜다. 최대부하 보상 서비스는 전기차 배터리의 잉여전력을 전력망이 요하는 시점에 실시간 공급하여 보상받는 서비스이다. 즉, 부하가 피크에 도달할 때 전력을 공급해 줌으로써 계통운영자는 전력망을 안정화하고 부하평준화를 이루는 대신 V2G 사용자는 높은 전력가격이 부과되는 시간대에 전력을 공급하여 수익을 창출한다. 이를 위해 V2G 전기차는 매일 운행 전 100% 완충되어야 하는데, 전기차 소유자는 전력망의 경부하시간대에 배터리를 충전함으로써 충전 전력요금을 최소화할 수 있다. 예비전력량을 포함한 주행에 필요한 전력량을 제외한 배터리 전력은 일간 최대부하가 발생하는 시간대에 공급한다. V2G 서비스를 공급하는 전기차는 역송전한 전력량만큼 공급시간대의 전기차 충전전력요금 또는 전력시장가격으로 V2G 전력판매에 대한 금액이 정산되어 보상받는다.

계통운영보조서비스는 주파수조정과 예비전력을 포

함한 다양한 서비스 형태로 전력품질과 전력계통의 안정성을 확보하는 서비스로, 실질적인 전력량 확보보다는 계통망 관리가 우선시 된다. 주파수조정은 복합적인 이유로 전력공급과 수요가 항시 변동하면서 출력에 변화가 생겨 불규칙하게 발생하는 계통주파수를 조정하는 서비스이다. V2G를 통해 전기차가 주파수조정 서비스를 제공하려면 전기차 한 대의 용량이 작기 때문에 여러 대를 동시에 제어하여 공급해주어야 한다. 따라서 이러한 역할을 맡는 계통운영자 또는 중계자가 필요하다[25]. 예비전력 서비스는 안정적인 전력망 구축을 위한 서비스로 전력수급이 불균형할 때 필요한 전력이다. V2G를 통해 전기차 전력을 예비전력으로 공급하려면 사전에 예비전력 발전기로 등록되어야 하며 전력거래소가 요하는 발전소 조건들을 갖추어야 한다[25].

국내에는 아직까지 V2G가 도입되지 않아 실제 사례가 아직 존재하지 않는다. 제주 스마트그리드 실증사업의 일환으로 V2G 검증연구가 진행되었으나 아직 시스템이 구축되지 않고 있다. 또한 V2G용 전기차들이 동시에 역송전 할 수 있도록 전기차 여러 대를 원격제어 하는 계통운영자 또는 중계자가 필요한데 현재계상 이러한 역할을 맡을 운영체가 없다. V2G 서비스를 이용하는 전기차 사용자는 전력판매에 대한 허가를 받아야 하는 제도적인 문제도 있다. 위에 언급한 서비스 중 실현가능성이 높은 서비스는 최대부하 보상 서비스이다. 제도적 개선이 이루어질 경우 즉각 전력공급이 이루어질 수 있고 현 보상체계에서 정산이 가능하다. 주파수조정 또는 예비전력과 같은 계통운영보조서비스의 경우 시장규모가 작고 국내 발전체계의 근본적 변화가 먼저 이루어져야 하기 때문에 V2G를 도입하기 어려운 현실이다.

2-2 V2G 구성

그림 1은 기존발전기, 송전시스템, 수요자 그리고 전기차간 연결이 어떻게 이루어지는지 보여주는 V2G 시스템 종합구성도이다. V2G를 도입할 경우 집, 회사, 또는 공공충전시설에서 양방향 송전이 가능하며 배터리가 ESS의 역할을 수행한다. 회사와 공공기관과 같이 여러 대의 전기차가 동시에 주차되어있는 경우 이들 전기차 배터리의 전력을 모아 전기차 사용자 대신 제어하고 정산을 담당하는 계통운영자 또는 중계자가 있어야한다. 이를 위해 계통운영자 또는 중계자는 효율적인 스케줄 관리를 통해 V2G 전기차 실시간으로

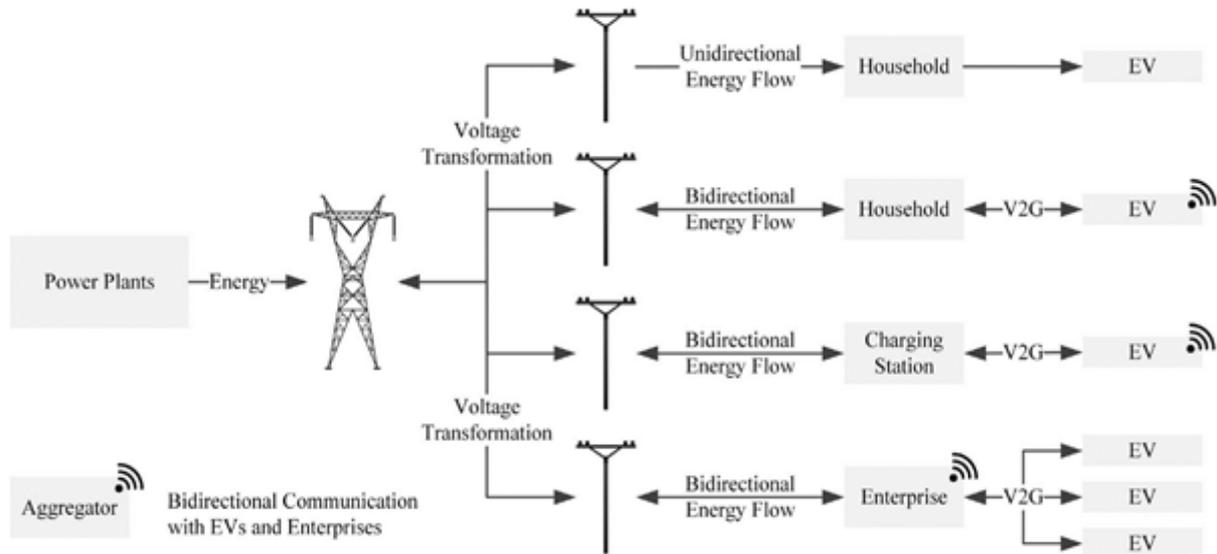


Figure 1. Concept of V2G: Power and Communication Flow

원격제어를 할 수 있어야 한다[6]. V2G 개념에 따라 전기차가 충전가격이 낮을 때 충전하고 충전가격이 높을 때 역송전하는 시스템을 구축하려면 전기차가 전력망에 어떠한 전력서비스를 공급하느냐에 따라 필요한 장치가 조금씩 다를 수 있지만 기본적으로 1) 전기차와 전력망간의 계통연계, 2) 계통운영자와 전기차간의 통신망 구축, 그리고 3) 양방향 충전기와 실시간 배터리 제어가 요구된다.

전기차와 전력망간의 계통연계를 위해서는 사용자가 충전기의 송전케이블을 전기차에 꽂아 전기차와 전력망을 연결해야 한다. 일반적으로 가정에서는 3.3~6.6 kW 충전기를 사용해전기차를 충전하나 최근 18~25kW의 급속충전기도 사용되고 있다. 공공급속충전시설의 경우 50~150 kW 충전능력을 갖추고 있다. 따라서 V2G 전기차의 충·방전 전력량과 이를 위해 필요한 시간은 사용하는 충전설비와 송전케이블 종류에 따라 좌우된다.

또한 V2G를 통해 전력을 공급하는 전기차는 일반 전기차보다 더 많은 차량 및 전력정보가 계통운영자에 전달되어야 하기 때문에 통신망의 구축을 요한다. 전력망의 부하관리가 필요한 시점에 전기차 배터리에 충전을 하거나 잉여전력을 방출하려면 전기차와의 통신으로 충·방전 신호를 보내야 하기 때문이다. 따라서 서비스 종류와 계통운영자와의 관계여부에 따라 조금씩 다르지만 V2G를 도입하기 위해서는 통신망이 구축되어야 한다. 이를 위해 계통운영자 또는 통합운영을 맡는 중계자는 전기차 배터리를 실시간으로 원격

제어 해야 하는 상황이 발생하기 때문에 사전에 허가를 득해야한다. 국내의 경우 계통운영자로 한국전력거래소의 에너지관리시스템(EMS)이 그 역할을 수행할 수 있다.

통신망 구축은 자동차의 이동성을 고려하여 무선통신망을 구축하는 것이 이상적이지만 무선통신망의 장애로 인해 송전정보가 유실되거나 정산이 원활이 이뤄지지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 무선통신망의 정보보안이 취약할 경우 타인의 전기차를 해킹하여 정보를 유출하거나 원격으로 차내 기능을 제어하는 문제점들이 발생할 수 있다. 따라서 무선통신망의 경우 오직 사전 허가된 V2G 서비스 거래자(계통운영자 및 전기차 이용자)만 사용이 가능한 암호화된 통신네트워크 구축이 요구된다. 최근 주로 사용되는 유무선 통신기술에는 CDMA, Wibro, PLC, 유선인터넷 통신 등이 있다[27].

일방향 충전이 가능한 일반전기차와는 달리 V2G용 전기차는 양방향 송전이 가능한 충전기와 실시간 배터리 SOC(State of Charge)측정과 전력송전을 위한 제어가 요구된다. 제어기는 사용자 또는 계통운영자에 의해 작동하여 전력공급이 필요한 시점에 즉시 공급이 가능하도록 해야한다. 그래야 공급한 전력의 가치를 높일 수 있기 때문이다. 양방향 충전기는 전력전자장치로서 역률개선, 전력변환, 충·방전제어 역할을 맡고 있다. 기존연구에 따르면 일반 단방향 충전기와 V2G가 가능한 양방향 충전기는 가격 면에서 큰 차이가 없다고 한다[28].

3. 비용편익분석

3-1 공통 가정

본 연구에서는 비용분석을 위한 다양한 비용항목 중 내연기관차와 전기차간 특성에 상관없이 동일하게 발생하는 일반비용들은 제외하였다. 예를 들어 타이어, 와이퍼, 전구와 같이 주기적인 교체가 필요한 소모품 비용과 일반적인 주행을 통해 발생하는 톨게이트 비용과 주차비용을 제외하였다. 또한 모든 구입 및 운영비용을 고려하기 보다는 상대적 비교를 위해 두 차 중 한 차에서만 발생하는 비용은 상대적 비교를 위해 제외하였고 공통비용 항목을 선택하여 비교하였다. 정기적인 차량 점검비와 수리비는 동일하게 가정하여 비용 고려대상에서 제외하였다.

차량비용항목은 전기차와 내연기관차를 비교한 사례연구를 바탕으로 비용항목을 골라 크게 고정비와 변동비 두 가지로 나누었다[29]. 고정비는 차량 구입비를 포함한 연간보험료, 자동차세, 환경비용이며, 변동비는 내연기관의 주유비와 전기차의 충전전력비로 구분하였다. 본 연구를 위해 비교할 대상차량은 내연기관모델과 크기 및 각종 제원이 동일한 모델인 기아의 쏘울 모델을 선택하였다. 표 1은 비교대상 차량들의 제원과 주요 가정들을 정리한 표이다. 가솔린 모델인 쏘울 ICE(Internal Combustion Engine)와 전기차 모델인 쏘울 EV이 적용되었으며 V2G 모델인 쏘울 EV+ V2G는 V2G 편익을 제외한 모든 비용을 쏘울 EV와 동일하게 설정하였다. 분석을 위한 연간 주행거리는

14,600km로 정하였다. 이는 앞서 언급한 국내 승용차 일일 평균 주행거리 40km의 연간환산 수치이다. 연비는 각 차량의 공식 통합연비를 사용하였다. 쏘울 ICE는 복합연비 11.6 km/L을 쏘울 EV는 복합연비 5.0 km/kWh를 분석에 사용하였다.

내용연수에 대한 가정은 전기차의 핵심부품인 배터리 및 주요 핵심부품 보증기간과 국내 사례연구를 토대로 10년으로 산정하였다. 배터리가 차지하는 전기차 생산원가의 비중은 약 40~50%이며 주요부품인 인버터(23%)와 모터(20%)에 비해 약 두 배가 넘는다[30]. 따라서 V2G에서의 역할과 비용비중이 가장 큰 배터리의 보증기간에 맞춰 내용연수를 설정하였다. 뿐만 아니라 배터리 보증기간에는 일정수준의 배터리 성능을 보장 받을 수 있어 V2G 서비스 공급에 용이할 것으로 판단된다. 차량종류와 그 내용연수의 차이로 상대적 경제성이 변하기 때문에 본 연구에서는 ICE와 EV 모두 동일한 차체를 지닌 기아의 쏘울 모델을 선택하여 그 변수를 줄이고자 하였다.

쏘울 EV 충전은 기본적으로 경부하 시간대인 새벽에 전기차를 충전한다는 가정을 하였다. V2G 서비스 유무와 상관없이 전기차는 전력망 경부하 시간대에 충전을 함으로써 내연기관차과 비교하여 연료비를 많이 낮추는 혜택을 볼 수 있다. 충전전력의 가격은 일반 가정용 전력요금(표 2)을 사용하였다[31]. 쏘울 ICE의 경우 휘발유 가격은 1603.23원/L를 기준으로 분석하였다[32].

Table 1. Specifications and General Assumptions for ICE Vehicle and EV

Model	KiaSoulICE (Gasoline)	Kia Soul EV
Total Purchase Price (Registration tax, Acquisition tax, Bond are included. EV purchase incentive not applied)	24,157,000 KRW	45,262,500 KRW
Powertrain	Gamma 1.6 GDI engine, 6-Speed Automatic	81.4 kW Motor, 27 kWh Battery
Size(Length * width * height)	4.140m x 1.800m x 1.600 m	
Weight	1,264 kg	1,508 kg
Fuel Economy	11.6 km / L	5.0 km / kWh
Total Range on Single Charge	626.4 km (Fuel Tank 54L)	135.0 km (Combined fuel economy)
Daily/ YearlyDriving Distance	40 km / 14,600 km	

현재가치를 산출하기 위한 할인율은 경제성 분석을 위한 선행연구의 결과를 토대로 설정하였다. 2004년 기준 과거 5년간의 물가상승률 및 이자율의 평균값으로 할인율을 산출한 결과 4.84%로 나타났으며 본 연구에서는 편의성을 반영하여 5%로 가정하였다[33]. 전기차의 손익분기점을 산출한 연구에서도 동일한 할인율을 사용하였다[29]. 할인율은 경제성장률, 물가지수 또는 국가채권금리의 영향을 받는 중요한 분석의 변수로서 본 연구의 경우 향후 이 수치가 낮아지거나 높을수록 분석결과에 큰 영향을 줄 수 있다.

3-2 내연자동차와 전기차의 비용 산정

3-2-1 초기 차량 구매비용

쏘울 ICE를 현재기준으로 구매 시 판매가 20,300,000원에 취득세 5%, 등록세 2%, 공채 12%의 세율이 부가되어 총 24,157,000원이 된다. 쏘울 EV의 경우 판매가 45,262,500원에 취득세 5%, 등록세 2%, 공채 12%의 세율이 추가되면 총 53,862,375원이 된다. 총소유비용 분석의 객관성을 기하기 위해 정부 구매보조금(1500만원), 지자체별 보조금(최대 900만원)을 제외하였다. 보조금을 제외한 전기차의 경제성을 분석한 이유는 본 연구결과를 통해 전기차 보조금의 적정수준을 알아볼 수 있으며 보조금 정책의 대안으로 V2G 도입여부를 살펴볼 수 있기 때문이다.

3-2-2 연료비용

연료비용 산정과 그 현재가치는 총 내용연수인 10년간 발생한 휘발유 주유비(내연기관)와 전력충전금액

(전기차)을 각각 합하고 이 합계를 할인율(5%)을 이용하여 순현재가치를 계산하였다. 내연기관차인 쏘울 ICE의 경우 일일 평균 40km의 연간환산거리인 14,600km를 주행하기 위해 필요한 휘발유 총량은 복합연비 11.6km/L을 기준으로 약 1258.9리터이다. 이를 2015년 3월 22일자 휘발유 가격인 1603.23원/L 기준으로 환산하면 연간 약 201만8천원의 주유비가 발생하게 된다[32]. 전기차 쏘울 EV는 연간 14,600km를 주행을 가정할 경우 5.0km/kWh 기준으로 약 2,920kWh가 필요할 것으로 나타났다. 충전전력단가는 한전의 전기차 충전요금 중 각 계절별 경부하 요금의 가중평균인 65.8원/kWh으로 책정하였다. 따라서 연간 전기차 충전비용은 경부하 시간대인 23시~9시에 충전할 경우 약 19만2천원의 충전비용이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 동급 내연기관차인 쏘울 ICE의 주유비와 비교할 경우 182만6천원의 차이가 난다. 또한 미래 연료비 가격상승을 반영하여 모든 비교대상 차량의 연료비가 매년 5%씩 상승하도록 설정하였다.

3-2-3 잔존가

각 차량의 사용여부에 따라 잔존가가 다르겠지만 본 연구에서는 10년의 내용연수와 주행거리를 동일하게 설정하여 각 차량의 잔존가를 확인하였다. 잔존가액은 관세청의 승용차 감가상각 잔존율표를 사용하였다. 쏘울 ICE와 쏘울 EV 모두 동일한 잔존율표에 의거해 10년 운행 후 잔존가액을 판매가의 9.0%로 산정하였다[34]. 이는 연 평균 9.1%의 잔존가가 감가상각으로 인해 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 취득세,

Table 2. Charging Rates for EV and TOU(Time-Of-Use) Classification Table

Voltage	Base Fee (KRW/kWh)	Electricity Price (KRW/kWh)				Time and Season	Summer (Jun-Aug)	Spring, Fall (Mar-May, Sep-Oct)	Winter (Dec-Feb)
		Time and Season	Summer (Jun-Aug)	Spring, Fall (Mar-May, Sep-Oct)	Winter (Dec-Feb)				
Low-voltage	2,390	Off-peak	57.60	58.70	80.70	Off-peak	23:00 ~ 9:00	23:00 ~ 9:00	23:00 ~ 9:00
		Mid-peak	145.30	70.50	128.20	Mid-peak	9:00 ~ 10:00	9:00 ~ 10:00	9:00 ~ 10:00
		On-peak	232.50	75.40	190.80		12:00 ~ 13:00	12:00 ~ 13:00	12:00 ~ 17:00
High-voltage	2,580	Off-peak	52.50	53.50	69.90	On-peak	17:00 ~ 23:00	17:00 ~ 23:00	20:00 ~ 22:00
		Mid-peak	110.70	64.30	101.00		10:00 ~ 12:00	10:00 ~ 12:00	10:00 ~ 12:00
		On-peak	163.70	68.20	138.80		13:00 ~ 17:00	13:00 ~ 17:00	17:00 ~ 20:00
								22:00 ~ 23:00	

등록세, 공채를 포함하지 않은 쏘울 ICE의 판매가는 20,300,000원이며 잔존가는 9.0%인 1,827,000원으로 책정되었다. 마찬가지로 쏘울 EV의 잔존가는 4,073,625원이 책정되었다. V2G 서비스를 이용하는 쏘울 EV는 일반 쏘울 EV와 같은 잔존가를 책정하였다. 본 연구에서는 현재가치 산정을 통한 총소유비용분석에서는 최초 차량구입비와 잔존가를 적용하였다.

3-2-4 보험료

보험연구원이 조사한 바에 따르면 2007년 연 평균 자동차 보험료는 61만5천원이었다[35]. 본 연구에서는 내연기관차와 전기차 모델 두 차량 동일하게 위 보험료를 책정하였다. 최근 전기차 보험료 책정과 관련한 논란이 등장하고 있으나[36], 아직 전기차 보급이 미비한 상황인데다 정부와 보험업계간의 실질적 대안

이 나오지 않았기 때문에 본 연구는 보험연구원 자료를 사용하였으며 물가상승률에 따른 연간 보험료 상승률을 3%로 하였다. 따라서 쏘울 ICE와 쏘울 EV 모두 1년차에는 61만5천원의 보험료가 발생하고 2년차부터는 매년 3%로씩 보험료가 상승하여 10년차에는 약 80만2천원을 보험료로 지불하게 된다. 보험료로 10년간 총 약 705만원의 비용이 발생한다.

3-2-5 자동차세

일반 비영업용 내연기관 승용차의 자동차세는 현재 1000CC~1600CC 이하의 경우 CC당 140원에 책정되며 이에 교육세 30%를 더해 총 연간세액이 산정된다. 자동차전기차의 경우 현행법상 자동차세가 연간 10만원으로 정해져있다. 따라서 쏘울 ICE는 1591CC이므로 289,562원이 발생한다. 단, 첫 3년은 동일하지만 4년

Table 3. Calculation of V2G Profit

	Kia Soul EV using V2G	Note
Total Range	135.0 km	Based on combined fuel economy
Fuel Economy	5.0 km / kWh	Combined fuel economy
Daily Average Driving Distance	40.0 km	Average daily driving distance in Korea
Battery Capacity	27.0 kWh	
Daily Power Consumption from Driving	8.0 kWh	40.0 km / 5.0 km / kWh
Reserve Power	1.6 kWh	20% of average daily driving distance (40.0 km x 20% / 5.0 km / kWh)
Daily Surplus Power	17.4 kWh	Battery capacity - Daily Power Consumption - Reserve Power
Power Loss from Transmission	1.2 kWh	7% of transmitting power (surplus power)
Daily V2G Supply	16.2 kWh	Final suppliable power for V2G
Rate of Charging	65.8 KRW / kWh	100% charge at weighted average price of off-peak (23:00-9:00) hours
Charging Time	4.4 hours	27 kWh x 1.07 (incl. 7% power loss) / Low-voltage 6.6 kW
Daily Cost of Charging	2,251 KRW	(27kWh x 1.07 (incl. 7% power loss) x 65.8 KRW / kWh) + (Base Price / 30) x 1.137 (incl. VAT 10%, Electric Industry Reserve 3.7%)
Monthly / Annual Cost of Charging	67,518 KRW / month 821,471 KRW / year	
V2G Power Sale Price	153.1 KRW / kWh	Weighted average price of on-peak hours (varies by season)
V2G Discharging Time	2.5 hours	15.6 kWh / Low-voltage 6.6 kW
Daily V2G Sale	2,709 KRW	(16.8kWh x 0.93 (7% power loss) x 153.1원) + (Base Price / 30) x 1.1 (VAT 10%) x 0.963 (Electricity Industry Reserve 3.7%)
Monthly / Annual V2G Sale	81,284 KRW / month 988,961 KRW / year	Rate of Charging and V2G Power Sale Price increases at 5% / year
First-year V2G Profit	167,490 KRW	Annual V2G Sale - Annual Cost of Charging

차부터는 5%씩 감면해주고 있다. 따라서 이를 고려하여 계산한 결과 10년간 약 249만원의 세금을 내도록 산정되었다. 쏘울 EV는 위에서 언급한 현행법을 적용하여 매년 10만원의 세금이 지출되도록 산정하였다.

3-2-6 환경비용

아직까지 내연기관차의 오염물질 배출에 대한 정확한 비용산출이 어렵고 이를 바탕으로 한 연구가 많이 진행되지 않았다. 하지만 최근 전기차 경제성에 대한 선행연구에서는 휘발유차 한 대의 환경적 비용이 연 63,937원이란 결과가 나왔다[29]. 휘발유 차량 한 대에서 배출하는 각종 오염물질의 연간배출량을 산출하여 각 오염물질마다 처리 시 발생하는 사회적 환경비용과 함께 환경비용을 산출하였다. 또 다른 연구에서는 전기차와 휘발유차의 CO₂ 배출에 따른 환경편익은 연 3,022만원인 것으로 나타났다[37]. 환경비용간의 큰 차이는 각 차량의 연료에 대한 환경비용 책정여부에 따른 총 발생비용의 차이이다. 본 연구에서는 차량가격을 뛰어넘는 환경비용을 가정할 경우 자칫하면 전기차 본래의 특성과 그 경제성 효과를 관찰하기 어려워지기 때문에 연 63,937원의 환경비용을 분석에 사용하였다. 따라서 휘발유차인 쏘울 ICE는 연 63,937원의 사회적 환경비용에 연간 상승률 5%를 적용하였으며 쏘울 EV의 경우 운행 중 온실가스 배출이 없기 때문에 환경비용을 적용하지 않았다.

3-3 V2G 비용편익

V2G의 가장 큰 제약사항은 서비스 공급시간에는 전기차를 운행할 수 없다는 것이다. 주행시간은 사용자마다 다르지만 본 연구는 사용자의 주행시간대와 전력망이 전기차의 전력을 필요로 하는 시간대가 겹치지 않는다고 가정하였다. 실제로 2013년 기준 시간별 전력수요를 살펴본 결과 전력망이 부하관리가 필요한 시간대는 사용자들이 흔히 주행하는 시간대인 출퇴근 시간대가 아닌 것으로 나타났다. 따라서 V2G 서비스 시간대는 일반적으로 전기차가 이미 주차모드에 돌입한 상태이며 즉시 방전을 통해 전력공급이 가능하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기술적과 제도적으로 가장 간단하며 빠르게 도입이 가능한 최대부하 보상 서비스를 선택하여 수익산정에 반영하였다. 표 3은 V2G 수익을 산정하는데 필요한 가설과 방법을 나타낸 표다.

V2G 서비스는 일일 주행거리인 40km에 필요한

8kWh를 포함해 애기치 못한 긴급한 상황을 대비한 예비전력(Reserve)을 일일 전력사용량의 20%인 1.6kWh를 남겨두도록 설정하였다. 따라서 전체 27kWh 중 17.4kWh이 V2G 서비스 공급이 가능한 전력량이다. 하지만 실제 공급량은 송전손실로 인해 감소하게 된다. 송전손실율은 배터리-충전기-전력망까지의 모든 송전절차의 손실을 감안하였다. AC-DC 변환과정에서 가장 큰 송전손실이 발생하며 본 연구에서는 SMA사의 배터리 변환기 효율 94.0~94.5%(5.5~6% 손실)를 감안하여[38] 전체 송전손실율을 7%로 가정하였다. 따라서 전기차 한대가 하루에 공급할 수 있는 최대 전력량은 총 16.2kWh이다. 이는 일일 주행에 필요한 8kWh 대비 약 2배 많은 전력량으로써 전체 배터리 활용능력의 60%에 해당한다.

전기차는 주유비 대신 충전전력비용이 발생한다. V2G 서비스를 이용하는 전기차(쏘울 EV + V2G)도 일반 전기차와 동일하게 경부하 시간대의 가중평균 전력사용요금인 65.8원/kWh를 충전전력요금으로 적용하였다. 주행과 V2G 서비스를 공급을 위해 매일 100% 완충해야 하는 V2G 전기차는 배터리 용량 27kWh를 충전하기 위해 손실율 7%를 감안하여 총 29.7kWh의 충전전력이 필요하다. 이와 같은 충전전력을 송전하는데 필요한 시간은 6.6kW 완충기 기준으로 약 4.4시간이다. 따라서 일일 충전비용은 기본요금을 포함한 충전단가를 총 송전량에 곱한 후 부가가치세 10%와 전력산업기반기금 3.7%를 적용하여 약 2,251원이 발생하였다. 이를 월간 환산하면 67,518원이 되며 연간 821,471원이 된다.

V2G 전력공급 판매단가는 계절별 최대부하 시간대의 전기차 충전전력요금을 가중평균한 가격인 153.1원/kWh로 산출하였다. 계절별 최대부하 시간대(표 3)는 계절마다 상이한데 봄, 여름, 가을철에는 낮 12시 전후로 최대부하가 발생하며 겨울철에는 난방으로 인해 저녁 시간대에 발생한다. V2G 서비스로 공급할 수 있는 최대전력량은 16.2kWh이며 이를 방전하는데 6.6kW 완충기 기준으로 약 2.5시간이 걸린다. V2G 일일 수익은 16.2kWh를 V2G 전력공급 판매단가 153.1원/kWh에 적용한 후 기본요금과 전력산업기반기금 3%를 적용한 결과 총 2,709원으로 나타났다. 따라서 월간 판매수익은 81,284원이며 연간 판매수익은 988,961원이 된다. 따라서 V2G 전기차가 운행기간동안 창출하는 V2G 수익은 연 평균 약 21만원으로 나타났다.

4. 분석결과

4-1 V2G 효과

국내에는 아직 V2G가 도입되지 않았기 때문에 본 연구에서는 V2G 서비스 공급에 필요한 몇 가지 가정을 수립하였다. 그림 2는 이와 같은 가정을 바탕으로 V2G 비용편익을 계산한 결과를 나타낸 그래프다. V2G 도입 시 사용자는 연 평균 124만원의 매출과 103만원의 비용이 발생하여 연 평균 약 21만원의 수익효과를 얻을 수 있다. 특히 103만원의 비용에는 사용자가 주행에 필요한 충전전력비용도 포함되어 있기 때문에 주행을 위한 추가 연료비용이 발생하지 않는다. 따라서 연료비가 발생하는 일반전기차와 비교했을 때 V2G는 연 44만원의 차익을 실현한다. V2G 전기차(쏘울 EV+ V2G)는 내용연수(10년) 동안 총 1,236만원의 매출과 총 1,024만원의 비용이 발생하여 총 211만원의 수익이 발생하였다. 이는 일반전기차(쏘울 EV)와 내연기관차(쏘울 ICE)와 비교하여 각각 453만원과 2,749만원의 차익이 발생하는 것으로 나타났다.

전력공급량 측면에서 살펴보면 전기차 한 대가 V2G를 통해 공급하게 되는 전력량은 연간 5,906kWh으로, 10년간 총 59,064kWh의 전력을 경부하에서 최대부하로 이동하는 효과를 제공한다. 연간 공급량은 2010년 한국의 1인당 주택용 전력소비량인 1,240kWh에 비해 약 4.8배에 달한다[39]. 즉, V2G 도입으로 전기차 한 대가 약 4.8가구의 전력수요를 최대부하 시간대에서 경부하 시간대로 분산켜주는 셈이다.

V2G의 부하분산 효과는 전기차 보급과 역송전이 가능한 V2G제도 도입에 따라 그 효과가 다르다. 2014년 기준 국내에 등록된 모든 자동차수는 약 2,012만대

이다[40]. 만약 승합차, 화물차를 포함한 국내 모든 자동차가 전기차로 전환하고 V2G 제도를 도입한다면 V2G 전력공급능력은 약 132.8GW(6.6kW 충전시설 기준)가 되며 전력공급량은 연간 약 114,552GWh가 된다. 이 전력을 V2G 판매단가 153.1원/kWh로 계산하면 약 17.5조원 규모의 추가 전력시장 거래가 발생할 수 있다. 만약 운행 중이거나 전력망에 접속이 불가능한 전기차를 감안하여 모든 전기차의 약 30%인 600만대만 공급이 가능하다 하여도 약 39.8GW의 전력공급능력과 연간 약 34,365GWh의 전력량 공급이 가능하다. 이는 1GW급 원자력 발전기 약 40기에 해당하는 공급능력이며 2013년 기준 국내 총 발전설비용량의 87.14GW의 약 45.7%에 해당하는 수치이다. 향후 국내 시간별 전력수요의 경부하와 최대부하의 편차인 11,812MW(그림 5)를 해결하고 부하평준화를 이루려면 최소 국내 총 승용차수의 29.7%인 597만대가 V2G가 가능한 전기차로 보급되어야 하며 이 중 30%인 약 179만여대가 항상 전력망에 계통되어 V2G 서비스를 공급할 수 있어야 한다.

4-2 총소유비용 분석

그림 3은 분석대상인 내연기관차(쏘울 ICE)와 일반전기차(쏘울 EV), 그리고 V2G전기차(쏘울 EV+V2G)의 총소유비용을 항목별로 산출한 결과를 나타낸 표다. 변동비 중 비중이 가장 큰 항목은 연료비로 내연기관의 경우 연 평균 202만원의 비용이 발생하여 10년간의 연료비를 현재가치로 환산한 결과 약 1,922만원으로 나타났다. 일반전기차는 연 평균 24만원의 연료(충전)비가 발생되어 현재가치는 183만원으로 산출되었다. 내연기관의 연료비에 10분의 1에 못미치는 금

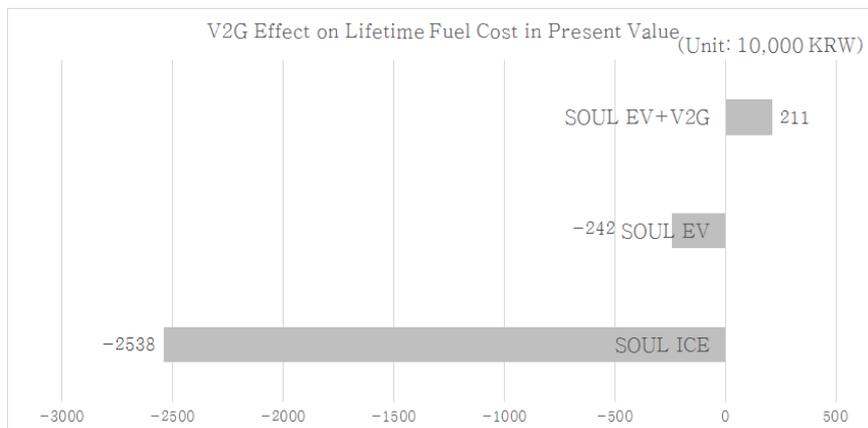
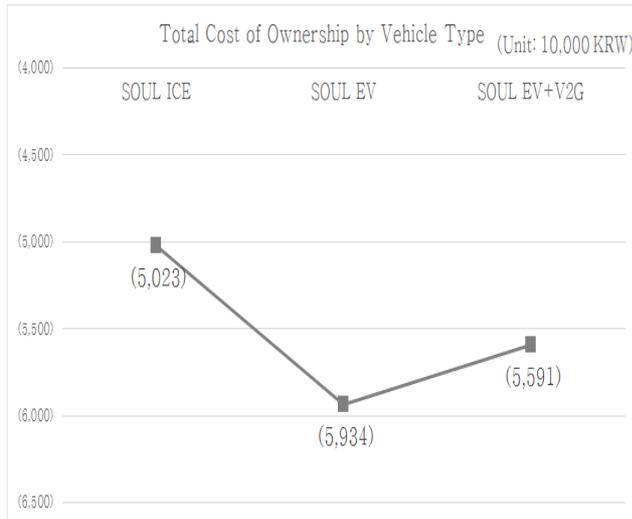


Figure 2. V2G Effect on Lifetime Fuel Cost in Present Value



Unit : 10,000 KRW		Soul ICE	Soul EV	Soul EV + V2G	Note
Present Value (10년)	Vehicle Purchase Cost	- 2,416	- 5,386	- 5,386	
	Fuel Cost	- 1,922	- 183	160	5% increase per annum
	Insurance	- 538	- 538	- 538	5% increase per annum
	Auto Tax	- 199	- 77	- 77	5% increase per annum
	Environmental Cost	- 61			5% increase per annum
	Residual Value after 10 years	112	250	250	Based on depreciated value
Total		- 5,023	- 5,934	- 5,591	

Figure 3. Total Cost of Ownership in Comparison

액으로 전기차의 상대적 이득은 연료비에서 발생하는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 V2G 전기차는 매일 발생하는 V2G 수익으로 인해 비용이 수익(연 평균 21만원)이 발생하여 160만원의 현재가치 효과가 나타났다.

고정비에서 주목할 만한 항목은 환경비용으로 본 연구에서는 내연기관차에만 적용되었으며 현재가치로 환산한 총 비용은 약 61만원으로 나타났다. 휘발유 연소로 인한 탄소배출 및 그 외 각종 배기가스 배출에 따른 사회적 처리비용을 반영한 것이다. 본 연구에서는 연 평균 약 8만원의 환경비용을 반영하였지만 앞으로 배기가스로 인해 발생하는 사회적, 환경적 비용이 더 면밀히 파악된다면 내연기관차에 매겨지는 환경비용은 더 높아질 것으로 파악된다. 따라서 내연기관차의 총 소유비용은 앞으로 더 증가할 것으로 보인다.

각 분석대상 차량을 10년간 운행하는데 발생하는 모든 비용편익을 항목별로 현재가치화하여 총소유비용을 산출한 결과 내연기관차인 쏘울 ICE는 약 5,023만원의 총소유비용이 발생하는 것으로 나타났다. 이 중 연료비가 38.2%를 차지하며 초기 차량구입비(48%)를 고려했을 때 내연기관차의 총소유비용은 연료비에 의해 크게 좌우하는 것을 알 수 있었다. 일반전기차인 쏘울 EV의 경우 약 5,934만원의 총소유비용이 발생하게 되었다. 가장 큰 비용항목은 연료비가 아닌 보험료로 나타났다. 두 차량 간의 비용차익은 약 911만원(-15.3%)으로 내연기관의 총소유비용이 더 낮은 것으로 나타났다. 한편 V2G 전기차인 쏘울 EV+V2G의 경

우 총소유비용은 약 5,591만원으로 나타났으며 일반전기차에 비해 약 343만원(-6.1%) 낮고 내연기관차에 비해 약 569만원(10.2%) 더 높은 결과가 나왔다. 이를 종합해보면 아직까지 일반전기차와 V2G 전기차 모두 내연기관차에 비해 총소유비용이 높은 것으로 나타났으며 상대적으로 경제성이 떨어지기 때문에 보조금이 없이는 수요를 이끌어내기 힘들다. 하지만 V2G를 도입할 경우 V2G 전기차의 총소유비용이 일반전기차보다 낮아지며 상대적으로 경제성이 높아지는 효과를 제공한다. 뿐만 아니라 V2G는 전기차 구매보조금 없이도 내연기관차간의 총소유비용 차익이 줄일 수 있는 대안이 된다.

4-3 시나리오 분석

본 연구에서는 총소유비용 분석결과를 바탕으로 중장기적인 기술적, 경제적, 사회적 상황을 고려하여 시나리오를 설정하였으며 이를 토대로한 총소유비용을 재산출하여 기준과 비용해 보았다. 총 네 가지 시나리오를 설정하여 분석하였다. 시나리오 1의 경우 고유가 시대를 반영한 연료비 상승을 내연기관차에 적용하였으며 새로운 휘발유 가격은 2200원/L을 산정하였다. 시나리오 2에서는 급격히 발전하는 배터리 생산기술과 그에 따른 배터리 공급가격 하락을 반영하여 전기차 구매가격이 20% 하락하는 상황을 설정하였다. 시나리오 3은 탄소배출권 시장의 형성과 기후변화대응을 위한 사회적 환경비용 증가로 기준 발전원의 전력

생산단가가 증가하는 상황(연간 상승률 5%~15%)을 분석하였다. 마지막으로 시나리오 4에서는 기술발전에 의한 전기차 수요증가와 이와 함께 V2G도입으로 전력망에 미치는 영향에 대해 알아보려고 시나리오 1과 시나리오 2가 동시에 발생하는 상황을 분석하였다. 또한 국내 자동차시장의 전기적 변환(electrification)으로 전기차 보급이 확산(V2G 전기차 100만대)되고 V2G가 도입되는 상황이 전력수요에 어떠한 변화를 가져오는지 파악하기 위해 시간별 전력수요를 분석하였다.

최근 국제유가가 하락한 상황을 반영한 휘발유 가격(1,603.23원/L)을 적용한 기존 분석과 달리 시나리오 1에서는 고유가 시대적 변화를 반영하여 휘발유 가격을 2,200원/L으로 가정하였다. 그 결과 내연기관차의 총 소유비용이 약 5,023만원에서 5,738만원으로 약 715만원(14.2%) 더 높아졌으며 V2G 전기차에 비해 약 147만원(2.6%)이 높아진 결과가 나타났다.

시나리오 2는 전기차 가격이 하락한 상황을 고려하였으며 특히 전기차의 핵심부품이자 비용 면에서 가장 큰 비중을 차지하는 배터리의 가격이 하락하는 가

정을 포함한 시나리오이다. 2011년 Deutsche Bank의 의하면 고속 전기차용 리튬이온 폴리머 배터리 가격은 2012년 \$475/kWh에서 2020년 \$275/kWh까지 약 42% 하락할 것으로 전망되었어[41]. 뿐만 아니라 IEA의 최근 자료에 의하면 전기차 배터리의 생산단가는 2022년까지 \$100/kWh 수준으로 하락할 것으로 전망되었다[42]. 따라서 시나리오 2에서는 전기차 생산원가 중 40~50%를 차지하는 배터리의 단가가 40% 하락하는 상황을 가정하였고 따라서 전기차의 전체 가격이 20% 하락하는 상황을 설정하였다. 그 결과 전기차 보조금이 없는 상태에서도 일반전기차의 총소유비용은 약 4,857만원으로 내연기관차보다 약 166만원(-3.3%) 낮아지고 기존 시나리오에 비해 약 1,077만원(-18.2%)이 낮아진 결과가 도출되었다. V2G 전기차의 경우 기존대비 약 343만원(-6.1%)의 총소유비용 감소하는 것으로 나타났으며 내연기관차보다 약 509만원(11.3%) 낮은 결과가 나왔다. 이러한 결과를 통해 기술의 발전과 규모의 경제를 통한 배터리의 생산가격 하락이 전기차 경제성을 크게 높일 수 있다는 것을 확인하였다.

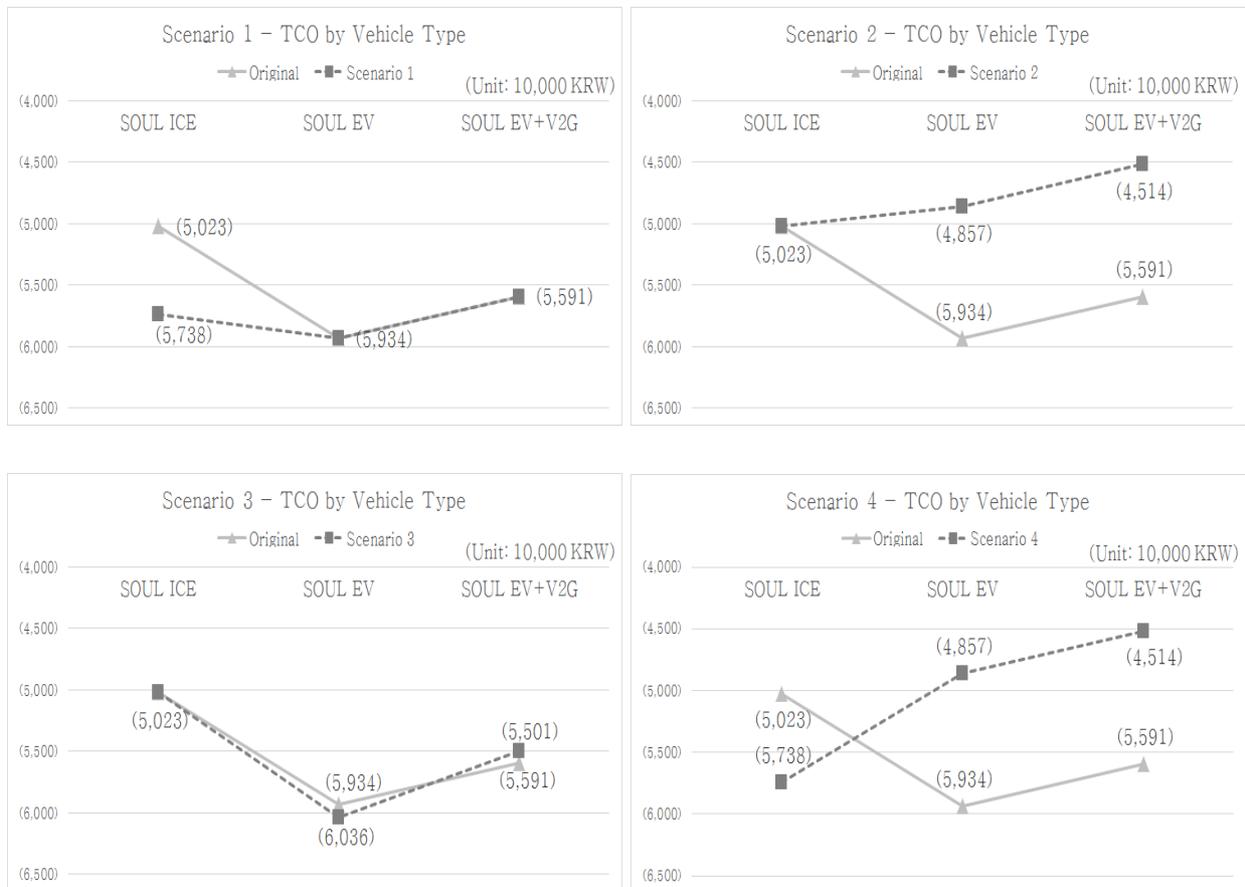


Figure 4. Comparative TCO Results of Scenario Analysis

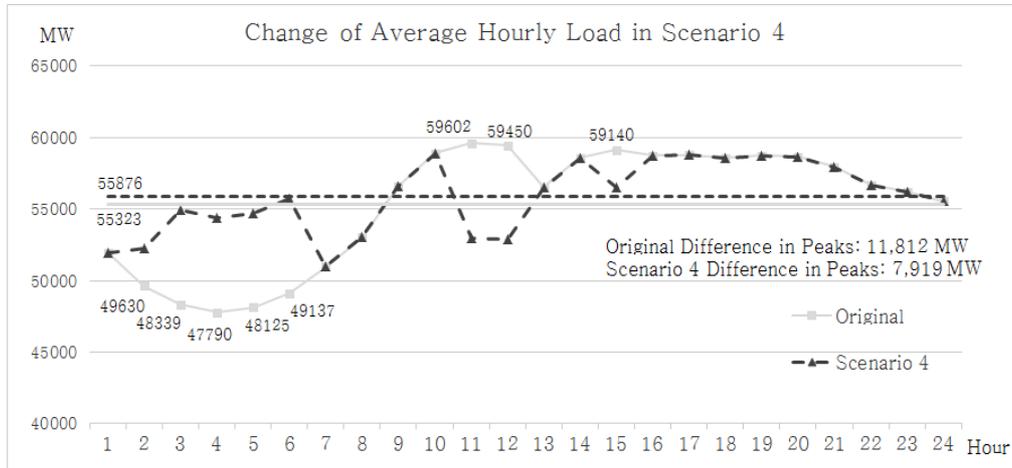


Figure 5. Change of Average Hourly Load in Scenario 4

시나리오 3은 급격히 증가하는 수요에 의한 전력시장가격 상승 외에도 화석연료가 발전원인 발전사들의 사회적 환경비용 증가로 인한 전력생산요금 증가를 바탕으로 전력요금 상승률을 5%에서 15%로 증대한 상황을 만들었다. 기존 발전사들의 환경비용 증가는 탄소배출량 감축을 위한 추가 대기개선장치 설치 또는 탄소배출권 추가 구매에서 비롯될 수 있다. 그 결과 그림 4와 같이 일반전기차는 총소유비용이 소폭 상승(102만원, 1.7%)하는 결과가 나타났으나 V2G 전기차의 경우 기존대비 90만원(-1.6%) 더 낮은 결과가 나타났다. 이는 전력요금 상승이 V2G 서비스 비용 뿐만 아니라 V2G 서비스 매출도 증가시켜 V2G 수익 효과에 따른 총소유비용을 감소 시켜주기 때문이다.

시나리오 4는 고유가로 인해 내연기관차의 총 소유 비용이 상승하고 배터리 생산단가 하락으로 전기차 구입비용이 감소하는 상황으로서 분석결과 내연기관차와 모든 전기차간의 큰 차이가 발생하였다. 내연기관차의 소유비용은 총 5,738만원으로 상승하였으며 일반전기차와 V2G 전기차의 경우 두 차량 모두 동일하게 약 1,077만원의 총소유비용이 감소하여 각각 4,856만원과 4,514만원의 총소유비용이 발생하는 것으로 나타났다. V2G 전기차와 내연기관차의 차익은 총 1,224만원으로 나타났으며 V2G 전기차의 총소유 비용이 내연기관차보다 약 27% 낮은 결과가 나왔다.

이와 더불어 시나리오 4에서는 V2G 전기차의 서비스 공급 확산이 국내 전체 전력수요에 어떠한 영향을 끼치는지 알아보았다. 이를 위해 현재 국내 전체 자동차수의 5%인 약 100만대의 V2G 전기차가 보급이 된 경우를 가정하고 100만대 모두 동시에 충전(경부하

시간대)과 역송전(최대부하 시간대)이 가능한 경우를 가정하였다. 또한 V2G 전기차의 충전시간은 최저부하 시간대인 오전 2시36분부터 7시00분까지 충전을 가정하였으며 이 시간대는 국내 전력망의 일 평균 수요가 가장 낮은 하위 5개의 시간대와 일치한다. 반대로 V2G 전기차의 역송전 시간은 최대부하 시간대인 오전 10시00분부터 오후 12시00분까지를 선택하였으며 추가적으로 봄, 여름, 가을의 최대부하 시간대인 오후 4시36분부터 오후 5시00분까지 총 27분간 역송전을 설정하였다. 선택한 시간대는 국내 전력망의 일평균 수요가 가장 높은 상위 3개의 시간대와 일치한다.

위와 같은 가정으로 수요에 따른 부하의 변화를 분석한 결과 V2G 도입은 최저부하와 최대부하의 편차를 줄이는데 상당한 효과를 주는 것으로 나타났다. 그림 5와 같이 부하편차는 기존 11,812MW에서 7,919MW로 약 33% 감소하는 결과가 나왔으며 시간별 부하의 평균은 기존 55,323MW에서 55,876MW로 약 1% 상승하여 제한적인 전력수요 증가가 발생하는 것을 알 수 있었다. 만약 V2G 계통운영자 또는 중계자가 전체 V2G 시장의 공급능력을 원활하게 조절하여 효율적으로 배분한다면 V2G는 전력망 부하편차를 줄이고 부하평준화를 실현하는데 더 큰 효과를 보일 것이다.

5. 결론

V2G는 스마트그리드 기술의 하나로서 전기차의 잉여전력을 주행에 필요한 전력을 제외한 잉여전력 또는 공급능력을 전력망에 공급해주는 양방향 송전 시스템 기술이다. 이 기술의 확대되면 기존 내연기관차

들을 배기가스 배출이 없는 전기차로 대체시키는 동시에 안정적인 전력망을 구축할 수 있다.

본 연구에서는 V2G의 경제적 효과를 알아보기 위해 V2G를 접목시킨 전기차의 총소유비용을 내연기관차와 일반전기차에 비교해보았다. 그 결과 아직까지 일반전기차와 V2G 전기차 모두 보조금 없이는 내연기관차보다 총소유비용이 높아 경제성이 떨어지는 것으로 나타났다. 하지만 V2G 전기차의 경우 연료비 측면에서 수익이 발생하기 때문에 일반전기차에 비해 총소유비용이 추가적으로 감소하는 효과가 있음을 알 수 있었고 따라서 총소유비용이 낮은 결과를 도출되었다. 항목별 총소유비용 분석과 시나리오 분석을 통해 총소유비용의 주요변수는 연료비(유가), 환경비용, 전기차 배터리 생산가격이 될 것으로 파악되었으며 향후 이들의 변화에 따라 내연기관차와 V2G 전기차간의 총소유비용 차익은 증가 또는 감소하게 될 것이다.

전기차의 V2G활용을 위한 국내도입은 아직까지 한계가 있으며 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 인프라가 구축이 늦어져 장기주행에 다소 어려움이 있어 수요가 증가하지 않고 있으며 아직까지 상당히 높은 전기차의 가격 때문에 소비자가 쉽게 선택하지 못하고 있는 것이 현실이다. 따라서 V2G 도입에 앞서 전기차 보급 활성화를 위한 방안이 만들어져야 할 것이다. 그리고 V2G 도입을 위해서는 먼저 V2G 서비스(전력) 공급 허가를 위한 법적 제도 개선에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 수십대에서 수만대의 V2G 전기차를 동시에 제어하는 역할을 제시하고 계통연계와 통신망 구축을 위한 정책연구가 필요하다. 이밖에 필요한 기술적 연구로는 반복적 배터리 충·방전에 따른 배터리 효율손실과 전기차 사용자의 운행패턴이 V2G 도입에 미치는 영향에 대해 필히 연구되어야 할 것으로 보인다.

본 연구는 V2G의 개념과 구성에 대해 알아보고 도입 시 자동차 총소유비용에 어떠한 영향을 끼치는지 알아보았다. 국내 배기가스 감축방안 및 기후변화 대응방안으로 전기차가 각광받는 현 시점에서 V2G 도입은 전기차의 경제성을 더 높여 보조금 없이도 내연기관차와 비교해 경쟁력을 갖출 수 있는 가능성을 제시한다. 따라서 전기차 보급 활성화 대안으로 고려될 수 있다. 전기차 운영에 경제적 효과가 있는 V2G가 국내에 도입이 되기 위해서는 향후 보다 면밀한 기술적, 정책적 측면에서의 추진이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2014, 특화전문대학원 연계 학연협력 지원사업)입니다.

References

1. IPCC: "Climate change 2013: The physical science basis", IPCC Fifth Assessment Report (AR5), (2013)
2. IEA: "Global EV Outlook" and 2015 update, (2013 & 2015)
3. Kempton, W., Letendre, S. E.: "Electric vehicles as a new power source for electric utilities", Transportation Research Part D, Transport and Environment 2.3, 157~175, (1997)
4. Kempton, W., Tomiæ, J., Letendre, S., Brooks, A., Lipman, T.: "Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California", Institute of Transportation Studies Report # IUCD-ITS-RR 01-03, (2001)
5. Kempton, W., Tomić, J.: "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and revenue", Journal of Power Sources, 144.1, 268~279, (2005)
6. Tomić, J., Kempton, W.: "Using fleets of electric-drive vehicles for grid support." Journal of Power Sources, 168.2, 459~468, (2007)
7. Kempton, W., Tomić, J.: "Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy", Journal of Power Sources, 144.1, 280~294, (2005)
8. Kempton, W., Kubo, T.: "Electric-drive vehicles for peak power in Japan", Energy Policy, 28.1, 9~18, (2000)
9. Pelzer, D., Ciechanowicz, D., Aydt, H., Knoll, A.: "A price-responsive dispatching strategy for Vehicle-to-Grid: An economic evaluation applied to the case of Singapore", Journal of Power Sources, 256, 345~353, (2014)
10. Bae, J., Do, Q., Lee, H., Ha, T., Lee, S., Kim, S., Kim, D., Sohn, H.: "A Study on the Factors of V2G(Vehicle to Grid) Framework", 한국자동차

- 공학회 부문종합 학술대회, 2206~2210, (2011)
11. Choi, J., Park, E.: "A Study on the V2G Application using the Battery of Electric Vehicles under Smart Grid Environment", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63P, No. 1, 40~45, (2014)
 12. Lee, H., Sohn, H., Ha, T., Lee, S., Kim, D., Bae, J.: "Trends on V2G Technology and Demonstration", 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, 2203~2205, (2011)
 13. Kim, S., Hwang, J., Kwon, O., Park, R., Song, K.: "A Study on the Application of Power System Ancillary Service Using the EV battery", 대한전기학회 학술대회 논문집, 157~158, (2012)
 14. Shin, H., Kim, J.: "Operation of Ancillary Service Considering the Cost of EV Battery Wear", 대한전기학회 학술대회 논문집, 508~509, (2013)
 15. Lee, S., Kim, J., Kim, C., Kim, E., Kim, S., Lee, S.: "An Adequacy Analysis on V2G Application of Electric Vehicle", 대한전기학회 학술대회 논문집, 218~220, (2013)
 16. 모정윤: "전기자동차 도입에 따른 시간별 전기수요 추정 및 정책적 시사점", 산업연구원, Issue Paper 2012-294, (2012)
 17. 산업통상자원부 에너지신사업과: "전기자동차, 2015년부터 상용화 시대 기반 조성", 보도자료, 2014년 12월 19일, (2014)
 18. 전력거래소: "2013년도 전력시장 통계", (2014)
 19. Pike Research: "Ess World Market Report", (2011)
 20. White, C.D., Zhang, K.M.: "Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction", Journal of Power Sources, 196.8, 3972~3980, (2011)
 21. Hu, P., Young, J.R. : "1995 Nationwide Personal Transportation Survey", US Department of Transportation, (1999)
 22. Morrow, K., Karner, D., Francfort, J.: "U.S. Department of Energy Vehicle Technologies Program - Advanced Vehicle Testing Activity Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review", Final Report Battelle Energy Alliance, (2008)
 23. Sanna, L.: "Driving the solution, the plug-in hybrid vehicle", EPRI Journal, 8~17, (2005)
 24. 국토해양부 종합교통정책과: "우리나라 자동차 주행 거리", 보도자료, 2009년 4월 10일, (2009)
 25. 전력거래소: "전기품질신뢰도반", (2014)
 26. Ciechanowicz, D., Leucker, M., Sachenbacher, M.: "Okonomische Bewertung von Vehicle-to-Grid in Deutschland, Multikonferenz Wirtschaftsinformatik", Proceedings of the Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI), Braunschweig, (2012)
 27. Choi, S., Choi, G., Jung, D., Lee, W., Lee, S., Won, C.: "Peak Load Compensation Control Method of 10kW Rapid charger for Electric Vehicle", 전력전자학술대회논문집, 150~151, (2012)
 28. Gage, T.: "The Car, The Grid, The Future", The Seattle Electric Vehicle to Grid Forum, (2005)
 29. Yoo, J., Kim, H.: "Study on subsidy policy of Electric Vehicle Using Break-Even Analysis", Journal of Energy Engineering, 20(1), 54~62, (2011)
 30. 한국수출입은행 해외경제연구소 산업투자조사실: "전기자동차 시장 현황 및 전망", (2011)
 31. 한국전력공사: 전기차 충전전력요금, 2013년 11월 21일 시행, (2013)
 32. 한국석유공사: 오픈넷 유가정보서비스, 검색 및 기준일 2015년 3월 22일, (2015)
 33. Lee, G.: "An Economic Measures of the Renewable Energy considering Environmental Costs", Journal of the Korean Solar Energy Society, 24.3, 93~100, (2004)
 34. 관세청 특수통관과, "승용차 및 이륜자동차의 감가상각 잔존율표", 관세청 홈페이지, 검색일 2015년 4월 15일, http://www.customs.go.kr/kcshome/main/content/ContentView.do?contentId=CONTENT_ID_000000589&layoutMenuNo=74&nttId=CONTENT_ID_000000589, (2015)
 35. 이순재: "자동차보험 가격자유화의 영향과 향후 정책 방향", 보험연구원, (2009)
 36. 연합뉴스: "전기차 보험료, 5% 비싸게 책정된다", 2010년 4월 6일, <http://www.yonhapnews.co.kr/economy/2010/04/06/0301000000AKR20100406203200002.HTML?template=2088>, (2010)
 37. Choi, E., Hoang, T.K., Lim, K., Kim, C.: "Promotion Policy for Popularization and Economic Evaluation of Electric Vehicles", 대한전기학회

- 학술대회 논문집, 949~950, (2009)
38. SMA: website, SUNNY ISLAND 4548-US / 6048-US 제원표, http://files.sma.de/dl/15216/SUNNYIS4548_6048US-DUS131719W.pdf, (2015)
 39. 한국전력공사 경제경영연구원: “한국과 OECD 주요 국가간 전기요금 수준 비교분석”, CEO REPORT 제13-25호, (2013)
 40. 통계청 국가통계포털 (KOSIS): “자동차등록대수 현황”, 통계청 홈페이지, 검색일 2015년 3월 27일, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=DT_MLTM_1244&vw_cd=&list_id=&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=K1&path=#, (2015)
 41. Galves, D.: “Vehicle Electrification”, Deutsche Bank, (2011)
 42. IEA: “Global EV Outlook” 2015 update, (2015)